

ANALISA STRUKTUR *BOX UNDERPASS* JALAN DANAU BOGOR RAYA (KATULAMPA – KECAMATAN BOGOR TIMUR) KOTA BOGOR

Budiono

Universitas Pakuan, Bogor, Indonesia

Email: budiono@unpak.ac.id

Abstrak

Pengembangan ibu kota baru Kota Bogor akan berada lokasi Kelurahan Katulampa Kecamatan Bogor Timur, untuk menuju ke lokasi pusat pemerintahan baru perlu akses ada jalan menuju kantor pemerintahan baru. Akses jalan ini melewati kawasan Bogor Raya terus kejalan menuju kantor pemerintahan baru, akses jalan ini akan tersambung oleh adanya underpass. Perencanaan *box underpass* bertujuan untuk merancang *box underpass* dan merancang beban *jacking* yang digunakan pada proses pemasangan *box underpass*. Metode yang digunakan dalam merancang *box underpass* ini adalah metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*). *Box underpass* dirancang dengan tebal pelat dinding 75 cm untuk pelat lantai bawah sebagai lantai pondasi tebal 100 cm. Bahan yang digunakan adalah beton mutu K-350 dan baja tulangan dengan mutu BjTD 40. Pembebanan yang bekerja pada *box underpass*, meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa. Tahap berikutnya menganalisis struktur underpass dilakukan dengan menggunakan SAP2000 untuk mendapatkan gaya dalam. Gaya dalam yang didapat digunakan untuk menghitung penulangan dan kontrol *serviceability*. Pada pelat lantai atas, tulangan pokok yang digunakan adalah D32 — 200, sedangkan tulangan bagi yang digunakan adalah D22 — 200, Pada pelat lantai pondasi, tulangan pokok yang digunakan adalah D25 — 175, sedangkan tulangan bagi yang digunakan adalah D22 — 200. Pada pelat dinding, tulangan pokok yang digunakan adalah D32 — 200, tulangan bagi yang digunakan adalah D25 — 200, sedangkan tulangan geser yang digunakan adalah D16 — 400.

Kata Kunci: *Box Underpass*, Beton, Penulangan, Beban *Jacking*

Abstract

The development of the new capital city of Bogor City will be located in Katulampa Village, East Bogor District. To get to the location of the new government center, you need access to a road to the new government offices. This access road passes through the Bogor Raya area and continues towards the new government office. This access road will be connected by an underpass. Underpass box planning aims to design the underpass box and design the jacking load used in the underpass box installation process. The method used in designing this underpass box is the LRFD (Load Resistance Factor Design) method. The underpass box is designed with a wall plate thickness of 75 cm for the bottom floor plate as a 100 cm thick foundation floor. The materials used are K-350 quality concrete and BjTD 40 quality reinforcing steel. The loads acting on the underpass box include dead load, live load and earthquake load. The next stage of analyzing the underpass structure was carried out using SAP2000 to obtain internal forces. The internal forces obtained are used to calculate reinforcement and control serviceability. In the top floor slab, the principal reinforcement used is D32 — 200, while the reinforcement used is D22 — 200. In the foundation floor slab, the principal reinforcement used is D25 — 175, while the reinforcement used is D22 — 200. In the slab walls, the main reinforcement used is D32 — 200, the reinforcement used is D25 — 200, while the shear reinforcement used is D16 — 400.

Keywords: *Underpass Box, Concrete, Reinforcement, Jacking Load*

Pendahuluan

Pembangunan pusat pemerintahan baru Kota Bogor di wilayah Kelurahan Katulampa Kecamatan Bogor Timur diprediksi akan dimulai tahun 2026. Namun sebelum itu, akan ada pembangunan akses jalan menuju kantor pemerintahan baru. Perencanaan pembangunan pusat pemerintahan baru Kota Bogor terus berjalan, dimulai dengan rencana pembangunan akses jalan yang melewati jalan Danau Bogor Raya. Akses menuju lokasi pusat pemerintahan baru Kota Bogor harus melewati atau memotong jalan eksisting, sehingga untuk mengatasi hal tersebut, maka diperlukan alternatif jalan penghubung pada salah satu jalur tersebut. Alternatif dilakukan adalah membangun *underpass*.

Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah merancang jalan tembus melewati jalan melintang dengan menggunakan struktur *box underpass* dan metoda analisa LRFD mengacu kepada SNI yang berlaku saat ini. Pada ini penelitian, pembahasan dibatasi pada; (1) merancang desain *box underpass*, (2) metode perhitungan yang digunakan adalah metode LRFD (*Load Resistance Factor Design*), dan (3) data yang digunakan merupakan data sekunder dari perencanaan pembangunan *Box Underpass* Danau Bogor Raya.

Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk merancang *box underpass* atau *box culvert*. Seperti penelitian yang dilakukan (Ilham, 2008; Prakasa & Dwiyanto, 2017)

Untuk itu diperlukan penelitian lanjutan untuk melanjutkan atau merevisi penelitian yang sudah ada sebelumnya dengan standar-standar yang sudah diperbaharui.

Underpass berupa *Box Culvert* adalah bangunan yang dibangun dibawah jalan atau jembatan yang dipergunakan sebagai jalur penghubung seperti jalan, saluran air (drainase), pipa gas, pipa kabel listrik, dan lain sebagainya. Pada dasarnya *box culvert* adalah sebuah konstruksi yang menyerupai “pipa” persegi atau persegi panjang yang terbuat dari beton bertulang guna untuk memperkuat konstruksi memikul beban yang di atasnya. Pengerjaannya ada berupa cor ditempat dan banyak juga terbuat dari beton pra cetak (*precast*) (Cook, 2002; Edward & Nawy, 1998; Najoa et al., 2022; Prastiogo, 2023).

Pada dasarnya *box culvert* adalah sebuah konstruksi yang menyerupai “pipa” persegi atau persegi panjang yang terbuat dari beton bertulang guna untuk memperkuat konstruksi memikul beban yang di atasnya (Kasuma, 2022; Manurung et al., 2022). Pengerjaannya ada berupa cor ditempat dan banyak juga terbuat dari beton pra cetak (*precast*) (Sulaiman & Suppa, 2019). Tipikal perancangan konstruksi *box culvert* disesuaikan dengan beberapa hal, seperti ; kondisi lapangan, kegunaan, estetika, kekuatan, dan ekonomis. *Box underpass* adalah sebuah panel terowongan dengan ukuran tertentu sebagai tempat lewatnya kendaraan pada *underpass*.

Pembebanan

Suatu struktur bangunan baik itu bangunan tinggi, jembatan, atau *underpass* sekalipun harus direncanakan untuk dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi yang bekerja pada struktur meliputi beban mati dan beban hidup (Arifin et al., 2015). Beban mati yang bekerja pada struktur diakibatkan oleh berat struktur sendiri serta berat tambahan seperti berat tanah diatas *underpass* (Pasaribu et al., 2019; Raja et al., 2022).

Sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban tanah dan beban gempa. Beban-beban yang dihitung dalam perancangan ini adalah berat sendiri, beban mati tambaha beban lalu lintas, beban rem, tekanan tanah, beban angin dan beban gempa. Peraturan pembebanan yang digunakan adalah Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, NO. 02 / M / BM / 2021.

Metode Load Resistance Factor Design(Lrfd)

Perencanaan teknik jembatan di Indonesia saat ini mengikuti pedoman Panduan Praktis Perencanaan Teknis Jembatan, NO. 02 / M / BM / 2021. Pada pedoman tersebut metoda yang digunakan mengikuti metode LRFD (*Load Resistance Factored Design*) sejak diberlakukannya BMS Peraturan Teknik Jembatan pada tahun 1992. BMS 1992 menamakannya dengan ‘Cara Rencana Keadaan Batas’ atau *Limit-states Design Method*. Metode LRFD menggunakan beberapa kombinasi beban yang dinamakan keadaan batas (*limit states*), sehingga nama lain dari metode LRFD adalah Metode *Limit-states Design*. Metode Rencana Keadaan Batas sudah memperhitungkan variasi dan ketidakpastian pada baik beban maupun kekuatan elemen struktur. Level keamanan yang relatif merata atau seragam bisa dicapai pada struktur atas dan struktur bawah berdasarkan analisis risiko yang didapat dari teori reliabilitas. AASHTO mulai memberlakukan metode LRFD kepada semua jembatan baru di Amerika Serikat sejak tahun 2007 (FHWA-NHI, 2015). Dalam perencanaan setiap elemen dan sambungan pada struktur jembatan harus memenuhi Persamaan 1 untuk setiap keadaan batas.

$$\sum n_i \cdot g_i \cdot Q_i \leq \phi R_n$$

h_i adalah faktor pengubah respon berkaitan dengan daktilitas, redundansi, dan klasifikasi operasional

g_i adalah faktor beban ke- i

Q_i adalah pengaruh gaya

j adalah factok beban

R_n adalah pengaruh gaya

Faktor beban adalah faktor pengali beban yang didasarkan dari hasil analisis statistik, dan biasanya lebih besar dari 1,0. Nilai faktor beban memperhitungkan kemungkinan variasi beban, akurasi analisis, dan probabilitas terjadinya beban yang berbeda secara bersamaan. Nilai faktor beban juga terkait dengan nilai statistik ketahanan melalui proses kalibrasi.

Analisis Struktur

Analisis struktur untuk menentukan gaya dalam pada struktur Box Culvert menggunakan analisis struktur dengan bantuan program software komputer. SAP2000 (Structural Analysis Program 2000) adalah program komputer untuk menganalisa dan mendesain struktur bangunan, baik yang berupa struktur bidang 2 dimensi maupun struktur 3 dimensi. Analisa struktur dapat dilakukan secara statik maupun dinamik, dengan berbagai macam kombinasi pembebanan. SAP2000 menggunakan Metode Elemen Hingga sebagai dasar untuk analisis perhitungannya. Penggunaan yang efektif dari suatu program seperti SAP2000 untuk keperluan analisis struktur, memerlukan pengalaman yang cukup mengenal pemahaman dari struktur yang akan dianalisis. Tahap yang paling sulit didalam prosedur analisis adalah pemilihan model struktur yang tepat,

meliputi karakteristik dan perilaku yang mendekati kondisi struktur yang sebenarnya. Secara garis besar, metode dalam analisis struktur tersebut melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan geometri model struktur.
2. Menetapkan beban yang bekerja pada model struktur box culvert
3. Menginput data material box culvert seperti modulus elastisitas (E) bahan, mutu beton, dan mutu tulangan baja.
4. Menentukan gaya dalam maksimum.
5. Menggambarkan bidang momen, geser dan aksial.

Gorong-gorong (Box culvert)

Gorong-gorong merupakan saluran berbentuk bulat ataupun persegi yang ditanam di dalam tanah yang berfungsi untuk saluran air, atau lalu lintas kendaraan, utilitas lainnya dan untuk fasilitas pejalan kaki. Gorong-gorong persegi bisa terbuat dari satu sel ataupun multi sel beton bertulang.

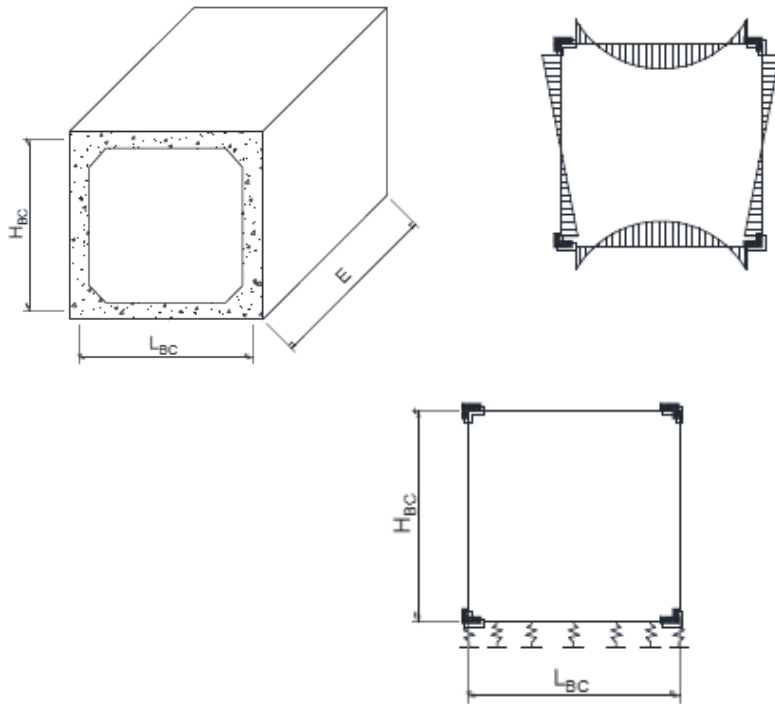
Pembebanan pada box culvert

Dalam perencanaan *box culvert*, adapun beban-beban yang perlu dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

- 1) Berat sendiri (MS)
Berat sendiri merupakan berat yang berasal dari berat isi material gorong-gorong yang ditentukan berdasarkan lebar strip ekuivalen.
- 2) Beban vertikal
Tinggi beban vertikal diukur dari muka pelat atas *box culvert* ke atas permukaan perkerasan. Beban vertikal berkenaan dengan beban tanah dan perkerasan serta daerah sekitar *box culvert* berdasarkan faktor interaksi struktur tanah. Dinding *box culvert* dianggap tidak ada gesekan, sehingga tidak ada beban vertikal dari beban resultan horizontal yang dipertimbangkan.
- 3) Beban horizontal
Dalam perencanaan, beban tekanan tanah horizontal sebesar 9,5 kN/m³ diterapkan pada dinding gorong-gorong. Untuk memperoleh pengaruh gaya maksimum, gunakan factor beban 1,35 untuk keadaan batas ultimit dan 1 untuk keadaan batas fatik.
- 4) Beban tekanan air
Untuk menganalisis beban air pada gorong-gorong, perencana harus mempertimbangkan dua kondisi yaitu kondisi gorong-gorong terisi penuh oleh air dan saat gorong-gorong tidak terisi oleh air.
- 5) Beban hidup tambahan
Beban hidup tambahan berasal dari beban tekanan tanah di belakang dinding gorong-gorong saat dibebani beban truk dimana roda truk berjarak setengah tinggi dinding dari sisi luar dinding gorong-gorong. Besarnya beban hidup tambahan ditentukan berdasarkan SNI 1725:2016 Pasal 7.3.
- 6) Beban lalu lintas
Pada umumnya gorong-gorong direncanakan dengan asumsi lalu lintas sejajar dengan bentang yang dianalisis untuk satu lajur terbebani dengan faktor kepadatan lajur untuk satu lajur.

Pemodelan Box culvert

Dalam pemodelannya, pada bagian *haunch* dimodelkan sebagai *rigid link*. Tumpuan gorong-gorong dimodelkan sebagai elemen pegas (kN/m) dengan konstanta pegas diperoleh dari hasil perkalian *modulus of subgrade* dengan luas pelat *strip* bawah. Jika menggunakan program komputer, tipe elemen pegas yang digunakan adalah *compression only*. Luas pelat *strip* bawah diperoleh dari perkalian antara lebar efektif gorong-gorong (E) dengan panjang bentang gorong-gorong. Pemodelan struktur *Box culvert* seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Pemodelan struktur gorong-gorong. (Sumber: NO. 02 / M / BM / 2021).

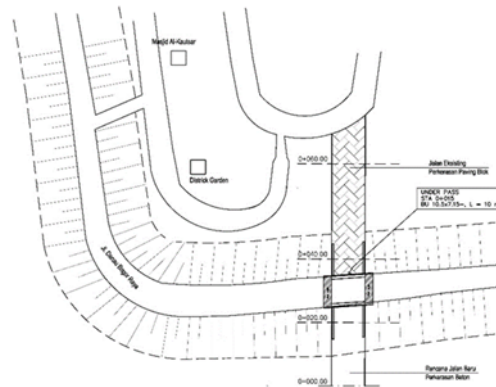
Metode Penelitian

Berikut ini denah lokasi dari *Box Underpass* berada diperumahan Bogor Raya Kota Bogor Jawa Barat, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

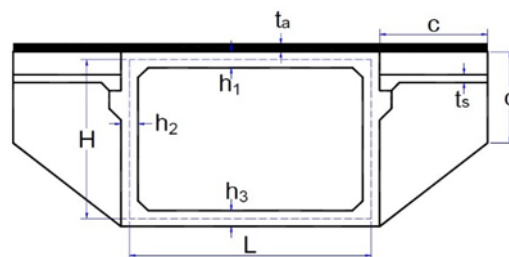
Analisa Struktur *Box Underpass* Jalan Danau Bogor Raya (Katulampa – Kecamatan Bogor Timur) Kota Bogor



Gambar 2. Lokasi *Box Underpass*

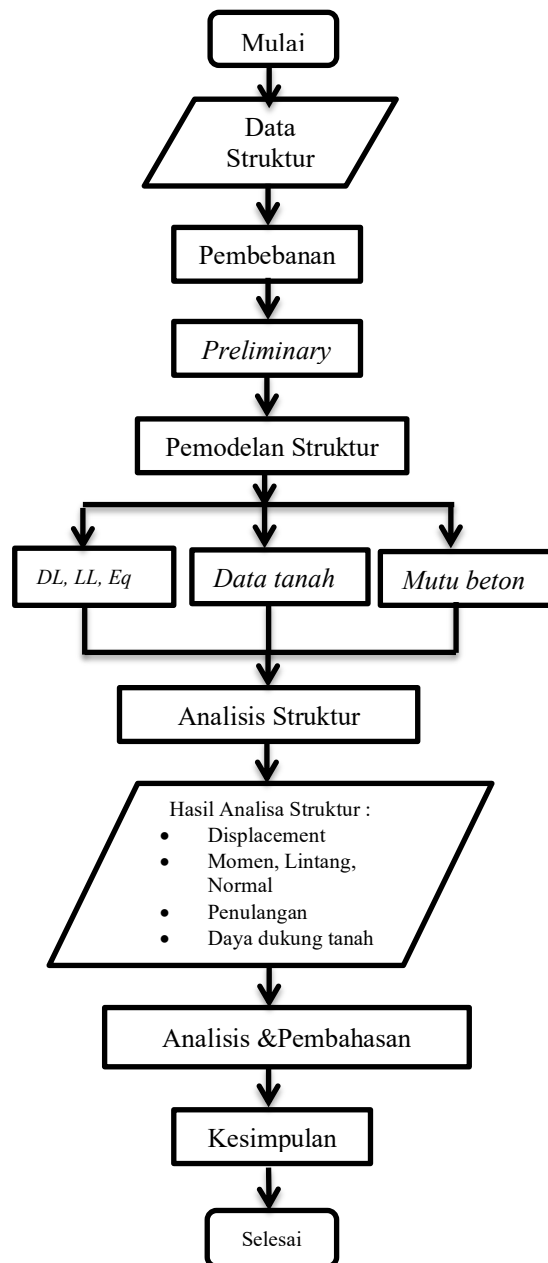


Gambar 3. Lokasi *Box Underpass*



Gambar 4. Tampak potongan *Box Underpass*

Box underpass direncanakan dengan menggunakan metode faktor beban (*LRFD*) (Alamsyah, 2022). Metode ini dipilih dengan pertimbangan untuk menghindari perbedaan yang tidak diinginkan pada beban, menghindari kettdaktepatan perkiraan pengaruh pembebanan, serta menghindari jika terjadi perbedaan ketepatan dimensi pada saat pelaksanaan. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perancangan *box underpass* ini digambarkan pada diagram alir seperti yang tergambar pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir perencanaan

DIMENSI BOX

Lebar Luar box, L	= 9.750 m
Tinggi Luar box, H	= 6.175 m
Tebal plat dinding samping, b1	= 0.75 m
Tebal plat lantai, t1	= 0.75 m
Tebal plat fondasi, t2	= 0.80 m

DIMENSI LAINNYA

Pada Lantai Atas	
Tebal Timbunan, Sa	= 0.90 m
Tebal Lapis Permukaan, ta	= 0.10 m

Tinggi genangan air hujan, th = 0.05 m

Pada Lantai Bawah

Tebal Lapis Permukaan, tb = 0.25

Tinggi genangan air hujan, th = 0.05

BAHAN STRUKTUR

Mutu beton : K - 300

Kuat tekan beton

$f_c' = 0.83 * K / 10 = 24.90 \text{ MPa}$

Modulus elastik

$E_c = 0.043 * (W_c) 1.5 * \sqrt{f_c'} = 23452.95 \text{ Mpa}$

Angka poisson, $\nu = 0.20$

Modulus geser

$G = E_c / [2 * (1 + \nu)] = 9772.063711 \text{ Mpa}$

Koefisien muai panjang untuk beton,

$\alpha = 0.00001 / \text{oc}$

Mutu baja :

Untuk baja tulangan dengan

$D > 12 \text{ mm} : U - 40$

Tegangan leleh baja,

$f_y' = U * 10 = 400 \text{ Mpa}$

Untuk baja tulangan dengan

$D < 12 \text{ mm} : U - 40$

Tegangan leleh baja,

$f_y' = U * 10 = 400 \text{ Mpa}$

Specific Gravity

Berat beton bertulang, $W_c = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Berat beton tidak bertulang (beton rabat)

$W_c' = 24.00 \text{ kN/m}^3$

Berat aspal padat, $W_a = 22.00 \text{ kN/m}^3$

Berat jenis air, $W_w = 10.00$

Berat timbunan tanah dipadatkan

$W_s = 17.20 \text{ kN/m}^3$

Berat timbunan pilihan, $W_t = 18.00 \text{ kN/m}^3$

Hasil dan Pembahasan

Analisis Beban

a. Berat Sendiri (MS)

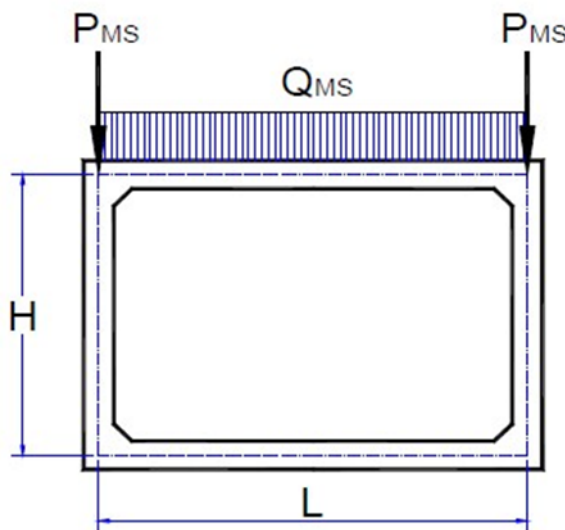
Tabel 1. Faktor beban untuk berat sendiri

Tipe Bahan	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan batas layan (γ_{MS}^S)	Keadaan batas ultimit (γ_{MS}^U)		
	Bahan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85

Beton dicor di tempat	1,00	1,30	0,80
Kayu	1,00	1,40	0,70

Berat sendiri (self weight) adalah berat bahan dan bagian Box Underpass yang merupakan elemen struktural, ditambah dengan elemen non-struktural yang dipikulnya dan bersifat tetap. Berat sendiri Box Underpass dihitung dengan meninjau selebar 1 m (tegak lurus bid.gambar) sebagai berikut:

Berat sendiri plat lantai,
 $Q_{MS} = h_1 * w_c = 18.75 \text{ kN/m}$
 Berat sendiri plat dinding samping,
 $P_{MS} = H * b_1 * w_c = 115.78 \text{ kN}$



Gambar 6. Model pembebanan

b. Beban Mati Tambahan (MA)

Beban mati tambahan (superimposed dead load), adalah berat seluruh bahan yang menimbulkan suatu beban pada Box Underpass yang merupakan elemen non-struktural, dan mungkin besarnya berubah selama umur Box Underpass. Box Underpass dianalisis harus mampu memikul beban tambahan seperti :

- 1) Timbunan Tanah,
- 2) Penambahan lapisan aspal (overlay) di kemudian hari,
- 3) Genangan air hujan jika sistim drainase tidak bekerja dengan baik,

Tabel 2. Faktor beban untuk beban mati tambahan

Tipe Bahan	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan batas layan (γ_{MA}^S)	Keadaan batas ultimit (γ_{MA}^U)		
		Keadaan	Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	khusus (Terawasi)	1,00	1,40	0,80

CATATAN⁽¹⁾ Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

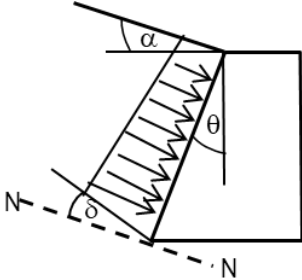
A. Pada Slab Atas

1	Timbunan Tanah dalam satuan Panjang 15.48 kN/m	tebal 0.90 (m), berat 17.20 (kN/m ³)
2	Lapisan aspal dalam satuan Panjang 2.20 kN/m	0.10 m 22.00(kN/m ³)
3	Air hujan Dalam satuan pajang 0.50 kN/m	0.05 m 10.00(kN/m ³)
Total beban mati tambahan :		$g_{MA1} = 18.18 \text{ kN/m}$

c. Tekanan Tanah (TA)

Pada bagian tanah di belakang dinding yang dibebani lalu-lintas, harus diperhitungkan adanya beban tambahan yg setara dengan tanah setebal 0,70 m yang berupa beban merata ekivalen beban kendaraan pada bagian tersebut. Tekanan tanah lateral dihitung berdasarkan harga nominal dari berat tanah w_s , sudut gesek dalam f , dan kohesi c dengan:

Tanah Aktif

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta * \cos(\theta + \delta) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\delta - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) * \cos\theta}} \right]^2}$$


- f = Sudut gesek tanah 30.00°
- q = sudut pada dinding belakang terhadap garis horizontal 0.00°
- d = sudut gesek antara urukan dan dinding untuk analisa stabilitas $30.^\circ$
untuk analisa struktural $10.^\circ$
- a = sudut pada urukan terhadap garis Horizontal $0.^\circ$ untuk analisa stabilitas
- $K_a = 0.297$

Beban tekanan tanah pd plat dinding,

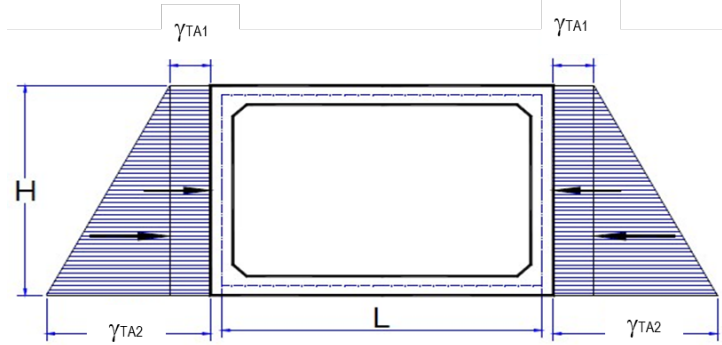
$$g_{TA1} = 0,70 * w_s * K_a = 3.578 \text{ kN/m}$$

$$g_{TA2} = g_{TA1} + H_2 * w_s * K_a = 198.48 \text{ kN/m}$$

untuk analisa struktural $K_a' = 0.308$

$$g_{TA1} = 0,70 * w_s * K_a = 3.714 \text{ kN/m}$$

$$g_{TA2} = g_{TA1} + H_2 * w_s * K_a = 206.02 \text{ kN/m}$$



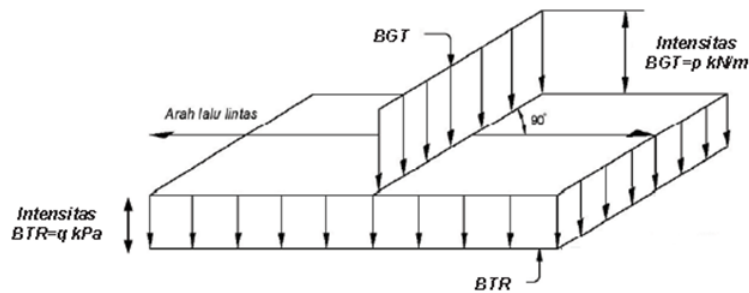
1. Beban Lalu-Lintas

a. Beban Lajur "D" (TD)

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut :

$$q = 9.0 \text{ kPa untuk } L \leq 30 \text{ m}$$

$$q = 9,0 * (0,5 + 15 / L) \text{ kPa untuk } L > 30 \text{ m}$$



Beban garis terpusat (BGT) dengan intensitas p kN/m harus ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Besarnya intensitas p adalah 49,0 kN/m. Untuk mendapatkan momen lentur negatif maksimum pada jembatan menerus, BGT kedua yang identik harus ditempatkan pada posisi dalam arah melintang jembatan pada bentang lainnya.

Untuk panjang bentang,

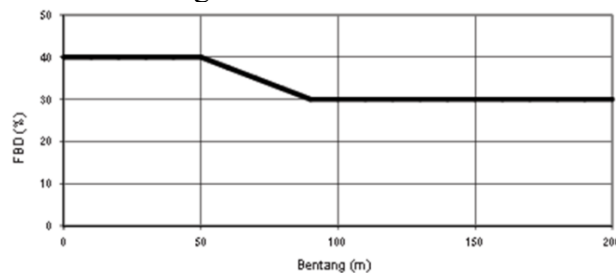
$$L = 9.75 \text{ m}$$

$$q = 9.00 \text{ kPa}$$

BGT mempunyai intensitas,

$$p = 49.00 \text{ kN/m}$$

Faktor beban dinamis dalam persen untuk gorong-gorong dan struktur yang terkubur lainnya harus diambil sebagai berikut:



Untuk harga, $L = 9.75 \text{ FBD} = 0.4$

Beban hidup pada lantai,

$$\text{BTR} = g_{\text{TD}} = 9.00 \text{ kN/m}$$

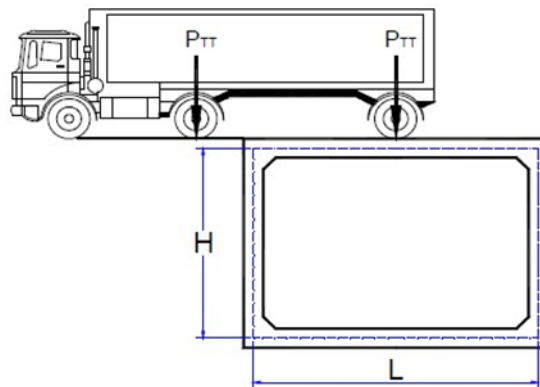
$$\text{BGT} = g_{\text{TD}} = (1 + \text{FBD}) * p = 68.6 \text{ kN}$$

b. Beban Truk "T" (TT)

Beban hidup pada lantai jembatan berupa beban roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya, $T = 112.5 \text{ kN}$

Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk diambil,, $\text{FBD} = 0.4$

$$\text{Beban truk "T"} : g_{\text{TT}} = (1 + \text{FBD}) * T = 157.5 \text{ kN}$$



c. Gaya Rem (TB)

Pengaruh percepatan dan pengereman lalu-lintas diperhitungkan sebagai gaya dalam arah memanjang jembatan dan dianggap bekerja pada permukaan lantai kendaraan. Besar gaya rem diperhitungkan sebesar 5% dari Berat Truk Rencana ditambah Beban Lajur (BTR)

Gaya rem per meter lebar,

$$g_{\text{TB}} = (5\% * T) + \text{BTR} = 14.63 \text{ kN}$$

d. Beban Angin (EW)

Gaya angin tambahan arah horisontal pada permukaan lantai *Box Underpass* akibat beban angin yang meniup kendaraan di atas lantai *Box Underpass*:

Tabel 3. Beban Angin

Sudut derajat	Komponen tegak lurus N/mm	Komponen sejajar N.mm
0	1,46	0,00
15	1,28	0,18
30	1,20	0,35
45	0,96	0,47
60	0,50	0,55

Beban akibat transfer beban angin ke lantai jembatan,

$$g_{\text{EW}} = 1.46 \text{ kN/m}$$

e. Pengaruh Temperatur (ET)

Faktor beban ultimit :

$K_{ET} = 1.20$

Untuk memperhitungkan tegangan maupun deformasi struktur yang timbul akibat pengaruh temperatur, diambil perbedaan temperatur yang besarnya setengah dari selisih antara temperatur maksimum dan temperatur minimum rata-rata pada lantai jembatan (Hasudungan & Nurmaidah, 2021; Qosim et al., 2016).

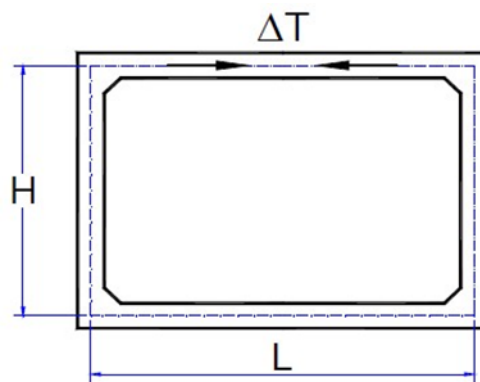
Temperatur maksimum rata-rata, $T_{max} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$

Temperatur minimum rata-rata, $T_{min} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

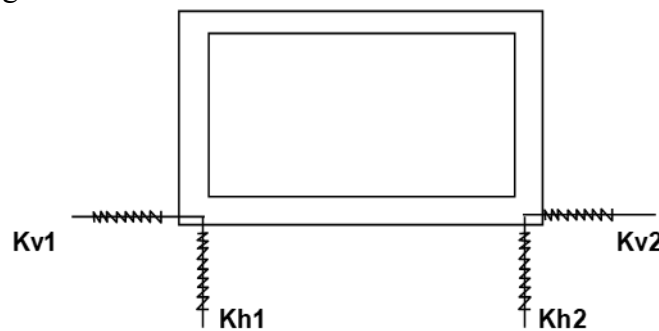
Koefisien muai panjang untuk beton, $\alpha = 1.00\text{E-}05/\text{ }^\circ\text{C}$

Modulus elastis beton, $E_c = 23452.95 \text{ kPa}$

Perbedaan temperatur pada plat lantai, $\Delta T = (T_{max} - T_{min}) / 2 = 12.5 \text{ }^\circ\text{C}$



Perhitungan Spring Pada Dasar Box



$K_v = 0,422 \times 28N \times BH\text{-}3/4 \text{ (Kg/cm}^3\text{)}$

$K_h = 0,512 \times 28N \times BH\text{-}3/4 \text{ (Kg/cm}^3\text{)}$

dimana :

K_v = Koefisien Spring tanah dasar

N = Harga SPT

N = 10 (dikonversi dari qc sondir)

BH = Lebar Pembebanan Pondasi (cm)

= 100 cm

$K_v = 0,422 \times 28N \times BH\text{-}3/4 \text{ (Kg/cm}^3\text{)}$

$K_v = 3.737 \text{ kg/cm}^3 \text{ } 37365.47283 \text{ kN/m}^3$

$K_h = 0,512 \times 28N \times BH\text{-}3/4 \text{ (Kg/cm}^3\text{)}$

$K_h = 4.533 \text{ kg/cm}^3 \text{ } 345334.41254 \text{ kN/m}^3$

2. Kombinasi Beban Ultimit

Tabel 4. Kombinasi Beban Ultimit

Keadaan Batas	MS MA TA PR PL SH	TT TD TB TR TP	<i>Gunakan Salah Satu</i>									
			EU	EWS	EWL	BF	Eun	TG	ES	EQ	TC	TV
Kuat I	γ_p	1,8	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_p	γ_p	-	-	-
Kuat II	γ_p	1,4	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_p	γ_p	-	-	-
Kuat III	γ_p	-	1,00	1,40	-	1,00	0,50/1,20	γ_p	γ_p	-	-	-
Kuat IV	γ_p	-	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	-	-	-
Kuat V	γ_p	-	1,00	0,40	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_p	γ_p	-	-	-
Ekstrem I	γ_p	γ_{EQ}	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-
Ekstrem II	γ_p	0,50	1,00	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-
Daya Layan I	γ_p	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	0,50/1,20	γ_p	γ_p	-	-	-
Daya Layan II	1,00	1,30	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	-	-	1,00	-	-
Daya Layan III	1,00	0,80	1,00	-	-	1,00	0,50/1,20	γ_p	γ_p	-	1,00	1,00
Daya Layan IV	1,00	-	1,00	0,70	-	1,00	0,50/1,20	-	1,00	-	-	-
Fatik (TD dan TR)	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Catatan: - γ_p dapat berupa $\gamma_{MS}, \gamma_{MA}, \gamma_{TA}, \gamma_{PR}, \gamma_{PL}, \gamma_S$ tergantung beban yang ditinjau
 - γ_{EQ} adalah factor beban hidup kondisi gempa

PERHITUNGAN SLAB

PEMBESIAN SLAB

TULANGAN LENTUR

Momen rencana tumpuan :

$$Mu = 758.270 \text{ kNm}$$

Kuat Tekan Beton

K-300 Kg/cm²

$$f_c = 24.9 \text{ Mpa}$$

Modulus Elastisitas Beton

$$= 4700 \sqrt{f_c} = E_c = 23452.95291 \text{ Mpa}$$

Angka Poison, $u = 0.2$

BAJA TULANGAN

Untuk Baja Tulangan dengan $D < 12\text{mm}$:

U -39

Tegangan Leleh Baja,

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

Untuk Baja Tulangan dengan $D > 12\text{mm}$:

U - 39

Tegangan Leleh Baja,

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

Tebal Slab beton,

$$h = 750.00 \text{ mm}$$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,

$$d' = 80 \text{ mm}$$

Modulus elastis baja,

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton,

$$b_1 = 0.85$$

$$r_b = b_1 * 0.85 * f_c' / f_y * 600 / (600 + f_y) =$$

$$r_b = 0.027957$$

$$R_{max} = 0.75 * r_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0.75 * r_b * f_y / (0.85 * f_c')] = 6.5977$$

Faktor reduksi kekuatan lentur, ϕ = 0.9
 Momen rencana ultimit, M_u = 7 58.270 kNm
 Tebal efektif slab beton, $d = h - d'$ = 670 mm
 Ditinjau slab beton selebar 1 m, $b = 1000\text{mm}$
 Momen nominal rencana, $M_n = M_u / \phi$ = 842.522 kNm
 Faktor tahanan momen, $R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2)$ = 1.8769
 $R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$\rho = 0.85 * f_c / f_y * [1 - \sqrt{1 - 2 * R_n / (0.85 * f_c)}]$ = 0.00505
 Rasio tulangan minimum, $\rho_{min} = 0.5 / f_y$ = 0.00128
 Rasio tulangan yang digunakan, ρ = 0.00505
 Luas tulangan yang diperlukan, $A_s = \rho * b * d$ = 3381.6 mm²
 Diameter tulangan yang digunakan, D 32mm
 Jarak tulangan yang diperlukan,
 $s = \pi / 4 * D^2 * b / A_s$ = 237.8307887 mm
 Digunakan tulangan, D32 - 200
 $A_s = \pi / 4 * D^2 * b / s$ = 4021.24mm²

Untuk tulangan bagi

$A_s' = 1608.495 \text{ mm}^2$
 Diameter tulangan yang digunakan, D 22mm
 Jarak tulangan yang diperlukan,
 $s = \pi / 4 * D^2 * b / A_s$ = 236.328125 mm
 Digunakan tulangan,
 D22 - 200
 $A_s = \pi / 4 * D^2 * b / s$ = 1608.50mm²

**PEMBESIAN SLAB
 TULANGAN LENTUR**

Momen rencana lapangan :
 $M_u = 700.490 \text{ kNm}$

Kuat Tekan Beton K-300 Kg/cm²
 $f_c = 24.9 \text{ Mpa}$

Modulus Elastisitas Beton
 $= 4700 \sqrt{f_c} = E_c = 23452.95291 \text{ Mpa}$

Angka Poison $u = 0.2$

BAJA TULANGAN

Untuk Baja Tulangan dengan $D < 12\text{mm}$:
 U -39

Tegangan Leleh Baja, $f_y = 390 \text{ Mpa}$
 Untuk Baja Tulangan dengan $D > 12\text{mm}$: U -39

Tegangan Leleh Baja, $f_y = 390 \text{ Mpa}$
 Tebal Slab beton, $h = 750.00 \text{ mm}$

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, $d' = 80 \text{ mm}$

Modulus elastis baja, $E_s = 210000 \text{ MPa}$

Faktor bentuk distribusi tegangan beton, $b_1 = 0.85$

$$r_b = b_1 * 0.85 * f_{c'} / f_y * 600 / (600 + f_y) =$$

$$r_b = 0.027957$$

$$R_{max} = 0.75 * r_b * f_y * [1 - \frac{1}{2} * 0.75 * r_b * f_y / (0.85 * f_{c'})] = 6.5977$$

Faktor reduksi kekuatan lentur,

$$\phi = 0.8$$

Momen rencana ultimit,

$$M_u = 700.490 \text{ kNm}$$

Tebal efektif slab beton,

$$d = h - d' = 670 \text{ mm}$$

Ditinjau slab beton selebar 1 m,

$$b = 1000 \text{ mm}$$

Momen nominal rencana,

$$M_n = M_u / \phi = 875.613 \text{ kNm}$$

Faktor tahanan momen,

$$R_n = M_n * 10^{-6} / (b * d^2) = .9506$$

$R_n < R_{max}$ (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$$r = 0.85 * f_{c'} / f_y * [1 - \sqrt{ 1 - 2 * R_n / (0.85 * f_{c'}) }] = 0.00526$$

Rasio tulangan minimum,

$$\rho_{min} = 0.5 / f_y = 0.00128$$

Rasio tulangan yang digunakan,

$$\rho = 0.00526$$

Luas tulangan yang diperlukan,

$$A_s = \rho * b * d = 3521.52 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan,

D 32mm

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \pi / 4 * D_2 * b / A_s = 228.38 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan,

D32 - 200

$$A_s = \pi / 4 * D_2 * b / s = 4021.24 \text{ mm}^2$$

Untuk tulangan bagi

$$A_s' = 1809.557 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan,

D 22mm

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$s = \pi / 4 * D_2 * b / A_s = 210.06 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan, D22 - 200

$$A_s = \pi / 4 * D_2 * b / s = 1809.56 \text{ mm}^2$$

TULANGAN GESER

Gaya geser ultimit rencana,

$$V_u = 448.46 \text{ kN}$$

$$V_u = 448460 \text{ N}$$

Kuat tekan beton,

$$f_{c'} = 24.9 \text{ MPa}$$

Tebal efektif slab beton,

$$d = 670 \text{ mm}$$

Ditinjau slab selebar,

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$V_c = (\sqrt{f_{c'}}) / 6 * b * d * 10^{-3} = 557215.5 \text{ N}$$

$$f = 0.75$$

$$f * V_c = 417911.66 \text{ N}$$

$f \cdot V_c < V_u \Rightarrow$ Perlu Tulangan Geser

Gaya geser yang dipikul oleh tulangan geser : $V_s = V_u - f \cdot V_c = 30548 \text{ N}$

Untuk tulangan geser digunakan besi tulangan : $D = 13$

Jarak tulangan geser arah y,

$$S_y = 400 \text{ mm}$$

Luas tulangan geser,

$$A_{sv} = \frac{p}{4} \cdot D^2 \cdot \left(\frac{b}{S_y} \right) = 331.831 \text{ mm}^2$$

Jarak tul. geser yang diperlukan,

$$S_x = \frac{A_{sv} \cdot f_y \cdot d}{V_s} = 2838 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan geser : $D = 13$

Jarak Arah x, $S_x = 400 \text{ mm}$

Jarak Arah y, $S_y = 400 \text{ mm}$

PELAT DINDING SAMPING PEMBESIAN TULANGAN LENTUR

Mutu Beton : K-300

Kuat tekan beton, $f_c' = 24.9 \text{ Mpa}$

Mutu Baja : U-39

Tegangan leleh baja $f_y = 390 \text{ Mpa}$

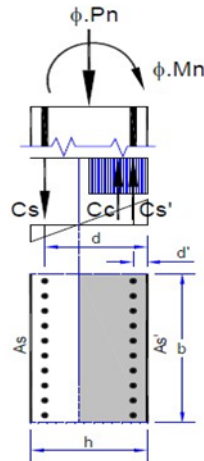
Dimensi Pelat Dinding $B_y = 6.18 \text{ m}$

$h = 0.75 \text{ m}$

Ditinjau Pelat Dinding selebar 1 m :

Lebar Pelat Dinding, $b = 1000 \text{ mm}$

Tebal Pelat Dinding, $h = 750 \text{ mm}$



Luas penampang Pelat Dinding yang ditinjau, $A_g = b \cdot h = 750000 \text{ mm}^2$

P_u = Gaya aksial ultimit pada Pelat Dinding (kN)

M_u = Momen ultimit pada Pelat Dinding (kNm)

$f \cdot P_n = P_u$

$a = \frac{f \cdot P_n}{(f_c' \cdot A_g)} = \frac{P_u \cdot 103}{(f_c' \cdot A_g)}$

$f \cdot M_n = M_u$

$b = \frac{f \cdot M_n}{(f_c' \cdot A_g \cdot h)} = \frac{M_u \cdot 106}{(f_c' \cdot A_g \cdot h)}$

Analisa Struktur *Box Underpass* Jalan Danau Bogor Raya (Katulampa – Kecamatan Bogor Timur) Kota Bogor

HASIL ANALISA BEBAN				UNTUK LEBAR 1M			
No	Kombinasi BEBAN ULTIMIT	P _u (Kn)	M _u (Kn-m)	P _u (Kn)	M _u (Kn-m)	α	β
1	KOMBINASI - 1	592.95	758.27	592.95	758.27	0.032	0.0541
2	KOMBINASI - 2	551.69	685.03	551.69	685.03	0.03	0.0489
3	KOMBINASI - 3	445.79	466.49	445.79	466.49	0.024	0.0333
4	KOMBINASI - 4	591.92	693.31	591.92	693.31	0.032	0.0495
5	KOMBINASI - 5	442.94	463.31	442.94	463.31	0.024	0.0331
6	KOMBINASI - 6	552.50	634.51	552.50	634.51	0.03	0.0453

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton,

$$d' = 80\text{mm}$$

$$h' = h - 2 \cdot d' = 590 \text{ mm}$$

$$h' / h = 0.787$$

Nilai $a = f_p \cdot P_n / (f_c' \cdot A_g)$ dan $b = f \cdot M_n / (f_c' \cdot A_g \cdot h)$ diplot ke dalam diagram interaksi diperoleh,

Rasio tulangan yang diperlukan,

$$\rho = 0.500\%$$

Luas tulangan yang diperlukan :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot h = 3750 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan yang digunakan,

$$D = 32\text{mm}$$

Tulangan tekan

$$D = 25\text{mm}$$

Jarak tulangan yang diperlukan,

$$S = p/4 \cdot D^2 \cdot b / (1/2 \cdot A_s) = 214.47 \text{ mm}$$

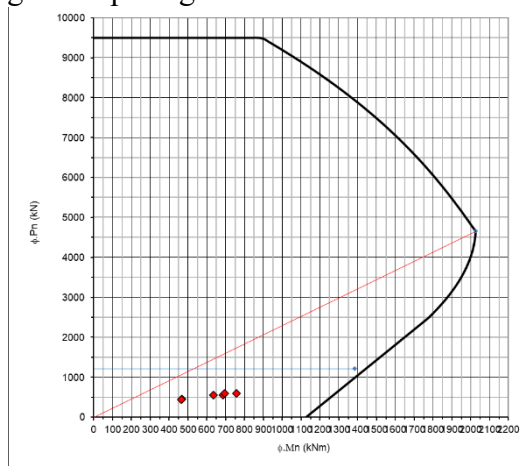
Digunakan :

Tulangan tekan, 1 lapis D 32-200 dan $\rho = 0.54\%$

Tulangan tarik, 1 lapis D 25-200 dan $\rho = 0.33\%$

$$\text{Total} = 0.86\%$$

Diagram interaksi dinding beton pada gambar dibawah ini.



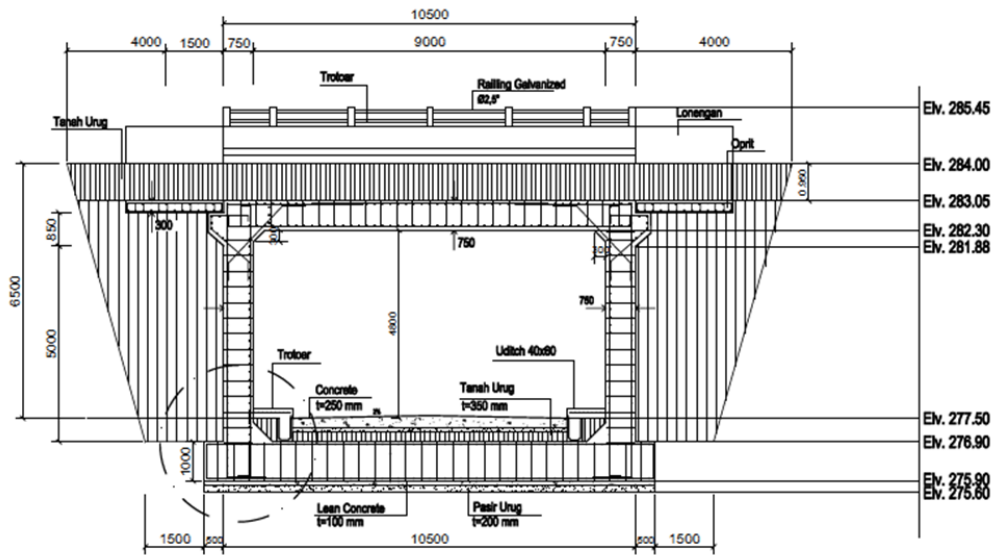
$$1. A^{-1/4} \cdot b \cdot d$$

$$= 1,4 \cdot 1000 \cdot 507 \cdot 392$$

$$= 1810,714 \text{ mm}^2$$

Dari ketiga nilai diatas, dipilih yang terbesar. Maka dipilih nilai luas tulangan sebesar 10048,159 mm². Karena tulangan rangkap, maka dipakai luas

tulangan $5024,080\text{mm}^2$ Tulangan pokok yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 40. Maka jarak antar tulangannya bisa dihitung sebagai berikut. Sistem penulangan pada box culvert terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. Penulangan pada underpass

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut (1) *Box underpass* dirancang dengan menggunakan beton mutu K - 300, dan baja tulangan yang digunakan adalah mutu baja BjTD 40. (2) Dimensi *box underpass* yang dirancang adalah masing - masing setebal 75 cm untuk pelat lantai atas, pelat lantai pondasi tebal 100 cm dan pelat dinding tebal 75 cm. (3) Pada pelat lantai atas, tulangan pokok yang digunakan adalah D32 - 200. Tulangan bagi yang digunakan adalah D22 - 300. (4) Pada pelat lantai pondasi, tulangan pokok yang digunakan adalah D25 - 175. Tulangan bagi yang digunakan adalah D22 - 200. (5) Pada pelat dinding, tulangan pokok yang digunakan adalah D32 - 200. Tulangan bagi yang digunakan adalah D25 - 200. Sedangkan tulangan geser yang digunakan adalah D16 - 400.

BIBLIOGRAFI

- Alamsyah, A. (2022). Perancangan Struktur Atas Jembatan Sei. Lukut Dengan Struktur Komposit (Pembebanan Berdasarkan SNI 1725:2016). *Jurnal TeKLA*, 4(1). <https://doi.org/10.35314/tekla.v4i1.2638>
- Arifin, Z., Suyadi, & Sebayang, S. (2015). Analisis Struktur Gedung POP Hotel Terhadap Beban Gempa Dengan Metode Pushover Analysis. *Jrsdd*, 3(3).
- Cook, R. A. (2002). Design Live Loads on Box Culvert. *University of Florida*.
- Edward, G. N., & Nawy, P. E. (1998). Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar. *Bandung: Refika Aditama*.
- Hasudungan, H. I., & Nurmaidah, N. (2021). Evaluasi perhitungan bangunan atas jembatan komposit. *Journal Of Civil Engineering Building And Transportation*, 5(1), 26–36.

- Ilham, M. N. (2008). Perhitungan Struktur Box Culvert. *Tersedia: Http://Dokumen.Tips/Documents/Desain-Box-Culvertpdf.Html*. [22 Oktober 2015].
- Kasuma, R. S. (2022). Analisis Perbandingan Volume Antara Metode Konvensional Dengan Aplikasi Revit 3D Pada Pekerjaan Box Culvert. *Sondir*, 6(2). <https://doi.org/10.36040/sondir.v6i2.5551>
- Manurung, L. D. M., Sarifah, J., & Simbolon, R. H. T. (2022). Evaluasi Kapasitas Daya Dukung Pondasi Bored Pile Tiang Tunggal Dan Kelompok Pada Proyek Pembangunan box Culvert Bh 14 A, 14 B Lintas Kereta Api Medan-Binjai. *Jurnal Teknik Sipil (JTSIP)*, 1(2), 136–142.
- Najoan, G. T., Lalamentik, L. G. J., & Palenewen, S. C. N. (2022). Analisa Uji Laik Fungsi Jalan Secara Teknis Pada Ruas Jalan Nasional Nomor Ruas 017 Batas Kota Manado–Wori Dari KM 3+ 051 Sampai KM 17+ 502 Di Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 12(3), 225–236.
- Pasaribu, B. C. H., Eratodi, I. G. L. B., Ariawan, P., & Wismantara, I. G. N. N. (2019). Evaluasi Perencanaan Struktur Jembatan Underpass Simpang Tugu Ngurah Rai, Badung, Bali. *Jurnal Ilmiah TELSINAS*, 2.
- Prakasa, M., & Dwiyanto, A. (2017). Perencanaan Underpass Simpang Mandai Makassar Dengan Metode Jacked Box Tunnel. (*Doctoral Dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember*).
- Prastiogo, R. (2023). *Studi Perencanaan Underpass JL. S Supriyadi Gang III Klayatan Kecamatan Sukun Kota Malang*.
- Qosim, M., Priyono, P., & Dewi, I. C. (2016). Perencanaan Struktur Atas Jembatan Jalan Raya Dengan Kontruksi Lengkung Di Sungai Disanah Desa Marparan Kecamatan Sreseh Kabupaten Sampang. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 1(1).
- Raja, E. L., Endayanti, E., & Hutahean, N. (2022). Analisa Perhitungan Struktur Pondasi Tiang Pancang Abutment Jembatan Underpass Jalan Tol (STA 6+850) Pada Proyek Jalan Tol Langkat Sumatera Utara. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(1). <https://doi.org/10.46930/tekniksipil.v11i1.1716>
- Sulaiman, L., & Suppa, R. (2019). Studi Kuat Tekan Beton Recycle Agregat Terhadap Lingkungan Air Laut. *PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, 4(1). https://doi.org/10.51557/pt_jiit.v4i1.210

Copyright holder:

Budiono (2024)

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

