

## PERANCANGAN BEBAN DORONG PADA BOX UNDERPASS

Sulardi<sup>1</sup>

Sigit Dwi Prasetyo<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil & Perencanaan, Universitas Gunadarma

<sup>1,2</sup> Jalan Akses Kelapa Dua Kampus G Universitas Gunadarma Depok

<sup>1</sup>[ardi@satff.gunadarma.ac.id](mailto:ardi@satff.gunadarma.ac.id), <sup>2</sup>[sigitdepe@gmail.com](mailto:sigitdepe@gmail.com)

### Abstrak

Karya ilmiah perancangan 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 kekuatan batas (*ultimate design*). Box underpass dirancang dengan tebal 60 cm untuk pelat lantai atas, pelat lantai pondasi, dan pelat dinding. Bahan yang digunakan adalah beton mutu K-500 dan baja tulangan dengan mutu BjTD 40. Dalam karya ilmiah ini, analisis struktur dilakukan dengan menggunakan metode distribusi momen. Gaya dalam yang didapat digunakan untuk menghitung penulangan dan kontrol *serviceability*. Pada pelat lantai atas, tulangan pokok yang digunakan adalah D36 – 200, sedangkan tulangan bagi yang digunakan adalah D22 – 300. Pada pelat lantai pondasi, tulangan pokok yang digunakan adalah D36 – 250, sedangkan tulangan bagi yang digunakan adalah D22 – 350. Pada pelat dinding, tulangan pokok yang digunakan adalah D32 – 200, tulangan bagi yang digunakan adalah D19 – 350, sedangkan tulangan geser yang digunakan adalah D19 – 500. Untuk memasukkan satu span box underpass dengan panjang 9,3 m masuk ke dalam tanah dibutuhkan beban jacking lebih besar dari 8190,185 kN. Sedangkan untuk setiap penambahan satu span box underpass, diperlukan beban jacking tambahan sebesar 4726,583 kN.

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

### DESIGN OF JACKING FORCE FOR BOX UNDERPASS

#### Abstract

This scientific work about box underpass design has a purpose to design box underpass and design jacking force for box underpass installation. The method of box underpass designing is ultimate design method. Box underpass designed for a 60 cm thick for top slab, foundation slab, and wall plates. And used K-500 quality of concrete, and BjTD 40 quality of reinforcement steel. In this case, structural analysis performed using moment distribution method. Moment, shear, and axial force is used to calculate the reinforcement and control of serviceability. For top slab, main bar used is D36 – 200, while support bar used is D22 – 300. For the foundation slab, main bar used is D36 - 250, while support bar used is D22 – 350. For the wall plate, the main bar used was D32 - 200, support bar used is D19 - 350, while the shear bar used is D19 - 500. For one box underpass installation with 9,3 m length into the soil needed jacking force greater than 8190,185 kN. And for add one span box underpass, required additional jacking force around 4726,583kN.

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

## PENDAHULUAN

Pembangunan *underpass* Cibubur ini dilakukan di bawah jalan tol Jagorawi yang selama proses pengerjaan, jalan tol masih aktif dilalui kendaraan. Disesuaikan dengan kondisi di lapangannya inilah, maka dipilih metode pemasangan box yang sesuai yaitu dengan menggunakan metode jacking box. Dalam jacking system ini struktur dibangun dengan mendorong box tunnel ke dalam tanah dengan sistem hidraulik atau metode jacking untuk mendorong box tunnel masuk tegak lurus ke dalam tanah pada jalur yang telah direncanakan. Pada pemasangan box *underpass* di proyek ini, box didorong dengan menggunakan 8 Push Jack dengan kapasitas 1.000 ton/jack, box yang didorong 10 buah dengan cara bertahap.

Pada penulisan tugas akhir ini, pembahasan dibatasi pada:

1. Merancang beban *jacking* untuk memasukkan *box underpass*.
2. Metode perhitungan yang digunakan adalah metode kekuatan batas (*ultimate design*).
3. Data yang digunakan merupakan data primer dari proyek pembangunan *Box Underpass* Cibubur.

Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk merancang beban *jacking* yang dibutuhkan untuk mendorong *box underpass* atau *box culvert*. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Douglas Allenby. Untuk itu diperlukan penelitian lanjutan untuk melanjutkan atau merevisi penelitian yang sudah ada sebelumnya dengan standar-standar yang sudah diperbaharui.

*Underpass* adalah jalan melintang di bawah jalan lain atau persilangan tidak sebidang dengan membuat terowongan di bawah muka tanah. Diperlukan konstruksi yang tepat dalam pelaksanaan jalan *underpass*. Konstruksi *underpass* merupakan suatu galian dengan konstruksi struktur penahan tanah dalam posisi vertikal. Sistem *box tunnel/box underpass* dipakai pada proyek *underpass*. (tekniksipil.blogspot.com , 2013)

*Box underpass* adalah sebuah panel terowongan dengan ukuran tertentu sebagai tempat lewatnya kendaraan pada *underpass*. *Box underpass* ini harus kedap air dan kedap suara. Kedap air supaya air dari atas tidak merembes ke dalam *box*. Kedap suara supaya suara bising dari lalu lintas di atasnya tidak terdengar sampai ke dalam *box*.

Dalam jacking system ini struktur dibangun dengan mendorong box tunnel ke dalam tanah dengan sistem hidraulik atau metode jacking untuk mendorong Box tunnel masuk tegak lurus ke dalam tanah pada jalur yang telah direncanakan. Sistem ini cocok dilakukan untuk pembangunan *underpass*, dimana di atasnya masih terdapat jalan aktif dan tidak bisa diganggu. Menurut (Anthony Linn, 2008), proses pelaksanaan jacking adalah sebagai berikut :

### 1. Pembangunan Struktur

Operasi dimulai dengan pembangunan struktur di dekat tanggul tempat jacking akan dilakukan. Struktur dibangun pada bidang horizontal yang dilapisi oleh permukaan polythylene, supaya beton tidak bergeser saat di letakkan diatas permukaan. Selain itu, dibangun juga lateral guides untuk mengontrol arah dan pergerakan saat jacking dilakukan. Serta dipersiapkan box tunnel yang akan di dorong oleh hydraulics jack.

### 2. Perkuatan track

*Track* harus dikuatkan sebelum dilakukan operasi jacking dengan penggunaan penguat khusus yang dapat digunakan untuk membentuk bundel rel.

### 3. Pemasangan *manoeuvrebeams*

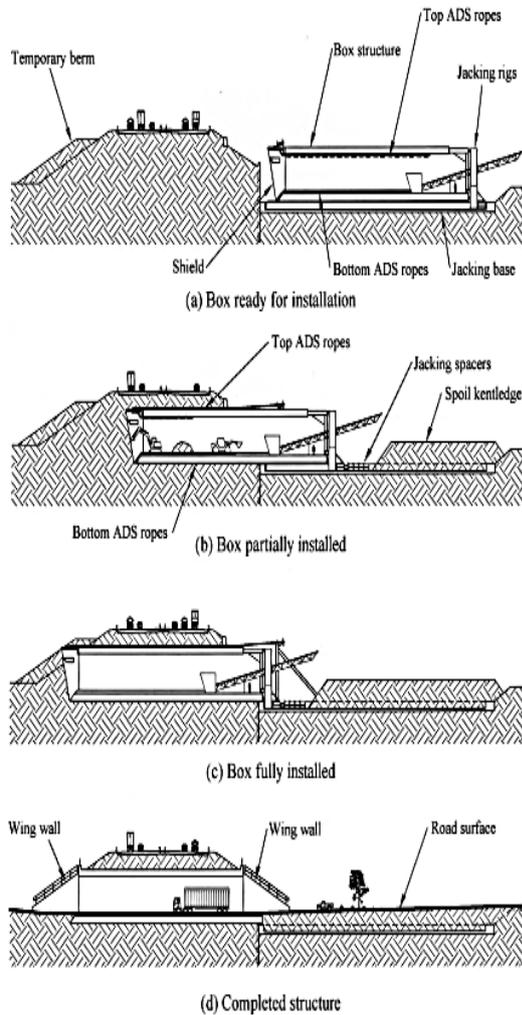
Langkah berikutnya adalah pemasangan *manoeuvrebeams* dengan menggunakan profil logam yang sangat besar yang dapat memindahkan beton saat di jacking dari track.

### 4. Operasi *jacking*

Operasi ini dilakukan dengan menggunakan *hydraulics jacks*. Alat ini akan mendorong *box underpass* ke dalam tanah dengan kekuatan tertentu. Setelah *box* masuk, *hydraulics jacks* ditarik

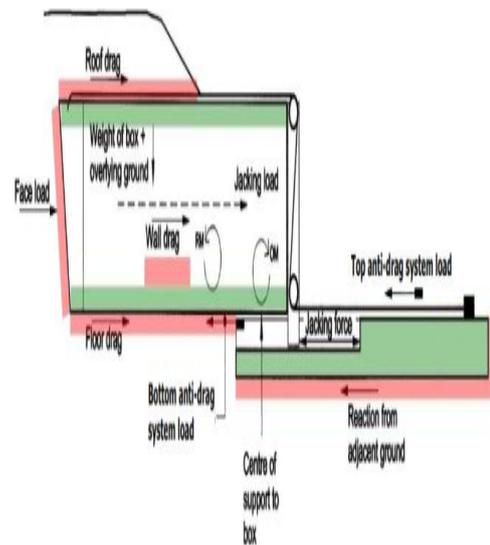
mundur, kemudian dipasang lagi logam pada *track* tersebut untuk memasukkan segmen *box* yang berikutnya. Siklus ini diulang sampai semua segmen masuk ke dalam tanah.

Adapun proses pelaksanaan *jacking box* ini bisa dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Jacking Box System  
Sumber : DR Douglas Allenby (2007)

Untuk dapat mendorong *box* masuk ke dalam tanah, tentu dibutuhkan beban dengan nilai tertentu. Beban ini biasa disebut dengan beban jacking. Beban *jacking* dihitung dengan memperhatikan **Gambar 2**.



**Gambar 2.** Jacked Box Tunnel Installation  
Force

Sumber : DR Douglas Allenby (2007)

$$JF = FL + RD + FD + WD$$

Dimana,

JF : Jacking Force

FL : Face Load

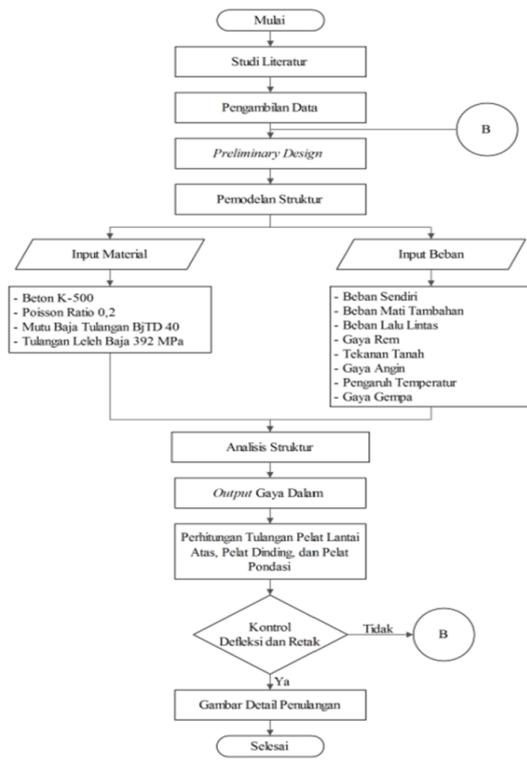
RD : Roof Drag

FD : Floor Drag

WD : Wall Drag

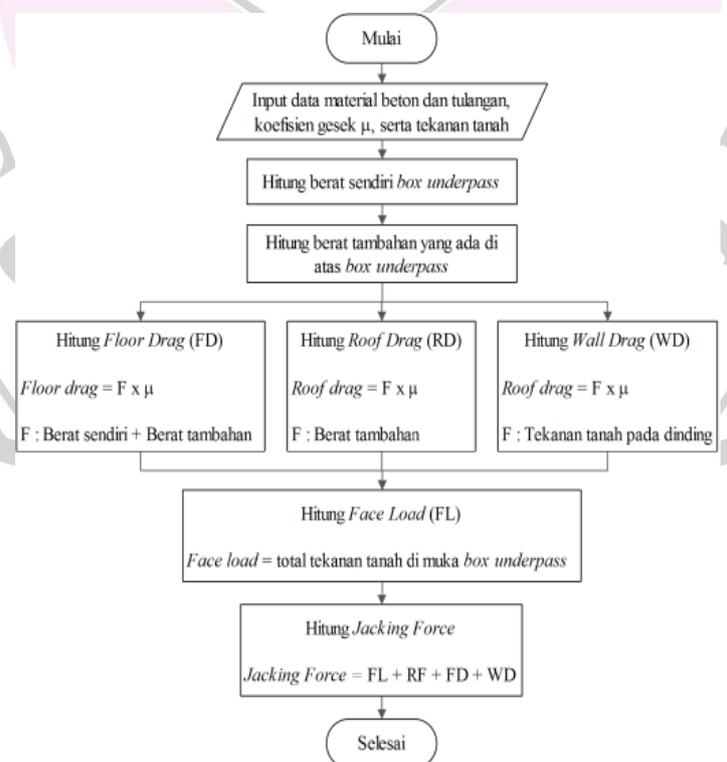
## METODOLOGI PENELITIAN

*Box underpass* direncanakan dengan menggunakan metode kekuatan batas (*ultimate design*). Metode ini dipilih dengan pertimbangan untuk menghindari perbedaan yang tidak diinginkan pada beban, menghindari ketidaktepatan perkiraan pengaruh pembebanan, serta meng-hindari 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 3**.



**Gambar 3.** Diagram Alir Perancangan *Box Underpass*

Beban *jacking* direncanakan untuk kedalaman tanah. Diagram alir perhitungan mengetahui berapa besar beban yang beban *jacking* ini bisa dilihat pada **Gambar 4** dibutuhkan untuk mendorong *box* masuk



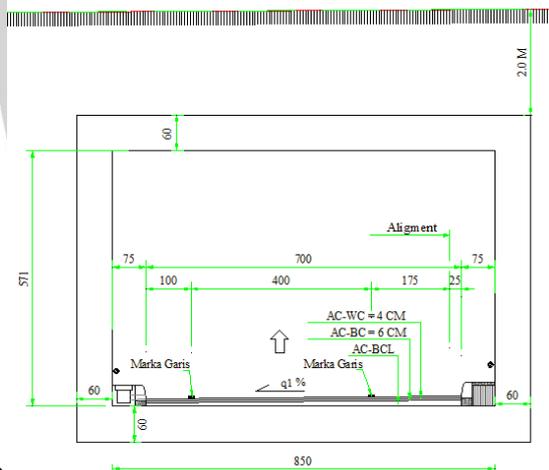
**Gambar 4.** Diagram Alir Perancangan Beban *Jacking Box Underpass*

## HASIL DAN DISKUSI

Berikut adalah denah lokasi dari *box underpass* dan potongan dari *box underpass* yang akan di analisis pada bab ini. denah lokasi bisa dilihat pada **Gambar 5**. Sedangkan potongan *box underpass* bisa dilihat pada **Gambar 6**.

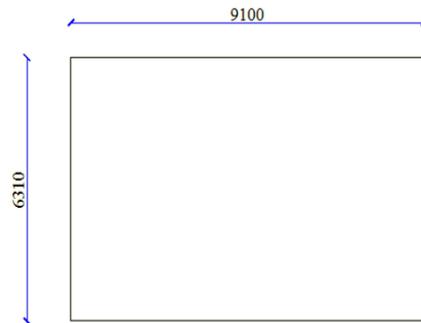


**Gambar 5.** Denah Lokasi Box Underpass



**Gambar 6.** Potongan Struktur Box Underpass

Struktur *box underpass* dimodelkan sebagai suatu *box* dua dimensi, dengan ukuran as ke as dari *box underpass*. Pemodelan *box underpass* dapat dilihat pada **Gambar 7**.



**Gambar 7.** Pemodelan Struktur Box Underpass

### Penulangan Pelat Lantai Atas

Luas tulangan pokok ditentukan dengan memilih nilai yang terbesar dari tiga pilihan berikut.

$$1. A_s = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 41,5 \cdot 111,662 \cdot 1000}{392}$$

$$= 10048,159 \text{ mm}^2$$

$$2. A_s = \frac{\sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d}{4f_y}$$

$$= \frac{\sqrt{41,5}}{4 \cdot 392} \cdot 1000 \cdot 507$$

$$= 2082,984 \text{ mm}^2$$

$$3. A_s = \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1,4}{392} \cdot 1000 \cdot 507$$

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

Dari ketiga nilai diatas, dipilih yang terbesar. Maka dipilih nilai luas tulangan sebesar 10048,159 mm<sup>2</sup>. Karena tulangan rangkap, maka dipakai luas tulangan 5024,080mm<sup>2</sup> Tulangan pokok yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 40. Maka jarak antar tulangannya bisa dihitung sebagai berikut.

$$s \leq \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$\leq \frac{1/4 \cdot 3,14 \cdot 36^2 \cdot 1000}{5024,080}$$

$$\leq 202,496 \text{ mm}$$

Dipilih jarak tulangan sebesar 200 mm. Maka tulangan pokok yang digunakan pada pelat lantai atas adalah D36 – 200.

Luas tulangan bagi yang dibutuhkan yaitu sebesar 20% dari luas tulangan pokok. Maka luas tulangan bagi di dapat sebagai berikut.

$$A_{s,b} = 20\% \cdot A_s$$

$$= 20\% \cdot 5024,080$$

$$= 1004,820 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan bagi  $A_{s,b}$  untuk nilai  $300 \text{ MPa} < f_y < 400 \text{ MPa}$  adalah sebagai berikut.

$$A_{s,b} \geq 0,0018 \cdot b \cdot h$$

$$\geq 0,0018 \cdot 1000 \cdot 600$$

$$\geq 1080 \text{ mm}^2$$

Karena nilai luas tulangan bagi  $A_{s,b}$  yang dihitung lebih kecil dari yang disyaratkan, maka digunakan luas tulangan bagi yang disyaratkan. Tulangan bagi yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 22. Maka jarak antar tulangannya bisa dihitung sebagai berikut.

$$s \leq \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$\leq \frac{1/4 \cdot 3,14 \cdot 22^2 \cdot 1000}{1080}$$

$$\leq 351,796 \text{ mm}$$

Dipilih jarak tulangan sebesar 300 mm. Maka tulangan bagi yang digunakan pada pelat lantai atas adalah D22 – 300.

### Penulangan Pelat Lantai Pondasi

Pertama, melakukan perhitungan daya dukung tanah dengan menggunakan metode Terzaghi dan Tomlinson yang menggunakan data-data dari pengujian laboratorium. Untuk menghitung daya dukung dengan menggunakan metode ini dibutuhkan beberapa faktor daya dukung yang dapat dihitung sesuai dengan persamaan sebagai berikut.

$$N_c = (228 + 4,3 \cdot \phi) / (40 - \phi)$$

$$= (228 + 4,3 \cdot 9) / (40 - 9)$$

$$= 8,603$$

$$N_q = (40 + 5 \cdot \phi) / (40 - \phi)$$

$$= (40 + 5 \cdot 9) / (40 - 9)$$

$$= 2,742$$

$$N_c = (6 \cdot \phi) / (40 - \phi)$$

$$= (6 \cdot 9) / (40 - 9)$$

$$= 1,742$$

Dari faktor daya dukung di atas, maka didapat nilai daya dukung ultimit sesuai dengan persamaan sebagai berikut.

$$q_{ult} = 1,3 \cdot C \cdot N_c + \gamma \cdot Z \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot L \cdot N_\gamma$$

$$= 843,803 \text{ kN/m}^2$$

Dari dua metode di atas, dipilih nilai daya dukung tanah yang paling kecil. Maka dipilih nilai daya dukung tanah sebesar  $843,803 \text{ kN/m}^2$ . Wilayah studi berada di Cibubur, Jakarta. Maka digunakan faktor keamanannya adalah 2,5. Maka didapatkan nilai daya dukung tanah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 q_a &= q_{ult}/2,5 \\
 &= 843,803/2,5 \\
 &= 340,949 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Sebelumnya sudah disebutkan bahwa gaya yang terjadi pada bagian bawah pondasi ( $Q_{BASE}$ ) adalah sebesar 338,703 kN/m untuk bentang tiap meter nya. Jadi dapat ditulis  $Q_{BASE}$  menjadi 338,703 kN/m<sup>2</sup>. Nilai  $Q_{BASE}$  ini dikontrol dengan nilai  $q_a$ . Maka didapat  $Q_{BASE} < q_a$ . Maka dimensi pelat pondasi aman dan sudah cukup untuk digunakan.

Luas tulangan pokok ditentukan dengan memilih nilai yang terbesar dari tiga pilihan berikut.

$$\begin{aligned}
 1. \ A_s &= \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 41,5 \cdot 87,767 \cdot 1000}{392}
 \end{aligned}$$

$$= 7897,912 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 2. \ A_s &= \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{\sqrt{41,5}}{4 \cdot 392} \cdot 1000 \cdot 507 \\
 &= 2082,984 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \ A_s &= \frac{1,4}{f_y} \cdot b \cdot d \\
 &= \frac{1,4}{392} \cdot 1000 \cdot 507 \\
 &= 1810,714 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Dari ketiga nilai diatas, dipilih yang terbesar. Maka dipilih nilai luas tulangan sebesar 7897,912 mm<sup>2</sup>. Dipakai luas tulangan sebesar 3948,956 mm<sup>2</sup>. Tulangan pokok yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 36. Maka jarak antar tulangnya bisa dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 s &\leq \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\
 &\leq \frac{1/4 \cdot 3,14 \cdot 36^2 \cdot 1000}{3948,956}
 \end{aligned}$$

$$\leq 2567,673 \text{ mm}$$

Dipilih jarak tulangan sebesar 250 mm. Maka tulangan pokok yang digunakan pada pelat lantai pondasi adalah D36 – 250.

Luas tulangan bagi yang dibutuhkan yaitu sebesar 20% dari luas tulangan pokok. Maka luas tulangan bagi di dapat sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{s,b} &= 20\% \cdot A_s \\
 &= 20\% \cdot 3948,956 \\
 &= 789,791 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan bagi  $A_{s,b}$  untuk nilai  $300 \text{ MPa} < f_y < 400 \text{ MPa}$  adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 A_{s,b} &\geq 0,0018 \cdot b \cdot h \\
 &\geq 0,0018 \cdot 1000 \cdot 600 \\
 &\geq 1080 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena nilai luas tulangan bagi  $A_{s,b}$  yang dihitung lebih kecil dari yang disyaratkan, maka digunakan luas tulangan bagi yang disyaratkan. Tulangan bagi yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 22. Maka jarak antar tulangnya bisa dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 s &\leq \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\
 &\leq \frac{1/4 \cdot 3,14 \cdot 22^2 \cdot 1000}{1080}
 \end{aligned}$$

$$\leq 351,796 \text{ mm}$$

Dipilih jarak tulangan sebesar 350 mm. Maka tulangan bagi yang digunakan pada pelat lantai pondasi adalah D22 – 350.

### Penulangan Pelat Dinding

Luas tulangan pokok ditentukan dengan memilih nilai yang terbesar dari tiga pilihan berikut.

$$1. A_s = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot a \cdot b}{f_y}$$

$$= \frac{0,85 \cdot 41,5 \cdot 82,368 \cdot 1000}{392}$$

$$= 7412,103 \text{ mm}^2$$

$$2. A_s = \frac{\sqrt{f'_c}}{4f_y} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{\sqrt{41,5}}{4 \cdot 392} \cdot 1000 \cdot 509$$

$$= 2091,201 \text{ mm}^2$$

$$3. A_s = \frac{1,4}{4f_y} \cdot b \cdot d$$

$$= \frac{1,4}{4 \cdot 392} \cdot 1000 \cdot 509$$

$$= 1817,857 \text{ mm}^2$$

Dari ketiga nilai diatas, dipilih yang terbesar. Maka dipilih nilai luas tulangan sebesar 7412,103mm<sup>2</sup>. Luas tulangan ini adalah luas tulangan total. Sedangkan luas tulangan tarik nilainya sama dengan luas tulangan tekan yaitu sebagai berikut.

$$A_1 = A_2 = \frac{A_s}{2}$$

$$= \frac{7412,103}{2}$$

$$= 3706,051 \text{ mm}^2$$

Tulangan pokok yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 32. Maka jarak antar tulangannya bisa dihitung sebagai berikut.

$$s \leq \frac{1/4 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$\leq \frac{1/4 \cdot 3,14 \cdot 32^2 \cdot 1000}{3706,051}$$

$$\leq 216,899 \text{ mm}$$

Dipilih jarak tulangan sebesar 200 mm. Maka tulangan pokok yang digunakan pada pelat dinding adalah D32 – 200.

Luas tulangan bagi yang dibutuhkan yaitu sebesar 20% dari luas tulangan pokok. Maka luas tulangan bagi di dapat sebagai berikut.

$$A_{s,b} = 20\% \cdot A_s$$

$$= 20\% \cdot 7412,103$$

$$= 1482,421 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan bagi A<sub>s,b</sub> untuk nilai 300 MPa < f<sub>y</sub> < 400 MPa adalah sebagai berikut.

$$A_{s,b} \geq 0,0018 \cdot b \cdot h$$

$$\geq 0,0018 \cdot 1000 \cdot 600$$

$$\geq 1080 \text{ mm}^2$$

Karena nilai luas tulangan bagi A<sub>s,b</sub> yang dihitung lebih besar dari yang disyaratkan, maka digunakan luas tulangan bagi hasil hitungan.

$$A_{1,b} = A_{2,b} = \frac{A_{s,b}}{2}$$

$$= \frac{1482,421}{2}$$

$$= 741,210 \text{ mm}^2$$

Tulangan bagi yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 19. Maka jarak antar tulangannya bisa dihitung sebagai berikut.

$$s \leq \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$\leq \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \cdot 1000}{741,210}$$

$$\leq 382,327 \text{ mm}$$

Dipilih jarak tulangan sebesar 350 mm. Maka tulangan bagi yang digunakan pada pelat lantai pondasi adalah D19 – 350.

tulangan geser minimal dengan luas per meter panjang bisa dihitung sebagai berikut.

$$1. A_{v,u} = \frac{b \cdot S}{3 \cdot f_y}$$

$$= \frac{1000 \cdot 1000}{3 \cdot 392}$$

$$= 850,340 \text{ mm}^2$$

$$2. A_{v,u} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b \cdot S}{1200 \cdot f_y}$$

$$= \frac{75 \cdot \sqrt{41,5} \cdot 1000 \cdot 1000}{1200 \cdot 392}$$

$$= 1027,112 \text{ mm}^2$$

Dari kedua nilai diatas, dipilih yang terbesar. Maka dipilih nilai luas tulangan sebesar 1027,112 mm<sup>2</sup>. Tulangan geser yang digunakan adalah tulangan ulir dengan diameter 19. Maka jarak antar tulangnya bisa dihitung sebagai berikut.

$$s \leq \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$\leq \frac{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 19^2 \cdot 1000}{1027,112}$$

$$\leq 551,809 \text{ mm}$$

Ada syarat khusus untuk jarak tulangan geser, yaitu harus memenuhi syarat seperti berikut.

Pasal 9.6.3,  $s_n \geq 1,5 \cdot d_p$  ;  $s_n \geq 1,5 \cdot 19$  ;  $s_n \geq 28,5$

dan  $s_n \geq 40 \text{ mm}$

Pasal 9.10.5.2,  $s \leq 16 \cdot D$  ;  $s \leq 16 \cdot 32$  ;  $s \leq 512$

Dan  $s \leq 48 \cdot d_p$  ;  $s \leq 48 \cdot 19$  ;  $s \leq 912$

Dari hasil perhitungan dan syarat di atas, maka dipilih jarak tulangan sebesar 500 mm. Maka tulangan geser yang digunakan pada pelat dinding adalah D19 – 500.

### Penulangan Pelat Dinding

Dalam pelaksanaannya, *box underpass* di-pasang dengan menggunakan metode *jacking*. Dalam metode ini, dibutuhkan beban *jacking* untuk mendorong *box underpass* masuk ke dalam tanah. Untuk menghitung beban *jacking* tersebut, dihitung terlebih dahulu berat sendiri dari *box underpass*.

Dari perhitungan tulangan pada subbab sebelumnya, didapatkan luas tulangan untuk tiap-tiap komponen dari *box underpass*. Dari data tersebut maka bisa dihitung berat tulangan pada setiap komponen *box underpass*. Lebih lengkapnya, berat tulangan bisa dilihat pada tabel 1–3. Sedangkan untuk berat beton tiap komponen dan berat total dari *box underpass* bisa dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 1. Berat Tulangan Untuk Pelat Lantai Atas

		<b>Pokok</b>	<b>Bagi</b>
Diameter	(mm)	36	22
Jarak Tulangan	(mm)	200	300
Bentang	(mm)	9300	9100
Jumlah Untuk 1 Box	(buah)	93	61
Panjang Tulangan	(m)	846,300	564,200
Berat Tulangan/m	(kg/m)	6,310	2,226
Berat Tulangan	(kg)	5340,153	1255,909
Berat Total	(kg)	6596,062	
Volume	(m <sup>3</sup> )	0,861	0,214
Volume Total	(m <sup>3</sup> )	1,075	

Tabel 2. Berat Tulangan Untuk Pelat Lantai Pondasi

		<b>Pokok</b>	<b>Bagi</b>
Diameter	(mm)	36	22
Jarak Tulangan	(mm)	250	350
Bentang	(mm)	9300	9100
Jumlah Untuk 1 Box	(buah)	74	52
Panjang Tulangan	(m)	677,040	483,600
Berat Tulangan/m	(kg/m)	7,990	2,226
Berat Tulangan	(kg)	5409,550	1076,494
Berat Total	(kg)	6486,043	
Volume	(m <sup>3</sup> )	0,689	0,184
Volume Total	(m <sup>3</sup> )	0,873	

Tabel 3. Berat Tulangan Untuk Pelat Dinding Kanan dan kiri

		<b>Pokok</b>	<b>Bagi</b>	<b>Geser</b>
Diameter	(mm)	32	19	19
Jarak Tulangan	(mm)	200	350	500
Bentang	(mm)	9300	6310	6310
Jumlah Untuk 1 Box	(buah)	93	36	13
Panjang Tulangan	(m)	586,830	335,331	249,876
Berat Tulangan/m	(kg/m)	6,310	2,226	2,226
Berat Tulangan	(kg)	3702,897	746,448	556,224
Berat Total	(kg)	5005,569		
Volume	(m <sup>3</sup> )	0,472	0,095	0,071
Volume Total	(m <sup>3</sup> )	0,638		

**Tabel 4.** Berat Struktur *Box Underpass*

		Pelat Lantai Atas	Pelat Lantai Pondasi	Pelat Dinding Kanan	Pelat Dinding Kiri
Tebal	(m)	0,6	0,6	0,6	0,6
Bentang	(m)	9,1	9,1	6,31	6,31
Panjang	(m)	9,3	9,3	9,3	9,3
Volume Kotor	(m <sup>3</sup> )	50,778	50,778	35,210	35,210
Volume Tulangan	(m <sup>3</sup> )	1,075	0,873	0,638	0,638
Volume Beton Bersih	(m <sup>3</sup> )	49,703	49,905	34,572	34,572
Berat Beton	(kg)	119286,351	119773,122	82973,385	82973,385
Berat Tulangan	(kg)	6596,062	6486,043	5005,569	5005,569
Berat Total	(kg)	125882,413	126259,165	87978,954	87978,954
TOTAL	(kg)	428099,485			

Jadi berat total untuk satu *box underpass* dengan bentang 9,3 m adalah 428099,485 kg. Atau setara dengan 4199,656kN. Selain berat struktur itu sendiri, dibutuhkan

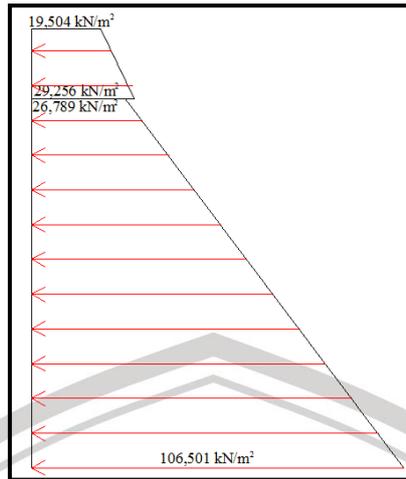
berat tambahan yang menimpa struktur. Untuk berat tambahan ini bisa dilihat pada **Tabel 5.**

**Tabel 5.** Berat Tambahan di Atas *Box Underpass*

No.	Jenis	Volume (m)	Berat (kN/m <sup>3</sup> )	Berat Total (kN)
1.	Tanah	180,420	12,32	2222,774
2.	Lapisan aspal	20,748	22	456,463
3.	Air hujan	20,748	9,8	203,333
Total				2882,570

Berat struktur dan beban tambahan yang menimpa struktur digunakan untuk menghitung gaya gesek pada atap dan lantai *box underpass*. Sedangkan untuk gaya gesek pada dinding dan gaya beban muka (*face load*)

didapat dari nilai tekanan tanah yang sudah dijelaskan sebelumnya. Dimana tekanan tanahnya bisa diilustrasikan pada **Gambar 8.**



**Gambar 8.** Tekanan Tanah Pada *Box Underpass*

Data-data yang telah disebutkan di atas digunakan untuk menghitung gaya gesek pada dinding, lantai dan atap *box underpass*, serta menghitung beban yang ada di muka *box under-pass*.

**Roof Drag (RD)**

*Roof drag* atau gaya gesek pada atap *box underpass* bisa dihitung sebagai berikut.

$$Roof\ drag = F \cdot \mu$$

Dimana F adalah gaya atau berat yang menimpa atap *box*. Dalam hal ini adalah beban tambahan, yaitu 2882,570 kN. Sehingga *roof drag* bisa dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Roof\ drag &= 2882,570 \cdot 0,35 \\ &= 1008,9\ kN \end{aligned}$$

**Floor Drag (FD)**

*Floor drag* atau gaya gesek pada atap *box underpass* bisa dihitung sebagai berikut.

$$Floor\ drag = F \cdot \mu$$

Dimana F adalah berat sendiri ditambah beban tambahan. Sehingga nilai F bisa dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} F &= \text{berat sendiri} + \text{beban tambahan} \\ &= 4199,656 + 2882,570 \\ &= 7082,226\ kN \end{aligned}$$

Sehingga *floor drag* bisa dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Floor\ drag &= 7082,226 \cdot 0,35 \\ &= 2478,779\ kN \end{aligned}$$

**Wall Drag (WD)**

*Wall drag* atau gaya gesek pada atap *box underpass* bisa dihitung sebagai berikut.

$$Wall\ drag = F \cdot \mu$$

Dimana F adalah gaya yang tegak lurus terhadap dinding *box* yaitu tekanan tanah. Pada gambar 5.31 diilustrasikan besarnya tekanan tanah pada *box*. Sehingga nilai F bisa dihitung dengan menghitung luasan diagram pada gambar 5.34 dikalikan dengan panjang bentang yang diuji.

$$\begin{aligned} F &= (24,380 + 356,236) \cdot 9,3 \\ &= 3539,725\ kN \end{aligned}$$

Sehingga *wall drag* bisa dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Wall\ drag &= 3539,725 \cdot 0,35 \\ &= 1238,904\ kN \end{aligned}$$

**Face Load (FL)**

*Face load* adalah berat total yang ada di muka *box underpass*. Dimana gaya tersebut

adalah gaya yang tegak lurus terhadap muka *box* yaitu tekanan tanah. Sama seperti gaya pada *wall drag*, gaya pada muka *box* bisa dihitung dengan menghitung luasan diagram pada gambar 5.34 dikalikan dengan panjang bentang yang diuji.

$$\begin{aligned} \text{Face Load} &= (24,380+356,236) \cdot 9,1 \\ &= 3463,602 \text{ kN} \end{aligned}$$

### Beban Jacking

Beban *Jacking* bisa dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Beban jacking} &= \text{FL} + \text{RD} + \text{FD} + \text{WD} \\ &= 3463,602 + 1008,9 + \\ &2478,779 + 1238,904 \end{aligned}$$

$$= 8190,185 \text{ kN}$$

Maka untuk memasukkan satu *span box underpass* dengan panjang 9,3 m, maka dibutuhkan beban *jacking* lebih besar dari 8190,185 kN.

Pada perencanaannya ada 10 *box underpass* yang dimasukkan dengan total panjang 93m. Untuk menambah tiap satu *span box underpass*, maka dibutuhkan beban *jacking* tambahan. Adapun beban *jacking* yang dibutuhkan untuk tiap penambahan 1 *span box underpass* sampai terpasang 10 *span box underpass*, dapat dilihat seperti yang tertera pada

**Tabel 6.**

**Tabel 6.** Beban *Jacking* untuk Tiap Jumlah *Span Box Underpass*

Jumlah <i>Box Underpass</i>	<i>Roof Drag</i> (kN)	<i>Floor Drag</i> (kN)	<i>Wall Drag</i> (kN)	<i>Face Load</i> (kN)	Beban <i>Jacking</i> (kN)
1	1008,900	2478,779	1238,904	3463,602	8190,185
2	2017,799	4957,558	2477,808	3463,602	12916,767
3	3026,699	7436,338	3716,711	3463,602	17643,350
4	4035,598	9915,117	4955,615	3463,602	22369,933
5	5044,498	12393,896	6194,519	3463,602	27096,515
6	6053,398	14872,675	7433,423	3463,602	31823,098
7	7062,297	17351,454	8672,327	3463,602	36549,680
8	8071,197	19830,234	9911,230	3463,602	41276,263
9	9080,097	22309,013	11150,134	3463,602	46002,846
10	10088,996	24787,792	12389,038	3463,602	50729,428

Dari **Tabel 6** dapat dilihat bahwa tiap penambahan satu *span box underpass*, dibutuhkan beban *jacking* tambahan sebesar 4726,583 kN.

### SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. *Box underpass* dirancang dengan menggunakan beton mutu K-500, dan baja

tulangan yang digunakan adalah mutu baja BjTD 40.

2. Dimensi *box underpass* yang dirancang adalah masing-masing setebal 60 cm untuk pelat lantai atas, pelat lantai pondasi, dan pelat dinding.
3. Pada pelat lantai atas, tulangan pokok yang digunakan adalah D36-200. Tulangan bagi yang digunakan adalah D22-300.
4. Pada pelat lantai pondasi, tulangan pokok yang digunakan adalah D36-250. Tulangan bagi yang digunakan adalah D22-350.
5. Pada pelat dinding, tulangan pokok yang digunakan adalah D32-200. Tulangan

bagi yang digunakan adalah D19–350. Sedangkan tulangan geser yang digunakan adalah D19–500.

6. Untuk memasukkan satu span box underpass dengan panjang 9,3 m masuk ke dalam tanah dibutuhkan beban jacking lebih besar dari 8190,185 kN. Sedangkan untuk setiap penambahan satu span box underpass, diperlukan beban jacking tambahan sebesar 4726,583 kN.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Allenby, Douglas. 2007. *Jacked Box Tunneling*. Institution of Mechanical Engineering.
- Asroni, Ali. *Balok Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- Asroni, Ali. 2010. *Kolom Fondasi & Balok T Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Badan Standar Nasional. 2002. *Baja Tulangan Beton*. SNI 07-2052-2002 .
- Badan Standar Nasional. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2002.
- Badan Standar Nasional. 2005. *Pembebanan Untuk Jembatan*. RSNI T-02-2005.
- Badan Standar Nasional. 2010. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. RSNI3 03-1726-2010.
- Cook, Ronald A. 2002. *Design Live Loads on Box Culvert*. University of Florida
- Iqbal, Agus. *Dasar-dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. Jakarta: PT. Mediataman Saptakarya, 1995.
- MacKechnie, Christopher. *The Two Different Methods of Subway Construction. Public Transport*. [edited 2013]. Available from : <http://publictransport.about.com/od/Glossary/a/The-Two-Methods-Of-Subway-Construction.htm>
- Nawy, Edward G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. New Jersey: Universitas Negeri New Jersey