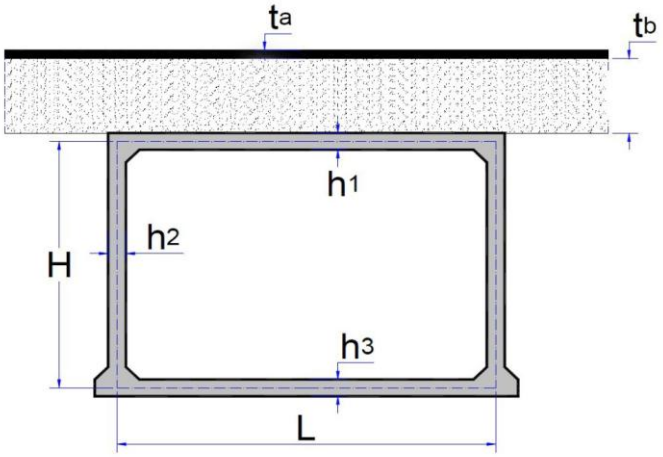
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 PENDAHULUAN

Penghitungan beban dorong pada box *underpass* terlebih dahulu dilakukan dengan membuat desain awal box *underpass* itu sendiri, agar dapat diketahui berapa berat sendiri dari box *underpass* tersebut. Berat sendiri box *underpass* terdiri dari berat material beton ditambah dengan tulangan pada sisi atas, bawah, samping kiri dan samping kanan . Selain itu, beban-beban tambahan lain juga akan dihitung, sehingga didapat hasil penghitungan yang tepat (sesuai dengan SNI Pembebanan Jembatan 2005). *Box underpass* direncanakan dengan menggunakan metode kekuatan batas (*ultimate design*). Metode ini dipilih dengan pertimbangan untuk menghidari perbedaan yang tidak diinginkan pada beban, menghidari ketidaktepatan perkiraan pengaruh pembebanan, serta menghindari jika terjadi perbedaan ketepatan dimensi pada saat pelaksanaan.

4.2 DATA UNDERPASS



Gambar 4.1 Ilustrasi Penampang Underpass

(Sumber : Perhitungan Struktur Underpass)

Tebal lapisan overlay + aspal	**ta** = 0.10 m
Tebal lapisan tanah	**tb** = 1.00 m
Tinggi genangan air hujan	**th** = 0.05 m
Tebal plat atas	**h1** = 0.50 m
Tebal plat dinding	**h2** = 0.50 m
Tebal plat bawah	**h3** = 0.50 m
Lebar underpass	**L** = 8.50 m
Tinggi underpass	**H** = 6.00 m
Panjang satu span underpass	= 10.00 m

4.3 BAHAN STRUKTUR

4.3.1 Beton

Mutu beton :	K - 300
Kuat tekan beton	fc' = 0.83 * K / 10 = 24.90 MPa
Modulus elastik	Ec = 0.043 *(wc)1.5 * √ fc' = 26821 MPa
Angka poisson	= 0.2
Modulus geser	G = Ec / [2*(1 + u)] = 11175 Mpa
Koefisien muai panjang beton,	α = 1.0E-05 / ºC

4.3.2 Baja

Baja tulangan dengan Ø > 12 mm	:	U - 39
Tegangan leleh baja,		fy =U*10 = 390 MPa
Baja tulangan dengan Ø H 12 mm	:	U - 24
Tegangan leleh baja,		fy = U*10 = 240 Mpa

Tabel 4.1 Berat Tulangan Berdasarkan Diameter

Jenis Tulangan	Berat per m (kg)
D10	0,617
D13	1,042
D16	1,578
D19	2,226
D22	2,984
D25	3,853
D29	5,185
D32	6,313
D36	7,990

(Sumber : https://sanggapramana.files.wordpress.com/2010/08/tabel-1.png?w=604)

4.3.3 Berat Spesifik (kN/M^3)

Berat beton bertulang **wc** = 25.00

Berat beton tidak bertulang **w'c** = 24.00

Berat tanah **wb** = 16.80

Berat aspal padat **wa** = 22.00

Berat jenis air **ww** = 9.80

Berat tanah dipadatkan **ws** = 17.20

4.4 ANALISIS BEBAN

Beban-beban yang sudah dihitung dikalikan dengan faktor beban ultimitnya, karena analisis beban ini menggunakan metode kekuatan batas.

4.4.1 Berat Sendiri

Faktor beban ultimit : **KMS = 1.3**

Ditinjau struktur underpass selebar b = 1.00 m

Tebal plat atas h1 = 0.50 m

Tebal plat dinding h2 = 0.50 m

Tinggi plat dinding H = 6.00 m

Berat beton bertulang wc = 25.00 kN/m3

Berat sendiri plat atas QMS = b * h1 * wc = 12.50 kN/m

Berat sendiri plat dinding PMS = b * h12 * H * wc = 75.00 kN

4.4.2 Beban Mati Tambahan

Faktor beban ultimit **KMA = 2.0**

Tabel 4.2 Berat Jenis Beban Tambahan

Jenis	Tebal (m)	Berat (kN/m3)	Beban (kN/m)
Lapisan Aspal	0.10	22.0	2.200
Air Hujan	0.05	9.8	0.490
Base Course	1.00	20.0	12.000

Beban mati tambahan : QMA = 22.690 kN/m

4.4.3 Beban Truk

Faktor beban ultimit : **KTT = 2.0**

Beban hidup berupa beban roda ganda oleh Truk (beban T) yang besarnya, T = 100 kN

Faktor beban dinamis untuk pembebanan truk diambil, DLA = 0.3

Beban truk "T" : PTT = (1 + DLA) * T = 130.000 kN

4.4.4 Tekanan Tanah

Faktor beban ultimit **KTA = 1.25**

Berat tanah, ws = 16.8 kN/m3

Sudut gesek dalam, Φ = 35 °

Faktor reduksi untuk sudut gesek dalam, KΦR = 0.7

Φ' = tan-1 (KΦR * tan Φ) = 0.455733 rad = 26.112 °

Koefisien tekanan tanah aktif, Ka = tan2 (45° - Φ' / 2) = 0.388773

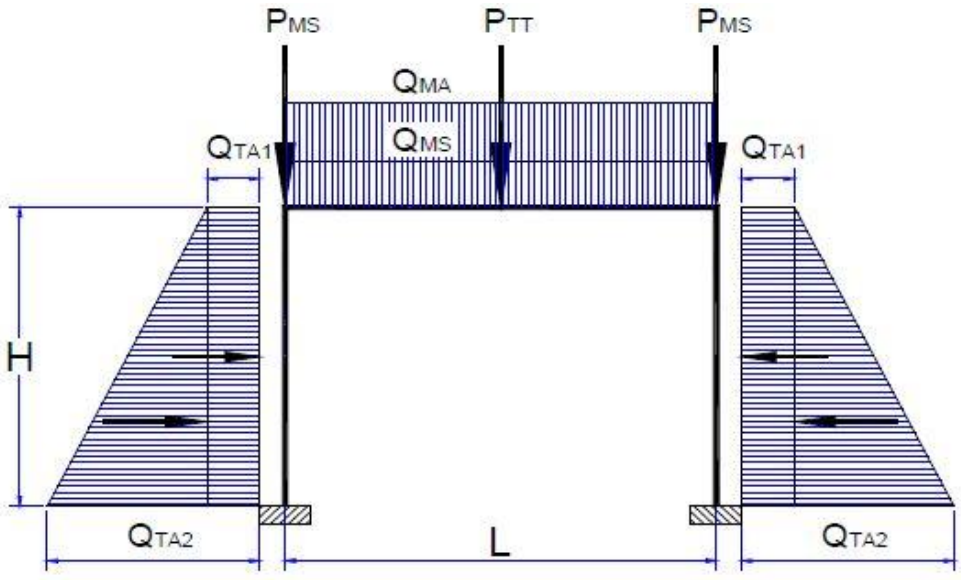
Beban tekanan tanah pada plat dinding,

QTA1 = QMA * Ka = 5.711 kN/m

QTA2 = QTA1 + H * γ * Ka = 12.242 kN/m

4.5 ANALISIS MEKANIKA STRUKTUR

Analisis mekanika struktur dilakukan dgn komputer menggunakan Program SAP2000 dengan pemodelan Portal 2D untuk mendapatkan nilai momen, gaya aksial, dan gaya geser.



Gambar 4.2 Ilustrasi Pembebanan Pada Box Underpass
(Sumber : Perhitungan Struktur Underpass)

4.6 GAYA AKSIAL, MOMEN, DAN GAYA GESER ULTIMIT

Berikut adalah hasil analisis portal underpass dengan menggunakan software SAP2000. Karena menggunakan metode kekuatan batas (*ultimate design*), maka dipilih nilai maksimal (ultimit) untuk perencanaan.

Tabel 4.3 Gaya Aksial, Momen, dan Gaya Geser

TABLE: Element Forces - Frames						
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
1	0	COMB1	Combination	-388.115	-52.729	-145.393
1	3	COMB1	Combination	-388.115	-92.952	76.2645
1	6	COMB1	Combination	-388.115	-120.634	399.779
2	0	COMB1	Combination	-388.115	52.729	145.3925
2	3	COMB1	Combination	-388.115	92.952	-76.2645
2	6	COMB1	Combination	-388.115	120.634	-399.779
3	0	COMB1	Combination	-120.634	-310.115	-399.779
3	0.47	COMB1	Combination	-120.634	-290.102	-258.061
3	0.94	COMB1	Combination	-120.634	-270.089	-125.794
3	1.42	COMB1	Combination	-120.634	-250.077	-2.9765
3	1.89	COMB1	Combination	-120.634	-230.064	110.39
3	2.36	COMB1	Combination	-120.634	-210.051	214.306
3	2.83	COMB1	Combination	-120.634	-190.038	308.7716
3	3.31	COMB1	Combination	-120.634	-170.026	393.7867
3	3.78	COMB1	Combination	-120.634	-150.013	469.3513
3	4.25	COMB1	Combination	-120.634	-130	535.4654
3	4.25	COMB1	Combination	-120.634	130	535.4654
3	4.72	COMB1	Combination	-120.634	150.013	469.3513
3	5.19	COMB1	Combination	-120.634	170.026	393.7867
3	5.67	COMB1	Combination	-120.634	190.038	308.7716
3	6.14	COMB1	Combination	-120.634	210.051	214.306
3	6.61	COMB1	Combination	-120.634	230.064	110.39
3	7.08	COMB1	Combination	-120.634	250.077	-2.9765
3	7.56	COMB1	Combination	-120.634	270.089	-125.794
3	8.03	COMB1	Combination	-120.634	290.102	-258.061
3	8.5	COMB1	Combination	-120.634	310.115	-399.779

Momen ultimit rencana untuk plat atas : **Mu** = 535.465 kNm

Untuk plat dinding : **Pu** = 388.115 kN **Mu** = 399.779 kNm

4.7 PEMBESIAN PLAT ATAS

Momen rencana ultimit slab, Mu = 535.465 kNm

Mutu beton : K - 300

Kuat tekan beton, fc' = 24.90 MPa

Mutu baja : U - 39

Tegangan leleh baja, fy = 390 MPa

Tebal slab beton, h = 500 mm

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, d' = 45 mm

Modulus elastis baja, Es = 2.00E+05

Faktor bentuk distribusi tegangan beton, $\beta 1 = 0.85$

$\rho b = \beta 1 * 0.85 * fc' / fy * 600 / (600 + fy) = 0.027957$

$Rmax = 0.75 * \rho b * fy * [1 - ½ * 0.75 * \rho b * fy / (0.85 * fc')] = 6.597664$

Faktor reduksi kekuatan lentur, $\Phi = 0.80$

Momen rencana ultimit, Mu = 535.465 kNm

Tebal efektif slab beton, d = h - d' = 455 mm

Ditinjau slab beton selebar 1 m, b = 1000 mm

Momen nominal rencana, $Mn = Mu / \Phi = 669.332$ kNm

Faktor tahanan momen, $Rn = Mn * 10\text{-}6 / (b * d2) = 3.23310$

Rn < Rmax (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

$\rho = 0.85 * fc' / fy * [1 - \sqrt{} [1 - 2 * Rn / (0.85 * fc')] = 0.00904$

Rasio tulangan minimum, ρ min = 25%*(1.4 / fy) = 0.00090

Rasio tulangan yang digunakan, $\rho = 0.00904$

Luas tulangan perlu, As = ρ * b * d = 4114.79 mm2

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

Jarak tulangan perlu, s = Π / 4 * D2 * b / As = 119.295 mm

Digunakan tulangan, **D 25 - 100**

As = Π / 4 * D2 * b / s = 4909 mm2

Tulangan bagi diambil 30% tulangan pokok, As' = 30%*As = 1234 mm2

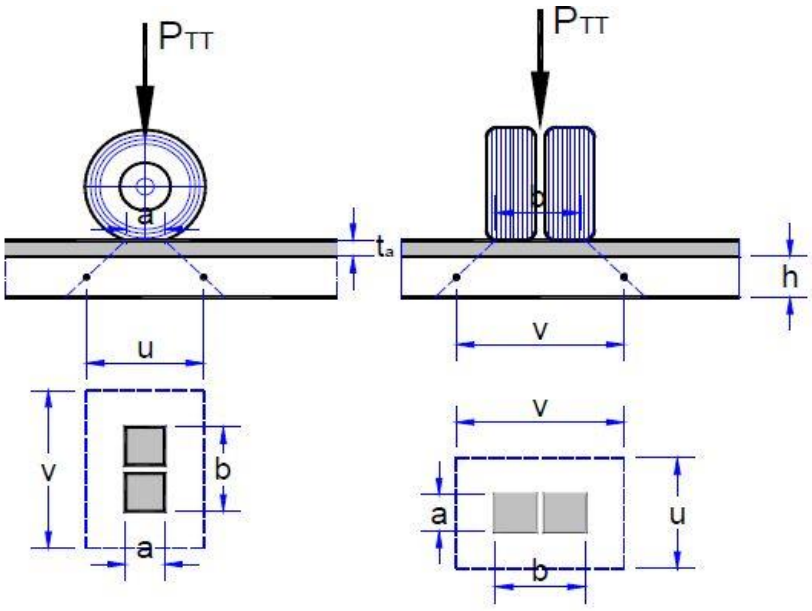
Diameter tulangan yang digunakan, D 16 mm

Jarak tulangan perlu, s = Π / 4 * D2 * b / As = 162.877 mm

Digunakan tulangan, **D 16 - 150**

As = Π / 4 * D2 * b / s = 1340 mm2

4.8 KONTROL KUAT GESER PONS (DUA ARAH)



Gambar 4.3 Ilustrasi Beban Roda Truk

(Sumber : Perhitungan Struktur Underpass)

Mutu Beton : K - 300

Kuat tekan beton, fc' = 24.9 MPa

Kuat geser pons yang disyaratkan, fv = 0.3 * √ fc' = 1.497 MPa

Faktor reduksi kekuatan geser, Ø = 0.60

Beban roda truk pada slab, PTT = 130.000 kN = 130000 N

h = 0.50 m a = 0.30 m

ta = 0.10 m b = 0.50 m

u = a + 2 * ta + h = 1 m = 1000 mm

v = b + 2 * ta + h = 1.2 m = 1200 mm

Tebal efektif plat, d = 455 mm

Luas bidang geser pons, Av = 2 * (u + h) * d = 2002000 mm2

Gaya geser pons nominal, Pn = Av * fv *10-3 = 2996.988 kN

Kekuatan slab terhadap geser pons, Φ * Pn = 1798.193 kN

Faktor beban ultimit, KTT = 2.0

Beban ultimit roda truk pada slab, Pu = KTT * PTT*10-3 = 260.000 kN

Pu < Φ*Pn

AMAN

4.9 PEMBESIAN PLAT DINDING

Gaya aksial ultimit rencana, Pu = 388.115 kN

Momen ultimit rencana, Mu = 399.779 kNm

Mutu Beton : K - 300

Kuat tekan beton : fc' = 24.9 MPa

Ditinjau dinding selebar 1 m, b = 1000 mm

Tebal dinding, h = 500 mm

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, d' = 45 mm

h' = h - 2*d' = 410 mm

h' / h = 0.82

Ag = b * h = 500000 mm2

α = Pu / (fc'.Ag) = 0.031174

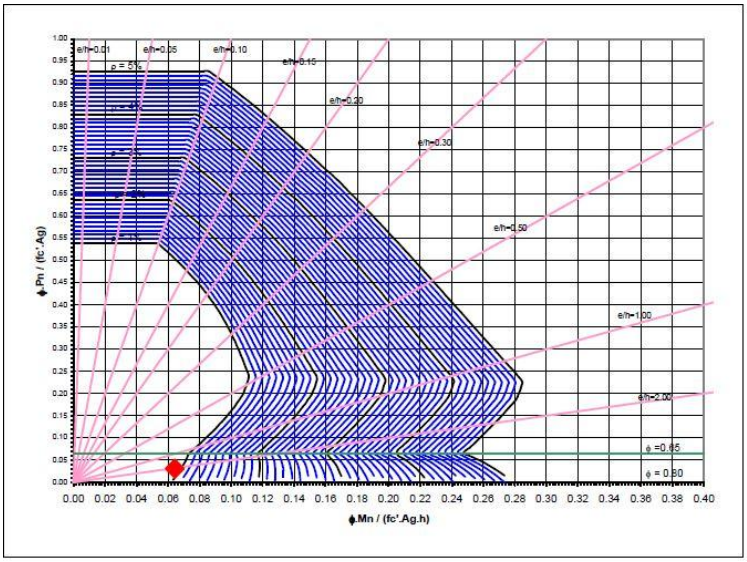
β = Mu / (fc'.Ag.h) = 0.064222

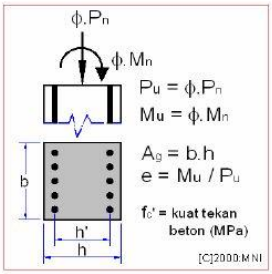
Nilai α dan β diplot ke dalam diagram interaksi diperoleh,

Rasio tulangan yang diperlukan, ρ = 1.0%

Luas tulangan yang diperlukan : As = ρ * b * h = 5000 mm2

Diameter tulangan yang digunakan, D = 25 mm





β	α
0.06422153	0.0311739

Activate Windows

Gambar 4.4. Diagram Interaksi

Tulangan tekan dibuat sama dengan tulangan tarik :

As (tekan) = As (tarik) = 1/2* As = 2500 mm2

Jarak tulangan yang diperlukan, s = Π/4*D2*b /(1/2*As) = 196 mm

Digunakan :

Tulangan tekan : **D 25 – 150 sebanyak 1 lapis**

Tulangan tarik : **D 25 – 150 sebanyak 1 lapis**

4.10 DAYA DUKUNG PONDASI

TANAH DASAR FOOTPLAT

Berat volume tanah, ws = 16.8 kN/m3

Sudut gesek dalam, Φ = 18 °

Kohesi tanah, C = 0.01 kg/cm2

DIMENSI PONDASI

Lebar pondasi B = 9.00 m

Kedalaman pondasi H = 6.00 m

4.10.1 Menurut Meyerhoff (Data Pengujian Sondir)

Daya dukung ijin tanah, qa = qc / 33 * [(B + 0.30) / B]2 * Kd (kg/cm2)

Kd = 1 + 0.33 * H / B $\leq$ 1.33

qc = nilai konus pada kedalaman H, qc = 84 kg/cm2

B = Lebar pondasi footplat, B = 9.00 m

H = Kedalaman pondasi footplat, H = 6.00 m

Kd = 1 + 0.33 * H / B = 1.22

Diambil, Kd = 1.22

qa = qc / 33 * [(B + 0.30) / B]2 * Kd = 3.316 kg/cm2

Daya dukung ijin tanah, **qa = 331.5935 kN/m2**

4.10.2 Menurut Bowles (Data Pengujian SPT)

Daya dukung ijin tanah, qa = 12.5 * N * [(B + 0.3) / B]2 * Kd (kN/m2)

Kd = 1 + 0.33 * H / B 1.33

N = nilai SPT hasil pengujian (pukulan/30 cm), N = 21

B = Lebar fondasi footplat, B = 9.00 m

H = Kedalaman fondasi footplat, H = 6.00 m

Kd = 1 + 0.33 * H / B = 1.22

Diambil, Kd = 1.22

qa = 12.5 * N * [(B + 0.3) / B]2 * Kd = 341.9558 kN/m2

4.10.3 Menurut Terzaghi & Tomlinson (Data Pengujian Lab)

qult = 1.3 * C * Nc + γ * H * Nq + 0.6 * γ * B * Nγ

H = Kedalaman fondasi footplat, H = 6.00 m

B = Lebar fondasi footplat, B = 9.00 m

Parameter kekuatan tanah di dasar sumuran,

γ = berat volume tanah, γ = 16.80 kN/m3

Φ = sudut gesek dalam, Φ = 18 °

C = kohesi, C = 0.01 kg/cm2 C = 1 kN/m2

Faktor daya dukung menurut Thomlinson :

Nc = (228 + 4.3*Φ) / (40 - Φ) = 14

Nq = (40 + 5*Φ) / (40 - Φ) = 6

Nγ = (6*Φ) / (40 - Φ) = 5

qult = 1.3 * C * Nc + γ * H * Nq + 0.6 * γ * B * Nγ = 1059 kN/m2

Angka aman, SF = 3

qa = qult / SF = 353.0118 kN/m2

4.10.4 Kontrol Daya Dukung Pondasi

Tabel 4.4 Kapasitas Dukung Tanah

No	Kapasitas Dukung Tanah	qa (Kn/m2)
1	Pengujian sondir	332
2	Pengujian SPT	342
3	Pengujian Lab	353
Daya dukung tanah terkecil		332
Diambil daya dukung izin tanah		**330**

Ditinjau plat dasar selebar, b = 1.00 m

Gaya reaksi satu dinding, P1 = 388.115 kN

Beban ultimit pada tanah dasar, Pu = 2 * P1 = 776.230 kN

Panjang plat dasar, L = 6.00 m

Tegangan ultimit pada dasar pondasi, Qu = Pu / (b * L) = 129.3717 kN/m2

Qu < qa

AMAN

4.11 PEMBESIAN PLAT BAWAH

Momen ultimit rencana pada plat bawah,

Mu = 1/12 * Qu * L2 = 388.115 kNm

Mutu beton : K - 300

Kuat tekan beton, fc' = 24.90 MPa

Mutu baja : U - 39

Tegangan leleh baja, fy = 390 MPa

Tebal slab beton, h = 500 mm

Jarak tulangan terhadap sisi luar beton, d' = 45 mm

Modulus elastis baja, Es = 2.00E+05

Faktor bentuk distribusi tegangan beton, β1 = 0 .8 5

ρb = β1* 0.85 * fc'/ fy * 600 / (600 + fy) = 0.027957

Rmax = 0.75 * ρb * fy * [1 – ½*0.75* ρb * fy / (0.85 * fc')] = 6.597664

Faktor reduksi kekuatan lentur, Φ = 0.80

Momen rencana ultimit, Mu = 388.115 kNm

Tebal efektif slab beton, d = h - d' = 455 mm

Ditinjau slab beton selebar 1 m, b = 1000 mm

Momen nominal rencana, Mn = Mu / Φ = 485.144 kNm

Faktor tahanan momen, Rn = Mn * 10-6 / (b * d2) = 2.34341

Rn < Rmax (OK)

Rasio tulangan yang diperlukan :

ρ = 0.85 * fc' / fy * [1 - √ * [1 – 2 * Rn / (0.85 * fc')] = 0.00638

Rasio tulangan minimum, ρ min = 25%*(1.4 / fy) = 0.00090

Rasio tulangan yang digunakan, ρ = 0.00638

Luas tulangan yang diperlukan, As = ρ b * d = 2904.84 mm2

Diameter tulangan yang digunakan, D 25 mm

Jarak tulangan yang diperlukan, s = Π / 4 * D2 * b / As = 168.985 mm

Digunakan tulangan : D 25 - 150

As = Π / 4 * D2 * b / s = 3272 mm2

Tulangan bagi diambil 30% tulangan pokok, As' = 30%*As = 871 mm2

Diameter tulangan yang digunakan, D 16 mm

Jarak tulangan yang diperlukan, s = Π / 4 * D2 * b / As = 230.721 mm

Digunakan tulangan, **D 16 - 200**

As = Π / 4 * D2 * b / s = 1005 mm2

4.12 BERAT TOTAL STRUKTUR DAN BERAT TAMBAHAN

Setelah dihitung pembesian untuk atap, dinding, dan dasar box underpass, maka dapat diketahui berapa berat total dari struktur. Serta untuk beban tambahan juga dapat dihitung, sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya dikalikan dengan berat isi masing-masing (sesuai dengan SNI 2005).

4.12.1 Berat Tulangan Pada Plat Lantai Atas

Tabel 4.5 Berat Tulangan Plat Atas

	Tulangan Pokok	Tulangan Bagi
Diameter (mm)	25	16
Jarak Tulangan (mm)	100	150
Bentang (mm)	10000	8500
Jumlah Untuk 1 Box (buah)	100	57
Panjang Tulangan (m)	850	570
Berat Tulangan (Kg/m)	3.853	1.578
Berat Tulangan (Kg)	3275.05	899.46
Berat Total (Kg)	4174.51	
Volume (m3)	0.417	0.114
Volume Total (m3)	0.561	

Didapatkan hasil berat total tulangan plat atas adalah **4174.51 kg** , dengan volume total **0.561 m3**

4.12.2 Berat Tulangan Pada Plat Lantai Pondasi

Tabel 4.6 Berat Tulangan Plat Pondasi

	Tulangan Pokok	Tulangan Bagi
Diameter (mm)	25	16
Jarak Tulangan (mm)	150	200
Bentang (mm)	10000	8500
Jumlah Untuk 1 Box (buah)	67	43
Panjang Tulangan (m)	569.5	430
Berat Tulangan (Kg/m)	3,853	1,578
Berat Tulangan (Kg)	2194.283	678.54
Berat Total (Kg)	2872.823	
Volume (m3)	0.279	0.086
Volume Total (m3)	0.365	

Didapatkan hasil berat total tulangan plat pondasi adalah **2872.823 kg** , dengan volume total **0.365 m3**

4.12.3 Berat Tulangan Pada Plat Dinding

Tabel 4.7 Berat Tulangan Plat Dinding

	Tulangan Tekan	Tulangan Tarik
Diameter (mm)	25	25
Jarak Tulangan (mm)	150	150
Bentang (mm)	10000	6000
Jumlah Untuk 1 Box (buah)	67	40
Panjang Tulangan (m)	402	400
Berat Tulangan (Kg/m)	3.853	3.853
Berat Tulangan (Kg)	1548.9	1541.2
Berat Total (Kg)	3090.1	
Volume (m3)	0.197	0.196
Volume Total (m3)	0.393	

Didapatkan hasil berat total tulangan plat dinding kiri dan kanan adalah **3090.1 kg** , dengan volume total **0.393 m3**

4.12.4 Berat Struktur Box Underpass dan Berat Tambahan

Tabel 4.8 Berat Total Struktur

	Plat Lantai Atas	**Plat Lantai Pondasi**	**Plat Dinding Kiri**	**Plat Dinding Kanan**
Tebal (m)	0.5	0.5	0.5	0.5
Bentang (m)	8.5	8.5	6	6
Panjang (m)	10	10	10	10
Volume Kotor (m3)	42.5	42.5	30	30
Volume Tulangan (m3)	0.561	0.365	0.393	0.393
Volume Beton Bersih (m3)	41.939	42.135	29.607	29.607
Berat Beton (kg)	100653.6	101124	71056.8	71056.8
Berat Tulangan (kg)	4174.51	2872.823	3090.1	3090.1
Berat Total (kg)	104828.11	103996.82	74146.9	74146.9
TOTAL (kg)	**357118.73**			

Jadi berat total untuk satu box underpass dengan bentang 10 meter adalah **357118.73 Kg** atau setara dengan **3502.14 kN**. Selain berat struktur itu sendiri, dibutuhkan beban tambahan lain yang menimpa struktur. Untuk beban tambahan tersebut sudah ditentukan pada sub-bab sebelumnya, yaitu base-course, lapisan aspal, dan genangan air hujan.

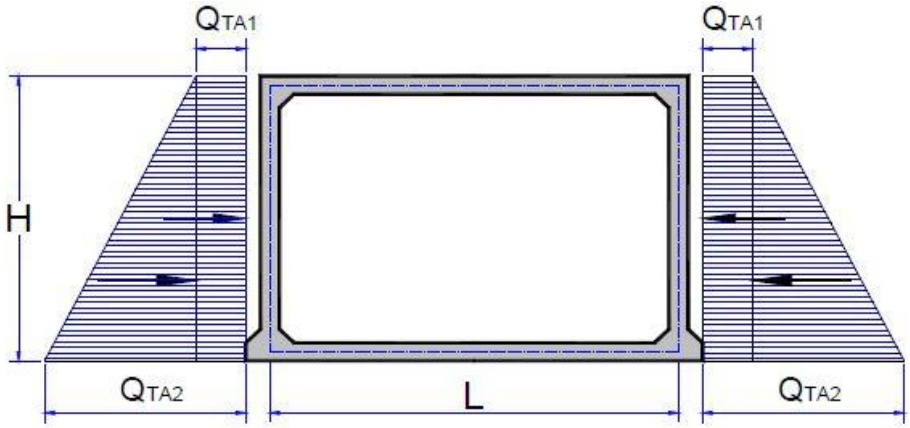
Berat tambahan dihitung sesuai luasan dan ketebalan lapisan diatas box underpass. Untuk berat tambahan tersebut dapat dilihat pada table dibawah :

Tabel 4.9 Beban Tambahan

No	Jenis	Volume (m3)	Berat (kN/m3)	Berat total (kN)
1	Base Course	43.2	20	864
2	Aspal	7.2	22	158.4
3	Air Hujan	3.6	9.8	35.28
TOTAL				**1057.68**

4.13 TEKANAN TANAH PADA BOX UNDERPASS

Berat struktur dan beban tambahan digunakan untuk menghitung gaya gesek pada atap dan lantai underpass. Sedangkan gaya gesek pada dinding dan gaya beban muka (*face load*) didapat dari nilai tekanan tanah. Untuk tekanan tanah dapat diilustrasikan sebagai berikut :



Gambar 4.5 Ilustrasi Tekanan Tanah
(Sumber : Perhitungan Struktur Underpass)

Dimana diagram tekanan tanah total adalah berbentuk trapezium, dengan Q_{TA1} adalah akibat beban merata dari Q_{MA} (beban mati tambahan) dan Q_{TA2} dikurangi Q_{TA1} adalah akibat tekanan dari tanah itu sendiri. Untuk menghitung total tekanan tanah tersebut adalah gabungan dari E_{A1} (segitiga oleh tanah) dan E_{A2} (segiempat oleh beban merata). Untuk titik tangkap E_{A1} terletak pada 1/3 dari H (tinggi plat dinding underpass) dan titik tangkap E_{A2} terletak pada ½ dari H.

Penghitungan total tekanan tanah tersebut adalah sebagai berikut :

E_{A1} = ½ * (H * γ * Ka) * H

= **½ * H^2 * γ * Ka**

E_{A2} = **H * q * Ka**

Dimana :

H adalah tinggi underpass sebesar **6 meter**, **q** adalah beban mati tambahan (Q_{MA}) sebesar **14.69 kN/m**, **Ka** adalah koefisien tekanan tanah aktif sebesar **0.388773**, dan **γ** adalah berat volume tanah sebesar **16.8 kN/m^3**.

Dari rumus penghitungan dan data diatas, maka dapat dihitung total tekanan tanah yang bekerja pada box underpass adalah sebagai berikut :

E_{A1} = ½ * H^2 * γ * Ka

= ½ * $(6\ m)^2$ * 16.8 kN/m^3 * 0.388773

= **117.56 kN/m**

E_{A2} = H * q * Ka

= 6 m * 14.69 kN/m * 0.388773

= **34.26 kN/m**

Maka total tekanan tanah adalah :

$E_{A1} + E_{A2}$ = 117.56 kN/m + 34.26 kN/m = **151.82 kN/m**

4.14 MENGHITUNG GAYA GESEK PADA BOX UNDERPASS

Data-data yang sudah didapatkan diatas digunakan untuk menghitung berapa besar gaya gesekan yang terjadi saat *box underpass* di dorong (*jacking*) ke dalam tanah. Data tekanan tanah dibutuhkan untuk menghitung gaya gesek pada dinting *underpass* dan juga gaya yang berada pada bagian depan *box underpass*. Sedangkan berat sendiri struktur dan beban tambahan digunakan untuk menghitung gaya gesekan pada atap dan bagian lantai *box underpass*. Ditentukan koefisien gesek antara tanah dan beton (μ) adalah sebesar 0.5

4.14.1 *Roof Drag* (RD)

Roof Drag atau gaya gesek pada bagian atap underpass dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

RD = F * **μ**

Dimana RD adalah Roof Drag, F adalah gaya atau berat yang menimpa atap box (dalam hal ini adalah beban tambahan, yaitu **1057.68 kN)**, dan μ adalah koefisien gesek.

RD = 1057.68 kN * 0.5

RD = **528.84 kN**

4.14.2 Floor Drag (FD)

Floor Drag atau gaya gesek pada bagian lantai underpass dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

FD = F * **μ**

Dimana FD adalah Floor Drag, F adalah berat sendiri ditambah berat tambahan, dan μ adalah koefisien gesek.

FD = (3502.14 kN + 1057.68 kN) * 0.5 = **2279.91 kN**

4.14.3 Wall Drag (WD)

Wall Drag atau gaya gesek pada bagian dinding underpass dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

WD = **F *** μ

Dimana WD adalah Wall Drag, F adalah gaya yang tegak lurus terhadap dinding box yaitu tekanan tanah dikalikan dengan panjang bentang yang akan diuji, dan μ adalah koefisien gesek. Tekanan tanah sudah dihitung pada sub-bab sebelumnya yaitu **151.82 kN/m,** dan dengan bentang box underpass sepanjang 10 meter, maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

F = 151.82 kN/m * 10 m = 1518.2 kN

WD = 1518.2 kN * 0.5

WD = **759.1 kN**

4.14.4 Face Load (FL)

Face Load adalah berat total yang berada di depan box underpass. Dimana gaya tersebut adalah gaya yang tegak lurus terhadap muka box, yaitu tekanan tanah. Hampir sama seperti gaya pada Wall Drag, tekanan tanah dikalikan dengan panjang benda yang diuji, pada Face Load berarti panjang benda uji adalah sama dengan lebar box underpass yaitu 9 meter.

FL = 151.82 kN/m * 9 m

FL = **1366.38 kN**

4.15 MENGHITUNG BEBAN JACKING

Beban dorong (jacking) dapat dihitung dengan menjumlahkan seluruh beban gesekan yang terjadi pada box underpass. Untuk beban jacking tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

BEBAN JACKING = FL + RD + FD + WD

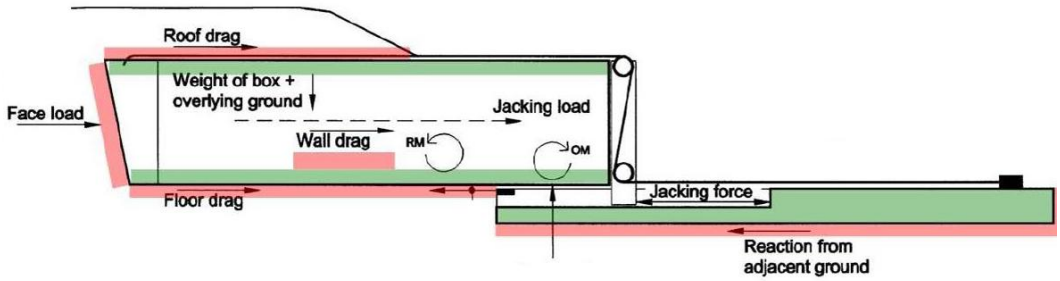
= 1366.38 + 528.84 + 2279.91 + 759.1

= **4934.23 kN**

Maka dapat disimpulkan untuk mendorong satu buah box underpass sepanjang 10 meter ke dalam tanah dibutuhkan beban jacking lebih besar dari **4934.23 kN**.

4.16 STABILITAS GULING

Beban dorong (*jacking force*) yang bekerja pada *box underpass* dapat mengakibatkan terjadinya momen guling (*Overturning Moment* / OM). Momen guling ini dapat mengakibatkan keruntuhan pada struktur *box underpass* yang didorong. Adapun momen yang menahan terjadinya keruntuhan disebut momen penahan (*Restoring Moment* / RM). Momen penahan ini berasal dari berat sendiri struktur dan juga beban diatasnya. Angka faktor aman terhadap guling antara struktur dan tanah ditentukan 1,5.



Gambar 4.6 Ilustrasi Momen yang Bekerja

(Sumber : *Jacked Box Tunneling*, Dr. Douglas Allenby)

RM = 4560 kN x 10 m = 45600 kN.m

OM = 4934.23 kN x 6 m = 29605.38 kN.m

(RM / OM) > 1,5

(45600 / 29605.38) > 1,5

1,54 > 1,5 **(Struktur aman terhadap guling)**