



PT. TRIMITRA MAJU PERSADA

Jl. Pattene Raya Komplek Pergudangan Pattene

Business Park (Pattene 88) Blok M No. 1

T. (0411) - 4836086

E. tmp.trimitra@gmail.com

SURAT PERMOHONAN

PT. TRIMITRA MAJU PERSADA memohon kepada staff pendidik Universitas Tarumanagara dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember untuk melaksanakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat, yaitu membantu analisis tulangan pada beton pracetak untuk drainase/saluran air:

1. Dr. Daniel Christianto, S.T., M.T. (Universitas Tarumanagara)
2. Ir Sunarjo Leman, M.T. (Universitas Tarumanagara)
3. Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D. (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
4. Yenny Untari Liucius, S.T., M.T. (Universitas Tarumanagara)

Makassar, 12 September 2022


PT. TRIMITRA MAJU PERSADA

Martin Suprijadi, S.T., M.T.

LAPORAN

**ANALISIS TULANGAN PADA BETON PRACETAK
COVER, U-DITCH, DAN BOX CULVERT**

PT. TRIMITRA MAJU PERSADA

OLEH:

Dr. Daniel Christianto, S.T., M.T.

Prof. Tavio, S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Sunarjo Leman, M.T.

Yenny Untari Liucius, S.T., M.T.

Anugerah Tiffanyputri, S.T.

Ricardo Hendrawan

September 2022

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR TABEL	iii
KATA PENGANTAR	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	2
BAB 3 ANALISIS	7
3.1 Data Analisis	7
3.2 Pemodelan Analisa <i>Box Culvert</i>	9
BAB 4 HASIL ANALISIS	21
BAB 5 KESIMPULAN	23
DAFTAR PUSTAKA	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penampang persegi pada kondisi seimbang	2
Gambar 2.2 Penampang seimbang dan penampang terkendali tarik	4
Gambar 3.1. Penutup U-ditch.....	7
Gambar 3.2. U-ditch.....	7
Gambar 3.3 Box Culvert	8

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Dimensi Penutup U-ditch.....	7
Tabel 3.2 Dimensi U-ditch.....	7
Tabel 3.3 Dimensi Box Culvert	8
Tabel 4.1 Hasil analisis penulangan penutup saluran U-ditch	21
Tabel 4.2. Perbandingan analisis penulangan U-ditch dengan data AeT1.....	21
Tabel 4.3. Perbandingan analisis penulangan Box Culvert dengan data AeT1	22

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap syukur kepada Tuhan yang Maha Kuasa, kami dapat menyelesaikan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini tentang kebutuhan analisis tulangan longitudinal pada struktur beton bertulang untuk drainase/saluran air, yang terdiri dari *cover*, *u-ditch*, serta *box culvert*.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilakukan sebagai bagian dari kegiatan Tridharma Perguruan Tinggi yang wajib dilakukan oleh pendidik di lingkungan Perguruan Tinggi. Hasil kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini diharapkan dapat memberikan membantu pengembangan kebutuhan sarana infrastruktur berupa drainase/saluran air yang efisien sehingga bermanfaat bagi masyarakat.

Dengan terselesaikannya kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, kami juga mengucapkan banyak terima kasih kepada PT. Trimitra Maju Persada yang telah melibatkan tim pengabdian kepada masyarakat untuk kegiatan ini yang terdiri dari tenaga pendidik Universitas Tarumanagara dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Jakarta, September 2022

Tim PKM PT

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini seiring terus berkembangnya zaman, beton menjadi salah satu unsur yang penting dalam dunia konstruksi. Beton sering digunakan karena sudah terbukti kelebihanannya daripada bahan konstruksi yang lainnya antara lain mudah dibentuk serta kuat tekan beton relatif lebih tinggi dari yang lain, bahan pembuat beton mudah didapat, ketahanan yang relative tinggi terhadap api dan air, biaya pemeliharaan yang relatif rendah, dan lain-lain.

Beton memang terkenal sebagai bahan konstruksi yang kuat terhadap gaya tekan, namun beton juga memiliki kelemahan yang menjadi kekurangan dan perlu dipertimbangkan lagi antara lain memiliki kuat tarik yang sangat rendah. Hal ini dapat menimbulkan keretakan yang lama kelamaan akan memicu terjadinya keruntuhan sehingga harus ditambahkan tulangan baja untuk menahan tarik.

Karena kemudahan dalam pembentukannya maka struktur beton banyak digunakan untuk saluran/drainase. Dan PT. Trimitra Maju Persada melibatkan Laboratorium Konstruksi dan Teknologi Beton untuk menganalisis kekuatan saluran / drainase yang akan banyak digunakan.

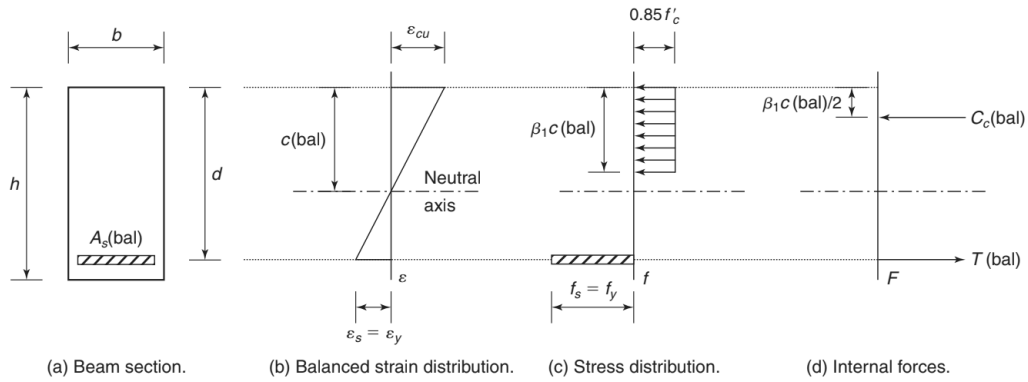
Untuk itu program studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, membentuk tim kerja untuk analisis saluran beton bertulang, sebagai berikut:

Koordinator Tim	: Dr. Daniel Christianto, S.T., M.T.
Chief Engineer	: Prof. Tavo, S.T., M.T., Ph.D.
Anggota Tim	: Ir Sunarjo Leman, M.T.
	Yenny Untari Liucius, S.T., M.T
	Anugerah Tiffanyputri, S.T.
	Ricardo Hendrawan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Konsisi seimbang tercapai apabila tulangan baja luluh pada saat beton telah mencapai regangan ultimitnya sebesar 3.10^{-3} , artinya pada saat ini tulangan baja mencapai regangan luluhnya, $\epsilon_y (= f_y/E_s)$.



Gambar 2.1 Penampang persegi pada kondisi seimbang

Dari diagram regangan pada Gambar 2.1, maka dengan menggunakan perbandingan segitiga akan diperoleh hubungan berikut:

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s}$$

Atau jika nilai E_s diambil sebesar 200.000 Mpa, maka:

$$c_b = \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) d$$

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya, maka dapat dituliskan:

$$C = T$$

$$0,85 f_y a_b b = A_{sb} f_y$$

Atau jika dituliskan untuk nilai a_b :

$$a_b = \frac{A_{sb} \times f_y}{0,85 f_c' b}$$

Persentase tulangan yang dibutuhkan untuk menghasilkan kondisi seimbang disebut sebagai rasio tulangan seimbang, ρ_b . Nilai ρ_b sama dengan luas tulangan baja dibagi dengan luas penampang efektif:

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b \times d}$$

Dengan:

b = lebar penampang

d = jarak dari serat tekan terluar ke titik berat tulangan baja 3acto

Substitusikan nilai A_{sb} ke dalam persamaan di atas:

$$0,85 f'_c a_b b = f_y \rho_b b d$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'_c}{d \times f_y}; a_b = \frac{0,85 f_y}{d \times f_y}; \beta_1 = c_b$$

Selanjutnya substitusikan nilai c_b dari persamaan di atas untuk mendapatkan persamaan umum rasio tulangan seimbang, ρ_b .

$$\rho_b = 0,85 \times \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

Secara umum, momen nominal dari suatu balok persegi bertulangan tunggal dihitung dengan mengalikan nilai C atau T dengan jarak antara kedua gaya tersebut, maka:

$$M_n = C \cdot z = T \cdot z$$

atau

$$M_n = 0,85 f'_c a b \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

Nilai a, dihitung terlebih dahulu. Untuk memperoleh besarnya kuat rencana, ϕM_n , maka kuat momen nominal, M_n , harus direduksi dengan cara dikalikan dengan 3actor reduksi ϕ :

$$\phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = \phi A_s f_y \left(d - \frac{A_s f_y}{1,7 f'_c \times b} \right)$$

Persamaan tersebut dapat dituliskan secara ringkas menjadi:

$$\phi M_n = R_u b d^2$$

dengan

$$R_u = \phi \rho f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1,7 f'_c} \right)$$

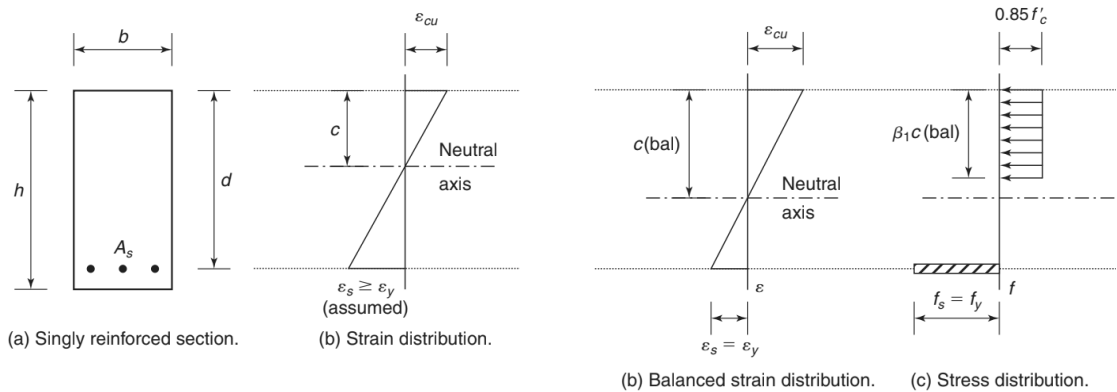
Selanjutnya akan ditinjau 4actor4 persentase tulangan baja yang diizinkan dalam suatu komponen struktur lentur, balok persegi bertulangan tunggal. Sebelum tahun 2002, ACI menyatakan bahwa tulangan 4acto maksimum yang diizinkan bagi sebuah balok adalah sebesar 0,75 kali luas tulangan baja pada kondisi seimbang. Hal serupa dianut pula pada SNI Beton Indonesia 03-2847:2002. Namun dalam edisi terakhir ACI 318M-11 atau SNI 2847:2013 pasal 10.3.5 disyaratkan bahwa nilai ϵ_s pada kondisi kuat lentur nominal harus lebih besar atau sama dengan 0,004. Syarat ini berlaku untuk balok beton non-prategang serta komponen struktur yang memikul beban aksial kurang dari $0,1 f'_c A_g$.

Regangan penampang pada kondisi seimbang ditunjukkan dalam dari hubungan yang sudah diturunkan sebelumnya diperoleh:

$$c_b = \frac{a_b}{\beta_1} = \frac{A_{sb} \times f_y}{0,85 f'_c \beta_1 b} = \frac{\rho_b f_y d}{0,85 f'_c \beta_1}$$

Dengan cara yang 4actor4 diperoleh pula hubungan:

$$c = \frac{\rho f_y d}{0,85 f'_c \beta_1}$$



Gambar 2.2 Penampang seimbang dan penampang terkendali 4acto

Dari kedua persamaan tersebut dapat dinyatakan perbandingan antara c dan

C_b .

$$\frac{c}{c_b} = \frac{\rho}{\rho_b}$$

Apabila kedua ruas dibagi dengan d, maka diperoleh:

$$\frac{c}{d} = \frac{\rho}{\rho_b} \frac{c_b}{d}$$

Dari gambar dengan menggunakan perbandingan segitiga, didapatkan persamaan :

$$\frac{c}{d} = \frac{0,003}{0,003 + \varepsilon_s}$$

Dan dapat didapatkan pula:

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s}$$

Selanjutnya:

$$\frac{c}{d} = \frac{\rho}{\rho_b} \frac{c_b}{d} = \frac{\rho}{\rho_b} \left(\frac{0,003}{0,003 + f_y/E_s} \right)$$

Substitusikan kedua persamaan dan susun 5actor5 persamaan sehingga diperoleh hubungan berikut

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \frac{0,003 + f_y/E_s}{0,003 + \varepsilon_s}$$

Dalam hasil desain balok atau komponen struktur lentur lainnya, batasan maksimum rasio tulangan dapat diambil dengan nilai $\varepsilon_s = 0,003$, sehingga dapat diasumsikan:

$$\rho_{maks} = \left(\frac{0,003 + f_y/E_s}{0,003} \right) \rho_b$$

Jika tulangan baja mempunyai $f_y = 400$ MPa dan $E_s = 200.000$ MPa, maka $\rho_{maks} = 0,625$. Dengan menggunakan kapasitas tersebut, maka penampang akan dikategorikan sebagai penampang terkendali tarik, dan nilai faktor reduksi ϕ dapat diambil sebesar 0,9. Sedangkan balok atau komponen struktur dengan $\rho > \rho_{maks}$, akan menghasilkan ε_t yang kurang dari 0,005. Pasal 10.3 dari SNI 2847:2013 mensyaratkan nilai ε_t , tidak boleh kurang dari 0,004, untuk menjamin tingkat daktilitas serta memperlihatkan tanda-tanda yang Nampak secara visual sebelum

terjadi keruntuhan. Bila nilai ε_t diambil sebesar 0,004, maka persamaan akan menjadi:

$$\frac{\rho}{\rho_b} = \frac{0,003 + f_y/E_s}{0,007}$$

ACI 318M-19 membuat Batasan rasio maksimum tulangan Tarik yaitu regangan Tarik sama dengan 2,5 kali regangan leleh, sehingga untuk mutu baja $f_y = 400$ MPA maka $\rho_{max} = 0,625 \rho_{bal}$ sedangkan untuk rasio tulangan minimum, ACI 318M-19 membatasi luas tulangan minimum harus merupakan yang terbesar dari:

$$A_{s_{min}} = 0,25 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w \cdot d$$

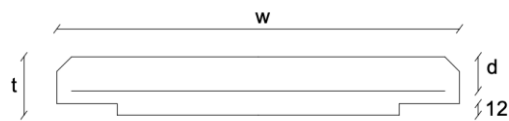
$$A_{s_{min}} = \frac{1,4}{f_y} b_w \cdot d$$

BAB 3

ANALISIS

3.1 Data Analysis

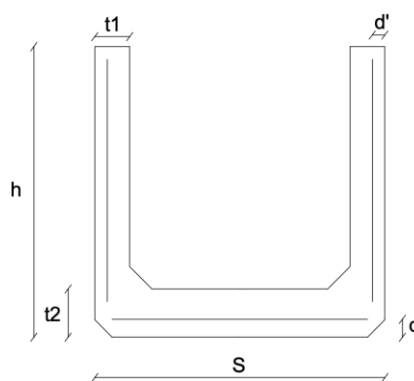
Data - data untuk elemen beton pracetak penutup saluran (Gambar 3.1 dan Tabel 3.1) dan saluran u-ditch (Gambar 3.2 dan Tabel 3.2), serta box culvert (Gambar 3.3 dan Tabel 3.3) adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1. Penutup U-ditch

Tabel 3.1 Dimensi Penutup U-ditch

Type	w (mm)	t (mm)	weight (kg)
CLU 30	400	60	40
CLU 40	500	80	70
CLU 60	740	100	110
CLU 80	940	120	145
CLU 100	1170	120	205
CHU 120	1440	180	360
CLU 150	1720	160	425

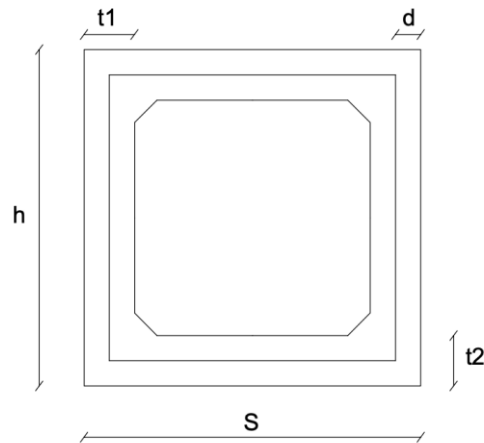


Gambar 3.2. U-ditch

Tabel 3.2 Dimensi U-ditch

Type	S (mm)	H (mm)	t1 (mm)
UD 30.30.120	300	300	36

UD 30.40.120	300	400	50
UD 40.40.120	400	400	50
UD 40.60.120	400	600	47
UD 60.60.120	600	600	73
UD 60.80.120	600	800	70
UD 80.80.120	800	800	73
UD 80.100.120	800	1000	70
UD 80.120.120	800	1200	111
UD 100.100.120	1000	1000	83
UD 100.120.120	1000	1200	81
UD 100.140.120	1000	1400	79
UD 120.100.120	1200	1000	128
UD 120.120.120	1200	1200	125
UD 120.140.120	1200	1400	123
UD 120.160.120	1200	1600	120
UD 150.150.120	1500	1500	123
UD 150.160.120	1500	1600	111



Gambar 3.3 Box Culvert

Tabel 3.3 Dimensi Box Culvert

Type	S (mm)	h (mm)	t1/t2	W (mm)	L (mm)
BC 40.40.100	400	400	85	570	1000
BC 60.60.100	600	600	95	790	1000
BC 80.80.100	800	800	110	1020	1000
BC 100.100.100	1000	1000	125	1250	1000
BC 120.120.100	1200	1200	142	1484	1000
BC 150.150.100	1500	1500	165	1784	1000
BC 200.200.100	2000	2000	210	2420	1000

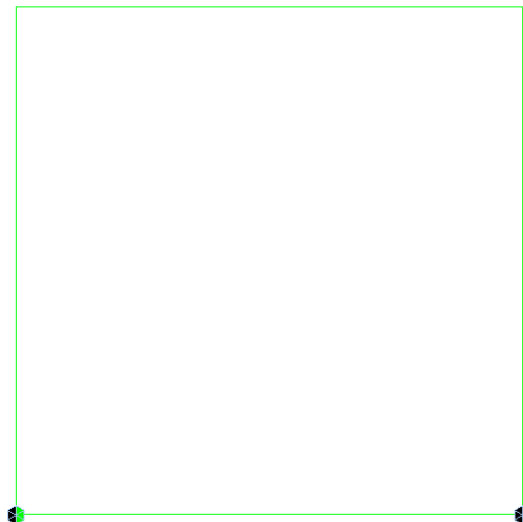
Pada analisis, beban mati yang diasumsikan bekerja adalah akibat berat sendiri dari elemen beton pracetak dan akibat timbunan tanah.

analisis beban mati akibat timbunan tanah berupa beban merata segitiga mengasumsikan tanah memiliki berat jenis (γ) sebesar $1,9 \text{ ton/m}^3$ dan sudut geser (ϕ) sebesar 30° .

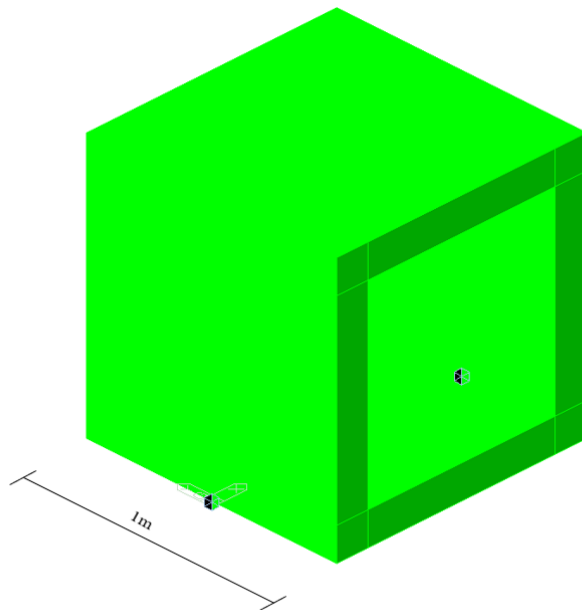
Sementara beban hidup yang bekerja berupa beban terpusat akibat kendaraan sebesar 2,2 ton.

3.2 Pemodelan Analisa Box Culvert

Proses analisis gaya dalam untuk saluran *box culvert* menggunakan bantuan perangkat lunak MIDAS GEN. Perletakan yang digunakan dalam pemodelan adalah sendi-sendi. Berikut ini merupakan gambar pemodelan dalam bentuk 2 dimensi pada aplikasi MIDAS GEN.



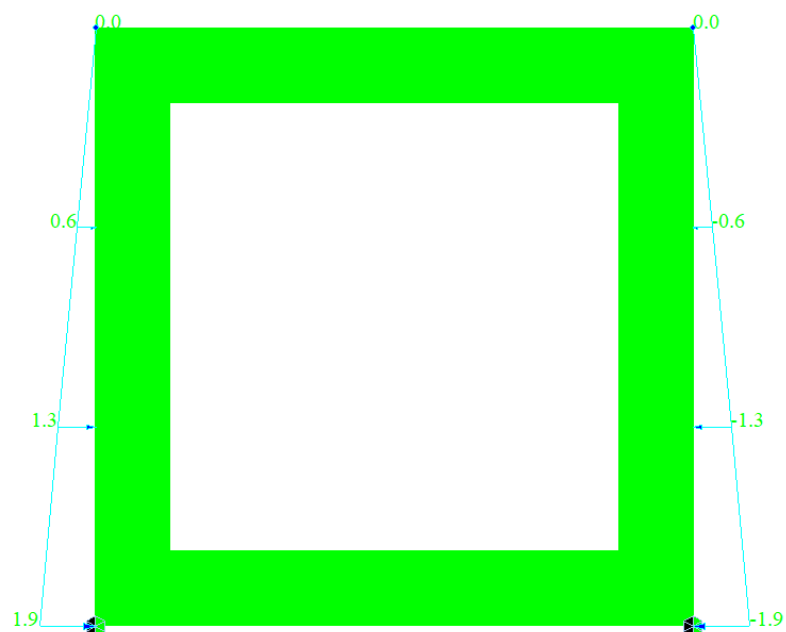
Panjang saluran pada pemodelan diasumsikan sepanjang 1 meter. Pemodelan dibuat 3 dimensi, sehingga tiap elemen memiliki panjang, lebar, dan tinggi. Berikut adalah gambar 3 dimensi pada aplikasi MIDAS GEN.



3.2.1 Pembebanan

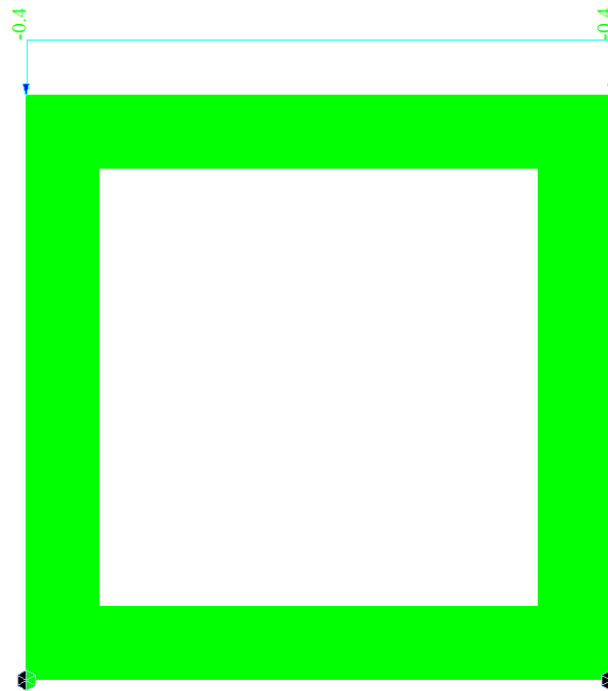
1. Beban tanah samping

Beban tanah dari sisi samping saluran merupakan beban lateral yang semakin dalam nilainya bertambah secara linear, sehingga memiliki pola beban segitiga. Berikut merupakan pemodelan beban tanah samping yang diinput ke dalam MIDAS GEN.



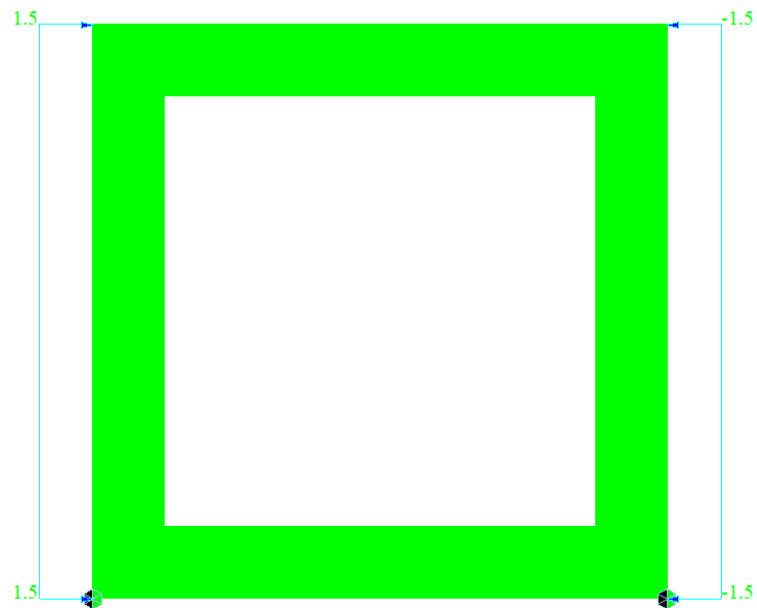
2. Beban tanah permukaan

Saluran diasumsikan berada di dalam tanah sehingga pada sisi atas saluran memikul beban merata akibat berat tanah pada di sisi atas saluran. Berikut merupakan contoh beban tanah atas yang diinput ke dalam MIDAS GEN.



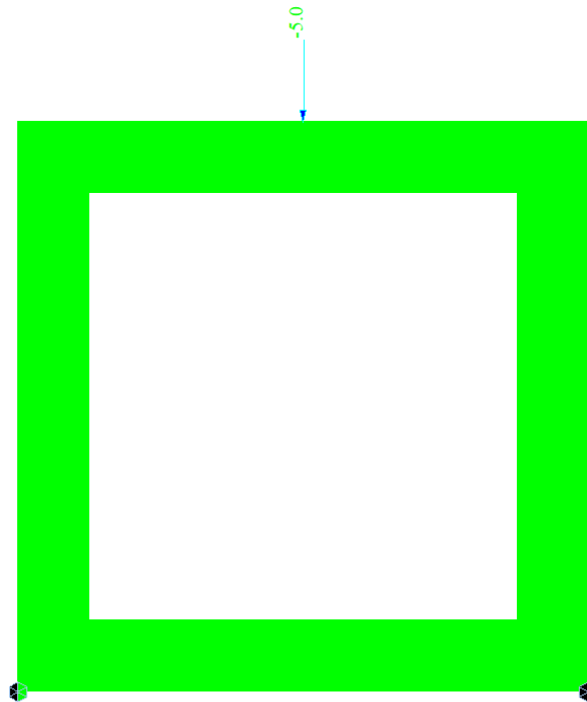
3. Beban truk

saluran yang berada didalam tanah ini berada ditepi jalan. Sehingga kendaraan yang melintas akan memberikan efek pada saluran. Beban tersebut merupakan beban merata pada sisi samping saluran. Berikut merupakan pemodelan beban truk yang diinput ke dalam MIDAS GEN.



4. Beban gandar

Beban gandar diasumsikan sebagai beban terpusat yang terletak tepat pada tengah bentang sisi atas *box culvert*. Beban gandar di modelkan sebagai beban terpusat dengan asumsi pada saluran *box culvert* hanya dapat dilalui 1 sisi roda kendaraan, karena lebar saluran yang kecil. Berikut merupakan contoh beban gandar yang diinput ke dalam MIDAS GEN.



3.2.2 Studi kasus

3.2.2.1 Studi Kasus Cover U-Ditch (CLU 150)

Data-data untuk perhitungan:

$$t = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$$

$$L = 600 \text{ mm} = 0,6 \text{ m}$$

$$W = 1720 \text{ mm} = 1,72 \text{ m}$$

$$\text{Selimut beton} = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Berat sendiri} = 425 \text{ kg} = 4,25 \text{ ton}$$

$$\text{LL (gandar)} = 2,2 \text{ ton}$$

$$f'_c = 35 \text{ MPa}$$

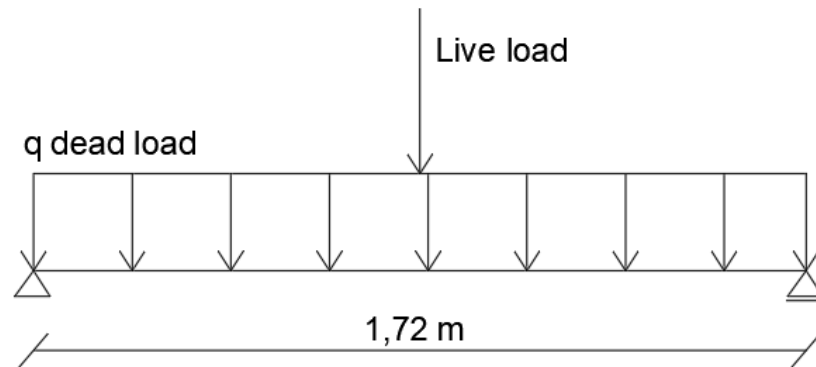
$$f_y = 400 \text{ MPa}$$

Perhitungan momen *ultimate*:

$$q_{self\ weight} = \frac{0,425 \text{ ton}}{1,72 \text{ m}} = 0,24709 \text{ ton/m}$$

$$q_{tanah} = 1,9 \text{ ton/m}^3 \times 0,6 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 0,228 \text{ ton/m}$$

Berikut adalah gambar pemodelan analisa struktur dan pembebanan.



$$M_{\max DL} = \frac{1}{8} (0,24709 + 0,228)(1,72)^2 = 0,17568 \text{ ton.m}$$

$$M_{\max LL} = \frac{1}{4} (2,2)(1,72) = 0,946 \text{ ton.m}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 M_{\max DL} + 1,6 M_{\max LL} \\ &= 1,2 (0,17568) + 1,6 (0,946) \\ &= 1,7244 \text{ ton.m} \\ &= 16910587,26 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Perhitungan penulangan:

$$d = 160 - 30 - \frac{13}{2} = 123,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = 13,4454$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{16910587,26}{0,9 \times 1720 \times 123,5^2} = 0,7162$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{3}{8} \beta_1 = \frac{0,85 \times 35}{400} \times \frac{3}{8} \times 0,8 = 0,0223$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,445} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 0,7162}{400}} \right)$$

$$= 0,0018$$

Nilai ρ_{perlu} yang diperoleh lebih kecil dari ρ_{min} ($\rho_{perlu} < \rho_{min} < \rho_{max}$), maka digunakan nilai $\rho = 0,0035$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0035 \times 1720 \times 123,5 = 743,47 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan D13} = \frac{A_s}{\pi \left(\frac{13}{2} \right)^2} = \frac{743,47}{\pi \left(\frac{13}{2} \right)^2} = 5,6 \sim 6 \text{ buah}$$

$$S = \frac{600 - (8 \times 13) - (2 \times 30)}{5} = 87,2 \text{ mm} \sim 100 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan D13-100 untuk *Cover U-Ditch* (CLU 150)

3.2.2.2 Studi Kasus U-Ditch (UD 150.150.120)

S	= 1500 mm	= 1,5 m
h	= 1500 mm	= 1,5 m
L	= 1200 mm	= 1,2 m
t1	= 123 mm	= 0,123 m
t2	= 155 mm	= 0,155 m
Selimut beton	= 30 mm	
BJ tanah	= 1,9 ton/m	= 19 kN/m
Tebal timbunan	= 20 cm	= 0,2 m
LL (gandar)	= 2,2 ton	
f'c	= 35 MPa	
fy	= 400 MPa	

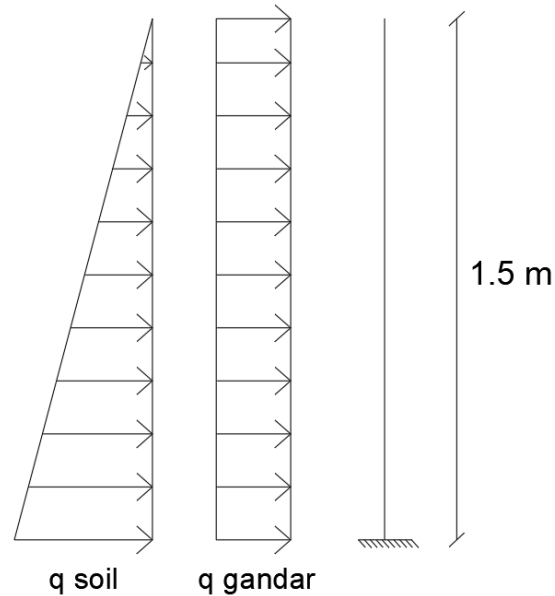
Perhitungan momen *ultimate*:

$$q_{tanah} = 19 \frac{kN}{m^3} \cdot (1,5 + 0,2) m = 32,3 \text{ kN/m}$$

$$q_{LL} = \frac{2,2 \text{ ton} \cdot 10}{1 m} = 22 \text{ kN/m}$$

$$K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = 0,3333$$

Berikut adalah gambar pemodelan analisa struktur dan pembebanan.



$$\begin{aligned} M_{\max DL(soil)} &= \frac{1}{2} \times 32,3 \times 1,7 \times \frac{1}{3} \times 1,7 \times k_a \\ &= 15,5578 \times 0,3333 \\ &= 5,1859 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\max LL(gandar)} &= 22 \times 1,7 \times \frac{1}{2} \times 1,7 \times k_a \\ &= 31,79 \times 0,3333 \\ &= 10,5967 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= 1,2 M_{\max DL} + 1,6 M_{\max LL} \\ &= 1,2 (5,1859) + 1,6 (10,5967) \\ &= 23,1778 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

Perhitungan penulangan:

$$d = 123 - 30 - \frac{13}{2} = 86,5 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{23,1778}{0,9 \times 1500 \times 86,5^2} \times 10^6 = 2,2946$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c} = 13,4454$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{max} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{3}{8} \beta_1 = \frac{0,85 \times 35}{400} \times \frac{3}{8} \times 0,8 = 0,0223$$

$$\rho_{pertu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{13,445} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 13,445 \times 2,2946}{400}} \right)$$

$$= 5,9766 \times 10^{-3}$$

Nilai ρ_{pertu} yang diperoleh lebih besar dari ρ_{min} dan lebih kecil dari ρ_{max} ($\rho_{min} < \rho_{pertu} < \rho_{max}$), maka digunakan nilai $\rho = 5,9766 \times 10^{-3}$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 5,9766 \times 10^{-3} \times 1500 \times 86,5 = 775,4685 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan D13} = \frac{A_s}{\pi \left(\frac{13}{2} \right)^2} = \frac{775,4685}{\pi \left(\frac{13}{2} \right)^2} = 5,84 \sim 6 \text{ buah}$$

$$S = \frac{1000}{6} = 166,6667 \text{ mm} \sim 150 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan D13-150 untuk *U-Ditch* (UD 150.150.120)

3.2.2.3 Studi Kasus Box Culvert (BC 150.150.120)

S	= 1500 mm	= 1,5 m
h	= 1500 mm	= 1,5 m
L	= 1000 mm	= 1 m
t1=t2	= 165 mm	= 0,165 m
f _c	= 35 MPa	
f _y	= 240 MPa	

Momen maximum diperoleh dari hasil analisa pada MIDAS GEN, berikut adalah contoh perhitungan penulangan pada saluran *box culvert* (BC 150.150.120)

a. Sisi bawah

$$M_{max} = 2,7 \text{ kNm}$$

Perhitungan penulangan:

$$d = 165 - 30 = 135 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$m = \frac{240}{0,85 \cdot f_c} = 8,0672$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{2700000}{0,9 \times 1000 \times 135^2} = 0,1646$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 5,833 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{min} = 0,25 \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,25 \times \left(\frac{\sqrt{35}}{240} \right) = 6,1626 \times 10^{-3}$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar yaitu $\rho_{min} = 6,1626 \times 10^{-3}$

$$\rho_{max} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{3}{8} \beta_1 = \frac{0,85 \times 35}{240} \times \frac{3}{8} \times 0,8 = 0,0372$$

$$\begin{aligned} \rho_{pertu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{8,0672} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,0672 \times 0,1646}{240}} \right) \\ &= 6,8774 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Nilai ρ_{pertu} yang diperoleh lebih kecil dari ρ_{min} ($\rho_{pertu} < \rho_{min} < \rho_{max}$), maka digunakan nilai $\rho = 6,1626 \times 10^{-3}$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 6,1626 \times 10^{-3} \times 1000 \times 135 = 831,951 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan D13} = \frac{A_s}{\pi \left(\frac{10}{2} \right)^2} = \frac{831,951}{\pi \left(\frac{10}{2} \right)^2} = 10,59 \sim 11 \text{ buah}$$

$$S = \frac{1000}{11} = 90,9 \text{ mm} \sim 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan D10-90 untuk *box culvert* (BC 150.150.120) untuk sisi bawah.

b. Sisi atas

$$M_{max} = 18,2 \text{ kNm}$$

Perhitungan penulangan:

$$d = 165 - 30 = 135 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$m = \frac{240}{0,85 \cdot f_c} = 8,0672$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{18200000}{0,9 \times 1000 \times 135^2} = 1,1096$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 5,833 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{min} = 0,25 \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,25 \times \left(\frac{\sqrt{35}}{240} \right) = 6,1626 \times 10^{-3}$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar yaitu $\rho_{min} = 6,1626 \times 10^{-3}$

$$\rho_{max} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{3}{8} \beta_1 = \frac{0,85 \times 35}{240} \times \frac{3}{8} \times 0,8 = 0,0372$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{8,0672} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,0672 \times 1,1096}{240}} \right) \\ &= 4,713 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Nilai ρ_{perlu} yang diperoleh lebih kecil dari ρ_{min} ($\rho_{perlu} < \rho_{min} < \rho_{max}$), maka digunakan nilai $\rho = 6,1626 \times 10^{-3}$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 6,1626 \times 10^{-3} \times 1000 \times 135 = 831,951 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan D13} = \frac{A_s}{\pi \left(\frac{10}{2} \right)^2} = \frac{831,951}{\pi \left(\frac{10}{2} \right)^2} = 10,59 \sim 11 \text{ buah}$$

$$S = \frac{1000}{11} = 90,9 \text{ mm} \sim 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan D10-90 untuk *box culvert* (BC 150.150.120) sisi atas.

c. Sisi samping (kanan dan kiri)

$$M_{max} = 13,8 \text{ kNm}$$

Perhitungan penulangan:

$$d = 165 - 30 = 135 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85 - \frac{0,05(f'_c - 28)}{7} = 0,85 - \frac{0,05(35 - 28)}{7} = 0,8$$

$$m = \frac{240}{0,85 \cdot f_c} = 8,0672$$

$$R_n = \frac{M_u}{0,9 \cdot b \cdot d^2} = \frac{13800000}{0,9 \times 1000 \times 135^2} = 0,8413$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{240} = 5,833 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{min} = 0,25 \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y} = 0,25 \times \left(\frac{\sqrt{35}}{240} \right) = 6,1626 \times 10^{-3}$$

Dari kedua nilai ρ_{min} , dipilih nilai yang terbesar yaitu $\rho_{min} = 6,1626 \times 10^{-3}$

$$\rho_{max} = \frac{0,85 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \frac{3}{8} \beta_1 = \frac{0,85 \times 35}{240} \times \frac{3}{8} \times 0,8 = 0,0372$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) = \frac{1}{8,0672} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 8,0672 \times 0,8413}{240}} \right) \\ &= 3,5566 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Nilai ρ_{perlu} yang diperoleh lebih kecil dari ρ_{min} ($\rho_{perlu} < \rho_{min} < \rho_{max}$), maka digunakan nilai $\rho = 6,1626 \times 10^{-3}$

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 6,1626 \times 10^{-3} \times 1000 \times 135 = 831,951 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan D13} = \frac{A_s}{\pi \left(\frac{10}{2} \right)^2} = \frac{831,951}{\pi \left(\frac{10}{2} \right)^2} = 10,59 \sim 11 \text{ buah}$$

$$S = \frac{1000}{11} = 90,9 \text{ mm} \sim 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan tulangan D10-90 untuk *box culvert* (BC 150.150.120) sisi samping (kanan dan kiri).

BAB 4

HASIL ANALISIS

Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 menunjukkan hasil analisis penulangan untuk masing-masing elemen struktur beton pracetak dengan beban tertentu.

Tabel 4.1 Hasil analisis penulangan penutup saluran U-ditch

Type	w (mm)	t (mm)	weight (kg)	Reinforcement
CLU 30	400	60	40	D13-100
CLU 40	500	80	70	D13-100
CLU 60	740	100	110	D13-100
CLU 80	940	120	145	D13-100
CLU 100	1170	120	205	D13-100
CHU 120	1440	180	360	D13-100
CLU 150	1720	160	425	D13-100

Tabel 4.2. Perbandingan analisis penulangan U-ditch dengan data AeT1

Type	Reinforcement	AeT1	Maximum Point Load (ton)
UD 30.30.120	Ganti Ukuran	D6-150	0.8 ($\phi = 80^\circ$)
UD 30.40.120	Ganti Ukuran	D6-150	0.3
UD 40.40.120	Ganti Ukuran	D6-150	0.5
UD 40.60.120	Ganti Ukuran	D6-150	1 ($\phi = 60^\circ$)
UD 60.60.120	D8-125	D8-150	
UD 60.80.120	Ganti Ukuran	D8-150	1.5
UD 80.80.120	D8-75	D8-150	
UD 80.100.120	Ganti Ukuran	D10-150	1.1
UD 80.120.120	D10-125	D10-150	
UD 100.100.120	D10-100	D10-150	
UD 100.120.120	Ganti Ukuran	D10-150	1.9
UD 100.140.120	Ganti Ukuran	D10-150	1
UD 120.100.120	D13-150	D13-150	
UD 120.120.120	D13-150	D13-150	
UD 120.140.120	D13-150	D13-150	
UD 120.160.120	D13-125	D13-150	
UD 150.150.120	D13-150	D13-150	
UD 150.160.120	D13-125	D13-150	

Tabel 4.3. Perbandingan analisis penulangan Box Culvert dengan data AeT1

Type	Reinforcement	AeT1
BC 40.40.100	D10-200	D10-150
BC 60.60.100	D10-160	D10-150
BC 80.80.100	D10-140	D10-150
BC 100.100.100	D10-120	D10-150
BC 120.120.100	D10-110	D10-150
BC 150.150.100	D12-120	D12-150
BC 200.200.100	D12-100	D12-150

BAB 5

KESIMPULAN

Hasil analisis penulangan u-ditch dan box culvert relatif menunjukkan kesesuaian dengan penulangan AeT1 dengan beberapa pengecualian tertentu.

Pada elemen beton pracetak dengan keterangan “Ganti Penampang” artinya beban yang dipikul terlalu besar sehingga kapasitas beton tidak mencukupi. Terdapat 2 alternatif yang dapat dilakukan yaitu mengurangi beban atau menggunakan elemen dengan dimensi lebih besar.

Hasil analisis penulangan box culvert hanya berlaku pada kondisi pembebanan yang sama dengan model yang dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19)*. Michigan: American Concrete Institute.
- Badan Standardisasi Nasional. (2020). *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2016). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. New Jersey: Pearson.