

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data

Perancangan Dinding Penahan Tanah (DPT) memerlukan beberapa data agar dapat dilakukan perhitungan. Data yang harus dimasukkan yaitu data untuk menghitung dimensi, data untuk menghitung kebutuhan tulangan dan data untuk menghitung rancangan anggaran biaya. Adapun data yang akan digunakan untuk menghitung dimensi DPT kantilever untuk memvalidasi dan melihat kinerja program yang dibuat ditampilkan pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4. 1** Data tanah ( Penulis , 2023 )

No	Parameter	Nilai
1	Berat volume Tanah ( $\gamma$ )	20 kN/m <sup>3</sup>
2	Sudut Geser Dalam Tanah ( $\phi$ )	35°
3	Tinggi Lereng (H)	4 m
4	Kohesi Tanah ( c )	0

\*) Penulis

Perhitungan dimensi DPT dihitung berdasarkan SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik dan syarat ketinggian lereng untuk DPT tipe kantilever menggunakan syarat dari Nakazawa dkk. (1980). Selain dimensi, pada tipe kantilever dilakukan perhitungan kebutuhan tulangan DPT dengan acuan SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Adapun data yang ditetapkan pada perhitungan kebutuhan tulangan ditampilkan pada Tabel 4.2 berikut.



**Tabel 4. 2** Data Tulangan ( Penulis, 2023 )

No	Parameter	Nilai
1	Tebal selimut beton (ts)	75 mm
2	Tebal dinding ( a )	300 mm
3	Lebar yang ditinjau (b)	1000 mm
4	Diameter tulangan susut (D)	13 mm
5	Tebal efektif dinding (d)	$B-ts-(D/2)$
6	Fc'	24 MPa
7	Fy	420 MPa

Pada Tabel 4.2, merupakan contoh data yang digunakan pada perhitungan tulangan dengan tinggi lereng ( $H= 4$  m) data yang telah ditetapkan dalam perhitungan tulangan yaitu tebal dinding (B), tebal selimut beton (ts), diameter tulangan susut, tebal efektif dinding (d), lebar yang ditinjau (b), nilai  $f_c'$ , dan nilai  $f_y$ . Nilai tebal dinding akan diperoleh dari perhitungan dimensi dimana menggunakan dinding yang tebalnya ekonomis. Tebal selimut beton sesuai aturan SNI 2847:2019 tentang persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung untuk beton yang dicor di tempat dengan paparan secara permanen dengan tanah dan bisa digunakan untuk semua jenis tulangan maka diambil ketebalan selimut sebesar 75 mm. Mutu beton atau  $f_c'$  untuk beton bertulang sesuai aturan Pd T – 07 – 2005 – B Tentang Pelaksanaan Pekerjaan Beton untuk Jalan dan Jembatan, maka digunakan jenis beton mutu sedang yaitu sekitar  $20 < 35$  MPa, dan dipilih  $f_c'$  yaitu 24 MPa. Adapun diameter tulangan menyesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Selanjutnya, pada perhitungan biaya DPT untuk koefisien pekerjaan menggunakan acuan Peraturan Menteri No.28 Tahun 2016 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum, sedangkan untuk harga satuan pekerjaan menyesuaikan harga tiap tahunnya. Berikut contoh harga satuan upah dan bahan yang digunakan dalam perancangan ini ditampilkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berikut

**Tabel 4. 3** Harga upah pekerja ( AHSP Kota Balikpapan, 2021 )

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Pekerja	OH	Rp. 142.800,00
2	Mandor	OH	Rp. 161.800,00
3	Kepala Tukang	OH	Rp. 171.300,00
4	Tukang Kayu	OH	Rp. 152.300,00
5	Tukang Batu	OH	Rp. 152.300,00
6	Tukang Besi	OH	Rp. 152.300,00

Berdasarkan Tabel 4.3 nilai upah menggunakan Analisa Harga Satuan Pekerjaan tahun 2021 yang akan digunakan sebagai contoh dalam perhitungan

**Tabel 4. 4** Harga material ( AHSP Kota Balikpapan, 2021 )

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Semen Portland	Kg	Rp. 1,232,00
2	Pasir Beton	m <sup>3</sup>	Rp. 423.600,00
3	Koral	m <sup>3</sup>	Rp. 515.200,00
4	Besi Ulir	Kg	Rp. 13.600,00
5	Kawat Bendrat	Kg	Rp. 21.400,00
6	Kayu kelas III	m <sup>3</sup>	Rp. 2.289.800,00
7	Paku	Kg	Rp. 30.700,00
8	Minyak Bekesting	Ltr	Rp. 4.000,00
9	Plywood	Lbr	Rp. 123.100,00
10	Dolken	Btg	Rp. 9.100,00
11	Balok 5-7 Kayu Meranti	m <sup>3</sup>	Rp. 2.862.300,00
12	Spacer	Bh	Rp. 9.100,00

Berdasarkan tabel 4.4 harga material menggunakan Analisa Harga Satuan Pekerjaan tahun 2021 yang akan digunakan sebagai contoh dalam perhitungan.

## **4.2 Perancangan Script Program Python**

Dalam perancangan *script Python* untuk perhitungan dinding penahan tanah (DPT), terdapat beberapa langkah yang perlu diikuti untuk mencapai hasil yang diinginkan. Berikut adalah alur yang dapat digunakan dalam susunan *script Python* tersebut:

a. Tinggi Lereng

*User* perlu memasukkan ketinggian lereng agar program bisa menentukan dimensi DPT yang efektif untuk digunakan dan melanjutkan perhitungan. Menurut Nakazawa dkk (1988) DPT tipe kantilever dapat digunakan dari ketinggian 3m hingga 10m. Untuk memperluas penggunaan program maka ketinggian yang dapat digunakan tidak hanya 3 m sampai 10 m, namun juga bisa digunakan pada ketinggian 1 m sampai 2 m sehingga *user* hanya bisa memasukkan angka 1 sampai 10 m, namun hanya dapat menggunakan bilangan bulat positif 1 sampai 10 contohnya, (H = 1 m, H = 2 m, H = 3 m, H = 4 m, H = 5 m, H = 6 m, H = 7 m, H = 8 m, H = 9 m, H = 10 m)

b. Berat Volume Tanah

*User* dapat memasukkan nilai berat volume tanah sesuai dengan data hasil pengujian di laboratorium, *user* diharuskan untuk menginput angka untuk menjalankan program, apabila *user* mengosongkan kolom *input* atau mengisi angka nol ( 0 ) saja maka program tidak bisa dijalankan dan akan muncul peringatan untuk menginput angka.

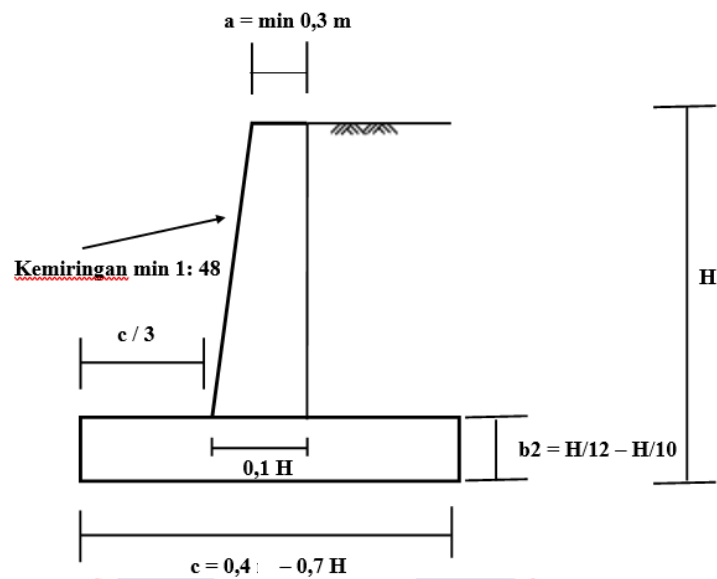
c. Sudut Geser Dalam Tanah

Nilai sudut geser dalam tanah digunakan untuk memperoleh nilai faktor – faktor kapasitas dukung tanah. Pada *script* ini *user* mendesain agar program dapat digunakan pada nilai sudut geser dalam tanah  $0^\circ$  sampai  $50^\circ$  dimana program hanya dapat membaca nilai *input* sudut bilangan bulat positif dan bilangan desimal satu angka dibelakang koma. Jika *user* memasukkan bilangan yang tidak sesuai dengan batasan tersebut maka program tidak bisa membaca dan *user* akan diminta untuk memasukkan ulang bilangan yang sesuai dengan batasan tersebut.

#### 4.2.1 Perancangan *Script* Dimensi Dinding Penahan Tanah

##### Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

Dalam perancangan *script* dimensi DPT tipe kantilever, perlu memasukkan data berupa syarat dimensi tipe kantilever yang mengacu pada SNI 8460:2017 Tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik yang dapat dilihat pada gambar berikut:



**Gambar 4. 1** Skema perulangan dimensi DPT Kantilever

Berikut syarat dimensi DPT tipe kantilever:

- Panjang Kaki Pondasi**  
Syarat dimensi dinding kantilever untuk panjang kaki pondasi yaitu dari  $0,4 H$  sampai  $0,7H$ . Batasan nilai tersebut akan dilakukan perulangan dengan nilai selisih  $0,1$ . Seperti  $0,4 H, 0,5 H, 0,6 H$  hingga mencapai hasil maksimum  $0,7H$  dimana nilai ( $H$ ) adalah tinggi lereng.
- Tebal Kaki Pondasi**  
Syarat dimensi dinding kantilever untuk tebal kaki pondasi yaitu  $H/12$  sampai  $H/10$ , seperti  $H/12$ ,  $H/11$ ,  $H/10$ . Batasan nilai tersebut akan dilakukan perulangan dengan nilai ( $H$ ) adalah tinggi lereng.
- Panjang Kaki Depan Pondasi**  
Syarat dimensi dinding kantilever untuk panjang kaki pondasi depan yaitu  $B/3$ , sementara untuk tebal kaki pondasi belakang dihitung dari panjang kaki pondasi dikurangi dengan panjang kaki depan dan tebal dinding tegap bawah.
- Tebal Dinding Tegap**  
Syarat dimensi dinding kantilever untuk tebal dinding tegap atas yaitu minimal  $0,3 \text{ m}$ . Sementara, untuk nilai tebal dinding tegap bawah yaitu  $0,1 H$ .

Untuk mendapatkan dimensi DPT kantilever yang efektif ,maka dilakukan perulangan terhadap tebal kaki pondasi ( $b_2$ ) dan panjang kaki pondasi ( $c$ ) sebagai berikut:

Nilai tinggi lereng  $H = 4$  m digunakan sebagai contoh dalam perhitungan.

**Tabel 4. 5** Perulangan dimensi pada  $H= 4$  m

$b_2=H/12$ (m)	$c = 0.4 - 0.7H$ (m)	$b_2=H/11$ (m)	$c = 0.4 - 0.7H$ (m)	$b_2= H/10$ (m)	$c = 0.4 - 0.7H$ (m)
0.33	1.60	0.36	1.60	0.40	1.60
0.33	2	0.36	2	0.40	2
0.33	2.4	0.36	2.4	0.40	2.4
0.33	2.8	0.36	2.8	0.40	2.8

Berdasarkan titik sample perulangan pada tebal kaki pondasi ( $b_2$ ) dan panjang kaki pondasi ( $c$ ) diperoleh sebanyak 12 kemungkinan variasi dimensi, dari 12 variasi dimensi tersebut yang memenuhi syarat aman pada nilai SF geser, guling, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah sebanyak 3 kemungkinan yaitu  $\{0.33, 2.8\}, \{0.36, 0.28\}, \{0.40, 2.8\}$ . Beberapa hasil dimensi tersebut akan dipilih dimensi yang akan digunakan untuk melanjutkan perhitungan rencana anggaran biaya, maka diambil variasi dimensi terkecil yaitu  $\{0.33, 2.8\}$ . Setelah memasukkan semua data mengenai batasan dimensi, langkah selanjutnya adalah memasukkan rumus perhitungan untuk DPT tipe kantilever. Rumus perhitungan meliputi koefisien tanah, tinjauan horizontal (tekanan tanah lateral dan momen horizontal), serta tinjauan vertikal (tekanan vertikal dan momen vertikal). Setelah itu, dilakukan perhitungan stabilitas penggeseran, stabilitas penggulingan, dan stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah.

Setelah semua rumus perhitungan dimasukkan, program dijalankan dengan memasukkan *input* berupa berat volume tanah ( $\gamma$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), Tinggi lereng ( $H$ ) dan nilai kohesi tanah ( $c$ ) sebagai contoh digunakan nilai  $\gamma= 20$ , ( $\phi = 35$ ), ( $H = 4$  m), ( $c = 0$ ) yang akan divalidasi menggunakan perhitungan manual. Hasil perhitungan program akan memberikan *output* mengenai dimensi DPT tipe kantilever yang aman dengan mempertimbangkan faktor keamanan (SF) untuk geser, guling, dan kapasitas dukung tanah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.

```

ch = 0
hasil dimensi
a = 0.3
b = 0.1
b2 = 0.33
d = 3.67
h1 = 0.93
hasil analisis stabilitas
fgs = 1.6085871400778062
fgl = 3.5475112948299
sf = 602833.3889211614

```

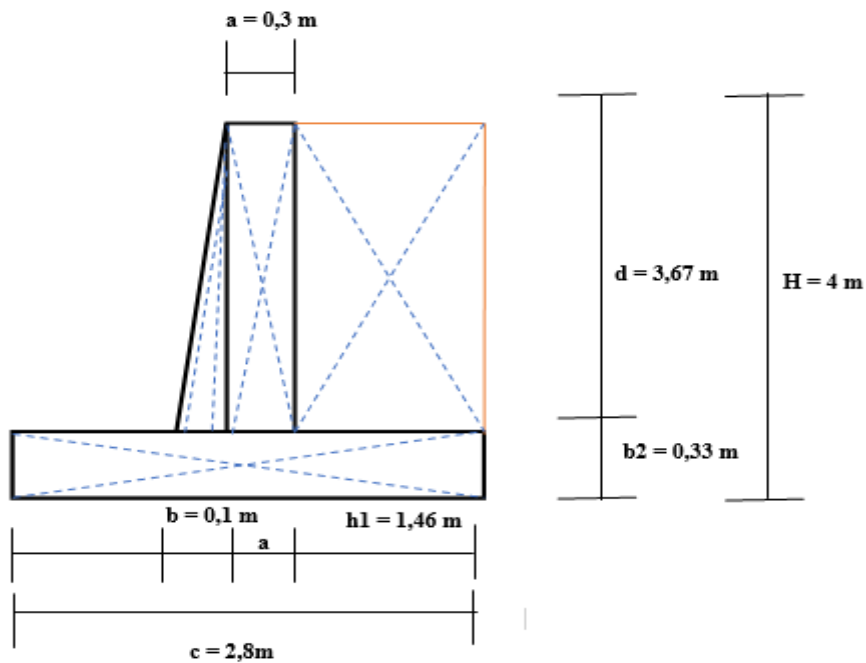
**Gambar 4. 2** Hasil dimensi program ( Penulis, 2023 )

Berdasarkan Gambar 4.1, menunjukkan bahwa perancangan DPT melalui program *python* untuk tipe kantilever memberikan hasil dimensi yang aman pada nilai SF geser, guling, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah. Hasil tersebut diperoleh dari perulangan nilai c, b2, dan a seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pada perulangan nilai c diperoleh dimensi aman pada nilai 2.7 m. Perulangan nilai b2 didapatkan angka aman pada nilai 0,33 m. Lalu, perulangan nilai a , diperoleh nilai aman pada 0,3 m. Hasil dimensi tersebut akan dipilih dimensi yang akan digunakan untuk melanjutkan perhitungan rencana anggaran biaya. Sebelum melakukan percobaan pada perhitungan rencana anggaran biaya, perlu dilakukan pembuktian hitungan program perancangan DPT kantilever ini dengan hitungan manual.

**Tabel 4. 6** Hasil Dimensi dari Program *Python* ( Penulis, 2023 )

Hasil Dimensi	
a	0,3 m
b	0.1 m
b2	0.33 m
c	2.8 m
d	3,67 m
H	4 m
h1	1,46 m

Berikut desain gambar DPT tipe kantilever yang ditampilkan pada Gambar 4.2 berikut.



**Gambar 4.3** Desain Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever ( Penulis, 2023 )

#### 4.2.1.1 Perhitungan Koefisien Tekanan Tanah

Koefisien tekanan tanah aktif dapat dihitung dengan menggunakan metode Rankine sebagai berikut.

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (4.1)$$

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{35}{2} \right)$$

$$K_a = 0,271$$

Maka diperoleh nilai koefisien tekanan tanah aktif sebesar 0,271.

#### 4.2.1.2 Tinjauan Gaya Horizontal

Perhitungan pada gaya horizontal merupakan perhitungan tekanan tanah aktif dan momen yang diakibatkan oleh dorongan tanah pada struktur dinding penahan tanah.

A. Tekanan Tanah Aktif Dasar ( $p_a$ )

$$p_a = H \times \gamma \times K_a \dots \dots \dots (4.2)$$

$$p_a = 4 \times 20 \times 0,271$$

$$p_a = 21,68 \text{ kN/m}^2$$

B. Tekanan Tanah Aktif Total (Pa)



$$Pa = 0,5 \times pa \times H \dots\dots\dots(4.3)$$

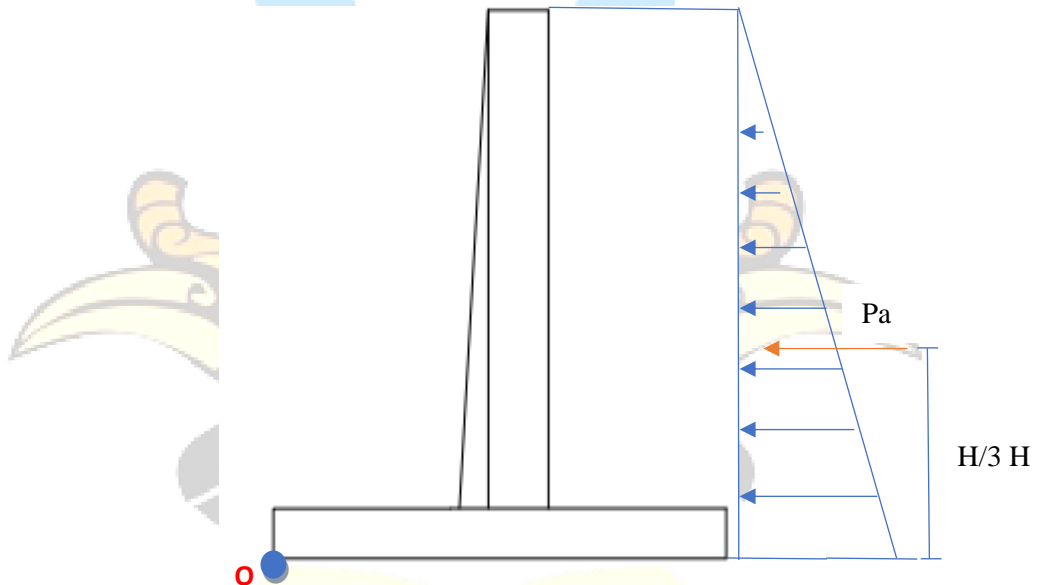
$$Pa = 0,5 \times 21,68 \times 4$$

$$Pa = 43,36 \text{ kN}$$

Maka diperoleh nilai tekanan tanah aktif total sebesar 43,36 kN. Selanjutnya, dilakukan perhitungan momen pada tekanan horizontal sebagai berikut.

**C. Momen Tekanan Tanah Terhadap Titik O (MPa)**

Momen tekanan tanah ditinjau terhadap titik O dapat dilihat pada gambar 4.3 berikut:



**Gambar 4. 4** Tinjauan Momen Tekanan Tanah ( Penulis, 2023 )

$$Mpa = Pa \left( \frac{H}{3} \right) \dots\dots\dots(4.4)$$

$$Mpa = 43,36 \times \left( \frac{4}{3} \right)$$

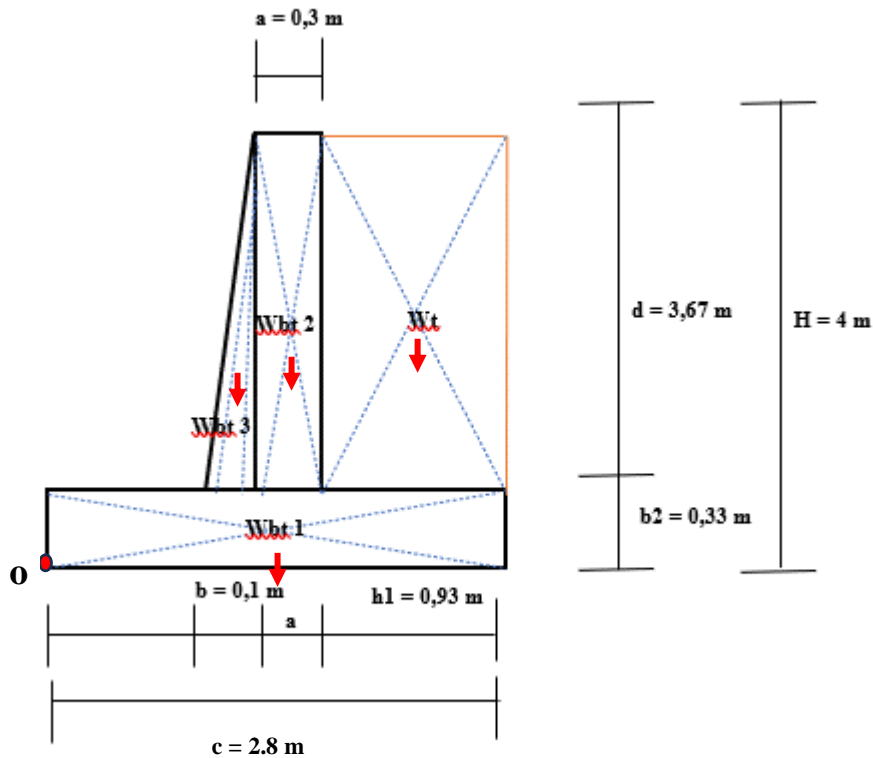
$$Mpa = 57,81 \text{ kN. m}$$

Nilai momen tekanan tanah yang diperoleh adalah 57,81 kN.m.

**4.2.1.3 Tinjauan Gaya Vertikal**

Perhitungan gaya vertikal merupakan perhitungan pada gaya arah vertikal yang berasal dari berat sendiri (dinding penahan tanah) dan berat tanah terhadap titik O dari kaki lereng dengan mengasumsikan nilai berat jenis beton ( $\gamma$  beton) sebesar

24 kN / m<sup>3</sup> dan panjang tinjauan (L) sepanjang 1 m . Berikut tampilan gaya vertikal dari DPT pada Gambar 4.4.



**Gambar 4. 5** Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah ( Penulis, 2023 )

A) Gaya Berat Sendiri (Wbt)

Perhitungan menggunakan tinjauan sepanjang 1m

$$W_{bt\ 1} = \gamma_{bt} \times b_2 \times c \times 1,0 \dots\dots\dots(4.5)$$

$$= 24 \times 0,33 \times 2,7 \times 1,0$$

$$= 21,60 \text{ kN}$$

$$W_{bt\ 2} = \gamma_{bt} \times a \times d \times 1,0 \dots\dots\dots(4.6)$$

$$= 24 \times 0,3 \times 3,67 \times 1,0$$

$$= 26,4 \text{ kN}$$

$$W_{bt\ 3} = \gamma_{bt} \times b \times (d \times 0,5) \times 1,0 \dots\dots\dots(4.7)$$

$$= 24 \times 0,1 \times (3,67 \times 0,5) \times 0,1$$

$$= 4,404 \text{ kN}$$

$$W_{bt} = W_{bt\ 1} + W_{bt\ 2} + W_{bt\ 3} \dots\dots\dots(4.8)$$

$$= 52,4 \text{ kN}$$

B) Gaya Berat Akibat Tanah (Wt)

$$\begin{aligned}
 Wt 1 &= \gamma \times h1 \times d \times 1,0 \\
 &= 20,00 \times 1,4 \times 3,67 \times 1,0 \\
 &= 102,67 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Pada perhitungan di atas diperoleh nilai gaya berat sendiri sebesar 55,4 kN dan gaya berat akibat tanah adalah 107,56 kN. Sehingga besar gaya berat total ( $W_{total}$ ) yaitu:

$$\begin{aligned}
 \Sigma &= W_{bt} + W_t \\
 &= 52,40 + 102,67 \\
 &= 155,07 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### C) Momen Vertikal

Selanjutnya dilakukan perhitungan momen vertikal sebagai berat penahan dinding penahan tanah sebagai berikut:

#### 1. Menghitung lengan momen

$$\begin{aligned}
 \text{a. Lm 1} &= c/2 \\
 &= 2,8/2 \\
 &= 1,35 \text{ m} \\
 \text{b. Lm 2} &= (1/3 \times c) + (a/2) + 0,1 \\
 &= (1/3 \times 2,8) + (0,3/2) + 0,1 \\
 &= 1,15 \text{ m} \\
 \text{c. Lm 3} &= (1/3 \times b) + (2/3 \times c) \\
 &= (1/3 \times 0,1) + (2/3 \times 2,8) \\
 &= 0,97 \text{ m} \\
 \text{d. Lm 4} &= (1/3 \times c) + a + b + (h^2/2) \\
 &= (1/3 \times 2,8) + 0,3 + 0,1 + (0,93/2) \\
 &= 1,99 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### 2. Menghitung momen vertikal

$$\begin{aligned}
 \text{a. M1} &= w_{bt 1} \times Lm 1 \\
 M1 &= 21,6 \times 1,35 \\
 &= 29,16 \text{ kN. m} \\
 \text{b. M2} &= w_{bt 2} \times Lm 2 \\
 M2 &= 26,4 \times 1,15 \\
 &= 30,36 \text{ kN. m} \\
 \text{c. M3} &= w_{bt 3} \times Lm 3 \\
 M3 &= 4,40 \times 0,97 \\
 &= 4,25 \text{ kN. m} \\
 \text{d. M4} &= w_t \times Lm 4 \\
 M4 &= 102,67 \times 1,99 \\
 &= 203,79 \text{ kN. m}
 \end{aligned}$$

$$M \text{ total} = M1+M2+M3+M4 \\ =267,57 \text{ kN. m}$$

Maka diperoleh nilai momen penahan sebesar 267.67 kN.m

#### 4.2.1.4 Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Stabilitas dinding penahan tanah harus diperhitungkan baik dari bahaya geser, guling dan keruntuhan kapasitas dukung tanah. Hal ini dilakukan agar dinding penahan tanah menjadi aman. Berikut perhitungan stabilitas dinding penahan tanah.

##### A. Stabilitas Terhadap Penggeseran (Fgs)

Dinding penahan tanah dikategorikan aman pada geser jika angka keamanannya lebih dari pada 1,5 untuk tanah dasar granuler. Tahanan geser pada dinding sepanjang  $c = 2.8 \text{ m}$ , untuk nilai sudut geser  $\delta_b$  diambil  $(2/3) \phi$  sehingga:

Gaya Penahan:

$$R_h = \sum W \text{ tg } \delta_b$$

$$R_h = 155,07 \text{ tg } \left( \frac{2}{3} \times (35) \right)$$

$$R_h = 66,89 \text{ kN}$$

Gaya Pendorong:

$$P_h = \sum P_a = 43,36 \text{ kN}$$

Cek Faktor Keamanan terhadap sliding (geser):

$$F_{gs} = \left( \frac{R_h}{P_h} \right) = \left( \frac{66,89}{43,36} \right)$$

$$1,62 \geq 1,5 \text{ (Aman!)}$$

##### B. Stabilitas Terhadap Guling (Fgl)

Dinding penahan tanah dikategorikan aman terhadap guling jika angka keamanannya lebih dari pada 1,5 untuk tanah dasar granuler.

Cek Faktor Keamanan terhadap guling:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}}$$

$$F_{gl} = \left( \frac{267,57}{57,81} \right)$$

$$F_{gl} = 4,63 \geq 1,5 \text{ (Aman!)}$$

### C. Stabilitas Terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah

Dinding penahan tanah dikategorikan aman terhadap keruntuhan jika angka keamanannya lebih dari pada (3) . Adapun perhitungan stabilitas keruntuhan sebagai berikut:

Pertama, perlu dihitung nilai eksentrisitas beban ( $e$ ). Apabila diperoleh nilai  $e \leq c/6$  atau  $e \geq c/6$  maka perhitungan nilai  $q$  dengan cara Terzaghi yaitu:

$$q = \frac{V}{c} (1 \pm 6e/c) \text{ bila } e \leq B/6$$

$$q = \frac{2V}{3(c-2e)} \text{ bila } e \leq B/6$$

Berikut perhitungan nilai eksentrisitas:

$$e = \frac{c}{2} - \frac{(M_v - M_h)}{\sum V}$$

$$e = \frac{2.8}{2} - \frac{(267,57 - 57,81)}{155,07}$$

$$= -0,0026 \text{ m}$$

Diperoleh :

$$e \leq c/6$$

$$-0,0026 \leq 0,45$$

$$B' = c - 2e$$

$$= 2.8 - 2(-0,0026)$$

$$= 2.81 \text{ m}$$

Kemudian, kapasitas dukung tanah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Terzaghi. Dimana nilai  $\phi$  yaitu sebesar  $35^\circ$ , maka diperoleh nilai *general shear* sebagai berikut :

$$N_c = 57,8$$

$$N_q = 41,4$$

$$N_\gamma = 42,4$$

Sehingga, didapatkan nilai  $q_u$  sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 q_u &= c \times N_c + D_f \times \gamma \times N_q + 0.5 \times B' \times \gamma \times N_\gamma \\
 &= 0 \times 57,8 + 0 \times 20 \times 41,4 + 0.5 \times 2.81 \times 20 \times 42,4 \\
 &= 1147,07 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$q = \frac{V}{c} \left(1 - \frac{6e}{c}\right)$$

$$q = \frac{155,07}{2.8} \left(1 - \frac{6(-0,0026)}{2.8}\right)$$

$$q = 58,36$$

$$q = \frac{V}{c} \left(1 + \frac{6e}{c}\right)$$

$$q = \frac{155,07}{2.8} \left(1 + \frac{6(-0,0026)}{2.8}\right)$$

$$q = 56,51$$

$$S_f = \frac{q_u}{q}$$

$$S_f = \frac{1147,07}{56,51} = 20,30 \geq 3 \text{ (Aman)}$$

Setelah diperoleh nilai stabilitas penggeseran, stabilitas penggulingan, dan stabilitas terhadap kapasitas keruntuhan pada, maka dilanjutkan perhitungan. Sehingga diperoleh hasil nilai stabilitas dimensi tersebut yang ditampilkan pada tabel 4.6 berikut.

**Tabel 4. 7** Nilai Stabilitas Tanah ( Penulis, 2023 )

<b>Stabilitas Tanah</b>	
Fgs	1,59
fgl	4,92
SF	21,26

Setelah diperoleh hasil perhitungan DPT tipe kantilever secara manual, selanjutnya dapat dilakukan validasi untuk menunjukkan bahwa *output* program memberikan nilai yang benar yaitu nilai yang diperoleh sama dengan hitungan manual. Berikut validasi perancangan dimensi DPT kantilever yang ditampilkan pada Tabel 4.7.

**Tabel 4. 8** Validasi Perancangan Dimensi DPT Kantilever ( Penulis, 2023 )

Dimensi	Hasil Manual	Hasil Program	Presentase <i>Error</i>
a	0,3 m	0,3 m	0%
b	0,1 m	0,1 m	0%
b2	0,33 m	0,33 m	0%
c	2,8 m	2,8 m	0%
d	3,67 m	3,67 m	0%
H1	1,4 m	1,4 m	0%
H2	4 m	4 m	0%
Fgs	1,62	1,62	0%
Fgl	4,63 m	4,63 m	0%
SF	20,30 m	20,30 m	0%

Berdasarkan Tabel 4.8 di atas, validasi perancangan dimensi DPT tipe kantilever dengan beban menunjukkan hasil perhitungan manual yang telah dihitung memiliki nilai sama dengan hasil program yang ditampilkan sehingga memiliki nilai *error* = 0%.

#### 4.2.2 Perancangan *Script* Tulangan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever

Pada pembuatan *script* tulangan DPT tipe kantilever, perlu memasukkan batasan diameter tulangan dan jumlah tulangan untuk dilakukan perulangan pada program. Umumnya diameter tulangan yang sering tersedia di pasaran sehingga batasan tulangan diameter yang dipakai yaitu dari ukuran 6 mm , 10 mm , 13 mm , 16 mm , 19 mm , 22 mm , 25 mm , 29 mm , 32 mm , 35 mm , 38 mm , 41 mm . Berikut *script* batasan tulangan pada program yang ditampilkan pada Gambar 4.5

```
def hitungTulangan(self):
    diameter = self.lineEdit_diameter.text()
    diameter = float(diameter)

    data_diameter = [6, 10, 13, 16, 19, 22, 25, 29, 32, 35, 38, 41]

    h2 = self.lineEdit_h2.text()
    tan = self.lineEdit_tan.text()
    bj = self.lineEdit_bj.text()
    ch = self.lineEdit_ch.text()
    h2 = float(h2)
    tan = float(tan)
    bj = float(bj)
    ch = float(ch)
```

**Gambar 4. 6** *Script* batasan diameter tulangan

Selanjutnya rumus perhitungan tulangan dapat dimasukkan untuk dilakukan perulangan dalam mencari kebutuhan tulangan dinding penahan tanah. Kemudian dilanjutkan dengan rumus perhitungan tulangan dimulai dari perhitungan momen terfaktor, luas tulangan ( $A_s$ ), jarak antar tulangan ( $S$ ), cek momen kapasitas ( $SR$ ), dan cek tulangan longitudinal. Setelah rumus hitungan tulangan selesai, program akan berhenti apabila  $A_s \text{ perlu} \geq A_s \text{ min}$ ,  $S \geq S \text{ min}$ , dan  $SR \leq 1$ . Selanjutnya dilakukan *running* pada program.

Hasil tulangan yang diberikan oleh program untuk tulangan DPT kantilever ditampilkan pada Tabel 4.9 berikut

**Tabel 4. 9** Hasil perhitungan tulangan pada program ( Penulis, 2023 )

No.	Keterangan	Tulangan Dinding	Tulangan Kaki	Tulangan Susut
1.	Diameter tulangan	13 mm	13 mm	13 mm
2.	Jumlah Tulangan per 1 meter	7 buah	7 buah	3 buah
3.	Jarak antar tulangan	141 mm	141 mm	333 mm

Setelah hitungan program selesai, dilanjutkan perhitungan tulangan manual sebagai berikut.

#### A. Perhitungan tulangan pokok pada sisi dinding

Diketahui data untuk menghitung kebutuhan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tulangan (D)} &= 13 \text{ mm} \\
 \text{Tebal dinding (a)} &= 350 \text{ mm} \\
 \text{Tebal selimut beton (ts)} &= 75 \text{ mm} \\
 \text{Tebal efektif dinding (d)} &= B - ts - (D/2) \\
 &= 350 - 75 - (13/2) = 268,5 \text{ mm} \\
 \text{Lebar yang ditinjau (bw)} &= 1.000 \text{ mm} \\
 F_c' &= 24 \text{ MPa} \\
 F_y &= 420 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

#### 1. Tekanan Tanah Akibat Beban Mati



$$Pa = \frac{1}{2} \times \gamma_t \times Ka \times H^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 20 \times 0,271 \times 42 = 43,36 \text{ kN}$$

Keterangan :

$\gamma_t$  : Berat jenis isi tanah

$Ka$  : Nilai koefisien tekanan tanah aktif

$H$  : Tinggi lereng (m)

## 2. Momen Akibat Beban Mati

$$Ma = Pa \times \frac{h}{3}$$

$$= 43,36 \times \frac{h}{3}$$

$$= 57,813 \text{ kN.m}$$

Keterangan :

$Pa$  : Berat jenis isi tanah

$Ka$  : Nilai koefisien tekanan tanah aktif

$H$  : Tinggi lereng (m)

## 3. Momen Terfaktor

$$Mu = 1,4 \text{ DL}$$

$$= 1,4 (Ma)$$

$$= 1,4 \times 57,813$$

$$= 80.935.696 \text{ kN.m}$$

$$= \text{Rp } 80,935,696.16 \text{ N.mm}$$

Keterangan :

$DL = \text{Dead Load}$  (Beban mati)

$Ma = \text{Momen Akibat beban mati}$  (kN.m)

$Mu = \text{Momen Terfaktor}$  (N.mm)

## 4. Menghitung Luas Penampang Tulangan

Pada perhitungan luas penampang tulangan akan mencari nilai luas penampang minimum dan luas penampang perlu untuk menentukan diameter yang akan dipakai. Berikut persamaan dalam mencari luas penampang sesuai SNI 2847:2019.

A. Mencari nilai luas penampang minimum dari dua persamaan berikut.

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

$$A_{s \text{ min}} = \frac{0,25\sqrt{24}}{420} 1000 \times 268,50$$

$$= 782,96 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{420} 1000 \times 268,5 = 895 \text{ mm}^2$$

Keterangan :

$A_{s \text{ min}}$  = Luas tulangan minimum yang diperlukan ( $\text{mm}^2$ )

$f'_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$f_y$  = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)

$b_w$  = Lebar yang ditinjau (mm)

$d$  = Diameter tulangan

Dari dua persamaan  $A_{s \text{ min}}$  di atas, yang akan digunakan ialah nilai  $A_{s \text{ min}}$  terbesar yaitu  $895 \text{ mm}^2$ . Kemudian dilakukan perhitungan  $A_{s \text{ pakai}}$  dengan percobaan diameter 13 mm sebanyak 7 buah.

$$A_{sb} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_{sb} = \frac{1}{4} 3,14 \times 13^2$$

$$= 132,665 \text{ mm}^2$$

Sehingga diperoleh nilai  $A_{s \text{ perlu}}$  sebagai berikut

$$A_{s \text{ perlu}} = n \times A_{sb}$$

$$= 7 \times 132,665$$

$$= 1.061,32$$

$$\text{mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu}} \geq A_{s \text{ min}}$$

$$1.061,32 \geq 895 \text{ OK}$$

Keterangan

$A_{sb}$  = Luas tulangan yang dipakai

$A_{s \text{ perlu}}$  = Luas tulangan yang diperlukan

$A_s \text{ min}$  = Luas tulangan minimal yang diperlukan  
 $D$  = Diameter tulangan  
 $n$  = Jumlah tulangan

Setelah diperoleh nilai  $A_s$  perlu, selanjutnya dihitung nilai  $a$  sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0.85 \times f_c \times c} \\
 a &= \frac{1,061,32 \times 420}{0.85 \times 24 \times 1000} \\
 a &= 21,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kemudian dihitung jarak antar tulangan dengan syarat sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{min}} &\leq S \\
 25+db &\leq \frac{B-2dc}{n-1} \\
 25+13 &\leq \frac{1000-2 \times 75}{7-1} \\
 38 \text{ mm} &\leq 141,667 \text{ mm OK}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$a$  = Luas penampang tulangan (mm)  
 $S$  = Spasi antar tulangan (mm)  
 $s_{\text{min}}$  = Spasi tulangan minimal yang diperlukan (mm)  
 $db$  = Diameter tulangan (mm)  
 $B$  = Panjang dinding (mm)  
 $dc$  = Selimut beton (mm)

Setelah diperoleh jarak antar tulangan yaitu 141,42 mm yang dibulatkan menjadi 141 mm, selanjutnya dilakukan pengecekan momen kapasitas tulangan untuk tulangan diameter 13 mm sebanyak 7 buah dengan jarak 141 mm.

## B. Cek Momen Kapasitas

$$\phi M_n = \phi \left[ A_s F_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \right]$$

$$= 0,9 \left[ 1061,32 \times 420 \left( 268,5 - \frac{21,85}{2} \right) \right]$$

$$= 10.333,352,9 \text{ Nmm}$$

$$SR = \frac{Mu}{\phi Mn} \leq 1$$

$$= \frac{80.935.696,16}{10.333.352,9} \leq 1$$

$$= 0,78 \leq 1 \text{ OK}$$

Keterangan :

$\phi Mn$  = Momen kapasitas (Nmm)

$\phi$  = Faktor reduksi (0.9)

$d$  = Tebal efektif (mm)

$a$  = Luas penampang tulangan (mm)

SR = Momen kapasitas

Mu = Momen terfaktor

c. Cek Tulangan Longitudinal

$$\begin{aligned} \rho_{bal} &= \frac{0,85 f_c \beta_1 \left( \frac{600}{600-f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 f_c \beta_1 \left( \frac{600}{600-f_y} \right)}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 124 \times 0,85 \left( \frac{600}{600-420} \right)}{420} \\ &= 0,1376 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{A_s}{bd} \\ &= \frac{1061,32}{1000 \times 218,5} \\ &= 0,00395 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &\leq 0,75 \rho_{bal} \\ &= 0,75 \times 0,137 \\ &= 0,103 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s_{max} &= \rho_{bal} \times b \times d \\ &= 0,1376 \times 1000 \times 268,5 \\ &= 36.950,7 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keterangan :

$\rho_{bal}$  = Rasio penulangan *balance*

$f_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

- $f_y$  = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)  
 $\beta_1$  = faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral (0,85)  
 $\rho$  = Rasio penulangan  
 $\rho_{max}$  = Rasio penulangan maksimal  
 $A_s$  = Luas tulangan  
 $A_{s\ max}$  = Luas tulangan maksimal

Selanjutnya, dilakukan pengecekan terhadap luas tulangan dengan syarat berikut

$$A_{s\ min} \leq A_{s\ perlu} \leq A_{s\ max}$$

$$895\ mm^2 \leq 1.061,32\ mm^2 \leq 36.950,7\ mm^2\ OK$$

Maka, kebutuhan tulangan pokok pada sisi dinding yaitu 7D13 – 141,677 mm.

## 2. Perhitungan tulangan pokok pada sisi kaki

Diketahui data untuk menghitung kebutuhan tulangan sebagai berikut :

- Diameter tulangan (D) = 13 mm  
 Tebal dinding (a) = 350 mm  
 Tebal selimut beton (ts) = 75 mm  
 Tebal efektif dinding (d) =  $B - ts - (D/2)$   
 $= 350 - 75 - (13/2) = 268,5$   
 mm  
 Lebar yang ditinjau (bw) = 1.000 mm  
 $F_c'$  = 24 MPa  
 $F_y$  = 420 MPa

### 1. Tekanan Tanah Akibat Beban Mati

$$P_a = \frac{1}{2} \times \gamma_t \times K_a \times H^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 20 \times 0,271 \times 42 = 43,36\ kN$$

Keterangan :

$\gamma_t$  : Berat jenis isi tanah

$K_a$  : Nilai koefisien tekanan tanah aktif

$H$  : Tinggi lereng (m)

www.itk.ac.id

## 2. Momen Akibat Beban Mati

$$\begin{aligned} M_a &= Pa \times \frac{h}{3} \\ &= 43,36 \times \frac{h}{3} \\ &= 57,813 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

## 3. Momen Terfaktor

$$\begin{aligned} M_u &= 1,4 D \\ &= 1,4 (M_a) \\ &= 1,4 \times 57,813 \\ &= 80.935.696 \text{ kN.m} \\ &= \text{Rp } 80,935,696.16 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Keterangan :

$DL = \text{Dead Load}$  (Beban mati)

$M_a = \text{Momen Akibat beban mati}$  (kN.m)

$M_u = \text{Momen Terfaktor}$  (N.mm)

## 4. Menghitung Luas Penampang Tulangan

Pada perhitungan luas penampang tulangan akan mencari nilai luas penampang minimum dan luas penampang perlu untuk menentukan diameter yang akan dipakai. Berikut persamaan dalam mencari luas penampang sesuai SNI 2847:2019.

a. Mencari nilai luas penampang minimum dari dua persamaan berikut.

$$\begin{aligned} A_{s \min} &= \frac{0,25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d \\ A_{s \min} &= \frac{0,25\sqrt{24}}{420} 1000 \times 268,50 \\ &= 782,96 \\ A_{s \min} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \end{aligned}$$

$$A_{s \min} = \frac{1,4}{420} 1000 \times 268,5 = 895$$

Keterangan :

$A_{s \min}$  = Luas tulangan minimum yang diperlukan ( $\text{mm}^2$ )

$f_c'$  = Kuat tekan beton (MPa)

$f_y$  = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)

$b_w$  = Lebar yang ditinjau (mm)

$d$  = Diameter tulangan (mm)

Dari dua persamaan  $A_{s \min}$  di atas, yang akan digunakan ialah nilai  $A_{s \min}$  terbesar yaitu  $895 \text{ mm}^2$ . Kemudian dilakukan perhitungan  $A_s$  pakai dengan percobaan diameter 13 mm sebanyak 8 buah.

$$A_{sb} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

$$A_{sb} = \frac{1}{4} 3,14 \times 13^2$$

$$= 132,665 \text{ mm}^2$$

Sehingga diperoleh nilai  $A_s$  perlu sebagai berikut

$$A_s = n \times A_{sb}$$

$$= 7 \times 132,665$$

$$= 1.061,32 \text{ mm}^2$$

$$A_s \geq A_{s \min}$$

$$1.061,32 \geq 895 \text{ OK}$$

Keterangan :

$A_{sb}$  = Luas tulangan yang dipakai

$A_s$  perlu = Luas tulangan yang diperlukan

$A_{s \min}$  = Luas tulangan minimal yang diperlukan

$D$  = Diameter tulangan

$n$  = Jumlah tulangan

Setelah diperoleh nilai  $A_s$  perlu, selanjutnya dihitung nilai  $a$  sebagai berikut :

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c \times c}$$

$$a = \frac{1,061,32 \times 420}{0,85 \times 24 \times 1000}$$

$$a = 21,85 \text{ mm}$$

Kemudian dihitung jarak antar tulangan dengan syarat sebagai berikut :

$$S_{\min} \leq S \quad \text{www.itk.ac.id}$$

$$25 + d_b \leq \frac{B - 2 d_c}{n - 1}$$

$$25 + 13 \leq \frac{1000 - 2 \times 75}{7 - 1}$$

$$38 \text{ mm} \leq 141,667 \text{ mm OK}$$

Keterangan :

a = Luas penampang tulangan (mm)

S = Spasi antar tulangan (mm)

s min = Spasi tulangan minimal yang diperlukan (mm)

db = Diameter tulangan (mm)

B = Panjang dinding (mm)

dc = Selimut beton (mm)

Setelah diperoleh jarak antar tulangan yaitu 121,42 mm yang dibulatkan menjadi 121 mm, selanjutnya dilakukan pengecekan momen kapasitas tulangan untuk tulangan diameter 13 mm sebanyak 7 buah dengan jarak 121 mm.

#### B. Cek Momen Kapasitas

$$\phi M_n = \phi \left[ A_s F_y \left( \frac{1000 - 2 \times 75}{6 - 1} \right) \right]$$

$$= 0,9 \left[ 1061,32 \times 420 \left( 268,5 - \frac{21,85}{2} \right) \right]$$

$$= 10.333,352,9 \text{ Nmm}$$

$$SR = \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1 \quad \text{www.itk.ac.id}$$

$$= \frac{80.935.696,16}{10.333.352,9} \leq 1$$

$$= 0,78 \leq 1 \text{ OK}$$



C. Cek Tulangan Longitudinal

$$\begin{aligned}\rho_{bal} &= \frac{0,85 f_c \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600-f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 f_c \beta_1}{f_y} \left( \frac{600}{600-f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 124 \times 0,85}{420} \left( \frac{600}{600-420} \right) \\ &= 0,1376\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{A_s}{b d} \\ &= \frac{1061,32}{1000 \times 218,5} \\ &= 0,00395\end{aligned}$$

$$\rho_{max} \leq 0,75 \rho_{bal}$$

$$= 0,75 \times 0,137$$

$$= 0,103$$

$$A_{s \max} = \rho_{bal} \times b \times d$$

$$= 0,1376 \times 1000 \times 268,5$$

$$= 36.950,7 \text{ mm}^2$$

Keterangan :

$\rho_{bal}$  = Rasio penulangan *balance*

$f_c$  = Kuat tekan beton (MPa)

$f_y$  = Tegangan leleh baja tulangan (MPa)

$\beta_1$  = faktor yang menghubungkan tinggi blok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral (0,85)

$\rho$  = Rasio penulangan

$\rho_{max}$  = Rasio penulangan maksimal

$A_s$  = Luas tulangan

$A_{s \max}$  = Luas tulangan maksimal

Selanjutnya, dilakukan pengecekan terhadap luas tulangan dengan syarat berikut

$$A_{smin} \leq A_{sperlu} \leq A_{smax}$$

$$895 \text{ mm}^2 \leq 1.061,32 \text{ mm}^2 \leq 36.950,7 \text{ mm}^2 \text{ OK}$$

Maka, kebutuhan tulangan pokok pada sisi dinding yaitu 7D13 – 141,667 mm.

www.itk.ac.id

### 3.Perhitungan tulangan susut pada sisi dinding dan kaki

Data :

Tebal dinding (B) = 300 mm (tebal ekonomis dinding maupun kaki) Lebar yang ditinjau (b) = 1.000 mm

$$A_s \text{ perlu} = \frac{A_s \text{ min}}{2}$$

$$= \frac{700}{2} = 350 \text{ mm}^2$$

N

$$= \frac{A_s \text{ Perlu}}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

$$= \frac{350}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 13^2} = 2,3 = 3$$

S

$$= \frac{1000}{n}$$

$$= \frac{1000}{3} = 333,33 \text{ mm}$$

Maka, kebutuhan tulangan susut untuk dua sisi yaitu 3 D13 – 333 mm.

Setelah diperoleh hasil tulangan DPT tipe kantilever dari program *python* dan hitungan manual, selanjutnya dilakukan validasi untuk menunjukkan bahwa *output* benar yaitu nilai yang diperoleh sama dengan hitungan manual. Berikut validasi perhitungan tulangan DPT kantilever yang ditampilkan pada Tabel 4.14.

**Tabel 4. 10** Validasi program tulangan ( Penulis, 2023 )

Jenis Tulangan	Keterangan	Hasil Manual	Hasil Program	Persentase Error
Tulangan Dinding	Diameter tulangan	13 mm	13 mm	0%

Jenis Tulangan	Keterangan	Hasil Manual	Hasil Program	Persentase Error
	Jumlah Tulangan	7 buah	7 buah	0%
	Jarak antar tulangan	141 mm	141 mm	0%
	Diameter tulangan	13 mm	13 mm	0%
Tulangan Kaki	Jumlah Tulangan	7 buah	7 buah	0%
	Jarak antar tulangan	141 mm	141 mm	0%
	Diameter tulangan	13 mm	13 mm	0%
Tulangan Susut	Jumlah Tulangan	3 buah	3 buah	0%
	Jarak antar tulangan	333 mm	333 mm	0%

Berdasarkan Tabel 4.10 di atas, validasi perhitungan kebutuhan tulangan DPT tipe kantilever menunjukkan hasil perhitungan manual memiliki nilai yang sama dengan hasil program yang diperoleh nilai *error* = 0%. Maka dari itu, *script python* untuk perhitungan tulangan DPT tipe kantilever dapat dikatakan akurat.

### 4.2.3 Perancangan Script Biaya Dinding Penahan Tanah

Pada perancangan biaya dinding penahan tanah akan dilakukan untuk pekerjaan struktur dinding penahan tanah. Perhitungan akan dimulai dari volume pekerjaan struktur dan biaya harga satuan pekerjaan, sehingga dapat diperoleh total biaya pekerjaan dinding penahan tanah. Pada perhitungan biaya pembuatan dinding penahan tanah tipe gravitasi ini dilakukan untuk pekerjaan struktur yang meliputi pekerjaan pasangan batu, pemlesteran siar, dan pemlesteran biasa. Sementara, perhitungan biaya dinding penahan tanah tipe kantilever akan dilakukan untuk

pekerjaan struktur dinding penahan tanah yang meliputi pekerjaan beton, talangan, dan bekisting.

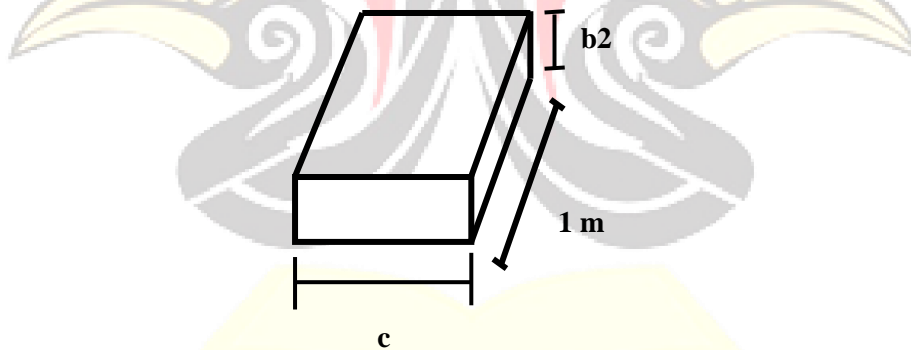
Sebelum menuliskan *script* RAB DPT tipe kantilever, perlu dilakukan percobaan perhitungan biaya DPT untuk dapat memilih satu dimensi yang akan ditampilkan dan dapat diproses pada perhitungan RAB di program. Dalam percobaan ini akan dilakukan dengan perhitungan manual dengan data Dimensi 1 sebagai berikut.

**a. Analisa Volume Pekerjaan**

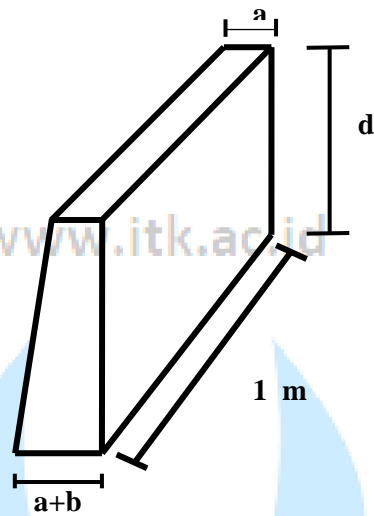
Analisa volume merupakan perhitungan volume dari tiap – tiap pekerjaan. Adapun volume pekerjaan yang akan dihitung dengan menggunakan contoh perhitungan pada ketinggian lereng (H) 4 m ialah sebagai berikut.

**1). Pekerjaan Beton**

Perhitungan volume beton yaitu dilakukan dengan menghitung volume DPT. Bentuk dari DPT tipe kantilever yaitu persegi pada kaki pondasi dan trapesium pada dinding. Adapun perhitungan volume beton sebagai berikut:



**Gambar 4. 7** Gambar perhitungan volume kaki DPT



**Gambar 4. 8** Gambar perhitungan volume dinding DPT

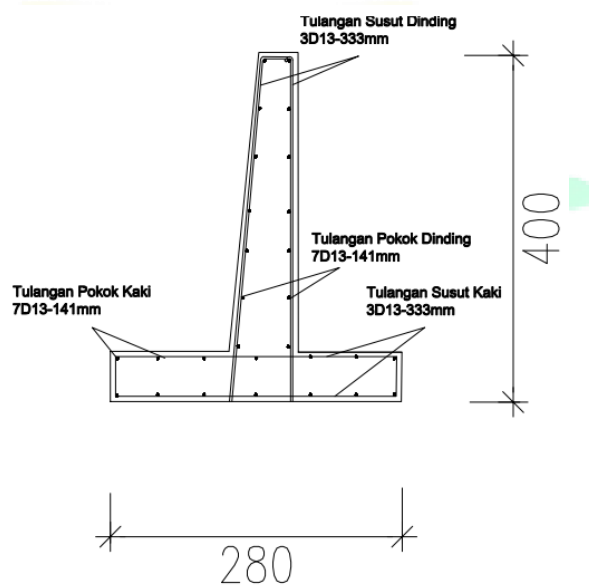
V Pekerjaan Beton = Sisi persegi + sisi Trapesium

$$= (c \times b_2 \times 1) + \left( 1 \times \left( \frac{(a+b)+a}{2} \right) \times (d) \right) m^3$$

$$= (2,8 \times 0,33 \times 1) + \left( 1 \times \left( \frac{0,4+0,3}{2} \right) \times (3,67) \right) m^3$$

$$= 2,2 m^3$$

**2). Pekerjaan Tulangan**



**Gambar 4. 9** Gambar perhitungan volume tulangan DPT

Pekerjaan tulangan dilakukan pada pembesian untuk DPT. Perhitungan volume tulangan dilakukan dengan menghitung jumlah kebutuhan tulangan pokok dan susut untuk bagian dinding dan kaki DPT. Adapun contoh perhitungan tulangan yang digunakan pada tinggi lereng ( $H = 4 \text{ m}$ ) dan menggunakan diameter tulangan D13 mm dengan berat per meternya 1,04 kg. Perhitungan volume tulangan sebagai berikut:

$$V \text{ tulangan pokok dinding} = n \times L \times \text{berat per meter}$$

$$= 7 \times 1 \times 1,042 = 7,29 \text{ kg}$$

$$V \text{ tulangan pokok kaki} = n \times L \times \text{berat per meter}$$

$$= 7 \times 1 \times 1,042 = 7,29 \text{ kg}$$

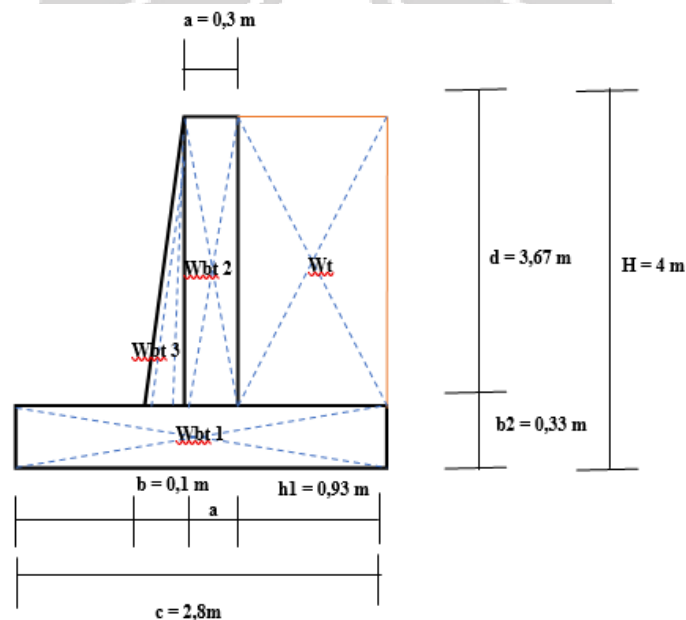
$$V \text{ tulangan susut} = \text{Susut Dinding} + \text{Susut Kaki}$$

$$= ((n \times L) \times 2 \times \text{berat per meter}) + (n \times L) \times \text{berat per meter}$$

$$= ((3 \times 3,67) \times 2 \times 1,042) + ((6 \times 2,8) \times 1,042)$$

$$= 40,41 \text{ kg}$$

### 3). Pekerjaan Bekisting



**Gambar 4. 10** Gambar perhitungan volume bekisting DPT

Volume bekisting dilakukan dengan menghitung setiap bagian volume dinding dan kaki. Adapun perhitungan volume bekisting biasa sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 V \text{ Bekisting} &= \text{Sisi dinding} + \text{sisi kaki} \\
 &= (1 \times d \times 1) + \left( \left( \frac{(a+b)+a}{2} \right) \times dx2 \right) m^2 \\
 &= (1 \times 3,67 \times 1) + \left( \left( \frac{0,3+0,4}{2} \right) \times 3,67 \times 2 \right) m^2 \\
 &= (2,8 \times 0,33 \times 2) + (0,33 \times 1 \times 2) m^2 \\
 &= 12,79 m^2
 \end{aligned}$$

**b. Analisa Harga Satuan**

Analisa harga satuan dihitung dengan menggunakan koefisien dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.28 tahun 2016, Tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.

**1). Pekerjaan Beton**

Analisa harga satuan untuk pekerjaan beton ditampilkan pada Tabel 4.11 berikut.

**Tabel 4. 11** Analisa Harga Satuan 1m3 Pekerjaan Beton Mutu fc’ 24 MPa  
( AHSP Kota Balikpapan, 2021 )

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Satuan
1	2	3	4	5	6
<b>A TENAGA</b>					
	Pekerja	OH	1.650	Rp 142,800.00	Rp 235,620.00
	Tukang Batu	OH	0.275	Rp 152,300.00	Rp 41,882.50
	Kepala Tukang	OH	0.028	Rp 171,300.00	Rp 4,796.40
	Mandor	OH	0.083	Rp 161,800.00	Rp 13,429.40
<b>Jumah Harga Tenaga</b>					<b>Rp 295,728.30</b>
<b>B BAHAN</b>					
	Semen Portland	Kg	406.000	Rp 1,232.00	Rp 500,192.00
	Pasir Beton ex Palu	m3	0.489	Rp 423,600.00	Rp 207,140.40
	Koral ex Palu Max 30 mm	m3	0.760	Rp 515,200.00	Rp 391,552.00

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Satuan
	Air	Ltr	215.000	Rp 100.00	Rp 21,500.00
<b>Jumlah Harga Bahan</b>					<b>Rp 1,120,384.40</b>
<b>C</b>	<b>PERALATAN</b>				
<b>Jumlah Harga Alat</b>					Rp -
<b>D</b>	<b>Jumlah (A+B+C)</b>				Rp 1,416,112.70
<b>E</b>	<b>Overhead &amp; Profit</b>		0.150		Rp 212,416.91
<b>F</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>				<b>Rp 1,628,529.61</b>

Berdasarkan Tabel 4. 11 menunjukkan bahwa total harga satuan  $1\text{m}^3$  pekerjaan beton mutu  $fc' 24$  MPa untuk *overhead & profit* sebesar 15% adalah Rp 1,628,529.00, harga ini akan di kalkulasikan dengan volume pekerjaan beton untuk mendapatkan nilai harga pekerjaan beton pada dinding penahan tanah tipe kantilever.

## 2). Pekerjaan Tulangan

Analisa harga satuan untuk pekerjaan tulangan ditampilkan pada Tabel 4.11 berikut.

**Tabel 4. 12** Analisa Harga Satuan 1 kg Pembesian ( AHSP Kota Balikpapan, 2021 )

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Satuan
1	2	3	4	5	6
<b>A</b>	<b>TENAGA</b>				
	Pekerja	OH	0.070	Rp 142,800.00	Rp 9,996.00
	Tukang Besi	OH	0.070	Rp 152,300.00	Rp 10,661.00
	Kepala Tukang	OH	0.007	Rp 171,300.00	Rp 1,199.10
	Mandor	OH	0.004	Rp 161,800.00	Rp 647.20
<b>Jumah Harga Tenaga</b>					<b>Rp 22,503.30</b>
<b>B</b>	<b>BAHAN</b>				
	Besi beton (ulir)	Kg	10.500	Rp 10,500.00	Rp 110,250.00



No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Satuan
	Kawat Bendrat	Kg	0.150	Rp 21,400.00	Rp 3,210.00
	<b>Jumlah Harga Bahan</b>				<b>Rp 113,460.00</b>
<b>C</b>	<b>PERALATAN</b>				
	<b>Jumlah Harga Alat</b>				Rp -
<b>D</b>	<b>Jumlah (A+B+C)</b>				Rp 35,963.30
<b>E</b>	<i>Overhead &amp; Profit</i>		0.150		Rp 20,394.50
<b>F</b>	<b>Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>				<b>Rp 156,357.80</b>
<b>G</b>	<b>Pembesian 1 Kg Dengan Besi Polos Atau Besi Ulir</b>				<b>Rp 15,635.78</b>

Berdasarkan Tabel 4. 12 menunjukkan bahwa total harga satuan 1 kg pembesian untuk *overhead & profit* sebesar 15% adalah Rp 15,635,78 harga ini akan di kalkulasikan dengan volume pekerjaan tulangan untuk mendapatkan nilai harga pekerjaan tulangan pada dinding penahan tanah tipe kantilever.

### 3). Pekerjaan Bekisting

Analisa harga satuan untuk pekerjaan bekisting ditampilkan pada Tabel 4.13 berikut.

**Tabel 4. 13** Analisa Harga Satuan 1m Pemasangan Bekisting Dinding  
(AHSP Kota Balikpapan, 2021 )

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Satuan
1	2	3	4	5	6
<b>A</b>	<b>TENAGA</b>				
	Pekerja	OH	0.660	Rp 142,800.00	Rp 94,248.00
	Tukang Kayu	OH	0.330	Rp 152,300.00	Rp 50,259.00
	Kepala Tukang	OH	0.033	Rp 171,300.00	Rp 5,652.90
	Mandor	OH	0.033	Rp 161,800.00	Rp 5,339.40
	<b>Jumlah Harga Tenaga</b>				<b>Rp 155,499.30</b>
<b>B</b>	<b>BAHAN</b>				

Papan 2/20 Kayu Meranti	m <sup>3</sup>	0.030	Rp 2,289,800.00	Rp 68,694.00
Paku 5- 10 cm	Kg	0.400	Rp 30,700.00	Rp 12,280.00
Minyak Bekesting	Ltr	0.200	Rp 4,000.00	Rp 800.00
Balok 5/7 Kayu Meranti	m <sup>3</sup>	0.020	Rp 2,862,300.00	Rp 57,246.00
Plywood Tebal 9 mm	Lbr	0.350	Rp 123,100.00	Rp 43,085.00
Dolken Kayu Ø 8-10 cm Panjang 4m	Btg	3.000	Rp 9,100.00	Rp 27,300.00
Penjaga Jarak Bekesting/Spacer	Bh	4.000	Rp 9,100.00	Rp 36,400.00
<b>Jumlah Harga Bahan</b>				<b>Rp 245,805.00</b>
<b>C PERALATAN</b>				
<b>Jumlah Harga Alat</b>				Rp -
<b>D Jumlah (A+B+C)</b>				Rp 401,304.30
<b>F Overhead &amp; Profit</b>		0.150	Rp 60,195.65	
<b>G Harga Satuan Pekerjaan (D+E)</b>				<b>Rp 230,749.97</b>

Berdasarkan Tabel 4.13 menunjukkan bahwa total harga satuan 1m pemasangan bekisting dinding untuk satu kali pakai *overhead & profit* sebesar 15% adalah Rp 230,749.97 sehingga diasumsikan menggunakan pemasangan bekisting untuk satu kali pakai dengan tujuan untuk mempermudah *user* dalam menggunakan program.

### c. Rencana Anggaran Biaya

Setelah dilakukan perhitungan volume dan Analisa harga satuan, maka dilanjutkan perhitungan rencana anggaran biaya, dimana RAB diperoleh dengan mengalikan volume dengan harga satuan yang telah dihitung. Berikut rencana anggaran biaya untuk Dimensi 1 DPT tipe kantilever yang ditampilkan pada Tabel 4.14.

**Tabel 4. 14** RAB Dimensi DPT Tipe Kantilever ( AHSP Kota Balikpapan, 2021 )

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga satuan	Total harga
1	Pekerjaan Beton	m <sup>3</sup>	2.21	Rp 1,628,529.61	Rp 3,599,050.43
2	Pekerjaan tulangan dinding	Kg	7.29	Rp 15,635.78	Rp 114,000.47

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Volume	Harga satuan	Total harga
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Kg	7.29	Rp 15,635.78	Rp 114,000.47
4	Pekerjaan tulangan susut	Kg	40.41	Rp 15,635.78	Rp 631,946.09
5	Pekerjaan Bekisting dinding	m2	9.9	Rp 230,749.97	Rp 2,284,424.73
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	m2	2.53	Rp 230,749.97	Rp 584,565.83

Berdasarkan Tabel 4. 14 menunjukkan bahwa total RAB Dimensi DPT tipe kantilever yaitu sebesar Rp7.327.988.01 nilai ini adalah nilai harga DPT untuk tinjauan sepanjang 1 m.

Pada perancangan *script* biaya dinding penahan tanah pertama dimasukkan data harga upah dan material serta nilai *overhead & profit* (OP) yang ditampilkan pada Gambar 4.11.

```
def hitung_harga(self):
    #hitung harga pekerjaan beton
    pekerja_beton = self.lineEdit_pekerja_beton.text()
    tukang_batu_beton = self.lineEdit_tukang_batu_beton.text()
    kepala_tukang_beton = self.lineEdit_kepala_tukang_beton.text()
    mandor_beton = self.lineEdit_mandor_beton.text()
    semen_beton = self.lineEdit_semen_beton.text()
    pasir_beton = self.lineEdit_pasir_beton.text()
    koral_beton = self.lineEdit_koral_beton.text()
    air_beton = self.lineEdit_air_beton.text()

    h2 = self.lineEdit_h2.text()
    tan = self.lineEdit_tan.text()
    bj = self.lineEdit_bj.text()
    ch = self.lineEdit_ch.text()
```

**Gambar 4. 11** *Script* Perhitungan Harga DPT Kantilever (Penulis, 2023)

Setelah diperoleh hasil biaya dinding penahan tanah tipe kantilever dari program *python* dan hitungan manual, selanjutnya dilakukan validasi untuk menunjukkan bahwa *output* benar yaitu nilai yang diperoleh sama dengan hitungan manual. Berikut validasi perhitungan biaya DPT tipe kantilever yang ditampilkan pada Tabel 4.15.

**Tabel 4. 15** Hasil Validasi Program (Penulis, 2023)

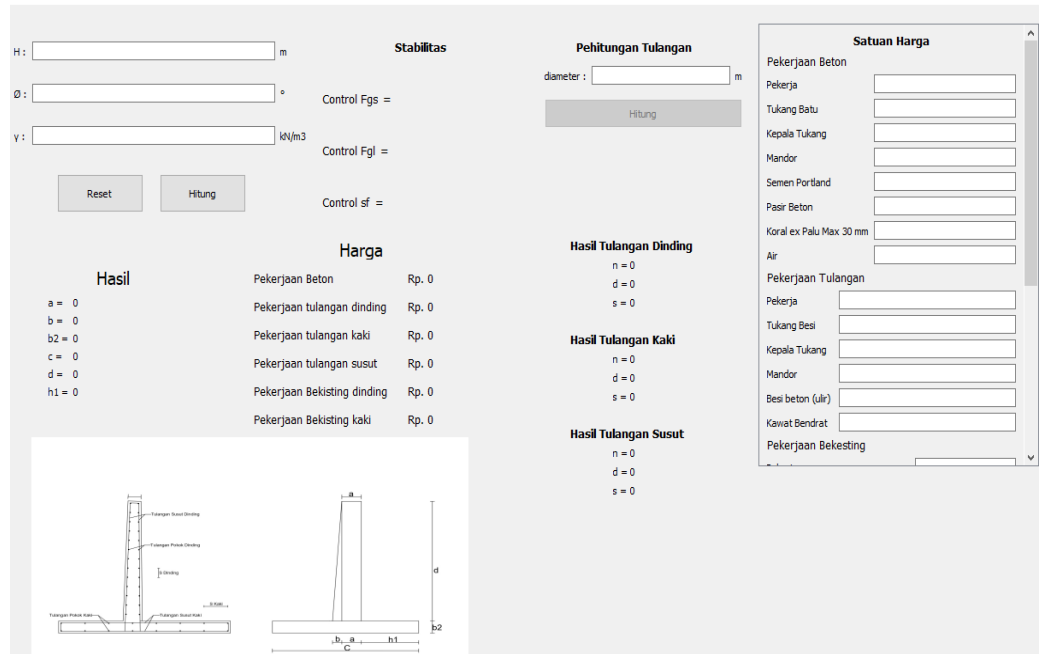
No	Jenis Pekerjaan	Hasil Manual	Hasil Program	Presentase Error (%)
1	Pekerjaan Beton	3,599,050.43	3,599,050.43	0%
2	Pekerjaan tulangan dinding	114,000.47	114,000.47	0%
3	Pekerjaan tulangan Kaki	114,000.47	114,000.47	0%
4	Pekerjaan tulangan susut	631,946.09	631,946.09	0%
5	Pekerjaan Bekisting dinding	2,284,424.73	2,284,424.73	0%
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	584,565.83	584,565.83	0%

Berdasarkan Tabel 4.15 di atas, validasi perhitungan biaya DPT tipe kantilever menunjukkan hasil perhitungan manual yang telah dihitung memiliki nilai yang sama dengan hasil program sehingga diperoleh nilai *error* = 0%. Maka dari itu, *script python* untuk perhitungan biaya DPT tipe kantilever dapat dikatakan akurat..

### 4.3 Interface Program

Perancangan program dinding penahan tanah yang telah dikerjakan dengan bahasa *python*, kemudian dilanjutkan dengan membuat *interface* (tampilan) berbasis GUI (*Graphical User Interface*). *Interface* memudahkan *user* dalam menggunakan program perhitungan ini. Tampilan awal program berisi kolom untuk menginput data tanah, kolom untuk menginput data diameter, kolom untuk menginput harga material dan upah pekerja, selain itu ada juga tombol untuk menjalankan program. Berikut tampilan awal program yang ditunjukkan pada Gambar 4.12





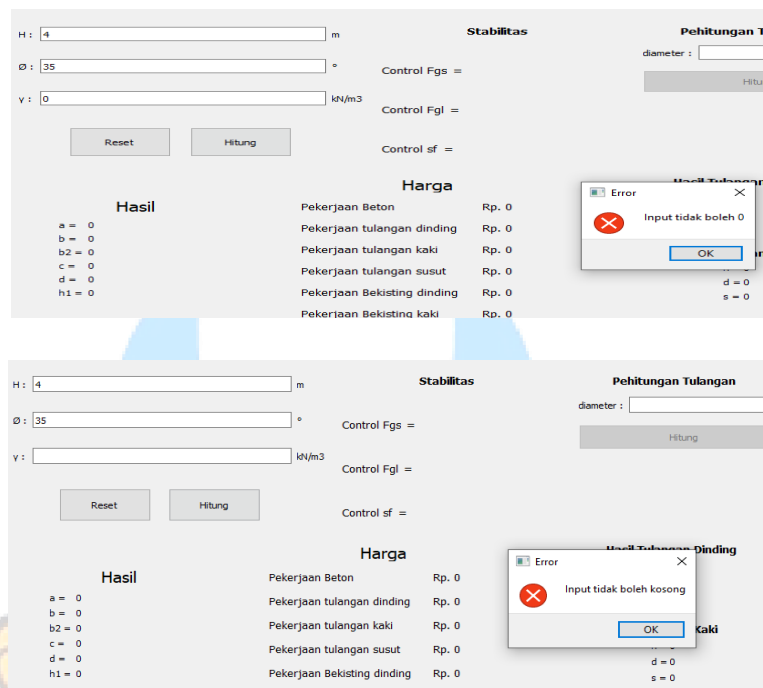
**Gambar 4. 12** Tampilan awal *interface* program (Penulis, 2023)

Pada bagian dimensi DPT terdiri dari data tanah dan hasil analisa dimensi. Data tanah berisi data yang perlu *user input* agar program dapat memproses perhitungan dengan data tersebut. Setelah semua data di isi klik tombol hitung agar mendapatkan hasil dimensi. Pada perhitungan kebutuhan tulangan *user* diminta untuk mengisi data diameter tulangan yang ingin digunakan. Setelah semua data di isi klik tombol hitung untuk mendapatkan hasil analisis mengenai kebutuhan tulangan yang digunakan. Selanjutnya pada perhitungan biaya DPT *user* diminta untuk mengisi nilai harga material dan upah pekerja pada setiap item pekerjaan. Setelah semua data terisi klik hitung untuk mendapatkan nilai biaya DPT yang diperlukan. Di samping tombol hitung, ada pula tombol *reset* untuk mengulang perhitungan. Setelah data tanah diisi, hasil perhitungan dimensi DPT ditampilkan pada bagian hasil analisa dimensi. Bagian hasil analisa dimensi menampilkan hasil dimensi (a, b, b2, c, d, h1), nilai keamanan geser, guling, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah.

[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)

Program memungkinkan tidak dapat menghasilkan *output*. Hal ini dapat terjadi jika data yang telah dimasukkan *user* saat diproses oleh program ternyata tidak memiliki dimensi yang cocok, karena seluruh dimensi yang sesuai dengan batasan yang telah dirancang tidak aman pada nilai SF baik stabilitas geser, guling dan keruntuhan kapasitas dukung tanah, selain itu program memungkinkan tidak

dapat menghasilkan *output*. Hal tersebut jika *user* tidak memasukan angka kedalam program ditampilkan pada Gambar 4.13 sebagai berikut



Gambar 4. 13 Gambar peringatan program

#### 4.4 *Running Program pada Interface*

*Interface* yang telah dibuat perlu dilakukan uji coba untuk melihat hasil *running* yang ditampilkan, dengan harapan hasil yang diberikan sama dengan tubuh program dan hasil manual. Uji coba akan dilakukan dengan data seperti pada perhitungan manual. Percobaan dilakukan dengan mengisi data tanah pada bagian dimensi DPT, selanjutnya klik “hitung” agar program dapat memproses perhitungan dan memberikan *output* yang diharapkan. Hasil Analisa Dimensi dengan nilai  $a = 0.33$  m,  $b = 0,1$  m,  $b2 = 0,33$  m,  $c = 2.8$ m,  $d = 3,67$  m,  $h1 = 1,4$  m kemudian pada program juga menunjukkan hasil stabilitas dukung tanah yaitu stabilitas geser, stabilitas guling dan nilai *safety factor* dimana nilai stabilitas dukung tanah ini harus terpenuhi agar bisa melanjutkan ke perhitungan tulangan DPT.

Setelah perhitungan dimensi terpenuhi maka selanjutnya adalah menghitung kebutuhan tulangan DPT kantilever dimana *user* diminta untuk menginput nilai diameter tulangan yang diperlukan. Perhitungan tulangan ini menghasilkan *output* berupa tulangan pokok dinding per 1 meter diperoleh D13-

121 mm, tulangan pokok kaki diperoleh 7D13-121 mm, dan tulangan susut untuk dinding dan kaki diperoleh 6D6-333 mm. Selanjutnya ialah menghitung anggaran dpt kantilever dimana *user* diminta untuk menginput nilai harga material dan upah pekerja pada tiap pekerjaan. Hasil rencana anggaran biaya DPT, diperoleh total biaya DPT tipe kantilever yaitu Rp 7327.988.01.

*Output* yang ditampilkan pada *interface* memiliki hasil perhitungan yang sama dengan hitungan manual, yang mana hasil dimensi DPT sama seperti hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.7, kemudian kebutuhan tulangan memiliki hasil yang sama seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.9, dan terakhir hasil rencana anggaran biaya sama seperti hasil yang ditampilkan pada Tabel 4.14. Berdasarkan penjelasan di atas, *interface* yang telah dirancang dapat dikatakan valid dan layak digunakan.

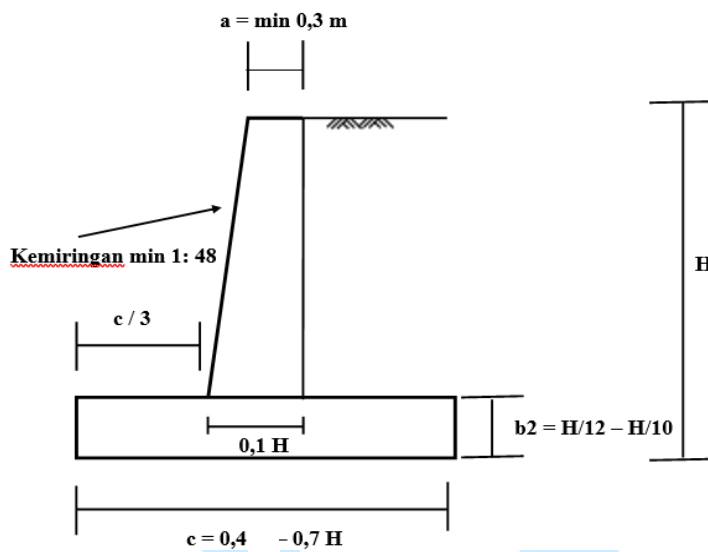
#### 4.5 Sensitivitas Analisis

Perancangan program *python* untuk Dinding Penahan Tanah

telah berhasil dilakukan untuk tipe kantilever. Program ini dapat mengoptimalkan perancangan dengan memberikan hasil dimensi yang efektif (aman pada nilai SF), biaya yang efisien dan waktu perhitungan yang lebih cepat. Program dapat berjalan bila *user* mengisi data tanah yaitu tinggi lereng, berat volume tanah, dan sudut geser dalam. Hasil perhitungan program sudah tervalidasi dengan karena nilai dari program memiliki nilai yang sama dengan perhitungan manual sehingga nilai *error* = 0%.

a. Pengaruh Tinggi Lereng( H) Terhadap dimensi DPT

Pada perhitungan dimensi DPT kantilever tinggi lereng (H) sangat berpengaruh terhadap besarnya dimensi, hal ini dikarenakan tinggi lereng berbanding lurus dengan besarnya dimensi yang dihasilkan, semakin tinggi lereng semakin besar pula dimensi yang diperlukan. Pengaruh (H) dapat dibuktikan melalui rekap dimensi dan volume pada program sebagai berikut (menjelaskan gambar)



**Gambar 4. 14** Gambar Perencanaan dimensi DPT kantilever

Gambar 4.14 merupakan visualisasi terkait perencanaan dimensi DPT kantilever dimana pada panjang kaki DPT ( $c$ ) dan tebal kaki DPT dilakukan perulangan untuk mendapatkan dimensi efektif yang dapat dilihat pada table 4.16.

**Tabel 4. 16** Hasil analisis Tinggi ( $H$ ) terhadap dimensi (Penulis, 2023)

H	Dimensi (m)						Volume		
	a	b	b2	c	d	h1	Volume beton ( $m^3$ )	Volume Bekisting Dinding ( $m^2$ )	Volume Bekisting Kaki ( $m^2$ )
3	0.30	0.00	0.25	2.10	2.75	1.10	1.4	7.42	1.54
4	0.30	0.10	0.33	2.80	3.67	1.47	2.2	10.26	2.53
5	0.30	0.20	0.42	3.50	4.58	1.83	3.3	13.29	3.75
6	0.30	0.30	0.50	4.20	5.50	2.20	4.6	16.5	5.19
7	0.30	0.40	0.58	4.90	6.42	2.57	6.1	19.89	6.88
8	0.30	0.50	0.67	5.60	7.33	2.93	7.8	23.46	8.79
9	0.30	0.60	0.75	6.30	8.25	3.30	9.7	27.22	10.95
10	0.30	0.70	0.83	7.00	9.17	3.67	11.8	31.16	13.33

Berdasarkan tabel diatas tinggi lereng berpengaruh terhadap besarnya dimensi dan volume DPT kantilever, sehingga semakin besar nilai tinggi lereng ( $H$ ) maka semakin besar pula dimensi dan volume DPT yang dihasilkan.



b. Pengaruh Tinggi Lereng( H) Terhadap Tulangan

**Tabel 4. 17** Hasil analisis Tinggi (H) terhadap tulangan (Penulis, 2023)

H	Dimensi (m)						Volume		
	a	b	b2	c	d	h1	Volume Tulangan dinding (kg)	Volume Tulangan Kaki (kg)	Volume tulangan susut (kg)
3	0.30	0.00	0.25	2.10	2.75	1.10	14.58	7.29	40.41
4	0.30	0.10	0.33	2.80	3.67	1.47	14.58	7.29	40.41
5	0.30	0.20	0.42	3.50	4.58	1.83	14.58	7.29	40.41
6	0.30	0.30	0.50	4.20	5.50	2.20	14.58	7.29	40.41
7	0.30	0.40	0.58	4.90	6.42	2.57	14.58	7.29	40.41
8	0.30	0.50	0.67	5.60	7.33	2.93	14.58	7.29	40.41
9	0.30	0.60	0.75	6.30	8.25	3.30	14.58	7.29	40.41
10	0.30	0.70	0.83	7.00	9.17	3.67	14.58	7.29	40.41

Berdasarkan table diatas hasil perhitungan tulangan memiliki nilai volume yang sama untuk tinggi lereng yang berbeda dikarenakan hanya meninjau sejauh 1 m.

c. Pengaruh Tinggi Lereng( H) Terhadap Biaya

Pada perhitungan dimensi DPT kantilever tinggi lereng (H) ikut berpengaruh terhadap besarnya volume pekerjaan , baik itu pada volume beton , volume besi, dan volume bekisting , seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa tinggi lereng (H) berpengaruh terhadap besarnya dimensi sementara itu semakin besar dimensi yang diperoleh maka semakin besar juga volume yang dihasilkan. Rancangan anggaran dan biaya erat kaitannya dengan besar dimensi dan volume pekerjaan. RAB *project* ialah kalkulasi keseluruhan dari total perkalian antara satuan pekerjaan dan volume unit pekerjaan, sehingga untuk menentukan rancangan anggaran biaya perlu menentukan dimensi dan volume pekerjaan terlebih dahulu. Berikut hasil perhitungan RAB pada program :

**Tabel 4. 18** Hasil analisis Tinggi (H = 3 m) terhadap biaya (Penulis, 2023)

No	Jenis Pekerjaan	Total harga
1	Pekerjaan Beton	Rp 2,198,514.97
2	Pekerjaan tulangan dinding	Rp 1,140,108.92
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Rp 1,140,108.92
4	Pekerjaan tulangan susut	Rp 4,739,595.66
5	Pekerjaan Bekisting dinding	Rp 1,649,862.30
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	Rp 357,662.46

**Tabel 4. 19** Hasil analisis (H = 4 m) terhadap biaya (Penulis, 2023)

No	Jenis Pekerjaan	Total Harga
1	Pekerjaan Beton	Rp 3,599,050.43
2	Pekerjaan tulangan dinding	Rp 1,140,108.92
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Rp 1,140,108.92
4	Pekerjaan tulangan susut	Rp 6,31,946.09
5	Pekerjaan Bekisting dinding	Rp 2,284,424.73
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	Rp 584,565.83

**Tabel 4. 20** Hasil analisis (H = 5 m) terhadap biaya (Penulis, 2023)

No	Jenis Pekerjaan	Total Harga
1	Pekerjaan Beton	Rp 5,374,147.70
2	Pekerjaan tulangan dinding	Rp 1,140,108.92
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Rp 1,140,108.92
4	Pekerjaan tulangan susut	Rp 7,899,326.10
5	Pekerjaan Bekisting dinding	Rp 2,961,291.31
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	Rp 865,312.40

**Tabel 4. 21** Hasil analisis (H = 6 m) terhadap biaya (Penulis, 2023)

No	Jenis Pekerjaan	Total Harga
1	Pekerjaan Beton	Rp 7,458,665.5

2	Pekerjaan tulangan dinding	Rp 1,140,108.92
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Rp 1,140,108.92
4	Pekerjaan tulangan susut	Rp 9.479.191.32
5	Pekerjaan Bekisting dinding	Rp 3,680,462.06
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	Rp 1,199,899.86

**Tabel 4. 22** Hasil analisis (H = 7 m) terhadap biaya (Penulis, 2023)

No	Jenis Pekerjaan	Total Harga
1	Pekerjaan Beton	Rp 9,852,604.11
2	Pekerjaan tulangan dinding	Rp 1,140,108.92
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Rp 1,140,108.92
4	Pekerjaan tulangan susut	Rp 11.059,056.55
5	Pekerjaan Bekisting dinding	Rp 4,441,936.97
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	Rp 1,588.328.98

**Tabel 4. 23** Hasil analisis (H = 8 m) terhadap biaya (Penulis, 2023)

No	Jenis Pekerjaan	Total Harga
1	Pekerjaan Beton	Rp 12,669,960.33
2	Pekerjaan tulangan dinding	Rp 1,140,108.92
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Rp 1,140,108.92
4	Pekerjaan tulangan susut	Rp 12,638,921.77
5	Pekerjaan Bekisting dinding	Rp 5,245,716.04
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	Rp 2,030,599.76

**Tabel 4. 24** Hasil analisis (H = 9 m) terhadap biaya (Penulis, 2023)

No	Jenis Pekerjaan	Total Harga
1	Pekerjaan Beton	Rp 15,747,8811.28
2	Pekerjaan tulangan dinding	Rp 1,140,108.92
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Rp 1,140,108.92

4	Pekerjaan tulangan susut	Rp 14.218.786.99
5	Pekerjaan Bekisting dinding	Rp 6,091,799.27
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	Rp 2,526,712.20

**Tabel 4. 25** Hasil analisis (H = 10 m) terhadap biaya (Penulis, 2023)

No	Jenis Pekerjaan	Total Harga
1	Pekerjaan Beton	Rp 19,167,793.45
2	Pekerjaan tulangan dinding	Rp 1,140,108.92
3	Pekerjaan tulangan Kaki	Rp 1,140,108.92
4	Pekerjaan tulangan susut	Rp 15,798,652.21
5	Pekerjaan Bekisting dinding	Rp 6,980,186,67
6	Pekerjaan Bekisting Kaki	Rp 3,078,666.30

Berdasarkan hasil perhitungan RAB pada program tinggi lereng (H) berpengaruh terhadap besarnya anggaran yang dibutuhkan, dapat dilihat pada perubahan kenaikan jumlah biaya yang signifikan pada setiap item pekerjaan diatas , semakin besar nilai (H) maka semakin besar juga biaya yang diperlukan.

#### 4.6 Pembahasan

Perencanaan dinding penahan tanah (DPT) tipe kantilever dengan menggunakan bahasa *python* mempermudah dalam perhitungan dimensi DPT kantilever , program melakukan perulangan dimensi untuk mendapatkan hasil dimensi yang efektif terhadap biaya dan aman terhadap stabilitas (SF). Sebagai contoh pada contoh perhitungan dimensi pada ketinggian lereng (H = 4 m) sampel perulangan pada tebal kaki pondasi (b2) dan panjang kaki pondasi (c) diperoleh sebanyak 12 kemungkinan variasi dimensi, dari 12 variasi dimensi yang memenuhi syarat aman pada nilai SF geser, guling, dan keruntuhan kapasitas dukung tanah sebanyak 3 kemungkinan yaitu {0.33, 2.8},{0.36 , 0.28},{0.40, 2.8 }.Beberapa hasil dimensi tersebut akan dipilih dimensi yang akan digunakan untuk melanjutkan perhitungan rencana anggaran biaya, maka diambil variasi dimensi terkecil yaitu

{0.33 , 2.8}, karena dimensi yang diambil adalah dimensi terkecil maka dapat meminimalisir biaya yang dibutuhkan.

Pada perhitungan tulangan DPT kantilever program memberikan hasil kebutuhan tulangan yang optimal, diameter tulangan didesain sesuai kebutuhan pengguna sehingga mempermudah pengguna untuk merencanakan penulangan pada DPT kantilever. Pada ketinggian lereng ( $H = 4 \text{ m}$ ) hasil tulangan yang dibutuhkan untuk tulangan pokok dinding ialah 7D13-141 mm, untuk tulangan pokok kaki ialah 7D13-141 mm dan tulangan susut 3D-333 mm, hasil ini merupakan nilai terkecil yang dibutuhkan sebuah dinding kantilever dengan tinggi lereng ( $H = 4 \text{ m}$ ). Hasil perhitungan program sudah tervalidasi dengan perhitungan manual karena nilai dari program memiliki nilai yang sama dengan perhitungan manual sehingga nilai *error* = 0%.

Hasil rancangan anggaran dan biaya didapatkan dari hasil perkalian antara volume dan harga satuan, dikarenakan volume yang dipakai adalah volume terkecil maka dapat meminimalisir biaya yang dibutuhkan pada DPT tipe kantilever dengan tinggi lereng ( $H = 4 \text{ m}$ ) sebesar Rp7.327.988.01, perhitungan yang dipakai ialah perhitungan volume dengan jarak tinjauan 1m sehingga *user* perlu mengalikan harga dengan panjang DPT kantilever yang direncanakan.



[www.itk.ac.id](http://www.itk.ac.id)