

## BAB V ANALISIS DATA

### 5.1 Data Penelitian

Data propertis material dan topografi lahan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari PT. Rayakonsult – PT. Indec Internusa (KSD) selaku konsultan pengawas pada pekerjaan Penanganan Banjir Kota Surakarta Paket-3.

#### 5.1.1 Data Pengujian Tanah dan Batuan

Adapun data sekunder yang diperoleh adalah sebagai berikut.

##### 1. Data tanah timbunan

Data parameter tanah timbunan yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

**Tabel 5.1 Parameter Lapisan Tanah Timbunan**

Parameter Tanah	Nilai	Satuan
c	36,788	kN/m <sup>2</sup>
$\phi$	35,809	°
$\gamma$	15,912	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{\text{sat}}$	16,687	kN/m <sup>3</sup>
E	5000	kN/m <sup>2</sup>
v	0,35	

##### 2. Data tanah asli

Kondisi tanah asli berdasarkan data bor mesin merupakan jenis tanah lempung abu-abu, kaku, dengan fragmen kerikil. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

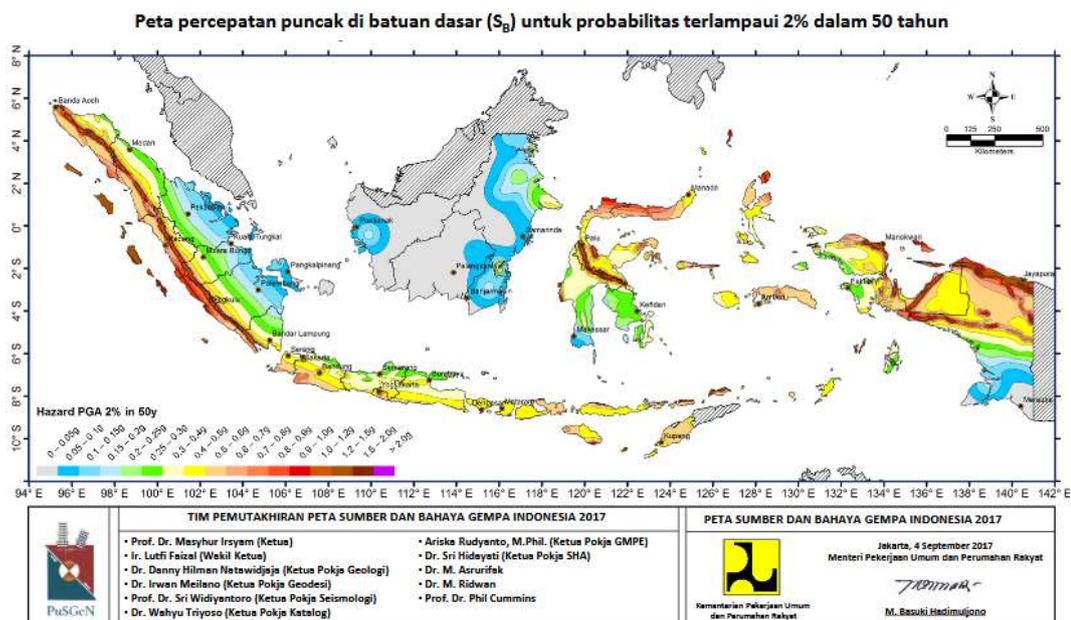


Spesifikasi dan data perencanaan dinding penahan tanah adalah sebagai berikut:

1. dinding penahan tanah terbuat dari beton,
2. dinding penahan tanah adalah jenis kantilever,
3. mutu beton dinding penahan tanah yaitu K225,
4. tinggi = 6,34 m,
5. lebar = 4 m, dan
6. berat volume beton  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ .

### 5.1.3 Data beban gempa

Kota Surakarta memasuki zona gempa dengan pendekatan *peak ground acceleration* (PGA) sebesar 0,3g - 0,4g. Percepatan yang digunakan sebesar 0,364g, percepatan ini sesuai dengan percepatan puncak di lokasi penelitian berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017 yang dapat dilihat pada Gambar 5.2. Peta tersebut dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia tahun 2017 yang didasarkan pada besarnya percepatan puncak di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun.



**Gambar 5.2 Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017**  
(Sumber : [www.puskim.pu.go.id](http://www.puskim.pu.go.id), 2018)

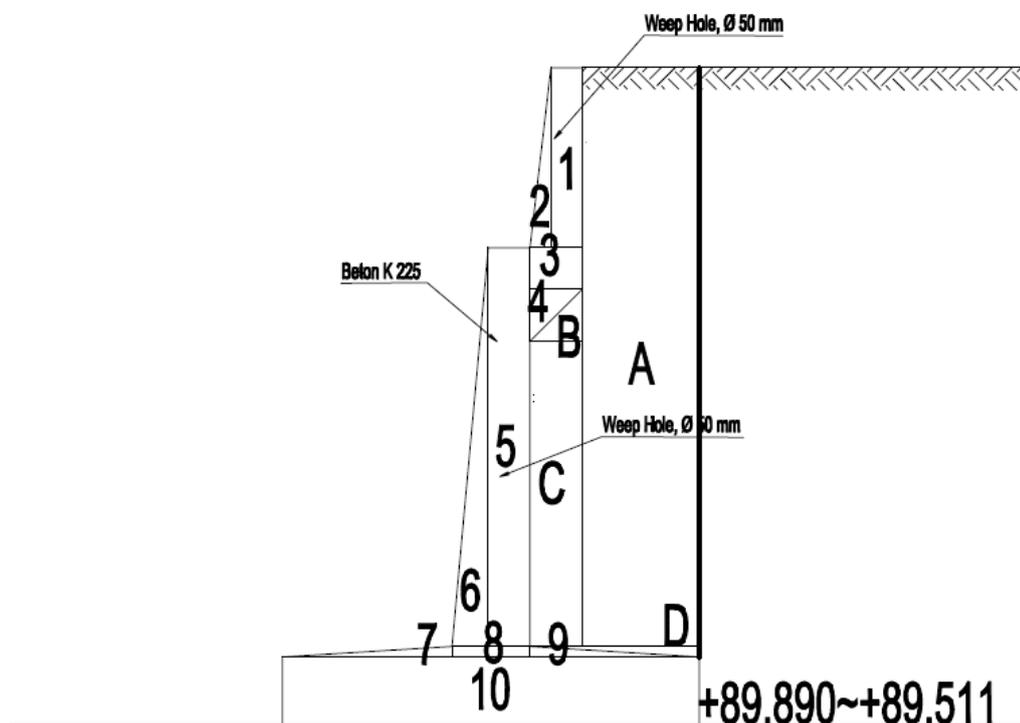
## 5.2 Analisis Gaya-gaya Dinding Penahan Tanah

Analisis gaya-gaya dinding penahan tanah yang ditinjau meliputi gaya vertikal, gaya tanah lateral, dan momen gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah yang diteliti.

### 5.2.1 Hitungan Gaya Vertikal

Hitungan gaya vertikal meliputi berat struktur dinding penahan tanah, dan tanah yang berada di atas dinding penahan tanah tersebut.

Untuk mempermudah dalam menghitung gaya vertikal dinding penahan tanah, dinding penahan tanah dibuat perbagian yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



**Gambar 5.3 Bagian-bagian Dinding Penahan Tanah Sungai Gajah Putih**

Berdasarkan bentuk struktur setiap dinding penahan tanah yang ditinjau, gaya vertikal dinding penahan tanah dapat dihitung sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas 1} &= (H \times A) \\
 &= (1,74 \text{ m} \times 0,3 \text{ m}) \\
 &= 0,522 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W1 &= \text{Luas } l \times \gamma_{\text{beton bertulang}} \times 1 \text{ m} \\
 &= 0,522 \text{ m}^2 \times 24 \text{ kN/m}^3 \times 1 \text{ m} \\
 &= 12,528 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama, gaya vertikal dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

**Tabel 5.3 Hasil Hitungan Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah**

No	Bagian yang ditinjau	H (m)	A (m)	V (m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	W (kN)
1	1	1,74	0,3	0,522	24	12,528
2	2	1,74	0,2	0,174	24	4,176
3	3	0,4	0,5	0,2	24	4,8
4	4	0,5	0,5	0,125	24	3
5	5	3,85	0,4	1,54	24	36,96
6	6	3,85	0,35	0,674	24	16,17
7	7	0,1	1,63	0,082	24	1,956
8	8	0,1	0,75	0,075	24	1,8
9	9	0,1	1,63	0,082	24	1,956
10	10	0,65	4	2,6	24	62,4
11	A	5,59	1,13	6,317	15,892	100,386
12	B	0,5	0,5	0,125	15,892	1,987
13	C	2,95	0,5	1,475	15,892	23,441
14	D	0,1	1,63	0,082	15,892	1,295

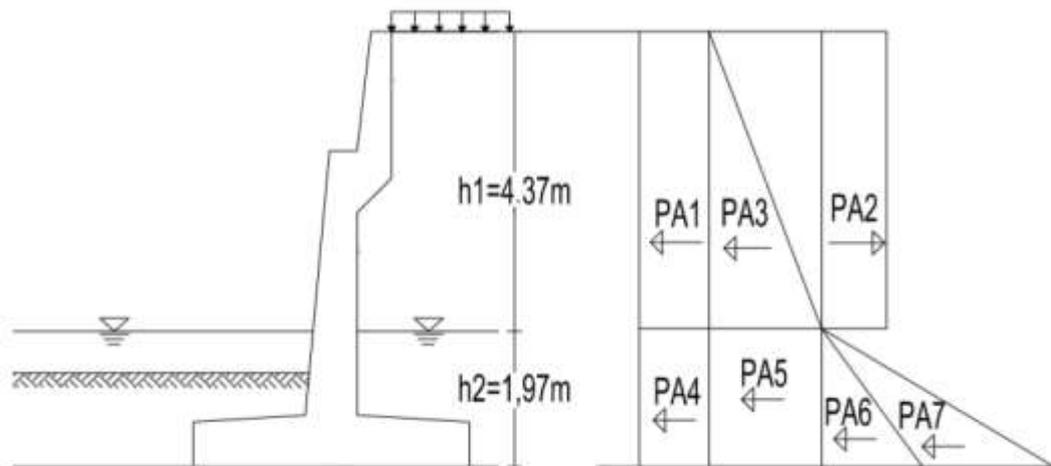
### 5.2.2 Hitungan Gaya Lateral

Untuk menghitung gaya lateral dari tanah yang ada di sekitar struktur dinding penahan tanah, terlebih dahulu perlu diperhitungkan besarnya tekanan lateral akibat tanah tersebut, baik yang bersifat aktif maupun pasif. Salah satu langkah untuk menganalisis tekanan lateral adalah menghitung koefisien tekanan tanah aktif dan pasif dari setiap lapisan tanah yang ada di sekitar struktur dinding penahan tanah

yang ditinjau. Karena kondisi permukaan tanah urug yang ada di dibelakang dinding penahan tanah membentuk permukaan horizontal, maka rumus yang digunakan untuk menghitung koefisien tekanan tanah aktif dan pasif menurut teori Rankine ditampilkan dalam Persamaan (3.2) dan (3.5)

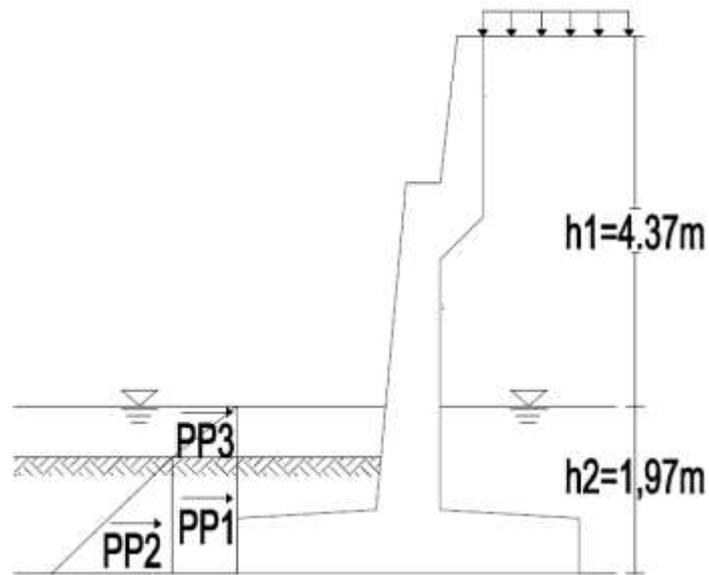
Setelah menentukan koefisien tekanan tanah lateral, maka besarnya tekanan lapisan tanah dapat ditentukan. Untuk tanah yang memiliki kohesivitas, besarnya tekanan lateral dapat dihitung dengan Persamaan (3.11) dan (3.12).

Gaya lateral tanah dapat dihitung berdasarkan luas diagram tekanan yang dibentuk oleh lapisan tanah yang ditinjau dengan titik tangkap gaya berada di titik berat diagram tekanan. Pada penelitian ini, peneliti memvariasikan ketinggian muka air tanah saat kondisi muka air normal 4,37 m dan muka air banjir 3,89 m. Untuk dinding penahan tanah dengan beban terbagi rata di atas timbunan dan muka air normal kedalaman 4,37 m yang tanahnya memiliki kohesivitas, gaya lateral lapisan tanah dapat dihitung berdasarkan Persamaan (3.7) dan (3.8). Diagram tekanan tanah aktif yang bekerja pada dinding penahan tanah kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.



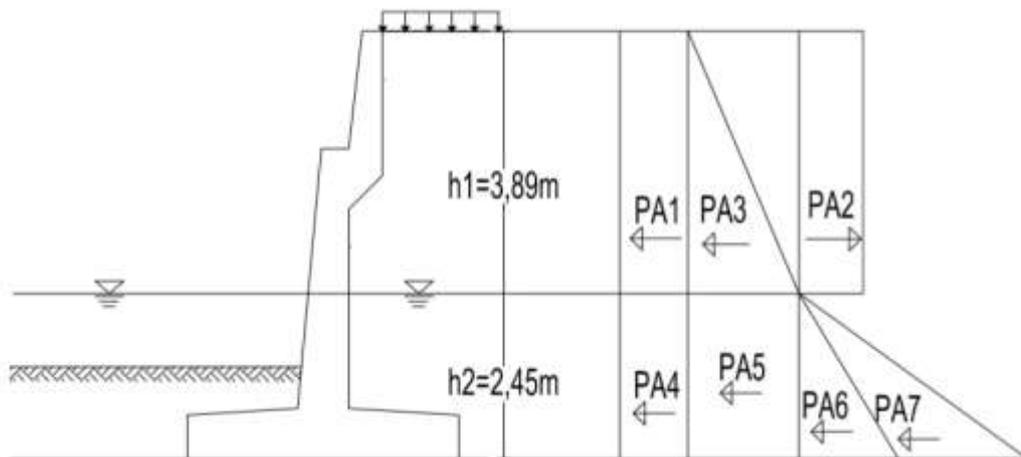
**Gambar 5.4 Diagram Tekanan Tanah Aktif pada Kondisi Muka Air Normal**

Untuk diagram tekanan tanah pasif yang bekerja pada dinding penahan tanah kondisi muka air normal dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.

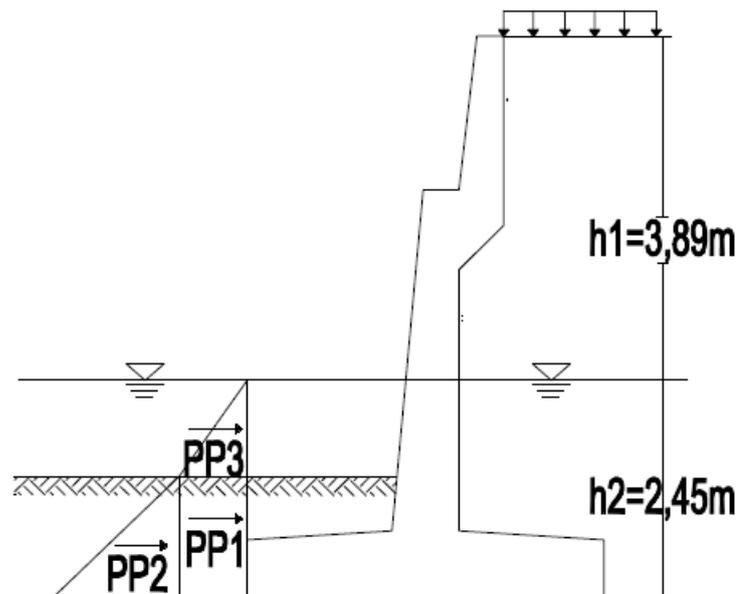


**Gambar 5.5 Diagram Tekanan Tanah Pasif pada Kondisi Muka Air Normal**

Untuk diagram tekanan tanah aktif dan tekanan pasif yang bekerja pada dinding penahan tanah kondisi muka air banjir dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 sebagai berikut.



**Gambar 5.6 Diagram Tekanan Tanah Aktif pada Kondisi Muka Air Banjir**



**Gambar 5.7 Diagram Tekanan Tanah Aktif pada Kondisi Muka Air Banjir**

Parameter-parameter lapisan tanah yang dibutuhkan untuk menghitung gaya lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2. Dari parameter-parameter tanah tersebut kemudian dapat dihitung nilai  $K_a$  dan  $K_p$  dari setiap lapisan tanah.

Untuk nilai  $K_a$  dari lapisan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2\left(45 - \frac{35,809}{2}\right) \\ &= 0,262 \end{aligned}$$

Untuk nilai  $K_p$  dari lapisan tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2\left(45 + \frac{31,05}{2}\right) \\ &= 3,130 \end{aligned}$$

Perhitungan gaya-gaya lateral yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.4 sebagai berikut

**Tabel 5.4 Perhitungan Gaya-gaya Lateral yang Bekerja Pada Dinding Penahan Tanah Saat Muka Air Normal (4,37 m)**

Diagram	Gaya Lateral	Nilai (kN)	Ket.
PA1	$qK_aH_1$	$1 \times 0,262 \times 4,37 = 1,143$	Aktif
PA2	$2c\sqrt{K_aH_1}$	$2 \times 36,788 \times \sqrt{0,262 \times 4,37} = 164,387$	Pasif
PA3	$0,5\gamma H_1^2 K_a$	$0,5 \times 15,912 \times 4,37^2 \times 0,262 = 39,716$	Aktif
PA4	$qK_aH_2$	$1 \times 0,262 \times 1,97 = 0,516$	Aktif
PA5	$H_1H_2\gamma K_a$	$4,37 \times 1,97 \times 15,912 \times 0,262 = 35,887$	Aktif
PA6	$0,5\gamma' H_2^2 K_a$	$0,5 \times 6,877 \times 1,97^2 \times 0,262 = 3,504$	Aktif
PA7	$0,5\gamma_w H_2^2$	$0,5 \times 9,81 \times 1,97^2 = 19,094$	Aktif
PP1	$0,5\gamma' H_1^2 K_p$	$0,5 \times 9,006 \times 1,36 \times 3,130 = 26,071$	Pasif
PP2	$0,5\gamma_w H_1^2$	$0,5 \times 9,81 \times 1,36^2 = 9,072$	Pasif
PP3	$0,5\gamma_w H_2^2$	$0,5 \times 9,81 \times 0,613^2 = 1,843$	Pasif

Untuk dinding penahan tanah dengan kedalaman muka air tanah 3,89 m dilakukan perhitungan dengan langkah yang sama untuk mengetahui besarnya gaya-gaya lateral yang bekerja. Adapun hasil perhitungan jumlah tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif pada setiap kedalaman muka air tanah dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

**Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Gaya-gaya Lateral**

No	Dinding Penahan Tanah	Tekanan tanah aktif Pa (kN)	Tekanan tanah pasif Pp (kN)
1	MAT Kedalaman 4,37 m	99,860	201,373
2	MAT Kedalaman 3,89 m	107,695	183,455

### 5.2.3 Hitungan Momen

Gaya-gaya yang terjadi akibat beban vertikal dan beban lateral kemudian dicari nilai momen terhadap titik O. Titik O berada di depan kaki dinding penahan tanah yang ditinjau. Momen dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Momen} = \text{Gaya (P)} \times \text{Lengan (x)}$$

Berikut hitungan untuk menentukan besarnya momen yang bekerja pada dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

**Tabel 5.6 Perhitungan Momen Gaya-gaya pada Dinding Penahan Tanah saat Muka Air Tanah 4,37 m**

Gaya yang bekerja	Bagian yang ditinjau	Nilai (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)	Keterangan
Gaya Vertikal Dinding Penahan Tanah	1	12,528	2,72	34,076	M+
	2	4,176	2,503	10,454	M+
	3	4,8	2,62	12,576	M+
	4	3	2,537	7,610	M+
	5	36,96	2,17	80,203	M+
	6	16,17	1,863	30,130	M+
	7	1,956	1,087	2,126	M+
	8	1,8	2,005	3,609	M+
	9	1,956	2,923	5,718	M+
	10	62,4	2	124,800	M+
Gaya tanah	q	1	1,13	1,13	M+
	A	100,386	3,435	344,827	M+
	B	1,987	2,703	5,370	M+
	C	23,441	2,630	61,650	M+
	D	1,295	3,467	4,490	M+
Gaya lateral tanah	PA1	1,143	2,184	2,496	M-
	PA2	164,387	2,184	358,938	M+
	PA3	39,716	1,456	57,813	M-

**Lanjutan Tabel 5.6 Perhitungan Momen Gaya-gaya pada Dinding Penahan Tanah Saat Muka Air Tanah 4,37 m**

Gaya yang bekerja	Bagian yang ditinjau	Nilai (kN)	Lengan (m)	Momen (kNm)	Keterangan
Gaya lateral tanah	PA4	0,516	0,987	0,509	M-
	PA5	35,887	0,987	35,402	M-
	PA6	3,504	0,658	2,304	M-
	PA7	19,094	0,658	12,557	M-
	PP1	26,071	0,680	17,728	M+
	PP2	9,072	0,453	4,113	M+
	PP3	1,843	0,204	0,377	M+

Keterangan:

M+ adalah momen yang menahan penggulingan dinding penahan tanah (searah jarum jam).

M- adalah momen yang mengguling dinding penahan tanah (melawan arah jarum jam).

Hitungan momen gaya-gaya juga dilakukan terhadap dinding penahan tanah dengan kedalaman muka air tanah 3,89 m. Adapun hasil perhitungan jumlah M+ dan jumlah M- dari setiap kedalaman muka air tanah dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

**Tabel 5.7 Hasil Hitungan Momen Gaya-gaya**

No	Dinding Penahan Tanah	Jumlah Momen Positif M+ (kNm)	Jumlah Momen Negatif M- (kNm)
1	MAT Kedalaman 4,37 m	1109,925	111,082
2	MAT Kedalaman 3,89 m	1035,941	120,682

Nilai yang diperoleh gaya vertikal, gaya lateral, dan momen kemudian digunakan untuk menghitung stabilitas setiap dinding penahan tanah yang ditinjau.

### 5.3 Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Hitungan stabilitas yang ditinjau berupa stabilitas terhadap penggeseran, stabilitas terhadap penggulingan, dan stabilitas terhadap daya dukung tanah dasar berdasarkan gaya-gaya eksternal yang bekerja.

#### 5.3.1 Hitungan Stabilitas terhadap Penggeseran

Faktor aman terhadap penggeseran ( $F_{gs}$ ) didefinisikan sebagai berikut.

$$F_{gs} = \frac{\Sigma R_h}{\Sigma P_h} \geq 2$$

Untuk tanah yang memiliki  $c$ - $\phi$  ( $c > 0$  dan  $\phi > 0$ ),

$$\Sigma R_h = c_a B + \Sigma W \operatorname{tg} \delta_b$$

Tahanan geser pada dinding sepanjang  $B = 4$  m, dihitung dengan menganggap dasar dinding sangat kasar, sehingga sudut gesek  $\delta_b = \phi$  dan adhesi  $c_a = c$ .

Adapun faktor aman stabilitas terhadap penggeseran untuk dinding penahan tanah saat kondisi normal dengan muka air tanah kedalaman 4,37 m adalah sebagai berikut.

$$c = 4,905 \text{ kN/m}^2$$

$$B = 4 \text{ m}$$

$$\Sigma W = 273,855 \text{ kN}$$

$$\delta_b = 31,05^\circ$$

$$\Sigma R_h = (c \times B) + (W \times \tan \delta_b)$$

$$= (4,905 \times 4) + (273,855 \times \tan 31,05^\circ)$$

$$= 184,494 \text{ kN}$$

$$\Sigma P_a = 99,860 \text{ kN}$$

$$\Sigma P_p = 201,373 \text{ kN}$$

$$F_{gs} = \frac{\Sigma R_h + \Sigma P_p}{\Sigma P_a}$$

$$= \frac{184,494 + 201,373}{99,860}$$

$$= 3,864$$

$F_{gs} > 2$  maka struktur aman terhadap bahaya geser

Hasil perhitungan faktor aman stabilitas terhadap penggeseran dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

**Tabel 5.8 Hasil Perhitungan Stabilitas terhadap Penggeseran**

No	Dinding Penahan Tanah	Faktor Aman Penggeseran ( $F_{gs}$ )	Keterangan
1	MAT kedalaman 4,37 m	3,864	Aman
2	MAT kedalaman 3,89 m	3,417	Aman

### 5.3.2 Hitungan Stabilitas terhadap Penggulingan

Faktor aman terhadap penggulingan ( $F_{gl}$ ) didefinisikan sebagai berikut.

$$F_{gl} = \frac{\Sigma M_w}{\Sigma M_{gl}} \geq 2$$

Adapun faktor aman stabilitas terhadap penggulingan untuk dinding penahan tanah saat kondisi normal dengan muka air tanah kedalaman 4,37 m adalah sebagai berikut.

$$\Sigma M_w = \Sigma M+ = 1109,925 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{gl} = \Sigma M- = 111,082 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} F_{gl} &= \frac{\Sigma M_w}{\Sigma M_{gl}} \\ &= \frac{1109,925}{111,082} \\ &= 9,992 \end{aligned}$$

$F_{gl} > 2$  maka struktur aman terhadap bahaya guling.

Hasil perhitungan faktor aman stabilitas terhadap penggulingan dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

**Tabel 5.9 Hasil Perhitungan Stabilitas terhadap Penggulingan**

No	Dinding Penahan Tanah	Faktor Aman Penggulingan ( $F_{gl}$ )	Keterangan
1	MAT kedalaman 4,37 m	9,992	Aman
2	MAT kedalaman 3,89 m	8,584	Aman

### 5.3.3 Hitungan Stabilitas terhadap Kuat Dukung Tanah

Faktor aman dalam memperhitungkan stabilitas terhadap kuat dukung tanah dasar dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$F = \frac{q_u}{q} \geq 3$$

Untuk memperhitungkan stabilitas terhadap kuat dukung tanah dasar, tekanan pasif yang berada di depan dinding diabaikan. Hal demikian juga dilakukan untuk tanah yang berada di belakang dinding penahan tanah. Hal ini dilakukan agar tekanan yang diperhitungkan dan dianggap memberikan dampak terhadap tanah dasar hanya berasal dari tekanan aktif tanah ( $\Sigma P_a$ ) dan gaya berat struktur dinding saja ( $\Sigma W$ ).

Adapun hitungan faktor aman stabilitas terhadap kuat dukung tanah saat kondisi normal dengan muka air tanah kedalaman 4,37 m adalah sebagai berikut.

$$\Sigma M_w = 728,769 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{gl} = 111,082 \text{ kNm}$$

$$\Sigma W = 273,855 \text{ kN}$$

$$B = 4 \text{ m}$$

$$x_e = \frac{\Sigma M_w - \Sigma M_{gl}}{\Sigma W}$$

$$= \frac{728,769 - 111,082}{273,855}$$

$$= 2,256 \text{ m}$$

$$e = \left| \frac{B}{2} - x_e \right|$$

$$= \left| \frac{4}{2} - 2,256 \right|$$

$$= 0,256 \text{ m}$$

Lebar efektif :  $B' = B - 2e = 4 - 0,256 = 3,489 \text{ m}$

$$A' = B' \times 1 = 3,489 \times 1 = 3,489 \text{ m}^2$$

$$H = 99,860 \text{ kN}$$

$$V = 273,855 \text{ kN}$$

$$c = 4,905 \text{ kN/m}^2$$

$$Df = 1,36$$

Faktor kapasitas dukung:

$$\begin{aligned} N_q &= e^{(\pi g \varphi)} \text{tg}^2 (45^\circ + \varphi / 2) \\ &= e^{(\pi g \varphi)} \text{tg}^2 (45^\circ + 31,05 / 2) \\ &= 20,750 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_c &= (N_q - 1) \text{ctg} \varphi \\ &= (20,750 - 1) \text{ctg} 31,05^\circ \\ &= 32,805 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_\gamma &= 2(N_q + 1) \text{tg} \varphi \\ &= 2(20,750 + 1) \text{tg} 31,05^\circ \\ &= 18,723 \end{aligned}$$

Faktor kemiringan beban:

$$\begin{aligned} i_q &= \left[ 1 - \frac{0,5H}{V + A' c_2 \text{ctg} \varphi} \right]^5 \geq 0 \\ &= \left[ 1 - \frac{0,5(99,860)}{273,855 + 3,489 \times 4,905 \times \text{ctg} 31,05^\circ} \right]^5 \\ &= 0,405 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \\ &= 0,405 - \frac{1 - 0,405}{20,726 - 1} \\ &= 0,375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 i_\gamma &= \left[ 1 - \frac{0,7H}{V + A'c_2 \operatorname{ctg} \varphi} \right]^5 \geq 0 \\
 &= \left[ 1 - \frac{0,7(99,860)}{273,855 + 3,489 \times 4,905 \times \operatorname{ctg} 31,05^\circ} \right]^5 \\
 &= 0,268
 \end{aligned}$$

Faktor kedalaman:

$$\begin{aligned}
 d_c &= 1 + 0,4 (D/B) \\
 &= 1 + 0,4(1,36/4) \\
 &= 1,136 \\
 d_q &= 1 + 2(D/B)\tan\varphi(1-\sin\varphi)^2 \\
 &= 1 + 2(1,36/4)\tan 31,04^\circ(1-\sin 31,04^\circ)^2 \\
 &= 1,291 \\
 d_\gamma &= 1
 \end{aligned}$$

Kapasitas dukung ultimit untuk fondasi di permukaan menurut Hansen:

$$\begin{aligned}
 q_u &= d_c i_c c N_c + d_q i_q D f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0,5 B' \gamma_{b2} N_\gamma \\
 &= (1,136 \times 0,375 \times 4,905 \times 32,805) + (1,291 \times 0,405 \times 1,36 \times 6,877 \times 20,750) + \\
 &\quad (1 \times 0,268 \times 0,5 \times 3,489 \times 9,008 \times 18,723) \\
 &= 260,759 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Bila dihitung dengan berdasarkan lebar fondasi efektif yaitu tekanan fondasi ke tanah dasar terbagi rata secara sama, maka:

$$q = \frac{V}{B'} = \frac{273,855}{3,489} = 78,492 \text{ kN/m}^2$$

Faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung:

$$F = \frac{q_u}{q'} = \frac{260,759}{78,492} = 3,322 > 3$$

$F > 3$  sehingga struktur stabil terhadap kuat dukung tanah dasar.

Hasil perhitungan faktor aman stabilitas terhadap kuat dukung tanah dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

**Tabel 5.10 Hasil Perhitungan Stabilitas terhadap Kuat Dukung Tanah**

No	Dinding Penahan Tanah	Faktor Aman Kuat Dukung Tanah (F)	Keterangan
1	MAT kedalaman 4,37 m	3,322	Aman
2	MAT kedalaman 3,89 m	3,001	Aman

#### 5.4 Perencanaan *Sheet Pile*

Setelah menghitung stabilitas dinding penahan tanah, kemudian dilanjutkan perencanaan konstruksi *sheet pile* untuk perbandingan. Nilai gaya lateral pada *sheet pile* sama dengan dinding penahan tanah. Untuk perencanaan konstruksi *sheet pile* dilakukan perhitungan sebagai berikut.

$$q' = \gamma_1 h_1 + \gamma_1' h_2$$

$$= (15,912 \times 4,367) + (6,877 \times 1,973)$$

$$= 83,055 \text{ kN/m}^2$$

$$q' Ka = 83,055 \times 0,262$$

$$= 21,741 \text{ kN/m}^2$$

$$C = \gamma_2' (K_{p2} - K_{a2})$$

$$= 9,238(4,388 - 0,228)$$

$$= 38,436 \text{ kN/m}^3$$

$$a = \frac{q' Ka}{C}$$

$$= \frac{21,741}{38,436}$$

$$= 0,566 \text{ m}$$

$$Pa = 80,766 \text{ kN/m}^2$$

Menentukan  $y$  dengan  $\Sigma M_o = 0$ ,

$$P_a y = 253,729 \text{ kN}$$

$$y = 3,141 \text{ m}$$

Dari persamaan 3.24 dan 3.25

Dengan memberikan nilai  $Y$  secara coba-coba, pada:

$$Y = 5,015 \text{ m}$$

Dari substitusi persamaan 3.24 dapat diperoleh:

$$Pp' = 531,791 \text{ kN/m}^2$$

Jika nilai ini disubstitusikan ke Persamaan 3.25, diperoleh nilai  $0,021 \approx 0$  (OK)

$$\begin{aligned} D &= Y + a \\ &= 5,015 + 0,566 \\ &= 5,581 \text{ m} \end{aligned}$$

Dengan mengalikan D dengan faktor 1,40 untuk keamanan,

$$\begin{aligned} D' &= 1,40 \times 5,581 \\ &= 7,813 \text{ m} \end{aligned}$$

Panjang turap yang dibutuhkan =  $7,813 + 6,34 = 14,153 \text{ m}$

Menentukan  $M_{\text{maks}}$

$$\begin{aligned} x &= 2,050 \\ M_{\text{maks}} &= P_a(y + 2/3x) \\ &= 80,766 \times (3,142 + \frac{2}{3} \times 2,050) \\ &= 364,110 \text{ kNm} \\ &= 40,927 \text{ tm} \end{aligned}$$

Dalam merencanakan *sheet pile*, peneliti menggunakan spesifikasi *Concrete Sheet Pile* produksi WIKA Beton yang dapat dilihat pada Lampiran 2. Berikut ini merupakan spesifikasi data perencanaan yang digunakan untuk kontrol dan pemilihan dalam perencanaan *sheet pile* :

1. *sheet pile* yang digunakan produksi WIKA Beton,
2. *sheet pile* terbuat dari beton,
3. tipe *sheet pile* yaitu W-600 A,
4. mutu beton *sheet pile* yaitu K225,
5. tinggi = 60 cm,
6. lebar = 99,6 cm,
7. luas *sheet pile* =  $2,078 \text{ cm}^2$ ,
8. inersia *sheet pile* =  $765,907 \text{ cm}^4$ ,

9. berat volume beton  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ , dan

10. momen *crack* = 50,6 tm.

Jadi, *sheet pile* yang digunakan aman secara struktur karena  $M_{\text{maks}} = 40,927 \text{ tm} < M_{\text{crack}} = 50,6 \text{ tm}$

### 5.5 Perencanaan Angkur

Setelah merencanakan *sheet pile* (turap), kemudian dilanjutkan perencanaan angkur yang dipasang pada *sheet pile* untuk perbandingan. Untuk perencanaan angkur dilakukan perhitungan sebagai berikut.

Hitung gaya pada angkur

$$\begin{aligned} T &= P_a - \frac{1}{2} D_1^2 \gamma_2 (K_{p2} - K_{a2}) \\ &= P_a - \frac{1}{2} \times 5,015^2 \times 9,238 \times (4,388 - 0,228) \\ &= 129,214 \text{ kN} \\ &= 13176,096 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kuat tarik angkur

$$\begin{aligned} f_y &= 430 \text{ MPa} \\ &= 4384,796 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

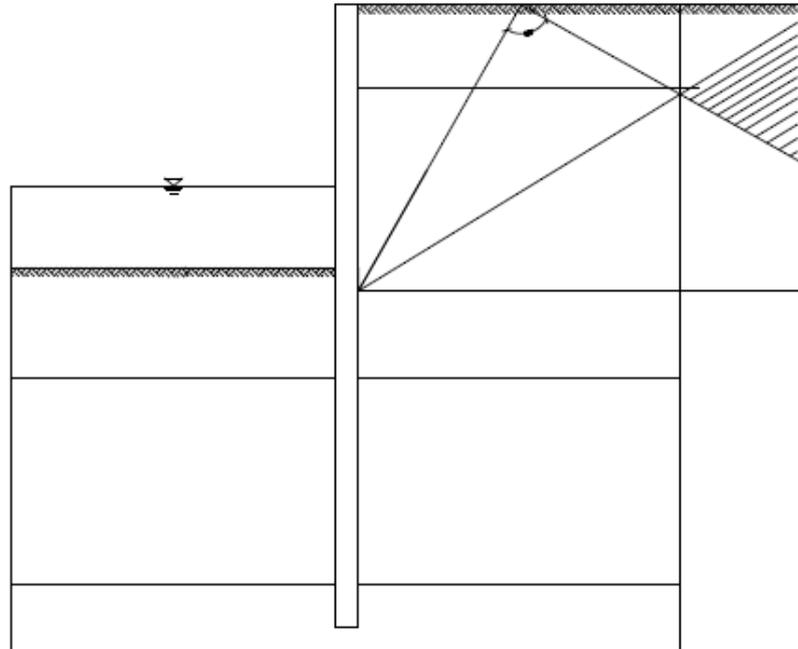
Luas penampang angkur

$$\begin{aligned} A &= \frac{T}{f_y} \\ &= \frac{13176,096}{4384,796} \\ &= 3,005 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Diameter angkur

$$\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{4}\pi}} \\ &= \sqrt{\frac{3,005}{\frac{1}{4}\pi}} \\ &= 1,956 \text{ cm} \\ &= 19,560 \text{ mm} \end{aligned}$$

Letak angkur pada zona stabil, dapat dilihat di area yang terarsir pada Gambar 5.8 sebagai berikut.



**Gambar 5.8 Letak Angkur pada Sheet Pile**

Dalam merencanakan angkur, peneliti menggunakan spesifikasi *Anchor Studs – Typical Properties* produksi ChemSet yang dapat dilihat pada Lampiran 3. Berikut ini merupakan spesifikasi data perencanaan yang digunakan untuk kontrol dan pemilihan dalam perencanaan angkur :

1. angkur yang digunakan produksi ChemSet,
2. angkur terbuat dari baja,
3. diameter angkur sebesar 25 mm,
4. mutu baja angkur yaitu 430 MPa,
5. modulus elastis baja sebesar 200.000 MPa, dan
6. panjang baja angkur sebesar 8 m.

## 5.6 Pemodelan Data Penelitian

Dalam tahap pemodelan, seluruh parameter bahan yang ada di potongan melintang A-A di-*input*-kan ke dalam *software Plaxis* untuk mengetahui besarnya deformasi yang terjadi pada dinding penahan tanah akibat beban luar dan beban

gempa yang bekerja. Tahap pemodelan ini dilengkapi dengan validasi yang bertujuan untuk mengetahui kesesuaian antara *input* data dan kondisi lapangan.

#### 5.6.1 Asumsi Model

Asumsi model digunakan untuk menyederhanakan kondisi eksisting lapangan mengingat adanya keterbatasan program *Plaxis* ini dalam memodelkan struktur eksisting di lapangan. Asumsi-asumsi dalam pemodelan ini adalah sebagai berikut.

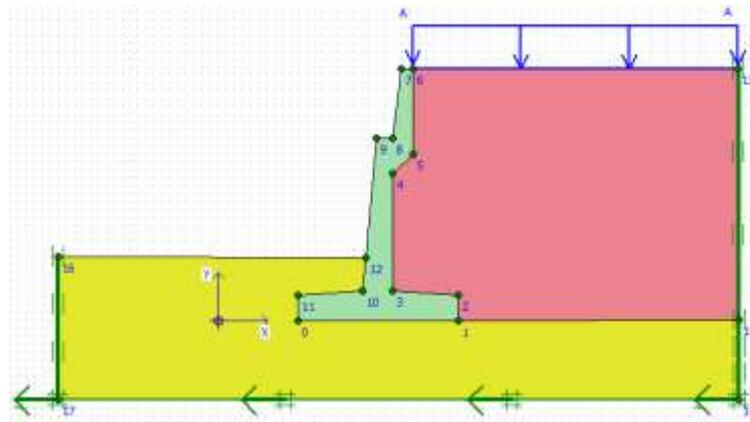
1. Analisis model elemen hingga yang digunakan adalah model *plane strain* yang merupakan idealisasi model 3-D ke dalam model 2-D dengan asumsi bahwa regangan pada tegak lurus arah kemiringan struktur diabaikan.
2. Parameter tanah pada setiap struktur lapisan pembentuk lereng diasumsikan homogen dengan kriteria keruntuhan bahan yang digunakan adalah Mohr-Coulomb.
3. Input parameter material lainnya dengan bahan pengikat semen dimodelkan sebagai *linear elastic*.

#### 5.6.2 Pemodelan Geometri Kondisi Eksisting

Adapun pemodelan kondisi eksisting dalam program *Plaxis* adalah sebagai berikut.

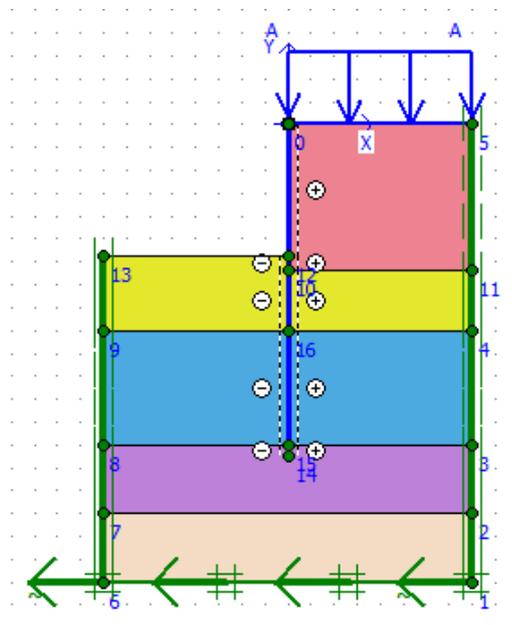
1. Bentuk geometri lereng disesuaikan dengan data pengukuran topografi sedangkan data lapisan tanah dan batuan didasarkan pada data penyelidikan tanah.
2. Lapisan tanah yang berada dibelakang bangunan dianggap tanah urug bersifat homogen.

Bentuk pemodelan geometri lereng, lapisan tanah dan batuan, serta bangunan dinding penahan tanah dengan program *Plaxis* dapat dilihat pada Gambar 5.9 sebagai berikut.



**Gambar 5.9** Pemodelan Geometri Dinding Penahan Tanah dalam Program *Plaxis*

Bentuk pemodelan geometri lereng, lapisan tanah dan batuan, serta bangunan *sheet pile* dengan program *Plaxis* dapat dilihat pada Gambar 5.10 sebagai berikut.



**Gambar 5.10** Pemodelan Geometri *Sheet Pile* dalam Program *Plaxis*

### 5.6.3 *Input* Parameter Pemodelan Kondisi Eksisting

Setelah kondisi eksisting dimodelkan ke dalam program, diperlukan input parameter bahan ke dalam *cluster-cluster* yang telah dibuat, meliputi parameter tanah dan batuan, parameter dinding penahan tanah serta pembebanan. Penjelasan parameter input yang digunakan dalam simulasi pemodelan adalah sebagai berikut.

### 1. *Input* parameter tanah dan batuan

Kriteria keruntuhan bahan yang digunakan adalah Mohr Coulomb dimana kriteria keruntuhan ini dipengaruhi oleh paling sedikit 4 buah parameter bahan, antara lain sudut gesek internal ( $\phi$ ), kohesi ( $c$ ), modulus young's ( $E$ ) dan poisson's ratio ( $\nu$ ). Parameter lain yang juga dibutuhkan dalam pemodelan ini adalah berat volume basah ( $\gamma$ ) dan berat volume jenuh ( $\gamma_{sat}$ ). Seluruh data input parameter tanah dan batuan dapat dilihat pada Tabel 5.11 sebagai berikut.

**Tabel 5.11 Data *Input* Parameter Tanah**

Lokasi	Model Tanah	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$ (nu)	$\phi$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	Eref (kN/m <sup>2</sup> )
Timbunan	Mohr Coloumb	16,687	15,912	0,35	35,809	36,788	5000
Tanah asli 1	Mohr Coloumb	18,818	16,765	0,3	31,05	4,905	9229,44
Tanah asli 2	Mohr Coloumb	19,046	18,182	0,4	38,964	6,131	24035
Tanah asli 3	Mohr Coloumb	17,453	16,264	0,4	28,535	15,941	5479,98
Tanah asli 4	Mohr Coloumb	17,980	17,197	0,4	27,979	8,584	24996,4

### 2. *Input* parameter dinding penahan tanah

Dinding penahan tanah dimodelkan serupa dengan geometri lereng. Parameter input untuk dinding penahan tanah beton bertulang dapat dilihat pada Tabel 5.12 sebagai berikut.

**Tabel 5.12 Data *Input* Parameter Dinding Penahan Tanah**

Lokasi	Model Tanah	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\gamma$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$ (nu)	$\phi$ (°)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	Eref (kN/m <sup>2</sup> )
DPT	<i>Linear elastic</i>	0	24,00	0,2	0	0	642285,567

### 3. *Input parameter sheet pile*

*Sheet pile* dimodelkan serupa dengan geometri lereng. Parameter input untuk *sheet pile* dapat dilihat pada Tabel 5.13 sebagai berikut.

**Tabel 5.13 Data *Input Parameter Sheet Pile***

Lokasi	Model <i>Plates</i>	EA (kN)	EI (kNm <sup>2</sup> )	w (kN/m)	v (nu)
<i>Sheet pile</i>	<i>Elastic</i>	133,467	4,919	7,136	0,2

### 4. *Input parameter angkur*

*Sheet pile* dengan angkur dimodelkan serupa dengan geometri lereng. Parameter input untuk *sheet pile* dengan angkur dapat dilihat pada Tabel 5.14 sebagai berikut.

**Tabel 5.14 Data *Input Parameter Angkur***

Lokasi	Model <i>Plates</i>	L <i>spacing</i> (m)	EA (kN)
<i>Angkur</i>	<i>Elastic</i>	1	98174,770

### 5. *Input pembebanan*

Selain input parameter diatas, beban yang bekerja pada dinding penahan tanah dan *sheet pile* dalam hal ini pejalan kaki turut dimasukkan dalam pemodelan menggunakan beban merata. Perhitungan input beban disajikan dalam Tabel 5.15 sebagai berikut.

**Tabel 5.15 Data *Input Parameter Pembebanan***

Uraian	Tipe beban	Beban (kN/m <sup>2</sup> )
Pejalan kaki	Beban merata	1,00

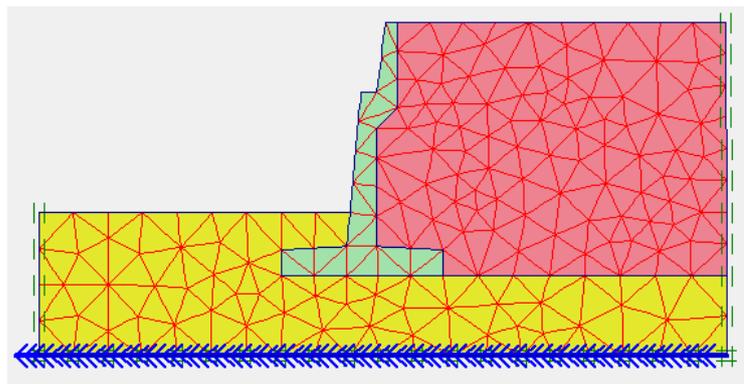
### 6. Kondisi batas

Setelah geometri dan parameter material dari model telah dimasukkan, tahap selanjutnya adalah menerapkan kondisi batas pada model. Dalam program *Plaxis*, kondisi batas yang tersedia adalah jepit standar (*standar fixities*) dan

kondisi batas untuk gempa (*standar earthquake boundaries*). Kedua kondisi batas ini akan diterapkan pada model, karena analisis dalam tahap validasi adalah analisis dengan beban luar dan beban gempa.

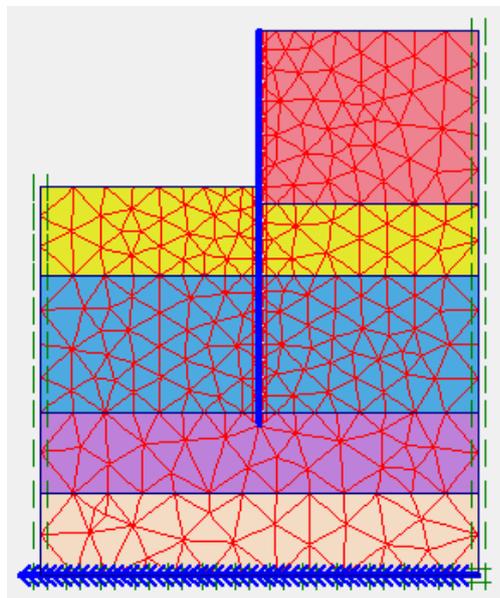
#### 7. Diskritisasi model

Setelah kondisi batas diterapkan pada model, langkah selanjutnya adalah model geometri dibagi menjadi elemen-elemen imajiner (*meshing*). Penyusunan jaringan elemen dalam program Plaxis digunakan jenis *fine*. Bentuk *meshing* model dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



**Gambar 5.11 Diskritisasi Elemen pada Model Dinding Penahan Tanah**

Bentuk *meshing* model *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.12 sebagai berikut.



**Gambar 5.12 Diskritisasi Elemen pada Model Sheet Pile**

## 8. Validasi

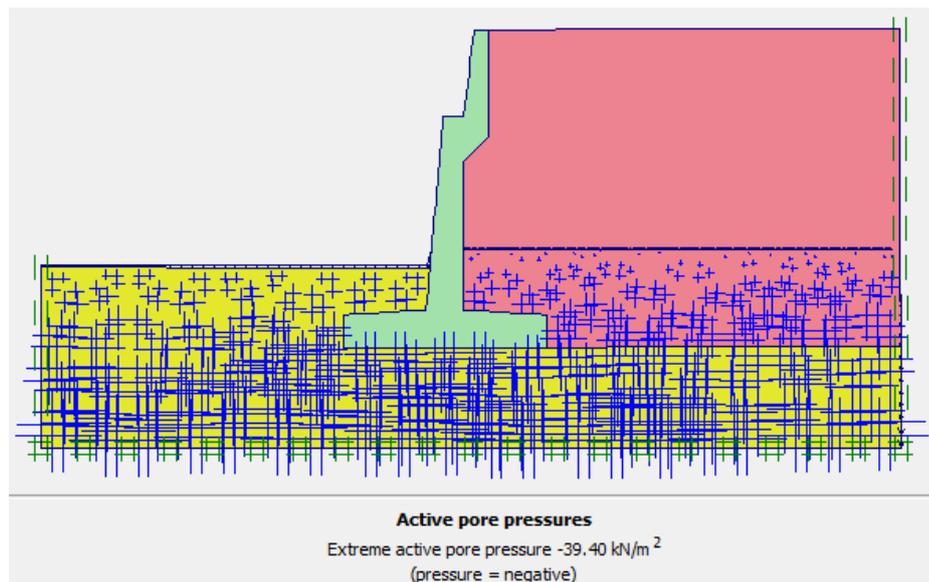
Proses validasi diawali dengan simulasi model pada program *Plaxis*. Hasil perhitungan berupa *displacement* dinding penahan tanah akan dibandingkan dengan variasi muka air tanah dan *sheet pile*.

### 5.6.4 Perhitungan (*Calculation*)

Sebelum dilakukan tahap perhitungan, terlebih dahulu dilakukan penentuan kondisi awal pemodelan sebagai berikut.

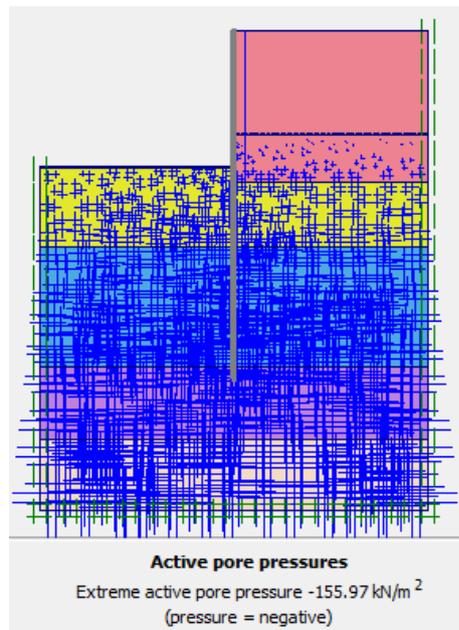
#### 1. Tegangan air pori (*initial pore pressure*)

Perhitungan tegangan air pori dimulai dengan pemodelan muka air tanah dengan menggunakan garis *phreatic*. Tekanan air pori dibuat dalam dua kondisi, yaitu muka air normal dan muka air banjir. Berat volume air yang digunakan yaitu  $9,81 \text{ kN/m}^3$ . Hasil perhitungan tegangan air pori saat kondisi muka air normal model dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.13 sebagai berikut.



**Gambar 5.13 Tegangan Air Pori pada Model Dinding Penahan Tanah**

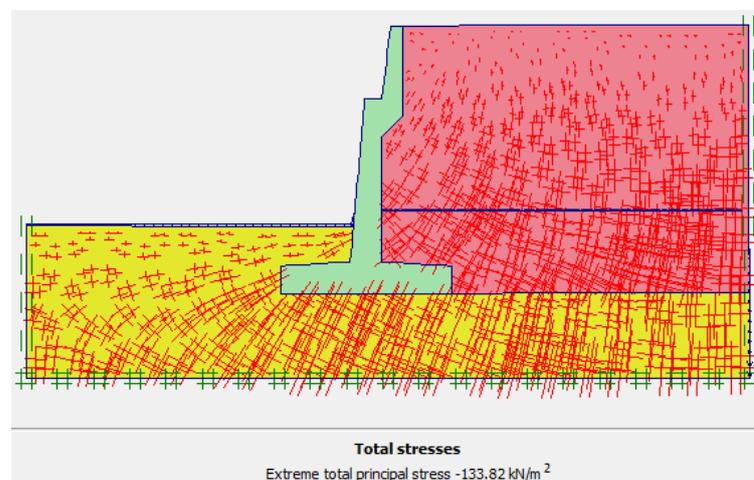
Hasil perhitungan tegangan air pori saat kondisi muka air normal model *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.14 sebagai berikut.



**Gambar 5.14 Tegangan Air Pori pada Model *Sheet Pile***

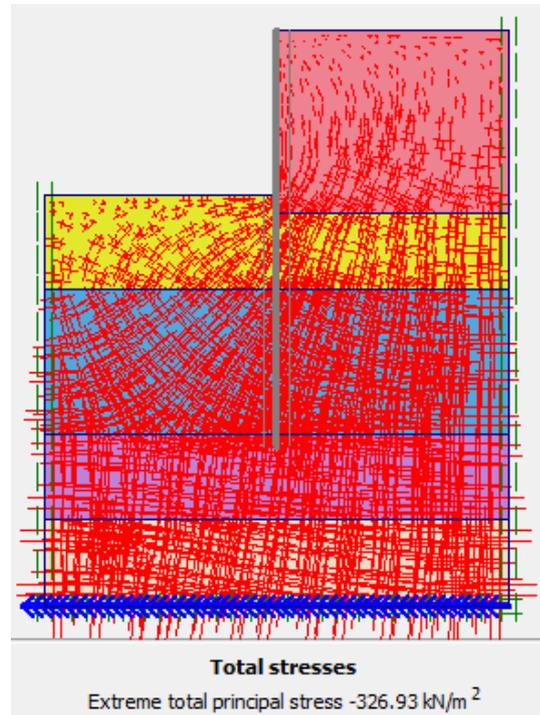
## 2. Tegangan awal (*initial stress*)

Tegangan awal dihitung dengan tipe perhitungan plastis dimana faktor pengali berat tanah yang digunakan adalah 1,0. Perhitungan ini disebut beban gravitasi (*gravity loading*) dan dalam fase perhitungan hanya melibatkan struktur tanah dan batuan pembentuk lereng tanpa melibatkan bangunan. Hasil perhitungan tegangan awal pada model dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.15 sebagai berikut.



**Gambar 5.15 Tegangan Awal pada Model Dinding Penahan Tanah**

Hasil perhitungan tegangan awal pada model *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.16 sebagai berikut.



**Gambar 5.16 Tegangan Awal pada Model *Sheet Pile***

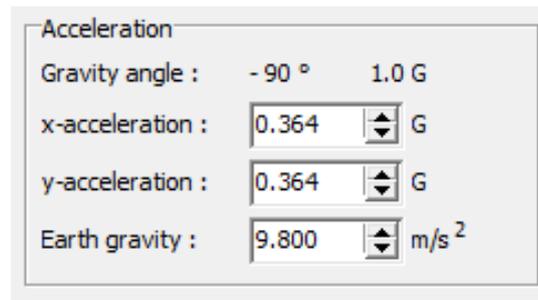
### 3. Perhitungan model akibat beban luar

Perhitungan model akibat pengaruh beban luar yaitu dengan memasukkan beban yang bekerja diatas lereng berupa beban pejalan kaki. Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut.

- a. Dalam lembar tab umum dipilih perhitungan plastis.
- b. Dalam lembar tab parameter, dipilih tahapan konstruksi (*staged construction*) sebagai masukan pembebanan. Pilih tombol tentukan (*define*) dan aktifkan beban pejalan kaki. Setelah selesai, proses perhitungan dimulai.

### 4. Perhitungan model akibat beban gempa

Untuk model akibat pengaruh beban gempa, diterapkan pada model dengan tetap mengaktifkan beban seperti pada akibat beban luar. Data yang digunakan dalam analisis gempa dengan *Plaxis* berupa nilai *peak ground acceleration* (PGA). *Input acceleration* Kota Surakarta sebesar 0,364g pada program *Plaxis* dapat dilihat pada Gambar 5.17 sebagai berikut.



**Gambar 5.17** *Input acceleration* PGA 0,364g

Langkah perhitungan untuk beban gempa dalam program *Plaxis* adalah sebagai berikut.

- a. Dalam lembar tab umum, dipilih jenis analisis plastis.
- b. Dalam lembar tab parameter, aktifkan perpindahan menjadi nol (*reset displacement to zero*). Aktifkan *total multipliers*, dimasukkan nilai *M accel* sebesar -1,00. Setelah selesai, proses perhitungan dimulai.

#### 5.6.5 Hasil Perhitungan (*Output*)

Setelah seluruh rangkaian perhitungan selesai, maka hasil perhitungan dapat ditentukan nilainya. Dalam penelitian ini, hasil perhitungan yang ditinjau adalah deformasi dari konstruksi bangunan yang ditentukan berdasarkan nilai *displacement*.

##### 1. Dinding penahan tanah

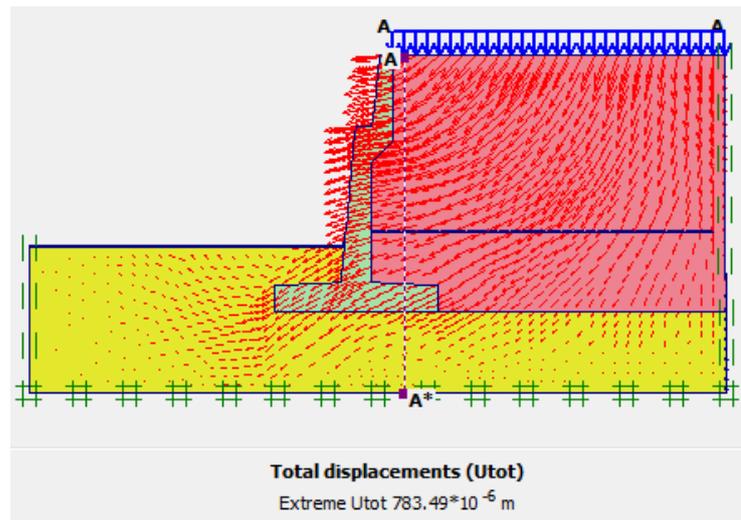
Untuk konstruksi dinding penahan tanah, perhitungan dibuat dengan dua variasi yaitu saat muka air normal dan muka air banjir. Hasil perhitungan dibagi menjadi akibat beban luar dan akibat beban gempa.

##### a. Hasil perhitungan akibat beban luar

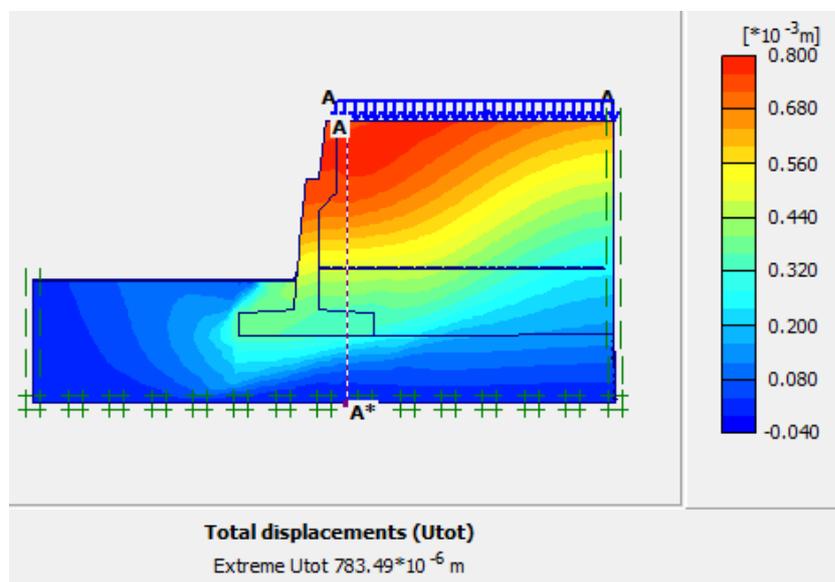
###### 1) Kondisi muka air normal kedalaman 4,37 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban pejalan kaki yaitu sebesar  $783,49 \times 10^{-6}$  m.

Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19 sebagai berikut.

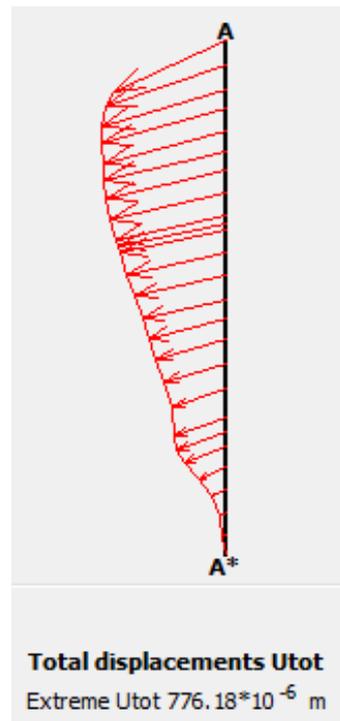


**Gambar 5.18 Arah Pergerakan Total Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**



**Gambar 5.19 Area Kritis *Total Displacement* Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement* dinding penahan tanah saat kondisi muka air normal akibat beban luar, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.20 sebagai berikut.



**Gambar 5.20 Potongan A-A' Total Displacement Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

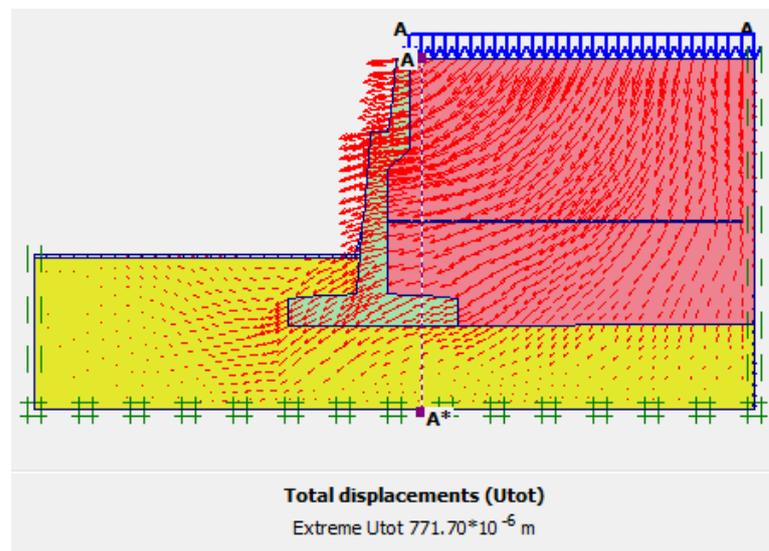
Untuk nilai angka *safety factor* (SF) dinding penahan tanah kondisi muka air normal akibat beban luar diperoleh sebesar 2,672, dapat dilihat pada Gambar 5.21 sebagai berikut.

Multipliers				
	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	2.672
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

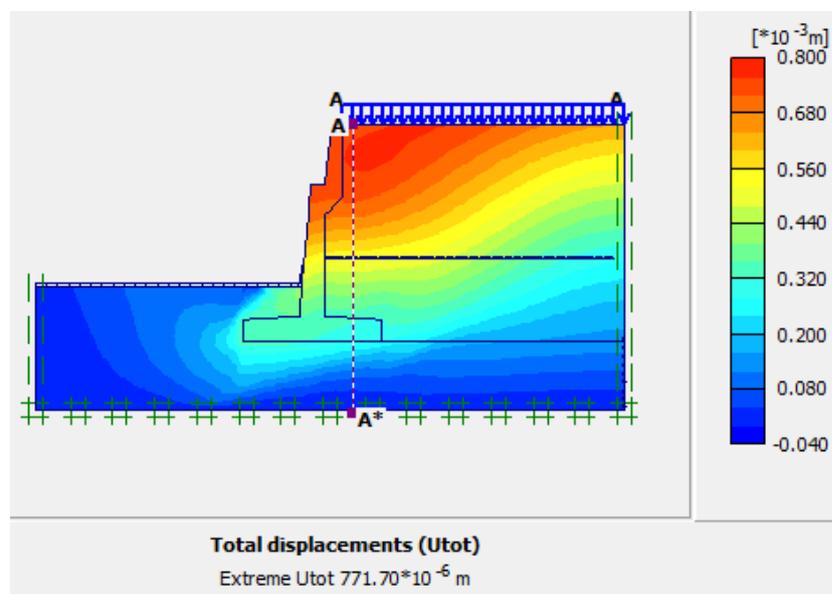
**Gambar 5.21 SF Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

2) Kondisi muka air banjir kedalaman 3,89 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban pejalan kaki yaitu sebesar  $771,70 \times 10^{-6}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.22 dan 5.23 sebagai berikut

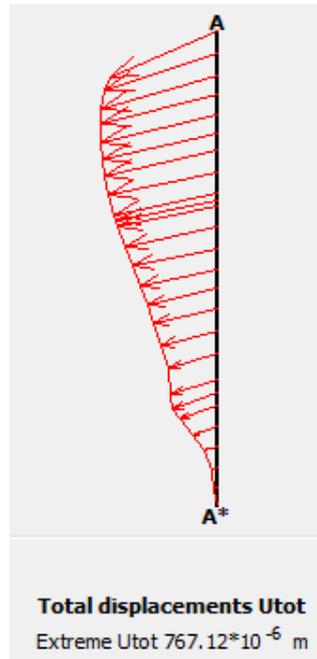


**Gambar 5.22 Arah Pergerakan Total Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**



**Gambar 5.23 Area Kritis *Total Displacement* Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement* dinding penahan tanah saat kondisi muka air banjir akibat beban luar, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.24 sebagai berikut.



**Gambar 5.24 Potongan A-A' Total Displacement Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

Untuk nilai angka *safety factor* (SF) dinding penahan tanah kondisi muka air banjir akibat beban luar diperoleh sebesar 2,750, dapat dilihat pada Gambar 5.25 sebagai berikut.

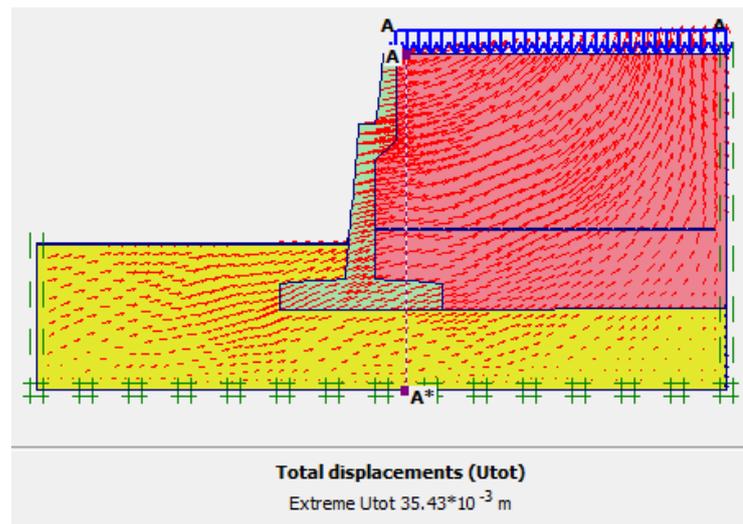
Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	2.750
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

**Gambar 5.25 SF Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

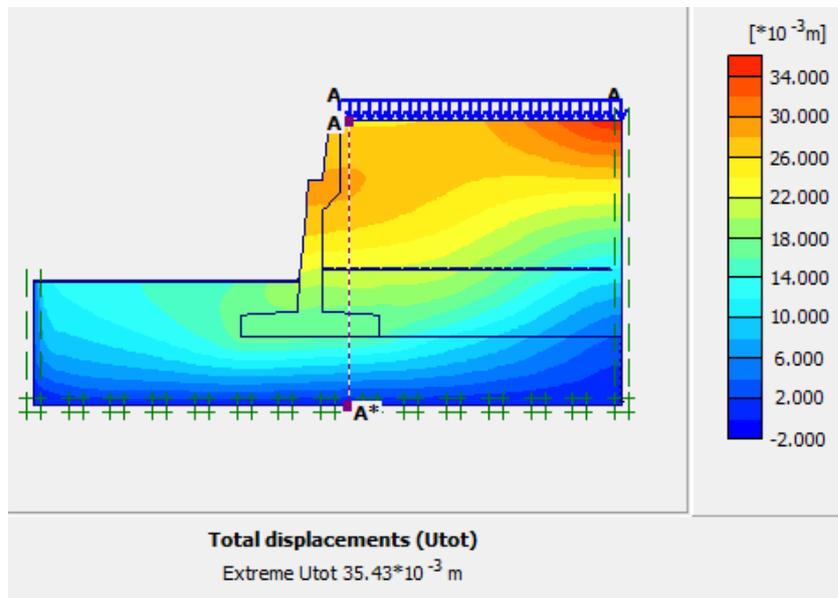
b. Hasil perhitungan akibat beban gempa

1) Kondisi muka air normal kedalaman 4,37 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban gempa yaitu sebesar  $35,43 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.26 dan Gambar 5.27 sebagai berikut.



**Gambar 5.26 Arah Pergerakan Total Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**



**Gambar 5.27 Area Kritis *Total Displacement* Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement* dinding penahan tanah saat kondisi muka air normal akibat beban gempa, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.28 sebagai berikut.



**Gambar 5.28 Potongan A-A' Total Displacement Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

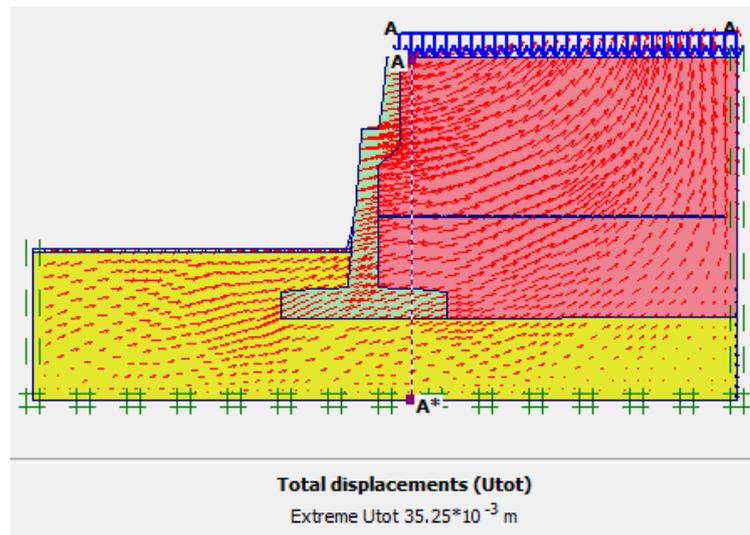
Untuk nilai angka *safety factor* (SF) dinding penahan tanah kondisi muka air normal akibat beban gempa diperoleh sebesar 1,523, dapat dilihat pada Gambar 5.29 sebagai berikut.

Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	$\Sigma$ -Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	$\Sigma$ -MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	$\Sigma$ -MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	$\Sigma$ -Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	$\Sigma$ -Maccel:	-1.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	$\Sigma$ -Msf:	1.523
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

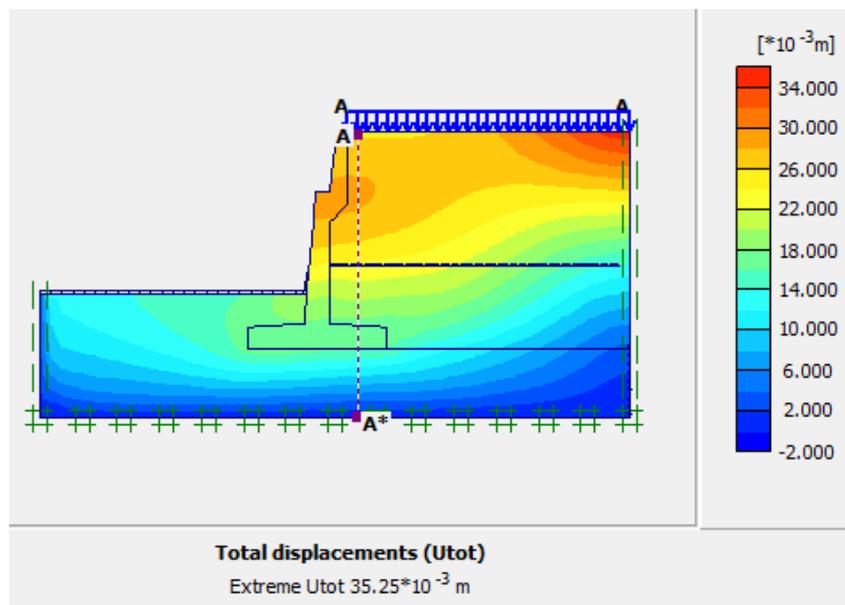
**Gambar 5.29 SF Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

2) Kondisi muka air banjir kedalaman 3,89 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban gempa yaitu sebesar  $35,25 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap dinding penahan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.30 dan Gambar 5.31 sebagai berikut.

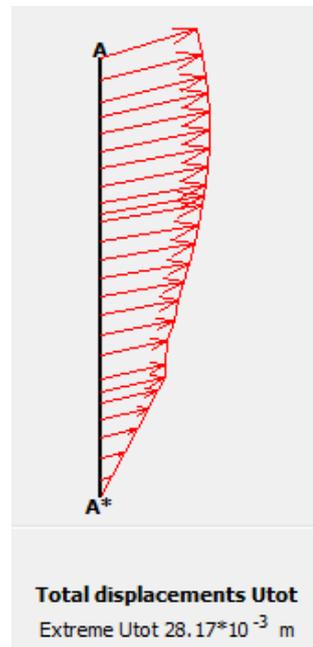


**Gambar 5.30 Arah Pergerakan Total Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**



**Gambar 5.31 Area Kritis *Total Displacement* Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement* dinding penahan tanah saat kondisi muka air banjir akibat beban gempa, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.32 sebagai berikut.



**Gambar 5.32 Potongan A-A' Total Displacement Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

Untuk nilai angka *safety factor* (SF) dinding penahan tanah kondisi muka air banjir akibat beban gempa diperoleh sebesar 1,531, dapat dilihat pada Gambar 5.33 sebagai berikut.

Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	-1.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	1.531
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

**Gambar 5.33 SF Dinding Penahan Tanah Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

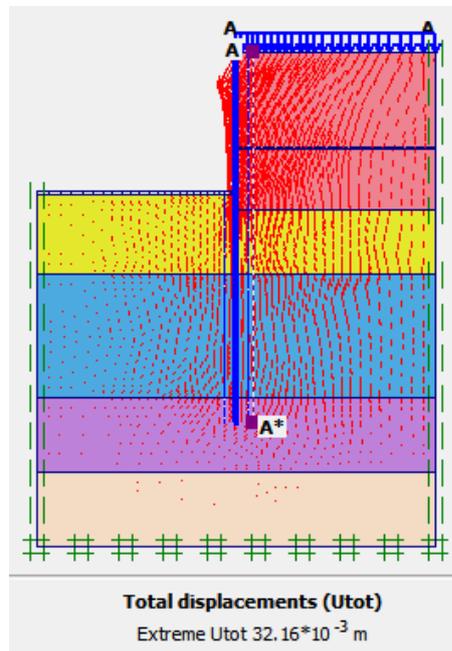
## 2. Sheet pile

Untuk konstruksi *sheet pile*, perhitungan dibuat dengan dua variasi yaitu saat muka air normal dan muka air banjir. Hasil perhitungan dibagi menjadi akibat beban luar dan akibat beban gempa.

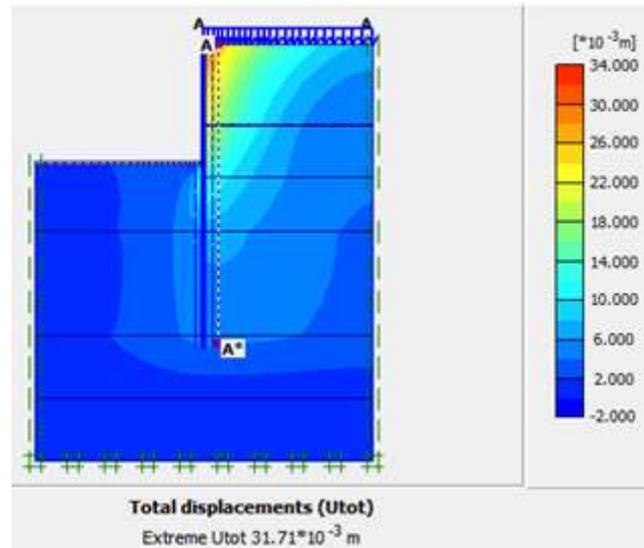
### a. Hasil perhitungan akibat beban luar

#### 1) Kondisi muka air normal kedalaman 4,37 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban pejalan kaki yaitu sebesar  $32,16 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.34 dan Gambar 5.35 sebagai berikut.



**Gambar 5.34 Arah Pergerakan Total Sheet Pile Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**



**Gambar 5.35 Area Kritis *Total Displacement Sheet Pile* Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement sheet pile* saat kondisi muka air normal akibat beban luar, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.36 sebagai berikut.



**Gambar 5.36 Potongan A-A' *Total Displacement Sheet Pile* Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

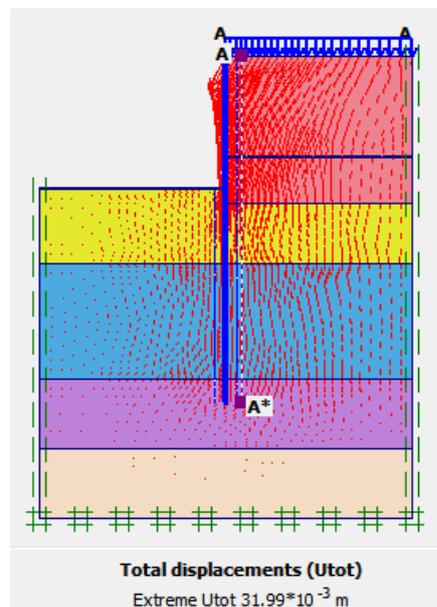
Untuk nilai angka *safety factor* (SF) *sheet pile* kondisi muka air normal akibat beban luar diperoleh sebesar 2,103, dapat dilihat pada Gambar 5.37 sebagai berikut.

Multipliers				
	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.005	Σ-Msf:	2.103
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

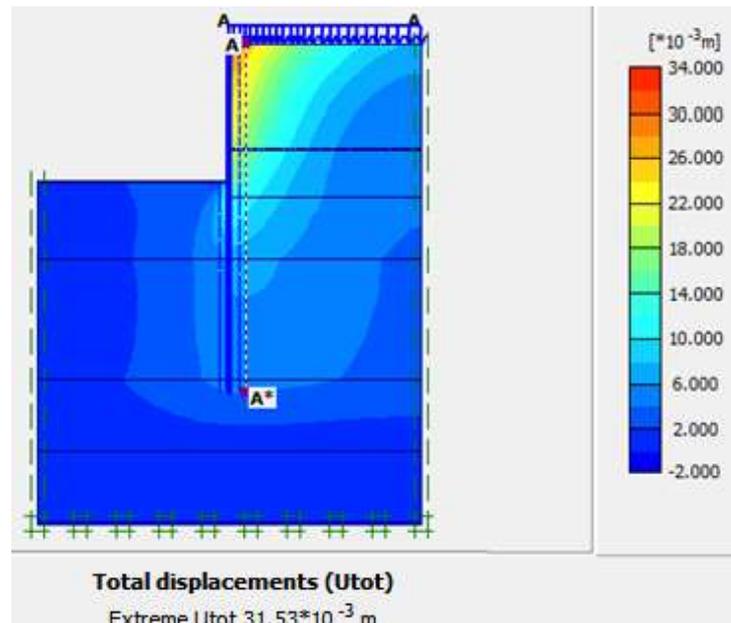
**Gambar 5.37 SF Sheet Pile Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

2) Kondisi muka air banjir kedalaman 3,89 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban pejalan kaki yaitu sebesar  $31,99 \times 10^{-3}$   $32,16 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.38 dan 5.39 sebagai berikut.



**Gambar 5.38 Arah Pergerakan Total Sheet Pile Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**



**Gambar 5.39 Area Kritis *Total Displacement Sheet Pile* Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement sheet pile* saat kondisi muka air banjir akibat beban luar, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.40 sebagai berikut.



**Gambar 5.40 Potongan A-A' *Total Displacement Sheet Pile* Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

Untuk nilai angka *safety factor* (SF) *sheet pile* kondisi muka air banjir akibat beban luar diperoleh sebesar 2,122, dapat dilihat pada Gambar 5.41 sebagai berikut.

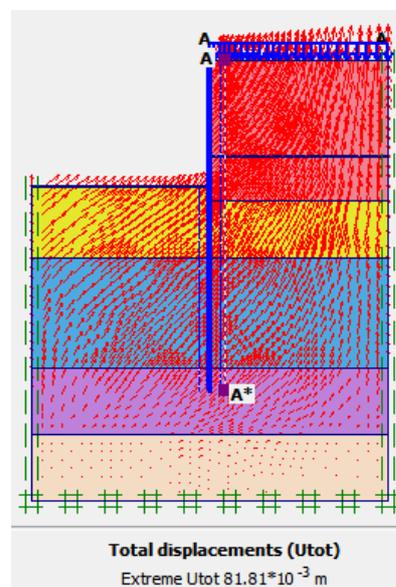
Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.002	Σ-Msf:	2.122
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

**Gambar 5.41 SF Sheet Pile Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

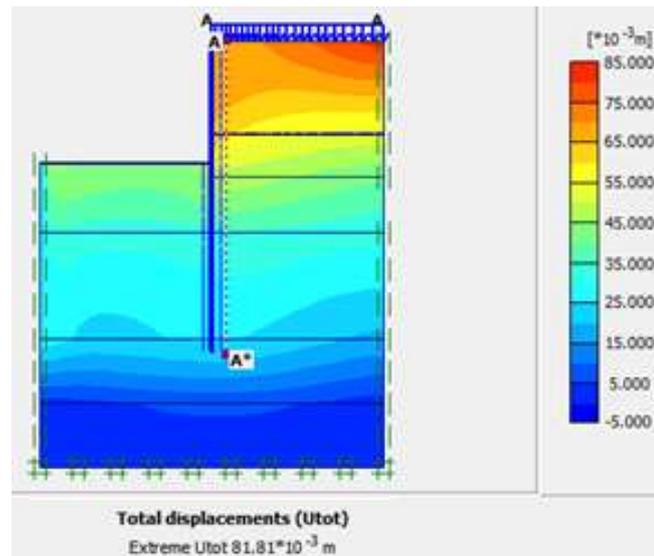
b. Hasil perhitungan akibat beban gempa

1) Kondisi muka air normal kedalaman 4,37 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban gempa yaitu sebesar  $81,81 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.42 dan Gambar 5.43 sebagai berikut.

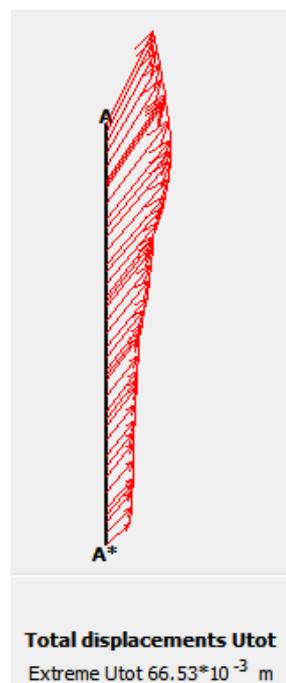


**Gambar 5.42 Arah Pergerakan Total Sheet Pile Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**



**Gambar 5.43 Area Kritis *Total Displacement Sheet Pile* Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement sheet pile* saat kondisi muka air normal akibat beban gempa, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.44 sebagai berikut.



**Gambar 5.44 Potongan A-A' *Total Displacement Sheet Pile* Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

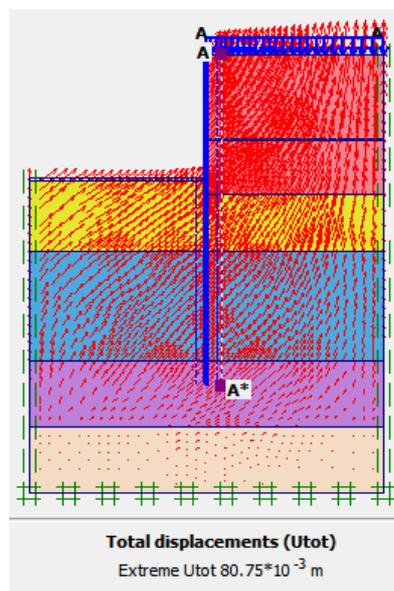
Untuk nilai angka *safety factor* (SF) *sheet pile* kondisi muka air normal akibat beban gempa diperoleh sebesar 1,520, dapat dilihat pada Gambar 5.45 sebagai berikut.

Multipliers		Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	$\Sigma$ -Mdisp:	0.000	
Load system A	MloadA:	0.000	$\Sigma$ -MloadA:	1.000	
Load system B	MloadB:	0.000	$\Sigma$ -MloadB:	1.000	
Soil weight	Mweight:	0.000	$\Sigma$ -Mweight:	1.000	
Acceleration	Maccel:	0.000	$\Sigma$ -Maccel:	-1.000	
Strength reduction factor	Msf:	0.000	$\Sigma$ -Msf:	1.520	
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000	
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000	

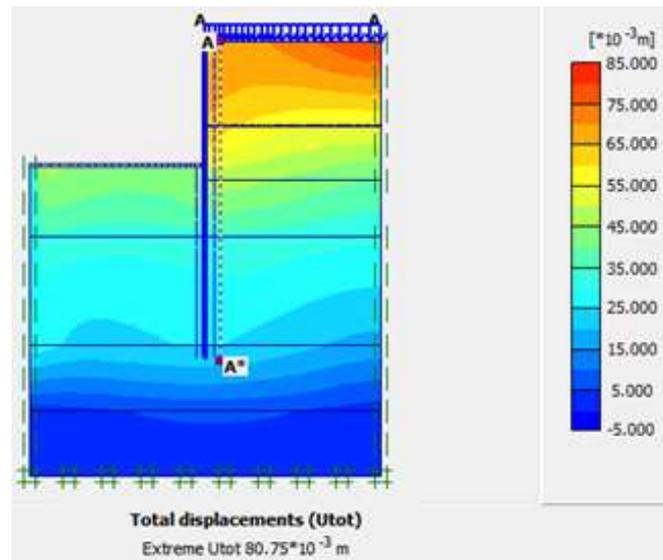
**Gambar 5.45 SF Sheet Pile Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

2) Kondisi muka air banjir kedalaman 3,89 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban gempa yaitu sebesar  $80,75 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap *sheet pile* dapat dilihat pada Gambar 5.46 dan Gambar 5.47 sebagai berikut.

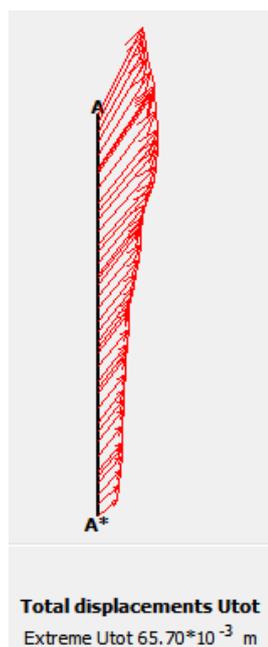


**Gambar 5.46 Arah Pergerakan Total Sheet Pile Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**



**Gambar 5.47 Area Kritis *Total Displacement Sheet Pile* Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

Untuk mengetahui lebih rinci nilai *displacement sheet pile* saat kondisi muka air banjir akibat beban gempa, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.48 sebagai berikut.



**Gambar 5.48 Potongan A-A' *Total Displacement Sheet Pile* Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

Untuk nilai angka *safety factor* (SF) *sheet pile* kondisi muka air normal akibat beban gempa diperoleh sebesar 1,522, dapat dilihat pada Gambar 5.49 sebagai berikut.

Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
	Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	-1.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	1.522
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

**Gambar 5.49 SF Sheet Pile Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

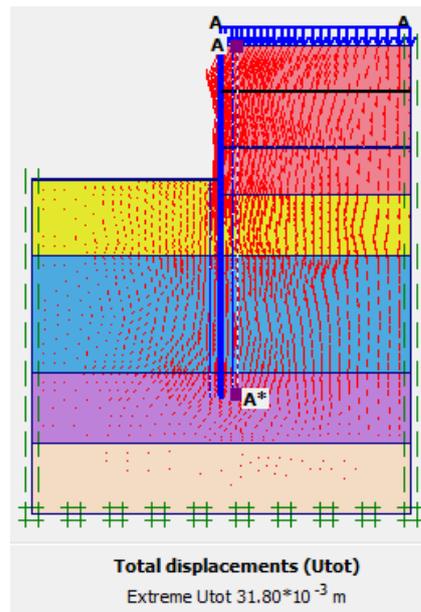
### 3. *Sheet pile* dengan angkur

Untuk konstruksi *sheet pile* dengan angkur, perhitungan dibuat dengan dua variasi yaitu saat muka air normal dan muka air banjir. Hasil perhitungan dibagi menjadi akibat beban luar dan akibat beban gempa.

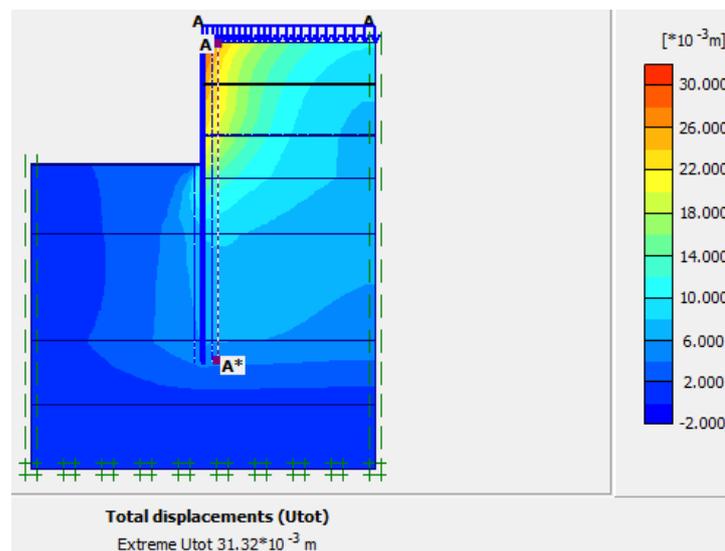
#### a. Hasil perhitungan akibat beban luar

##### 1) Kondisi muka air normal kedalaman 4,37 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban pejalan kaki yaitu sebesar  $31,80 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap *sheet pile* dengan angkur dapat dilihat pada Gambar 5.50 dan Gambar 5.51 sebagai berikut.



**Gambar 5.50 Arah Pergerakan Total Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**



**Gambar 5.51 Area Kritis Total Displacement Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement sheet pile* dengan angkur saat kondisi muka air normal akibat beban luar, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.52 sebagai berikut.



**Gambar 5.52 Potongan A-A' Total Displacement Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

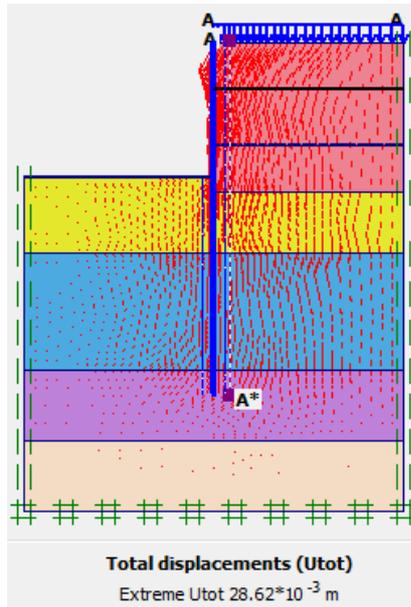
Untuk nilai angka *safety factor* (SF) *sheet pile* dengan angkur kondisi muka air normal akibat beban luar diperoleh sebesar 2,452, dapat dilihat pada Gambar 5.53 sebagai berikut.

Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.005	Σ-Msf:	2.452
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

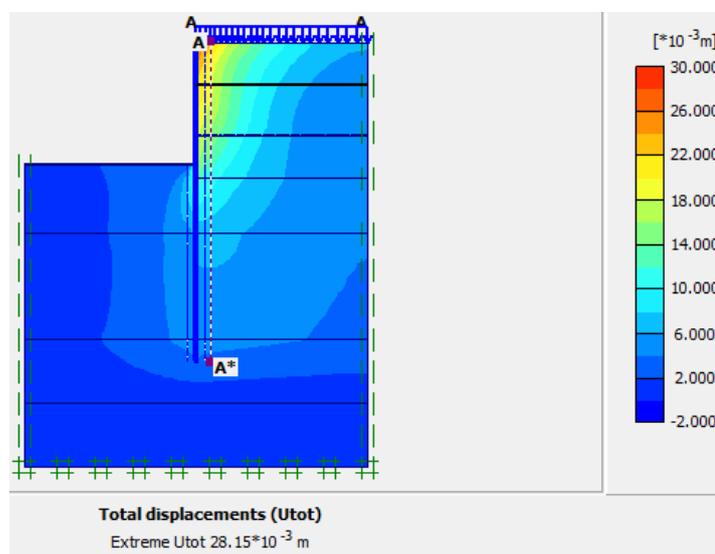
**Gambar 5.53 SF Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**

2) Kondisi muka air banjir kedalaman 3,89 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban pejalan kaki yaitu sebesar  $28,62 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap *sheet pile* dengan angkur dapat dilihat pada Gambar 5.54 dan 5.55 sebagai berikut.



**Gambar 5.54 Arah Pergerakan Total *Sheet Pile* dengan Angkur Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**



**Gambar 5.55 Area Kritis *Total Displacement Sheet Pile* dengan Angkur Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement sheet pile* dengan ankur saat kondisi muka air banjir akibat beban luar, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.56 sebagai berikut.



**Gambar 5.56 Potongan A-A' Total Displacement Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

Untuk nilai angka *safety factor* (SF) *sheet pile* dengan ankur kondisi muka air banjir akibat beban luar diperoleh sebesar 2,486, dapat dilihat pada Gambar 5.57 sebagai berikut.

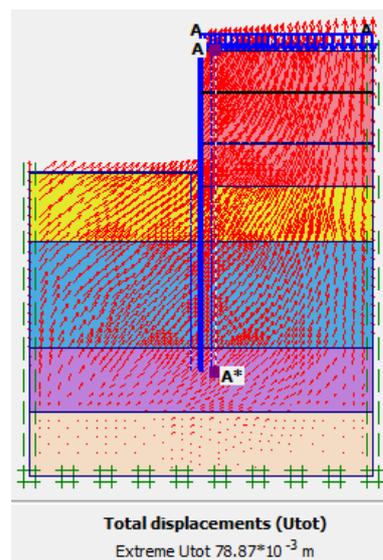
Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.009	Σ-Msf:	2.486
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

**Gambar 5.57 SF Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Luar**

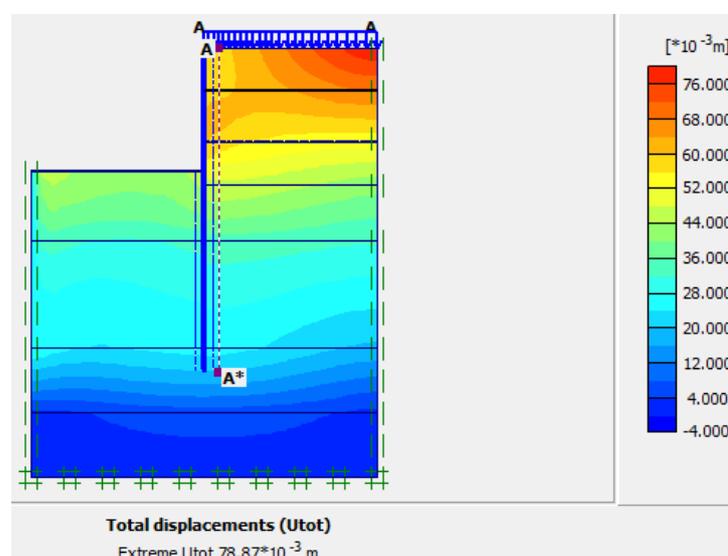
b. Hasil perhitungan akibat beban gempa

3) Kondisi muka air normal kedalaman 4,37 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban gempa yaitu sebesar  $78,87 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap *sheet pile* dengan angkur dapat dilihat pada Gambar 5.58 dan Gambar 5.59 sebagai berikut.

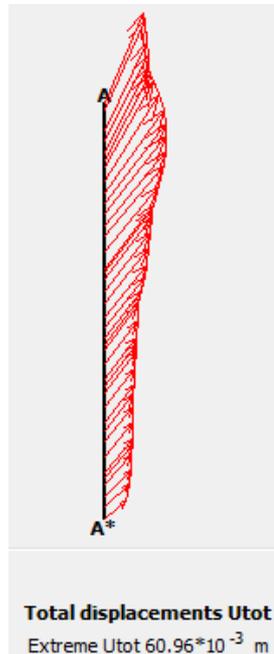


**Gambar 5.58 Arah Pergerakan Total *Sheet Pile* dengan Angkur Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**



**Gambar 5.59 Area Kritis *Total Displacement Sheet Pile* dengan Angkur Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

Untuk mengetahui lebih detail nilai *displacement sheet pile* dengan angkur saat kondisi muka air normal akibat beban gempa, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.60 sebagai berikut.



**Gambar 5.60 Potongan A-A' Total Displacement Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

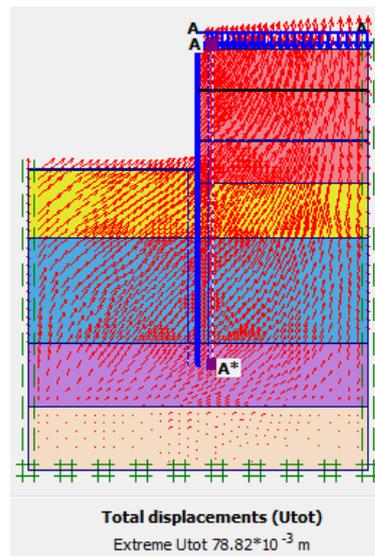
Untuk nilai angka *safety factor* (SF) *sheet pile* dengan angkur kondisi muka air normal akibat beban gempa diperoleh sebesar 1,520, dapat dilihat pada Gambar 5.61 sebagai berikut.

Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	$\Sigma$ -Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	$\Sigma$ -MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	$\Sigma$ -MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	$\Sigma$ -Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	$\Sigma$ -Maccel:	-1.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	$\Sigma$ -Msf:	1.520
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

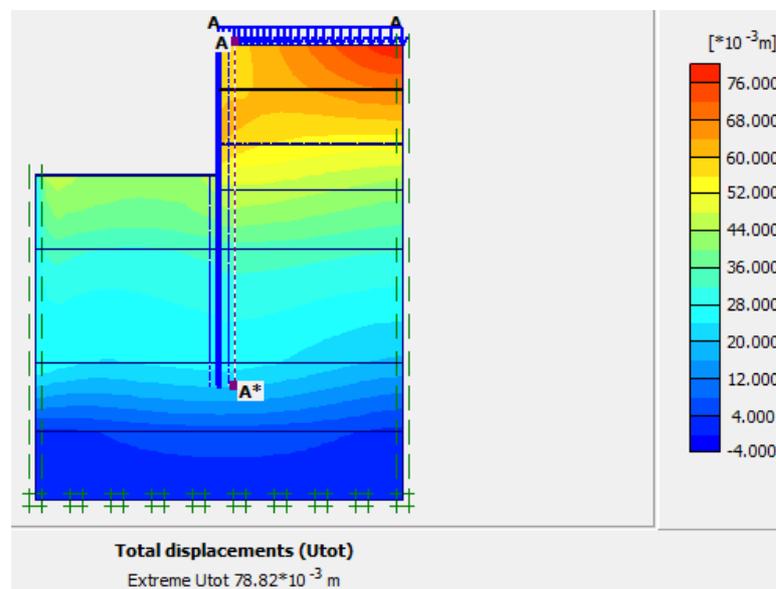
**Gambar 5.61 SF Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

4) Kondisi muka air banjir kedalaman 3,89 m

Berdasarkan analisis dengan program *Plaxis*, besarnya nilai *total displacement* dengan beban gempa yaitu sebesar  $78,82 \times 10^{-3}$  m. Hasil analisis berupa arah pergerakan tanah total terhadap *sheet pile* dengan angkur dapat dilihat pada Gambar 5.62 dan Gambar 5.63 sebagai berikut.

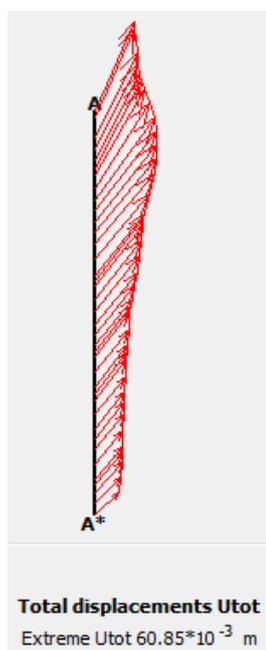


**Gambar 5.62 Arah Pergerakan Total *Sheet Pile* dengan Angkur Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**



**Gambar 5.63 Area Kritis *Total Displacement Sheet Pile* dengan Angkur Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

Untuk mengetahui lebih rinci nilai *displacement sheet pile* dengan angkur saat kondisi muka air banjir akibat beban gempa, dilakukan potongan vertikal seperti pada Gambar 5.64 sebagai berikut.



**Gambar 5.64 Potongan A-A' Total Displacement Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

Untuk nilai angka *safety factor* (SF) *sheet pile* kondisi muka air normal akibat beban gempa diperoleh sebesar 1,520, dapat dilihat pada Gambar 5.65 sebagai berikut.

Multipliers	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	$\Sigma$ -Mdisp:	0.000
Load system A	MloadA:	0.000	$\Sigma$ -MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	$\Sigma$ -MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	$\Sigma$ -Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	$\Sigma$ -Maccel:	-1.000
Strength reduction factor	Msf:	-0.001	$\Sigma$ -Msf:	1.520
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

**Gambar 5.65 SF Sheet Pile dengan Angkur Kondisi Muka Air Banjir dengan Beban Gempa**

### 5.7 Analisis Stabilitas *Sheet Pile* Menggunakan Program *Plaxis*

Hitungan stabilitas yang ditinjau berupa stabilitas internal terhadap kuat geser beton. Kuat geser beton merupakan kekuatan komponen struktur atas penampang yang berfungsi untuk meningkatkan kekakuan struktur dan menahan gaya – gaya lateral. Untuk stabilitas *sheet pile* dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1. Kuat beton menahan gaya geser

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{f'c} \times A$$

$$V_c = \frac{1}{6} \times \sqrt{62} \times 181800$$

$$V_c = 238582,439 \text{ N}$$

$$V_c = 238,582 \text{ kN}$$

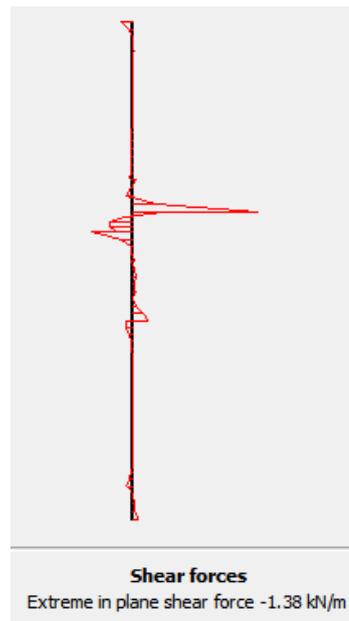
2. Tinjauan stabilitas terhadap gaya geser

- a. Kondisi muka air normal

Gaya geser hasil keluaran *Plaxis* menunjukkan hasil *shear forces* sebesar  $-744,80 \times 10^{-3} \text{ kN}$  dan  $-1,38 \text{ kN}$  dapat dilihat pada Gambar 5.66 dan 5.67 sebagai berikut.



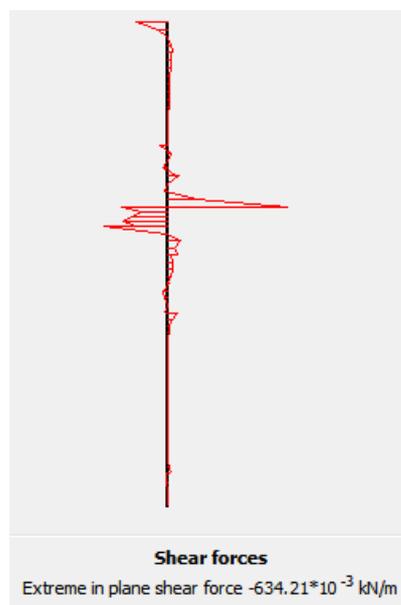
**Gambar 5.66 Gaya Geser *Sheet Pile* Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**



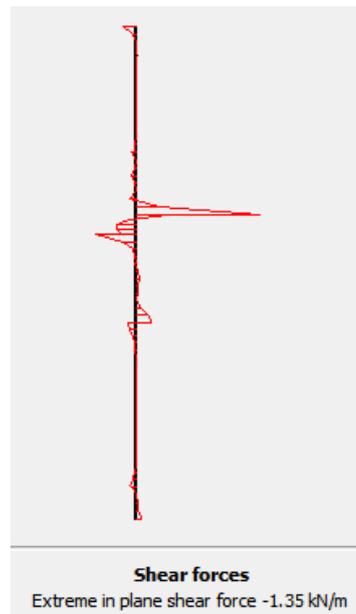
**Gambar 5.67 Gaya Geser *Sheet Pile* Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

b. Kondisi muka air banjir

Gaya geser hasil keluaran *Plaxis* menunjukkan hasil *shear forces* sebesar  $-634,21 \times 10^{-3}$  kN dan  $-1,35$  kN, hasil keluran *plaxis* dapat dilihat pada Gambar 5.68 dan Gambar 5.69 sebagai berikut.



**Gambar 5.68 Gaya Geser *Sheet Pile* Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Luar**



**Gambar 5.69 Gaya Geser *Sheet Pile* Kondisi Muka Air Normal dengan Beban Gempa**

Hasil *shear force* (gaya geser) *sheet pile* pemodelan dari *Plaxis* dengan beban luar dan beban gempa pada muka air yang bervariasi, dapat dilihat pada Tabel 5.16 sebagai berikut.

**Tabel 5.16 Output *Shear Force Sheet Pile* menggunakan Program *Plaxis***

<i>Sheet Pile</i>	Stabilitas terhadap Gaya Geser (kN)	Keterangan
MAN beban luar	$-744,80 \times 10^{-3} < 238,582$	Aman
MAN beban gempa	$-1,38 < 238,582$	Aman
MAB beban luar	$-634,21 \times 10^{-3} < 238,582$	Aman
MAB beban gempa	$-1,35 < 238,582$	Aman

Jadi, stabilitas *sheet pile* terhadap gaya geser aman karena  $V_u < V_c$

## 5.8 Pembahasan

Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi analisis stabilis dinding penahan tanah dengan meninjau stabilitas terhadap penggeseran, stabilitas terhadap penggulingan dan stabilitas terhadap kuat dukung tanah dasar dengan variasi muka air tanah.

Kemudian dilanjutkan dengan perencanaan konstruksi *sheet pile* untuk perbandingan terhadap konstruksi dinding penahan tanah, serta pemodelan dengan program *Plaxis* untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada konstruksi dinding penahan tanah dan *sheet pile* yang ditinjau dengan variasi muka air tanah.

#### 5.8.1 Hasil Analisis Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Hasil analisis perhitungan stabilitas dinding penahan tanah dapat dilihat pada Tabel 5.17 sebagai berikut.

**Tabel 5.17 Hasil Perhitungan Stabilitas Dinding Penahan Tanah**

No	Dinding Penahan Tanah	Faktor Aman Penggeseran ( $F_{gs}$ )	Faktor Aman Penggulingan ( $F_{gl}$ )	Faktor Aman Kuat Dukung Tanah (F)
1	MAT kedalaman 4,37 m	3,864	9,992	3,322
2	MAT kedalaman 3,89 m	3,417	8,584	3,001

Berdasarkan hasil analisis perhitungan stabilitas dinding penahan tanah, dapat diketahui bahwa dinding penahan tanah dengan adanya pengaruh variasi muka air tanah pada kondisi muka air normal dan muka air banjir telah memenuhi syarat aman. Syarat aman stabilitas tersebut ditinjau dari faktor aman terhadap penggeseran, penggulingan, dan kuat dukung tanah dasar.

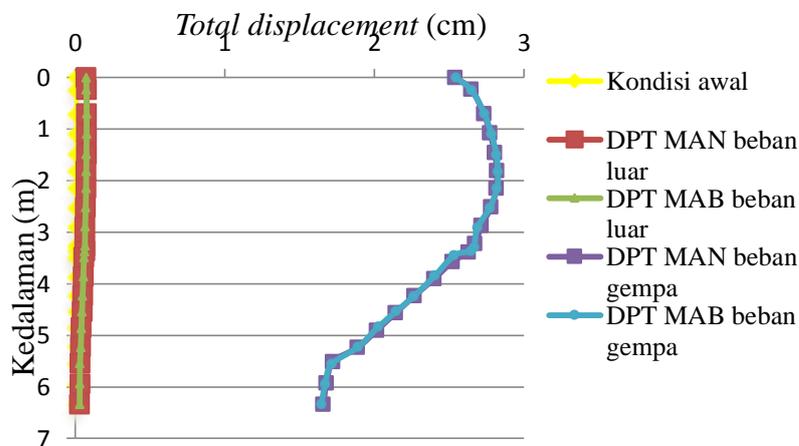
#### 5.8.2 Perbandingan Pergerakan Dinding Penahan Tanah dengan Beban Luar dan Beban Gempa menggunakan *Plaxis*

Hasil pemodelan *Plaxis* dengan beban luar dan beban gempa pada muka air yang bervariasi, dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

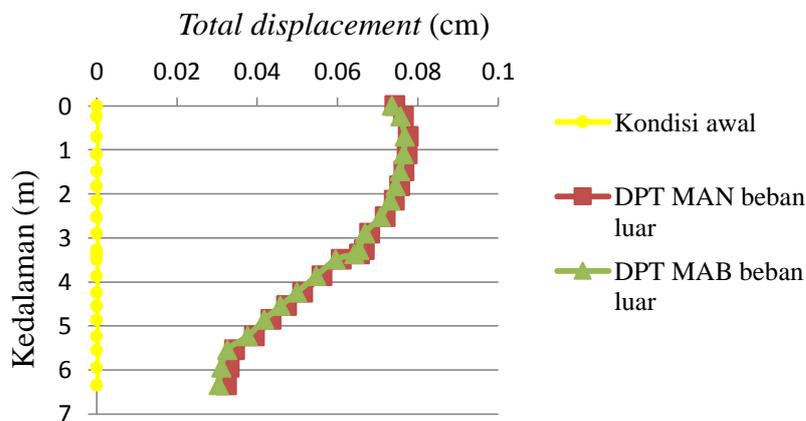
**Tabel 5.18 Output Displacements Dinding Penahan Tanah dengan Beban Luar dan Beban Gempa**

No	Keterangan	Total Displacements (cm)
1	DPT MAN beban luar	0,0776
2	DPT MAB beban luar	0,0767
3	DPT MAN beban gempa	2,823
4	DPT MAB beban gempa	2,817

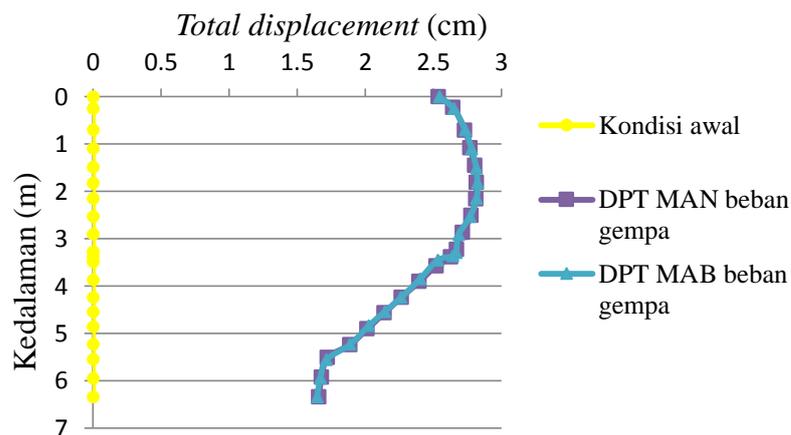
Hasil pemodelan *Plaxis* dengan beban luar dan beban gempa pada muka air yang bervariasi, dapat dilihat pada Gambar 5.70, Gambar 5.71 dan Gambar 5.72 sebagai berikut.



**Gambar 5.70 Total Displacements Dinding Penahan Tanah dengan Beban Luar dan Beban Gempa Pada Muka Air yang Bervariatif**



**Gambar 5.71 Total Displacements Dinding Penahan Tanah dengan Beban Luar Pada Muka Air yang Bervariatif**



**Gambar 5.72 Total Displacements Dinding Penahan Tanah dengan Beban Gempa Pada Muka Air yang Bervariatif**

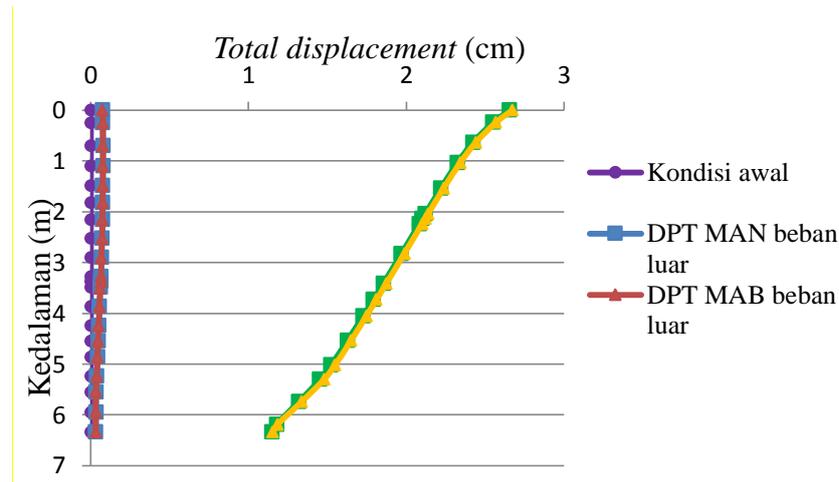
Pada pemodelan dengan program *Plaxis* dinding penahan tanah dengan beban luar dan beban gempa pada muka air yang bervariasi diperoleh nilai *total displacements*. Dari gambar tersebut diperoleh nilai *total displacements* akibat beban gempa lebih besar dari beban luar. Namun nilai tersebut masih relatif aman menurut Skempton dan Hutchinson (1969) dalam Look (2007), batasan pergerakan sebelum dinding penahan tanah longsor adalah sebesar 20-40 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa dinding penahan tersebut relatif aman terhadap bahaya longsor.

### 5.8.3 Perbandingan Pergerakan Dinding Penahan Tanah dan *Sheet Pile* Dengan Beban Luar dan Beban Gempa Menggunakan *Plaxis*

Hasil pemodelan *Plaxis* dengan beban luar pada muka air yang bervariasi, dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.73 sebagai berikut.

**Tabel 5.19 Output Displacements Dinding Penahan Tanah dan *Sheet Pile* dengan Beban Luar**

No	Keterangan	<i>Total Displacements</i> (cm)
1	DPT MAN beban luar	0,0776
2	DPT MAB beban luar	0,0767
3	SP MAN beban luar	2,674
4	SP MAB beban luar	2,656

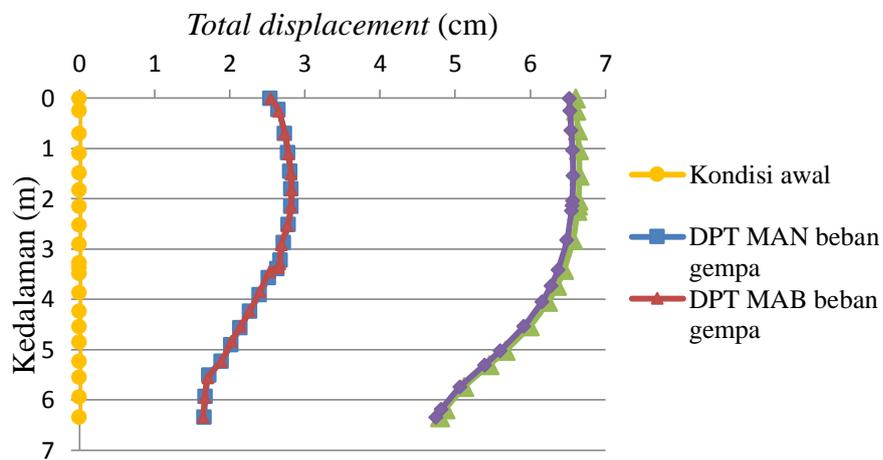


**Gambar 5.73 Perbandingan Total Displacements Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile dengan Beban Luar**

Hasil pemodelan *Plaxis* dengan beban gempa pada muka air yang bervariasi, dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan Gambar 5.74 sebagai berikut.

**Tabel 5.20 Output Displacements Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Beban Gempa**

No	Keterangan	Total Displacements (cm)
1	DPT MAN beban gempa	2,823
2	DPT MAB beban gempa	2,817
3	SP MAN beban gempa	6,653
4	SP MAB beban gempa	6,570



**Gambar 5.74 Perbandingan Total Displacements Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile dengan Beban Gempa**

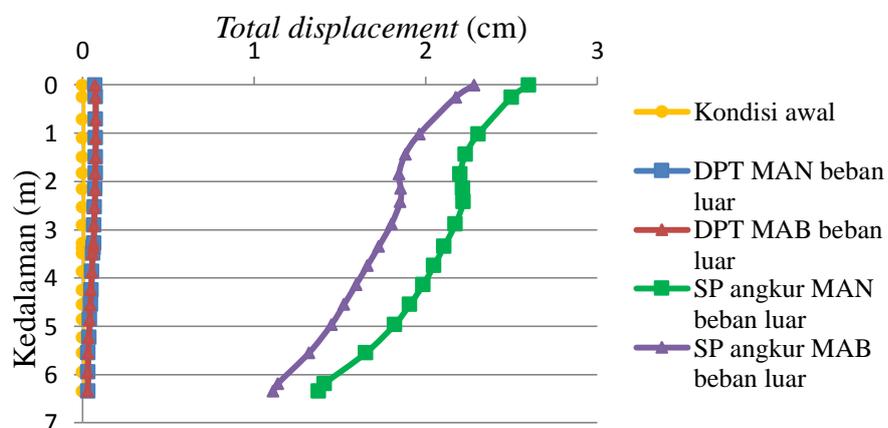
Pada pemodelan dengan program *Plaxis* dinding penahan tanah dan *sheet pile* dengan beban luar dan beban gempa pada muka air yang bervariasi diperoleh nilai *total displacements*. Dari gambar tersebut diperoleh nilai *total displacements* dengan konstruksi *sheet pile* lebih besar dari dinding penahan tanah. Namun nilai tersebut masih relatif aman menurut Skempton dan Hutchinson (1969) dalam Look (2007), batasan pergerakan sebelum dinding penahan longsor adalah sebesar 20-40 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa konstruksi tersebut relatif aman terhadap bahaya longsor.

#### 5.8.4 Perbandingan Pergerakan Dinding Penahan Tanah dan *Sheet Pile* Diangkur Dengan Beban Luar dan Beban Gempa Menggunakan *Plaxis*

Hasil pemodelan *Plaxis* dengan beban luar pada muka air yang bervariasi, dapat dilihat pada Tabel 5.21 dan Gambar 5.75 sebagai berikut.

**Tabel 5.21 Output Displacements Dinding Penahan Tanah dan *Sheet Pile* Diangkur dengan Beban Luar**

No	Keterangan	<i>Total Displacements</i> (cm)
1	DPT MAN beban luar	0,0776
2	DPT MAB beban luar	0,0767
3	SP MAN beban luar	2,599
4	SP MAB beban luar	2,283

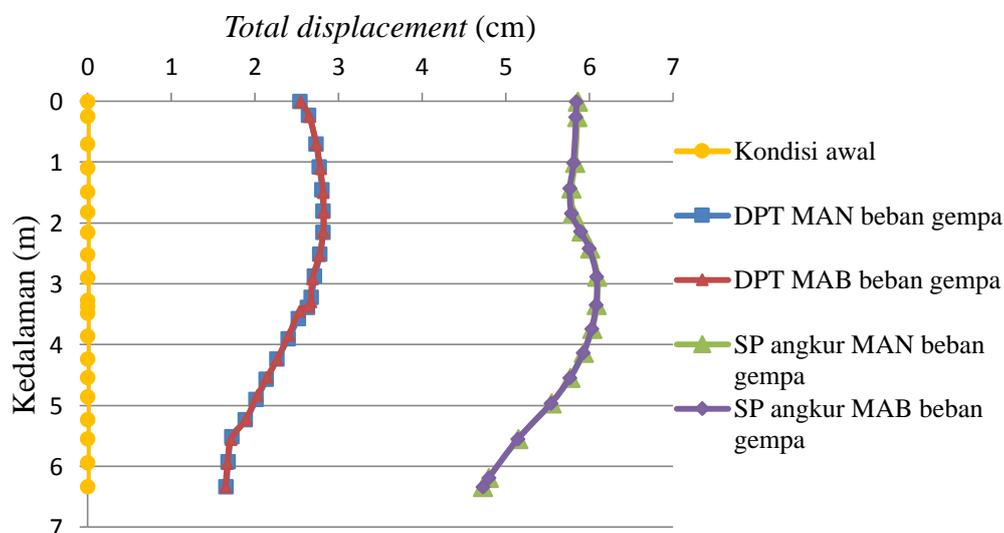


**Gambar 5.75 Perbandingan *Total Displacements* Dinding Penahan Tanah dan *Sheet Pile* Diangkur dengan Beban Luar**

Hasil pemodelan *Plaxis* dengan beban gempa pada muka air yang bervariasi, dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Gambar 5.76 sebagai berikut.

**Tabel 5.22 Output Displacements Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Diangkur Beban Gempa**

No	Keterangan	Total Displacements (cm)
1	DPT MAN beban gempa	2,823
2	DPT MAB beban gempa	2,817
3	SP MAN beban gempa	6,096
4	SP MAB beban gempa	6,085

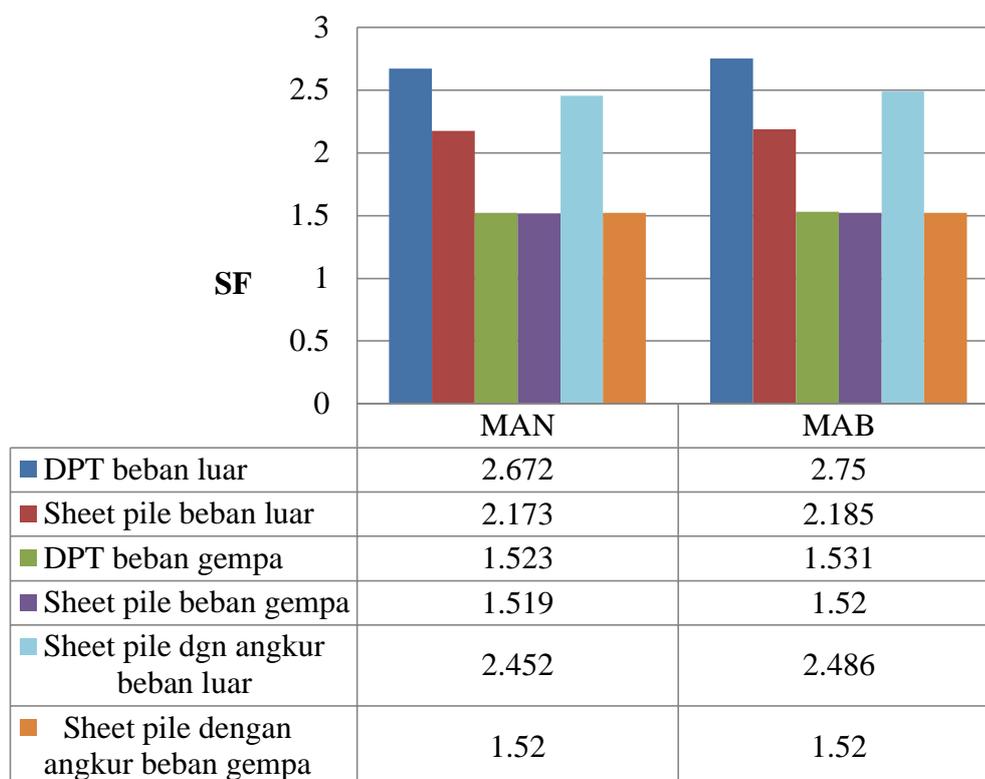


**Gambar 5.76 Perbandingan Total Displacements Dinding Penahan Tanah dan Sheet Pile Diangkur dengan Beban Gempa**

Pada pemodelan dengan program *Plaxis* dinding penahan tanah dan *sheet pile* diangkur dengan beban luar dan beban gempa pada muka air yang bervariasi diperoleh nilai *total displacements*. Dari gambar tersebut diperoleh nilai *total displacements* dengan konstruksi *sheet pile* diangkur masih lebih besar dari dinding penahan tanah. Namun nilai tersebut relatif aman menurut Skempton dan Hutchinson (1969) dalam Look (2007), batasan pergerakan sebelum dinding penahan longsor adalah sebesar 20-40 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa dinding penahan tersebut relatif aman terhadap bahaya longsor.

### 5.8.5 Perbandingan Nilai *Safety Factor* Dinding Penahan Tanah, *Sheet Pile* dan *Sheet Pile* Diangkur Dengan Beban Luar dan Beban Gempa Pada Muka Air yang Bervariatif Menggunakan *Plaxis*

Hasil perbandingan *safety factor* (angka aman) pemodelan dari *Plaxis* dengan beban luar dan beban gempa pada muka air yang bervariasi, dapat dilihat pada Gambar 5.77 sebagai berikut.



**Gambar 5.77 Perbandingan *Safety Factor* Dinding Penahan Tanah, *Sheet Pile* dan *Sheet Pile* Diangkur Pada Muka Air yang Bervariatif**

Pada pemodelan dengan program *Plaxis* dinding penahan tanah dan *sheet pile* dengan beban luar dan beban gempa pada muka air yang bervariasi diperoleh nilai *safety factor*. Dari gambar tersebut diperoleh nilai *safety factor* dengan konstruksi dinding penahan tanah lebih besar dari *sheet pile*. Hampir semua konstruksi dengan beberapa kondisi tersebut relatif aman, kecuali konstruksi dinding penahan tanah dengan beban gempa. Karena angka aman dinding penahan tersebut kurang dari 2 menurut Hardiyatmo (2010). Sedangkan angka aman untuk konstruksi *sheet pile* sebesar 1,2 – 1,4 menurut Hardiyatmo (2010).