

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Gambaran Umum Proyek

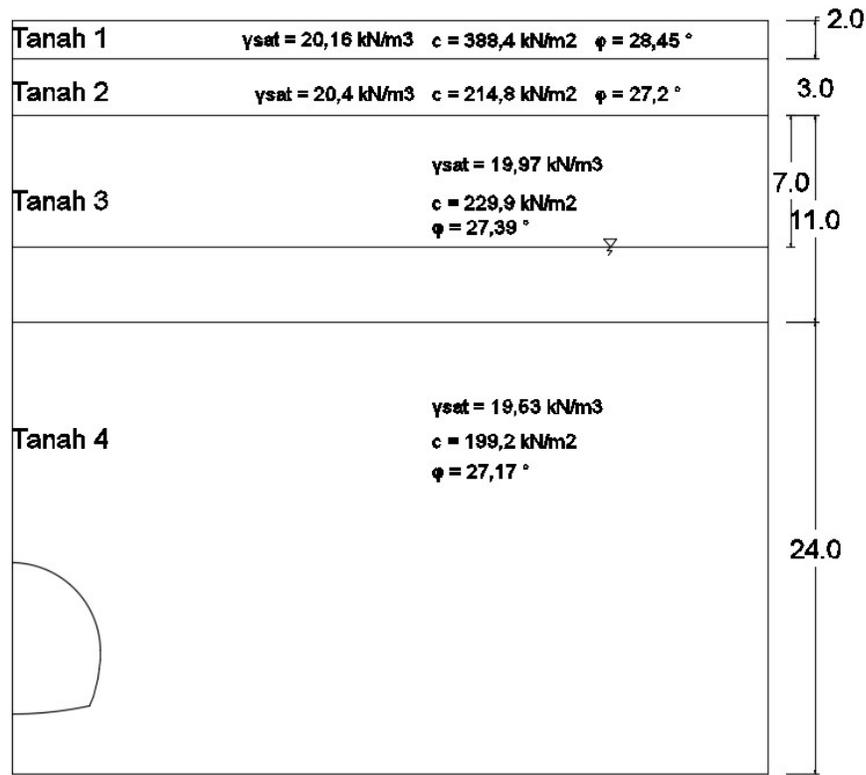
Kondisi proyek terowongan yang ada di Notog, Purwokerto, Jawa Tengah memiliki panjang terowongan 550 meter dengan diameter 10 m. Dengan kondisi tanah / batuan yang bermacam-macam maka diperlukan beberapa tipe perkuatan terowongan yang berbeda. Perbedaan perkuatan terowongan terletak di jumlah penggunaan *rockbolt* yang berbeda berdasarkan tipe batuan / tanah yang berada di dalam terowongan. Perkuatan untuk *lining* terowongan menggunakan *wiremesh*, *steel rib*, *shotcrete* dan *rockbolt*.

Pada Tugas Akhir ini untuk mengetahui nilai stabilitas terowongan, peneliti hanya meneliti pada titik bor 3 dengan tipe batuan B-N dengan menggunakan program *Plaxis v8.2*.

5.2 Data Geoteknik

Terowongan yang akan di buat berada pada kedalaman 25 meter pada data Bor Log 3. Untuk lebih jelasnya data hasil uji Bor Log 3 dapat dilihat pada Lampiran 1.

Berikut dibawah ini adalah pemodelan data tanah yang digunakan dalam penelitian analisis stabilitas terowongan dapat dilihat pada Gambar 5.1.

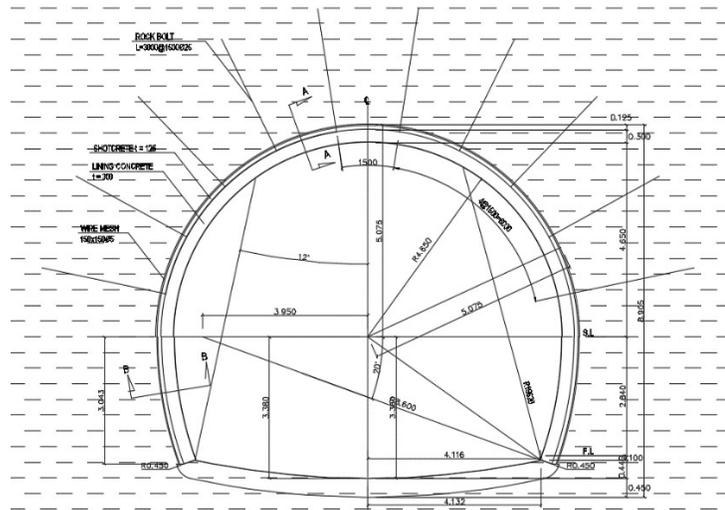


Gambar 5.1 Pemodelan Data Tanah

5.3 Data Perkuatan Terowongan

Data potongan melintang pada titik Bor Log 3 dari struktur terowongan sesuai dengan kondisi dilapangan yang dapat dilihat pada Gambar 5.2. Untuk data dari spesifikasi struktur terowongan adalah sebagai berikut.

1. *Wiremesh* dengan diameter 15 mm dan overlap 150 x 150 mm
2. *Shotcrete* dengan f^c 18 MPa dan tebal 12,5 cm
3. *Rockbolt* dengan diameter 25 mm dan panjang 3 m

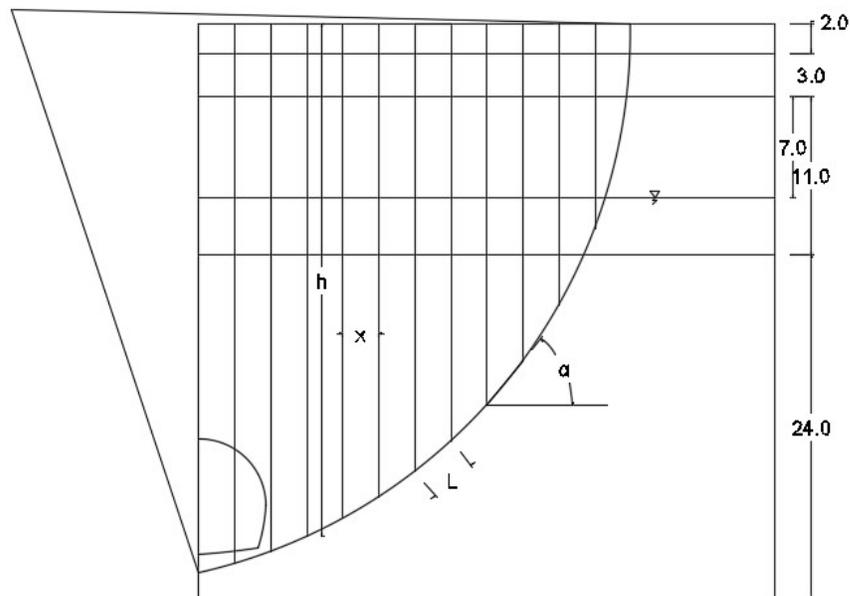


Gambar 5.2 Potongan Melintang Struktur Terowongan
(Sumber : Arsip PT. PP, 2017)

5.4 Analisis Stabilitas Terowongan

Terowongan yang akan di analisis untuk penelitian ini ditinjau pada titik Bor Log 3 yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 yang ditentukan dengan titik koordinat (-13,41) berdasarkan garis keruntuhan yang diperoleh dari hasil pengeboran pada Gambar 5.6 dengan menggunakan program plaxis.

(-13,41)



Gambar 5.3 Analisis Stabilitas Menggunakan Metode Fellenius

Hitungan dengan menggunakan metode Fellenius pada terowongan dari muka tanah sampai dengan bagian terowongan dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hitungan Faktor Keamanan Pada Terowongan

Pias	L (m)	h (m)	X (m)	A (m ²)	h (m)	X (m)	A (m ²)	α (°)	Sin α	Cos α	Wt (A x γ)	W Sin α	W Cos α	SF
1	2,7	18,7	2,5	45,5	4	2,5	10	22	0,37461	0,92718	1226,78	459,558	1137,45	1,64637
2	2,8	17,7	2,5	42,75	4	2,5	10	26	0,43837	0,89879	1200,18	526,125	1078,72	
3	2,9	16,5	2,5	39,375	4	2,5	10	30	0,5	0,86603	1167,55	583,773	1011,12	
4	3	15	2,5	35,375	4	2,5	10	35	0,57358	0,81915	1128,87	647,491	924,713	
5	3,2	13,3	2,5	30,625	4	2,5	10	40	0,64279	0,76604	1082,93	696,096	829,575	
6	3,5	11,2	2,5	24,875	4	2,5	10	45	0,70711	0,70711	1027,33	726,433	726,433	
7	3,9	8,7	2,5	18	4	2,5	10	50	0,76604	0,64279	960,85	736,054	617,622	
8	4,6	5,7	2,5	9,5	4	2,5	10	57	0,83867	0,54464	878,655	736,902	478,55	
9	5,8	1,9	1	0,95	4	2,5	5,75	65	0,90631	0,42262	711,997	645,288	300,903	
10	12,8				0,6	0,2	0,06	79	0,98163	0,19081	253,242	5757,72	7105,08	
	45,2											11515,4	14210,2	
Pias	h (m)	X (m)	A (m ²)	h (m)	X (m)	A (m ²)	h (m)	X (m)	A (m ²)	γ ₄	γ ₃	γ ₂	γ ₁	γ _{air}
1	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5	20,1	20,36	19,76	19,48	9,81
2	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5	c ₄	c ₃	c ₂	c ₁	
3	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5	388,4	214,8	229,9	199,2	
4	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5	φ ₄	φ ₃	φ ₂	φ ₁	
5	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5	28,45	27,2	27,39	27,17	
6	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5	Tan φ ₄	Tan φ ₃	Tan φ ₂	Tan φ ₁	
7	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5	0,54183	0,51393	0,51813	0,51327	
8	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5					
9	7	2,5	17,5	3	2,5	7,5	2	2,5	5					
10	7	2	7	3	2,4	3,6	2	2,5	2,5					

Maka nilai angka keamanannya adalah

$$SF = \frac{c \times L + \tan \varphi \times (W \cos \alpha)}{W \sin \alpha}$$

$$SF = \frac{18959}{11515}$$

$$SF = 1,6464 > 1,25 \Rightarrow (\text{Aman}) (\text{Bowles}, 1984)$$

5.5 Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan Program *Plaxis v8.2*

Analisis yang dilakukan dalam penelitian meliputi analisis stabilitas terowongan tanpa perkuatan, dengan perkuatan *wiremesh*, dengan *wiremesh* dan 1 *rockbolt*, dengan *wiremesh* dan 2 *rockbolt*, dengan *wiremesh* dan 3 *rockbolt*, dengan *wiremesh* dan 4 *rockbolt*, dengan *wiremesh* dan 5 *rockbolt*. Dengan analisis pemodelan tersebut akan diperoleh hasil angka keamanan dan *deformasi* yang berbeda pastinya.

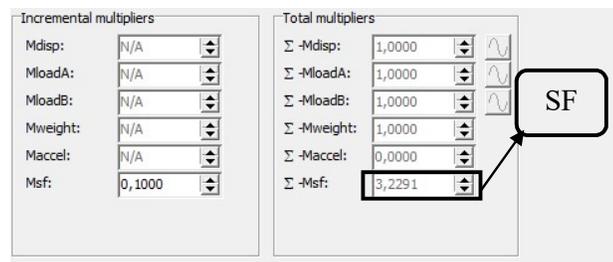
Nilai angka keamanan diperoleh dari hasil kalkulasi dan bentuk deformasi didapatkan dari nilai *total displacement*. Berikut dibawah ini analisis stabilitas terowongan menggunakan program *Plaxis v8.2*.

5.5.1 Hasil Perhitungan Program *Plaxis v8.2*

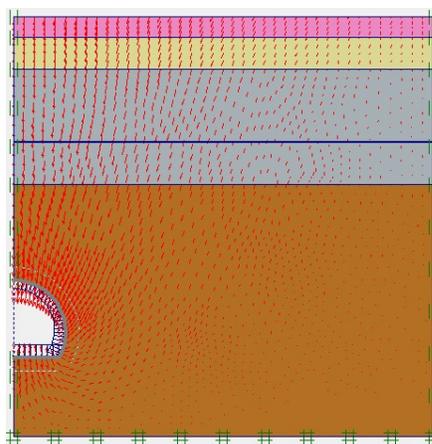
Setelah seluruh perhitungan selesai dan tidak ada kendala pada tahap ini, maka hasil perhitungan dapat ditentukan nilainya. Dalam penelitian ini, hasil perhitungan yang ditinjau adalah nilai angka keamanan pada masing-masing perkuatan dan seberapa besar deformasi yang dihasilkan oleh masing-masing perkuatan.

1. Analisis Stabilitas Terowongan Tanpa Perkuatan (Bor)

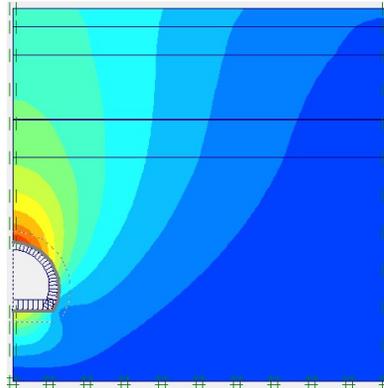
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan tanpa perkuatan pada titik bor log 3 yang diperoleh dari pengeboran sendiri dapat dilihat pada Gambar 5.4 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.5 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.6.



Gambar 5.4 Nilai Angka Keamanan Saat Pengeboran



Gambar 5.5 Arah Pergerakan Tanah Saat Pengeboran



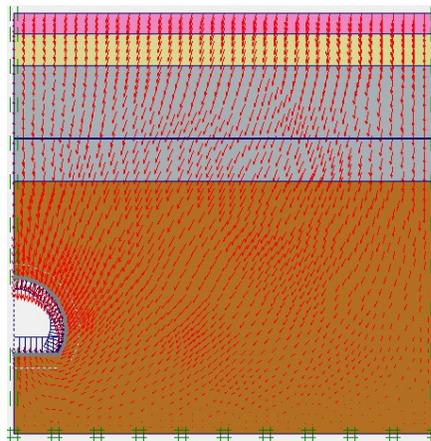
Gambar 5.6 Daerah Potensial Keruntuhan Saat Pengeboran

Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan tanpa perkuatan (pengeboran) pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.7 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.8 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.9.

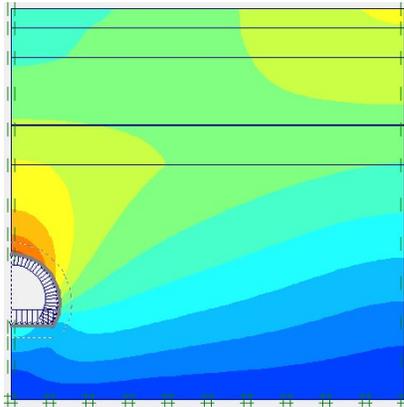
Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	N/A	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	N/A	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	N/A	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	N/A	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	N/A	Σ -Maccel:	1,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	2,3520

SF

Gambar 5.7 Nilai Angka Keamanan Dengan Beban Gempa Setelah Pengeboran



Gambar 5.8 Arah Pergerakan Tanah Dengan Beban Gempa Setelah Pengeboran



Gambar 5.9 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Pengeboran

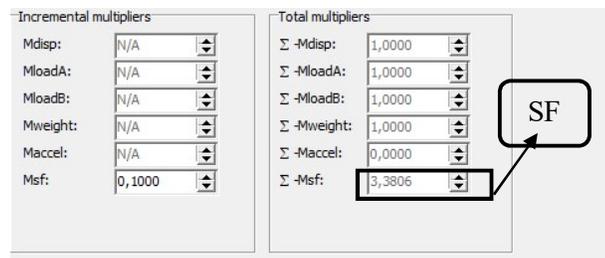
Besarnya nilai angka keamanan dan *total displacement* pada terowongan saat adanya pengeboran dan pada saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai angka keamanan dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Perbandingan Nilai Angka Keamanan dan Total Displacement Saat Tanpa Perkuatan

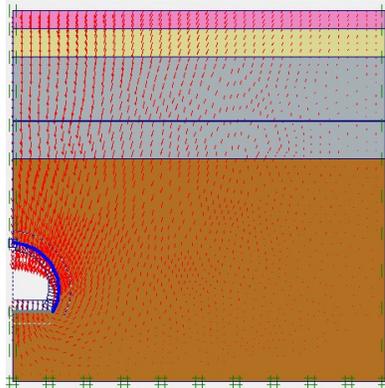
Step	Nilai Angka Keamanan	Total <i>Displacement</i> (m)
Konstruksi (Bor)	3,2291	0,0109
Konstruksi + Beban Gempa	2,352	0,02065

2. Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan *Wiremesh*

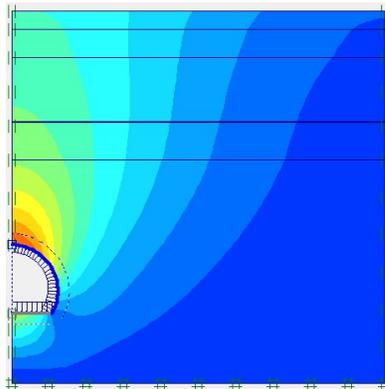
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 5.10 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.11 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.12.



Gambar 5.10 Nilai Angka Keamanan Dengan Perkuatan *Wiremesh*

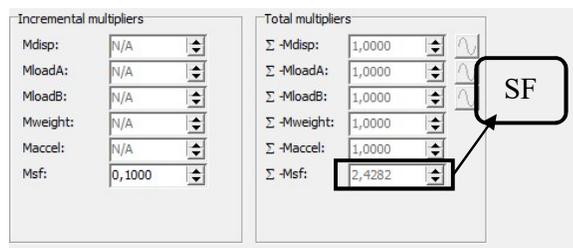


Gambar 5.11 Arah Pergerakan Tanah Dengan Perkuatan *Wiremesh*

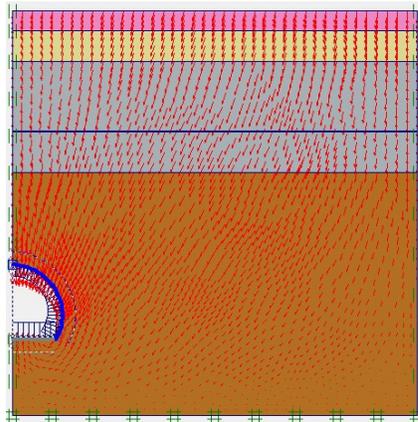


Gambar 5.12 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan *Wiremesh*

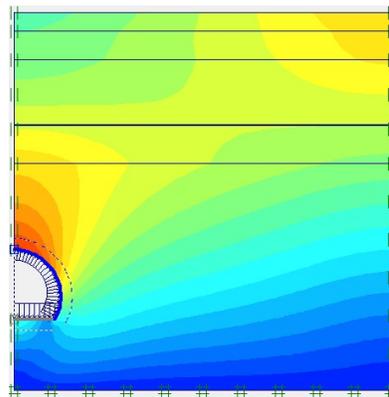
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.13 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.14 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.15.



Gambar 5.13 Nilai Angka Keamanan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh*



Gambar 5.14 Arah Pergerakan Tanah Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh*



Gambar 5.15 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh*

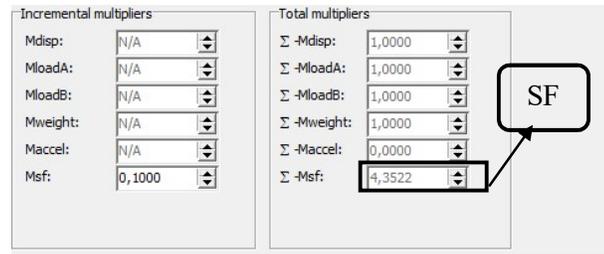
Besarnya nilai angka keamanan dan *total displacement* pada terowongan saat adanya perkuatan *wiremesh* dan pada saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai angka keamanan dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Perbandingan Nilai Angka Keamanan dan *Total Displacement* Dengan Perkuatan *Wiremesh*

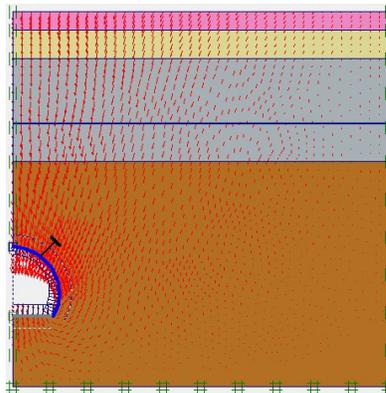
Step	Nilai Angka Keamanan	Total <i>Displacement</i> (m)
Konstruksi (<i>Wiremesh</i>)	3,38	0,01229
Konstruksi + Beban Gempa	2,428	0,01831

3. Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan *Wiremesh* dan 1 *Rockbolt*

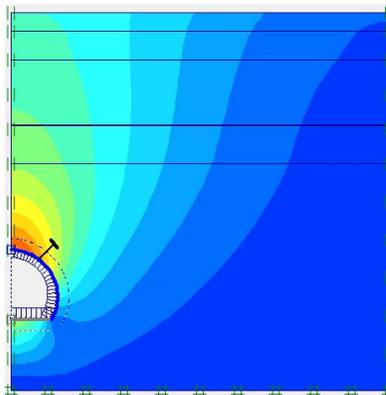
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 1 *rockbolt* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 5.16 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.17 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.18.



Gambar 5.16 Nilai Angka Keamanan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 1 *Rockbolt*

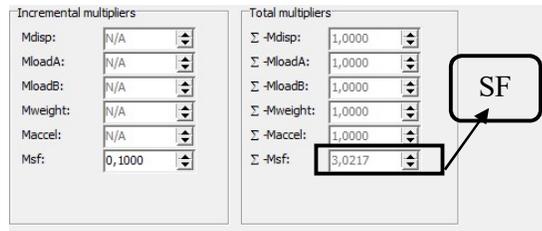


Gambar 5.17 Arah Pergerakan Tanah Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 1 *Rockbolt*

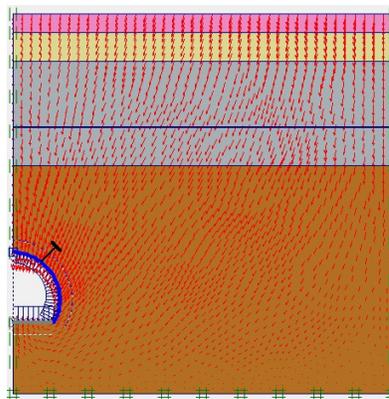


Gambar 5.18 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 1 *Rockbolt*

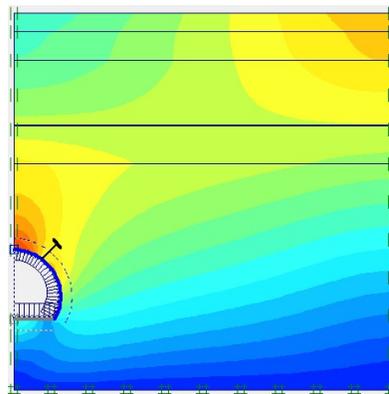
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 1 *rockbolt* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.19 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.20 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.21.



Gambar 5.19 Nilai Angka Keamanan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 1 *Rockbolt*



Gambar 5.20 Arah Pergerakan Tanah Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 1 *Rockbolt*



Gambar 5.21 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 1 *Rockbolt*

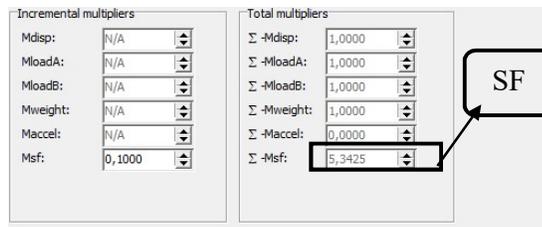
Besarnya nilai angka keamanan dan *total displacement* pada terowongan saat adanya perkuatan *wiremesh* dan 1 *rockbolt* dengan saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai angka keamanan dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Perbandingan Nilai Angka Keamanan dan *Total Displacement* Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 1 *Rockbolt*

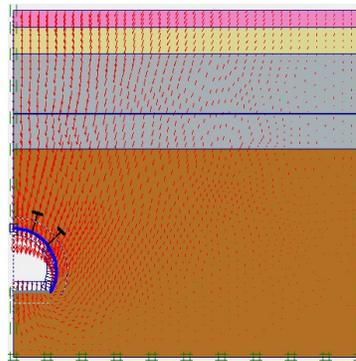
Step	Nilai Angka Keamanan	Total <i>Displacement</i> (m)
Konstruksi (Wm + 1 Rb)	4,352	0,01229
Konstruksi + Beban Gempa	3,0217	0,01709

4. Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*

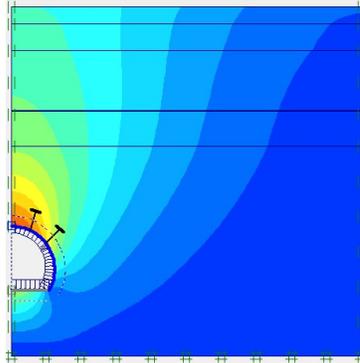
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 2 *rockbolt* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 5.22 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.23 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.24.



Gambar 5.22 Nilai Angka Keamanan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*

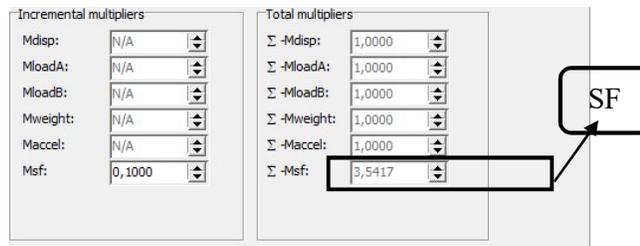


Gambar 5.23 Arah Pergerakan Tanah Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*

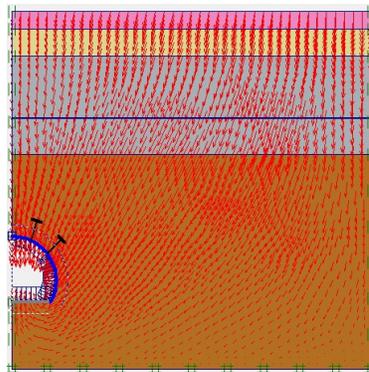


Gambar 5.24 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*

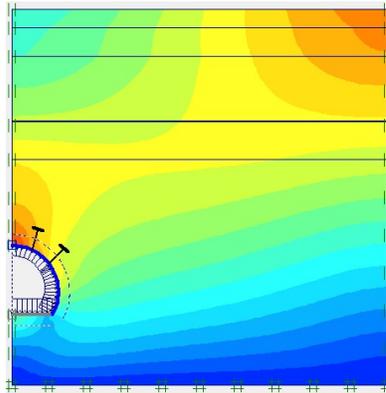
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 2 *rockbolt* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.25 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.26 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.27.



Gambar 5.25 Nilai Angka Keamanan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*



Gambar 5.26 Arah Pergerakan Tanah Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*



Gambar 5.27 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*

Besarnya nilai angka keamanan dan *total displacement* pada terowongan saat adanya perkuatan *wiremesh* dan 2 *rockbolt* dengan saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai angka keamanan dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perbandingan Nilai Angka Keamanan dan *Total Displacement* Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 2 *Rockbolt*

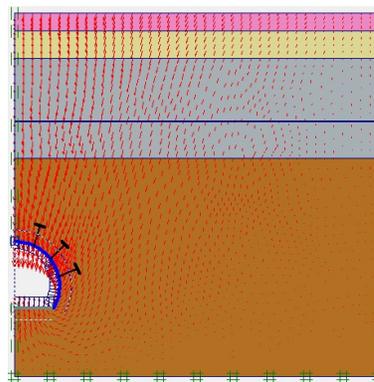
Step	Nilai Angka Keamanan	Total <i>Displacement</i> (m)
Konstruksi (Wm + 2 Rb)	5,342	0,01229
Konstruksi + Beban Gempa	3,541	0,01516

5. Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan *Wiremesh* dan 3 *Rockbolt*

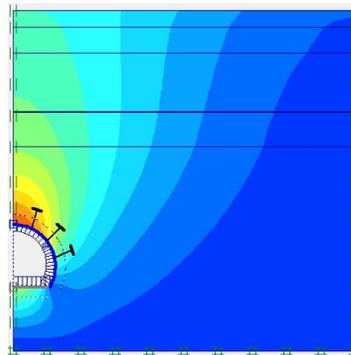
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 3 *rockbolt* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 5.28 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.29 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.30.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	N/A	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	N/A	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	N/A	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	N/A	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	N/A	Σ -Maccel:	0,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	6,5513

Gambar 5.28 Nilai Angka Keamanan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 3 *Rockbolt*



Gambar 5.29 Arah Pergerakan Tanah Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 3 *Rockbolt*



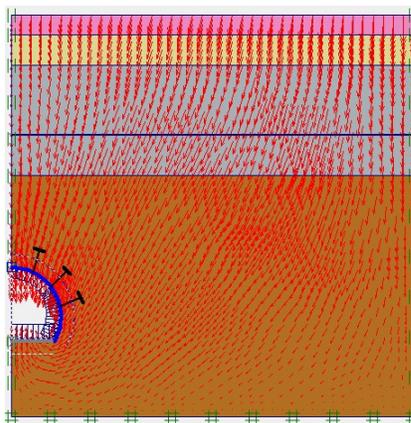
Gambar 5.30 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 3 *Rockbolt*

Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 3 *rockbolt* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.31

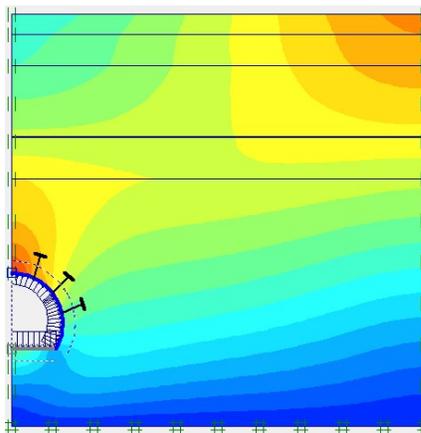
sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.32 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.33.

Incremental multipliers		Total multipliers	
Mdisp:	N/A	Σ -Mdisp:	1,0000
MloadA:	N/A	Σ -MloadA:	1,0000
MloadB:	N/A	Σ -MloadB:	1,0000
Mweight:	N/A	Σ -Mweight:	1,0000
Maccel:	N/A	Σ -Maccel:	1,0000
Msf:	0,1000	Σ -Msf:	4,3022

Gambar 5.31 Nilai Angka Keamanan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 3 *Rockbolt*



Gambar 5.32 Arah Pergerakan Tanah Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 3 *Rockbolt*



Gambar 5.33 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 3 *Rockbolt*

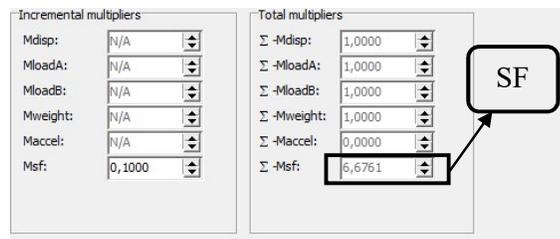
Besarnya nilai angka keamanan dan *total displacement* pada terowongan saat adanya perkuatan *wiremesh* dan 3 *rockbolt* dengan saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai angka keamanan dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Perbandingan Nilai Angka Keamanan dan *Total Displacement* Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 3 *Rockbolt*

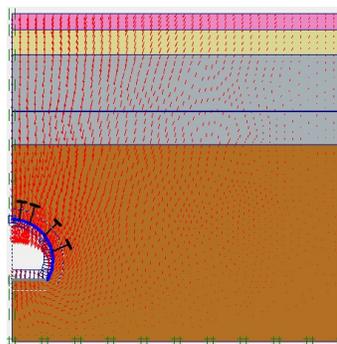
Step	Nilai Angka Keamanan	Total <i>Displacement</i> (m)
Konstruksi (Wm + 3 Rb)	6,551	0,0123
Konstruksi + Beban Gempa	4,303	0,01551

6. Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan *Wiremesh* dan 4 *Rockbolt*

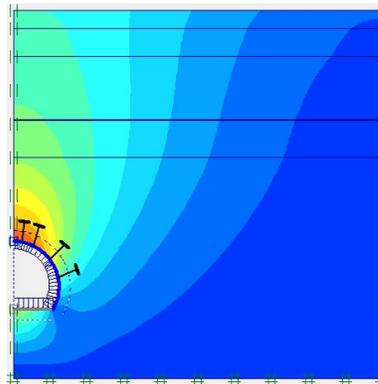
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 4 *rockbolt* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 5.34 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.35 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.36.



Gambar 5.34 Nilai Angka Keamanan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 4 *Rockbolt*

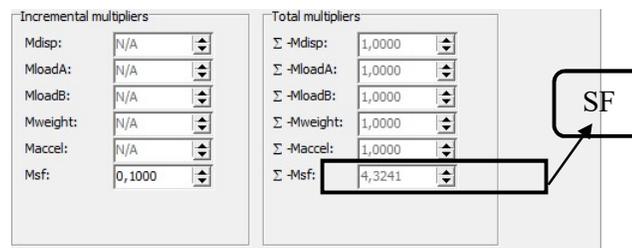


Gambar 5.35 Arah Pergerakan Tanah Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 4 *Rockbolt*

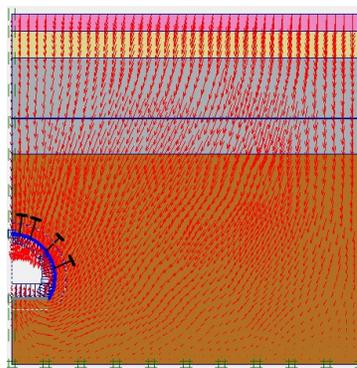


Gambar 5.36 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 4 *Rockbolt*

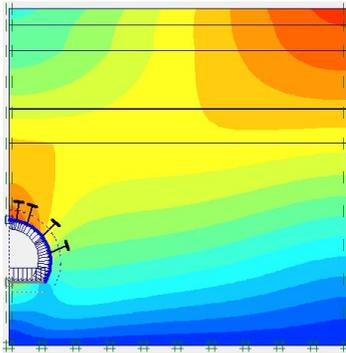
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 4 *rockbolt* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.37 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.38 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.39.



Gambar 5.37 Nilai Angka Keamanan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 4 *Rockbolt*



Gambar 5.38 Arah Pergerakan Tanah Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 4 *Rockbolt*



Gambar 5.39 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 4 *Rockbolt*

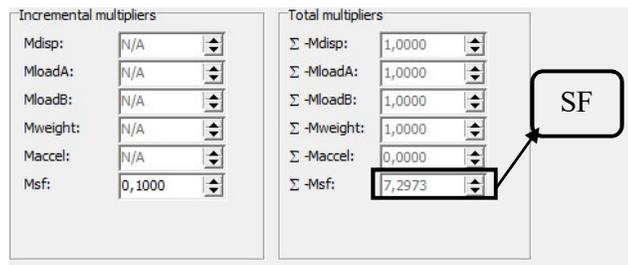
Besarnya nilai angka keamanan dan *total displacement* pada terowongan saat adanya perkuatan *wiremesh* dan 4 *rockbolt* dengan saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai angka keamanan dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Perbandingan Nilai Angka Keamanan dan *Total Displacement* Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 4 *Rockbolt*

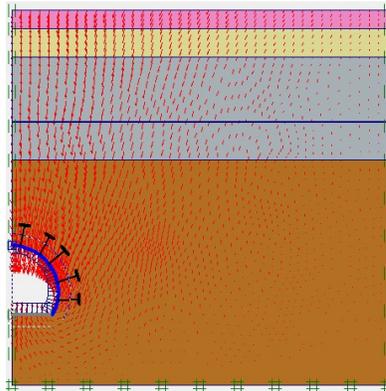
Step	Nilai Angka Keamanan	Total <i>Displacement</i> (m)
Konstruksi (Wm + 4 Rb)	6,676	0,0128
Konstruksi + Beban Gempa	4,324	0,01385

7. Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan *Wiremesh* dan 5 *Rockbolt*

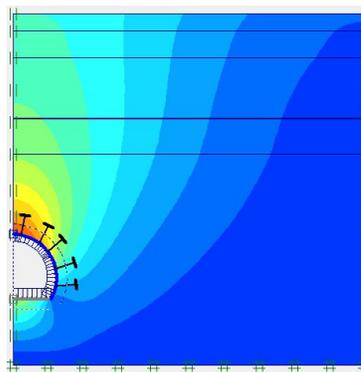
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 5 *rockbolt* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 5.40 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.41 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.42.



Gambar 5.40 Nilai Angka Keamanan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 5 *Rockbolt*

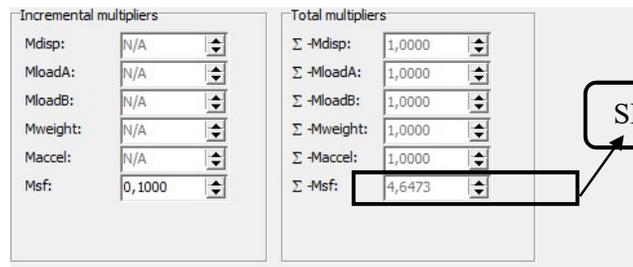


Gambar 5.41 Arah Pergerakan Tanah Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 5 *Rockbolt*

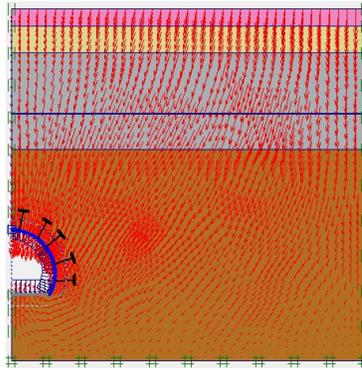


Gambar 5.42 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 5 *Rockbolt*

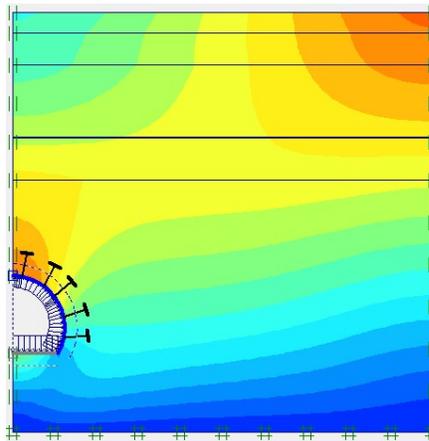
Untuk hasil nilai angka keamanan terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 5 *rockbolt* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 5.43 sedangkan untuk arah pergerakan tanah pada Gambar 5.44 dan daerah keruntuhan pada gambar 5.45.



Gambar 5.43 Nilai Angka Keamanan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 5 *Rockbolt*



Gambar 5.44 Arah Pergerakan Tanah Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 5 *Rockbolt*



Gambar 5.45 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 5 *Rockbolt*

Besarnya nilai angka keamanan dan *total displacement* pada terowongan saat adanya perkuatan *wiremesh* dan 5 *rockbolt* dengan saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai angka keamanan dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Perbandingan Nilai Angka Keamanan dan *Total Displacement* Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 5 *Rockbolt*

Step	Nilai Angka Keamanan	Total <i>Displacement</i> (m)
Konstruksi (Wm + 5 Rb)	7,297	0,01277
Konstruksi + Beban Gempa	4,647	0,01413

5.7 Hasil Analisis dan Pembahasan

Analisis stabilitas terowongan yang dilakukan menggunakan perhitungan manual (Metode Fellenius) dan menggunakan program *Plaxis v8.2*. Perhitungan manual hanya dilakukan untuk mengetahui nilai angka keamanan yang terjadi ketika pengeboran terowongan sebelum adanya perkuatan. Sedangkan perhitungan dengan menggunakan program *Plaxis v8.2* dilakukan untuk mengetahui nilai angka keamanan dan deformasi terowongan sebelum adanya perkuatan dan setelah adanya perkuatan (*wiremesh* dan *rockbolt*).

Berdasarkan hasil perhitungan manual yang dilakukan dengan menggunakan metode Fellenius pada saat sebelum adanya perkuatan di dapat nilai angka keamanan yaitu 1,6464. Hasil tersebut lebih tinggi dari batas aman yaitu $< 1,25$ (Bowles, 1984). Hal itu mungkin terjadi karena kondisi bukit yang di bor untuk dijadikan terowongan adalah berupa batuan dan di dalam data tanah yang ada, nilai kohesi (c) sangatlah besar karena nilai kohesi hanya diperoleh dari pengujian *triaxial* UU tanpa ada pembandingan pengujian lainnya seperti pengujian *direct shear*.

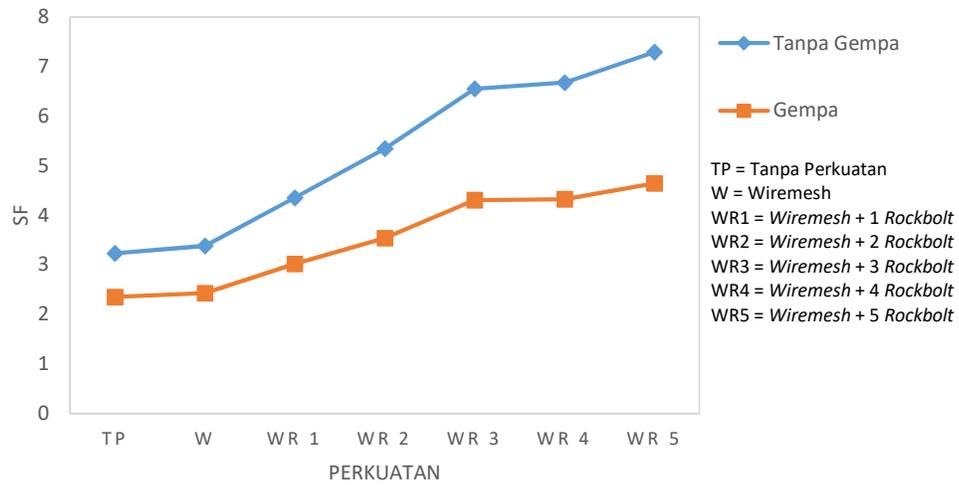
Berdasarkan hasil perhitungan pada program *plaxis* diperoleh nilai angka keamanan dan deformasi pada masing-masing perkuatan. Nilai angka keamanan dan deformasi ketika adanya perkuatan konstruksi hasilnya lebih tinggi dari nilai angka keamanan dan deformasi ketika ditambahkan dengan beban gempa yang sesuai dengan daerah proyek tersebut. Hasil nilai tanpa perkuatan yang dilakukan dengan program *Plaxis v8.2* diperoleh 2,352.

Selain itu, hasil analisis terowongan dengan menggunakan program *Plaxis v8.2* dengan perkuatan *wiremesh* dan *rockbolt* sangatlah berbeda jauh ketika terowongan hanya menggunakan perkuatan saja dengan terowongan yang menggunakan perkuatan ditambah dengan beban gempa. Hasil dari perkuatan dengan *wiremesh* saja diperoleh hasil nilai angka keamanan 3,38 sedangkan perkuatan dengan *wiremesh* lalu ditambahkan dengan beban gempa mendapatkan hasil nilai angka keamanan 2,428. Hasil dari deformasi terowongan dengan perkuatan *wiremesh* saja diperoleh hasil 0,0109 m, sedangkan nilai deformasi ketika perkuatan *wiremesh* ditambahkan beban gempa sebesar 0,02065 m. Dengan

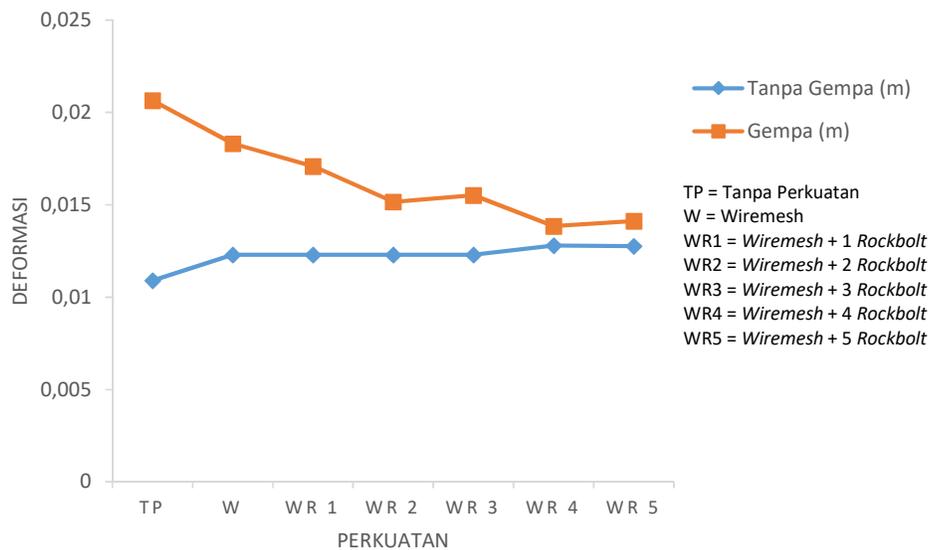
demikian hasil perbandingan antara perkuatan terowongan menggunakan *wiremesh* dan perkuatan terowongan menggunakan *wiremesh* ditambah beban gempa diperoleh selisih nilai angka keamanan sebesar 0,8771, sedangkan selisih nilai deformasi sebesar 0,00975.

Hasil yang berbeda jauh juga terjadi ketika terowongan menggunakan perkuatan *wiremesh* + 1 *rockbolt*. Hasil dari perkuatan dengan *wiremesh* + 1 *rockbolt* diperoleh hasil nilai angka keamanan 4,352 sedangkan perkuatan dengan *wiremesh* + 1 *rockbolt* lalu ditambahkan dengan beban gempa mendapatkan hasil nilai angka keamanan 3.022. Hasil dari deformasi terowongan dengan perkuatan *wiremesh* + 1 *rockbolt* saja diperoleh hasil 0,01229 m, sedangkan nilai deformasi ketika perkuatan *wiremesh* + 1 *rockbolt* ditambahkan beban gempa sebesar 0,01831 m. Dengan demikian hasil perbandingan antara perkuatan terowongan menggunakan *wiremesh* dan perkuatan terowongan menggunakan *wiremesh* ditambah beban gempa diperoleh selisih nilai angka keamanan sebesar 0,8771, sedangkan selisih nilai deformasi sebesar 0,00975.

Dari analisis 3 perkuatan diatas dapat kita buat grafik nilai angka keamanan dan deformasi ketika pekerjaan konstruksi dengan penambahan beban gempa. Grafik nilai angka keamanan ketika pekerjaan konstruksi dengan penambahan beban gempa dari saat pengeboran sampai dengan pembuatan perkuatan *wiremesh* + 5 *rockbolt* dapat dilihat pada Gambar 5.46, sedangkan grafik nilai deformasi yang didapat dari *total displacement* pada program *Plaxis v8.2* ketika pekerjaan konstruksi dengan penambahan beban gempa dari saat pengeboran sampai dengan pembuatan perkuatan *wiremesh* + 5 *rockbolt* dapat dilihat pada Gambar 5.47.



Gambar 5.46 Grafik Nilai Angka Keamanan Pada Tahap Konstruksi dan Tahap Penambahan Beban Gempa



Gambar 5.47 Nilai Deformasi Pada Tahap Konstruksi dan Tahap Penambahan Beban Gempa

Berdasarkan hasil analisis dari semua tinjauan perkuatan terowongan pada titik bor log 3, diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Nilai angka keamanan tidak ada yang kurang dari 1,25 (Bowles, 1984) ketika menggunakan perhitungan manual maupun dengan program *Plaxis v8.2*. Hal ini terjadi karena data yang diperoleh dari PT. PP selaku kontraktor diperoleh nilai kohesi (c) yang sangat besar dan kondisi dilapangan yang di bor untuk dijadikan terowongan adalah batuan.
2. Menurut hasil nilai angka keamanan yang bisa dikatakan masih besar ini dikarenakan dengan metode NATM yang dilakukan di proyek terowongan notog ini ketika pengeboran terowongan dengan kemajuan 5 m tidak terjadi keruntuhan. Bagian terowongan yang dilakukan pengeboran adalah Upper terlebih dahulu, selanjutnya jika sudah mengebor sepanjang 5 m maka dilanjutkan pada bagian Lower terowongan.
3. Dari gambar grafik angka keamanan yang ada diatas dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan perkuatan yang ada pada terowongan maka akan bertambah besar juga nilai angka keamanan yang di dapat, baik itu ketika pada saat tahapan konstruksi maupun pada saat penambahan beban gempa.
4. Hasil berbanding terbalik di dapat dari gambar grafik deformasi yang ada diatas disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan perkuatan yang ada pada terowongan maka akan semakin kecil nilai deformasi yang di dapat, baik itu ketika pada saat tahapan konstruksi maupun pada saat penambahan beban gempa.