

ANALISIS STABILITAS TEROWONGAN DENGAN PERKUATAN *WIREMESH* DAN *ROCKBOLT* MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Dias Dwi Hatmoko¹, dan Hanindya Kusuma Artati²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : 14511164@uii.ac.id

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : hanindya@uii.ac.id

Abstract: *Tunnels are an option in the development of railroads for land routes and cities with dense settlements. Ministry of Transportation of the Republic of Indonesia through the Directorate General of Railways made efforts to support railway infrastructure by build the Notog tunnel as an alternative to the development of tunnels at the hills area. This research is intended to analyze the stability of the tunnel by looking for the value of safety factor that occurs at the log drill point 3 of the Notog tunnel using finite element method in Plaxis v8.2 program. Tunnel stability analysis was computed mathematically by Mohr-Coloumb method and analyzed by Plaxis v8.2 program by providing reinforcement of wiremesh and rockbolts. The analysis determines the value of the safety factor and deformation that occurs in the tunnel, the result of this research is expected to obtain the value of safety factor and representate the tunnel condition due to deformation that occurred. The result of Notog tunnel modeling at log drill point 3 got the result of safety factor value without reinforcement 2,3769 with Mohr-Coloumb method and 2,352 with Plaxis v8.2 program. By adding the seismic loads to this analysis, the safety factor values for each of the reinforcements are 2,428 with wiremesh reinforcement, 3,022 with reinforcement wiremesh and 1 rockbolt, 3,541 with reinforcement wiremesh and 2 rockbolts, 4,303 with reinforcement wiremesh and 3 rockbolts, 4,324 with reinforcement wiremesh and 4 rockbolts, and 4,647 with reinforcement wiremesh and 5 rockbolts. The results obtained an alternative use of reinforcement wiremesh and 3 rockbolt are more effective and efficient because the difference in the value of safety factor obtained was not quite big with the addition of the amount of rockbolt.*

Keywords: *Tunnel, safety factor, deformation, wiremesh, rockbolt, Plaxis v8.2 Program*

1. PENDAHULUAN

Terowongan merupakan pilihan dalam pengembangan jalan kereta api untuk jalur darat dan kota – kota yang padat pemukiman. Di kota – kota besar di negara maju, alternatif ini telah dilakukan sehingga penataan permukaan kota dapat lebih mudah karena transportasi darat banyak dilakukan dengan terowongan bawah tanah (*underground tunneling*). Indonesia sebagai negara yang sedang membangun mempunyai berbagai macam topografi pada sebagian wilayahnya dan kota – kota besar mulai padat sehingga

dibutuhkan terowongan sebagai alternatif pembangunan insfrastruktur di permukaan. Pembangunan terowongan di Indonesia memang belum banyak tetapi usasha ke arah tersebut pasti akan dilakukan seiring dengan perkembangan pembangunan di Indonesia. (Pakbaz dan Yareevand, 2005)

Kementerian Perhubungan Republik Indonesia melalui Direktorat Jenderal Perkeretaapian melakukan upaya untuk menunjang insfrastruktur perkeretaapian dengan membuat terowongan sebagai

alternatif daerah perbukitan. Dengan adanya jalur ganda Cirebon-Kroya, maka dibuatlah Proyek Pembangunan Terowongan Notog BH 1440 dengan panjang terowongan 550 meter. Perencanaan pengeboran terowongan dibagi menjadi dua yaitu pada portal inlet dan portal outlet sehingga akan meminimalkan waktu pekerjaan yang ada di proyek. (KEMENHUB, 2015)

Pada penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisis stabilitas terowongan dengan mencari nilai angka keamanan yang terjadi pada titik bor log 3 terowongan Notog. Analisis stabilitas terowongan yang akan dilakukan menggunakan program *Plaxis v8.2*. Program *Plaxis v8.2* adalah salah satu program komputer yang dapat menganalisis stabilitas dan deformasi terowongan atau bidang geoteknik lainnya berdasarkan metode elemen hingga.

Rumusan masalah yang akan dianalisis yaitu mencari nilai angka keamanan pada terowongan tanpa perkuatan, dengan perkuatan *wiremesh*, dan *wiremesh* dengan penambahan jumlah *rockbolt*, sehingga akan didapat perkuatan mana yang akan dipilih untuk terowongan dengan mempertimbangkan beberapa aspek.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang terkait dengan analisis stabilitas terowongan dengan suatu perkuatan pernah dilakukan Apriyono (2010) dan Fadhilah (2016).

Apriyono (2010) melakukan penelitian tinjauan kekuatan sistem penyangga terowongan dengan menggunakan metode elemen hingga. Dalam penelitian tersebut bertujuan untuk mempelajari metode elemen hingga dan menentukan desain metode perkuatan terowongan yang tepat untukantisipasi keruntuhan terowongan. Dari penelitian yang dilakukan, hasil penelitian pemasangan sistem penyangga mengakibatkan penurunan nilai *displacement* di sekitar terowongan, penurunan nilai *displacement* rerata sebesar 12,5 mm. Selain itu, sistem penyangga berdasarkan Q sistem mengurangi nilai *displacement* terowongan secara signifikan sehingga pantas untuk dipertimbangkan dalam perencanaan.

Fadhilah (2016) melakukan penelitian tentang analisis geoteknik terowongan batuan Geurutee Aceh menggunakan metode elemen hingga. Dalam penelitian tersebut bertujuan agar dapat menambah pengetahuan untuk menganalisis dan mengolah data tanah dan batuan di suatu tempat juga dapat mendesain terowongan untuk jalan raya pada kondisi batuan tertentu. Dari penelitian tersebut didapat hasil yaitu besarnya deformasi yang terjadi pada terowongan tanpa perkuatan dan dengan perkuatan didapat nilai deformasi yang tidak jauh berbeda dikarenakan kondisi massa batuan pegunungan Geurutee terbilang mantap. Selain itu, kedua model memiliki nilai *safety factor* yang diatas batas aman selama panjang terowongan tersebut 19,5 m tetapi, pemodelan tanpa perkuatan sementara diperkirakan akan mengalami penurunan nilai *safety factor* sampai < 2 pada penggalian selanjutnya, sehingga pemodelan terowongan tanpa perkuatan sementara tidak dianjurkan. Pada metode konstruksi sesungguhnya di lapangan terowongan tanpa perkuatan tidak dianjurkan karena dari faktor akibat *blasting* yang memungkinkan terjadinya keruntuhan pada tahap penggalian terowongan tersebut.

Selanjutnya dilakukan penelitian tentang analisis stabilitas terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan *rockbolt* menggunakan metode elemen hingga yaitu program *Plaxis v8.2*. Analisis ini akan mencari tahu seberapa besar pengaruh perkuatan terhadap nilai *safety factor* dan deformasi yang terjadi pada konstruksi terowongan yang ada di Notog, Purwokerto, Jawa Tengah.

3. LANDASAN TEORI

3.1 Pengertian Terowongan

Menurut Paulus P Raharjo (2004) bahwa terowongan transportasi bawah kota merupakan grup tersendiri diantara terowongan lalu lintas, dapat berupa terowongan kereta api maupun terowongan jalan raya. Dalam tahap konstruksinya, terowongan memerlukan pengawasan yang lebih, karena adanya sedikit kesalahan metode dapat mengakibatkan keruntuhan.

3.2 Sistem Penyangga Terowongan

Sistem penyangga dalam pembuatan terowongan Notog, Purwokerto ada beberapa jenis, antara lain sebagai berikut :

1. Shotcrete

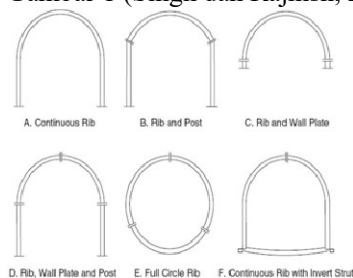
Shotcrete diterapkan untuk menutup permukaan yang terbuka akibat pengeboran dan untuk mendukung rongga pada bukaan terowongan. Beton yang digunakan sebagai *shotcrete* memiliki karakteristik yang hampir sama dengan beton biasa, hanya saja modulus elastisitasnya lebih rendah dari beton biasa. Kekakuan *shotcrete* bertambah seiring dengan penambahan umur *shotcrete*. Ketebalan *shotcrete* pada konstruksi terowongan tergantung dari luas bukaan terowongan dan sesuai dari perjanjian kontrak.

2. Wiremesh

Mesh kawat yang sering digunakan adalah *chailink mesh* dan *weld mesh*. *Chailink mesh* digunakan pada permukaan karena kuat dan fleksibel, sedangkan *weld mesh* terdiri atas kabel baja yang diatur dengan pola segiempat atau bujur sangkar dan disambung dengan cara dipatri pada titik-titik perpotongnya, serta memperkuat beton tembak dan lebih kaku. Dalam hal ini, mesh kawat yang digunakan di terowongan notog adalah jenis *weld mesh*. Hal itu disebabkan untuk memenuhi fungsinya untuk memperkuat beton tembak agar lebih kaku, selain itu untuk mengikat material batuan yang kecil dan menahannya agar tidak jatuh.

3. Steel Rib

Steel rib merupakan salah satu jenis penyangga konstruksi terowongan yang terbuat dari baja. Tipe steel rib dapat dilihat dalam Gambar 1 (Singh dan Rajnish, 2006).



Gambar 1 Tipe Steel Rib

(Sumber: Singh dan Rajnish, 2006)

4. Rockbolt

Menurut Singh, 2006, *rockbolt* adalah bahan batang yang terbuat dari baja, berpenampang bulat yang digunakan untuk menyangga massa batuan. Kekuatan *rockbolt*, biasanya diukur dengan melaksanakan uji tarik (*pull test*) di lapangan. Berdasarkan *Handbook of Road Power*, 2006, kekuatan perkuatan ini ditentukan oleh beberapa parameter diantaranya diameter, panjang, dan jarak antar *rockbolt*.

3.3 Metode Elemen Hingga Program Plaxis

Plaxis adalah program elemen hingga yang dikembangkan untuk analisis deformasi, stabilitas dan aliran air tanah dalam rekayasa geoteknik. Perkembangan *plaxis* dimulai pada tahun 1987 di *Delft University of Technology* sebagai inisiatif Kementerian Pekerjaan Umum dan Pengelolaan Air (Rijkswaterstaat) Belanda. Tujuan semula adalah untuk mengembangkan kode elemen hingga 2D yang mudah digunakan untuk analisis tanggul sungai di tanah lunak dari dataran rendah Belanda. Dalam beberapa tahun berikutnya, *plaxis* diperluas untuk mencakup sebagian besar wilayah lain untuk rekayasa geoteknik. Karena terus berkembang, perusahaan *plaxis (Plaxis bv)* dibentuk pada tahun 1993.

3.4 Beban Gempa Statis

Analisis perancangan struktur bangunan terhadap pengaruh beban gempa secara statis, pada prinsipnya adalah menggantikan gaya-gaya horizontal yang bekerja pada struktur akibat pergerakan tanah dengan gaya-gaya statis yang ekuivalen, dengan tujuan penyederhanaan dan kemudahan di dalam perhitungan. Metode ini disebut Metode Gaya Lateral Ekuivalen (*Equivalent Lateral Force Methode*). Pada metode ini diasumsikan bahwa gaya horizontal akibat gempa yang bekerja pada suatu elemen struktur, besarnya ditentukan berdasarkan hasil perkalian antara suatu konstanta berat atau massa dari elemen struktur tersebut. (SNI 03-1726-2003)

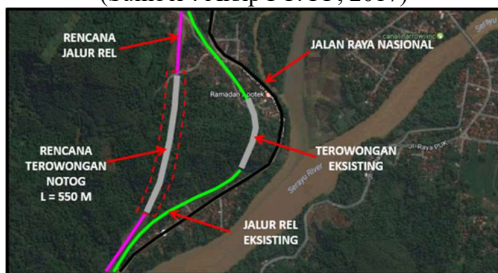
4. METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Proyek Pembangunan Jalur Ganda Kereta Api Notog, Purwokerto yang sedang dikerjakan oleh PT. PP Persero. Adapun letaknya ada pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2 Peta Lokasi Penelitian
(Sumber : Arsip PT. PP, 2017)



Gambar 3 Peta Rencana Terowongan dan Terowongan Eksisting
(Sumber : Arsip PT. PP, 2017)

4.2 Tahapan

Langkah-langkah atau tahapan yang sistematis untuk mencapai tujuan penyelesaian tugas akhir dalam metode penelitian harus dibuat rinci disertai dengan bagan alir yang dapat memberikan gambaran spesifik, adapun bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Bagan Alir Metode Penelitian

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

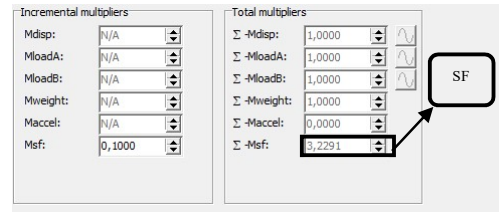
Analisis yang dilakukan dalam penelitian meliputi analisis stabilitas terowongan tanpa perkuatan, dengan perkuatan *wiremesh*, dengan *wiremesh* dan 1 *rockbolt*, dengan *wiremesh* dan 2 *rockbolt*, dengan *wiremesh* dan 3 *rockbolt*, dengan *wiremesh* dan 4 *rockbolt*, dengan *wiremesh* dan 5 *rockbolt*.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

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

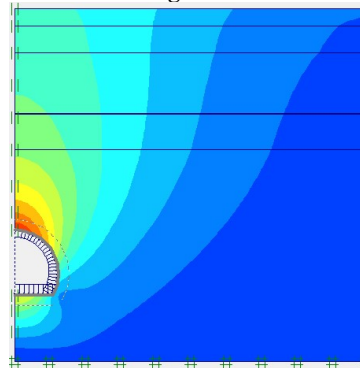
5.3 Hasil Perhitungan Program *Plaxis v8.2*

1. Analisis Stabilitas Terowongan Tanpa Perkuatan (Bor)

Untuk hasil nilai *safety factor* terowongan dengan tanpa perkuatan pada titik bor log 3 yang diperoleh dari pengeboran sendiri dapat dilihat pada Gambar 5 sedangkan daerah keruntuhan pada gambar 6.

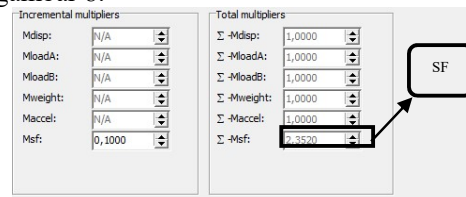


Gambar 5 Nilai *Safety Factor* Saat Pengeboran

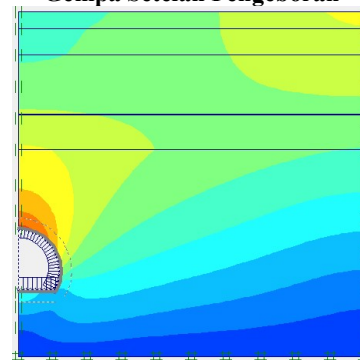


Gambar 6 Daerah Potensial Keruntuhan Saat Pengeboran

Untuk hasil nilai *safety factor* terowongan dengan tanpa perkuatan (pengeboran) pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 7 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada gambar 8.



Gambar 7 Nilai *Safety Factor* Dengan Beban Gempa Setelah Pengeboran



Gambar 8 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Pengeboran

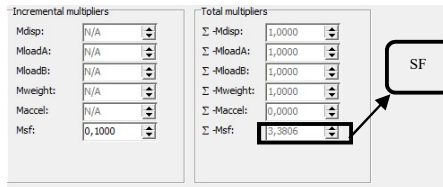
Besarnya nilai *safety factor* dan *total displacement* pada terowongan saat adanya pengeboran dan pada saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai *safety factor* dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan Nilai Safety Factor dan Total Displacement Saat Tanpa Perkuatan

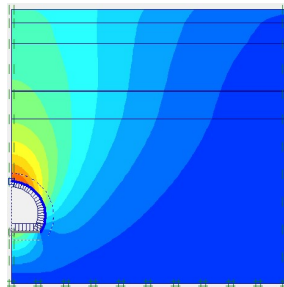
Step	Nilai Safety Factor	Total Displacement (m)
Konstruksi (Bor)	3,2291	0,0109
Konstruksi + Beban Gempa	2,352	0,02065

2. Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan Wiremesh

Untuk hasil nilai *safety factor* terowongan dengan perkuatan *wiremesh* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 9 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada gambar 10.

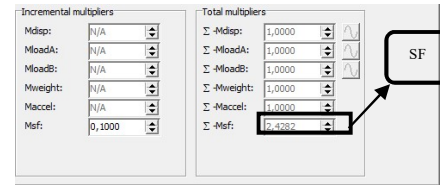


Gambar 9 Nilai Safety Factor Dengan Perkuatan Wiremesh

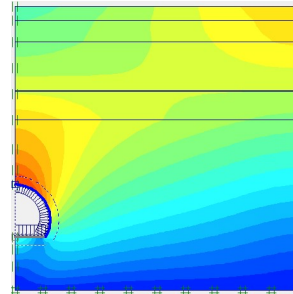


Gambar 10 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan Wiremesh

Untuk hasil nilai *safety factor* terowongan dengan perkuatan *wiremesh* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 11 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada Gambar 12.



Gambar 11 Nilai Safety Factor Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan Wiremesh



Gambar 12 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan Wiremesh

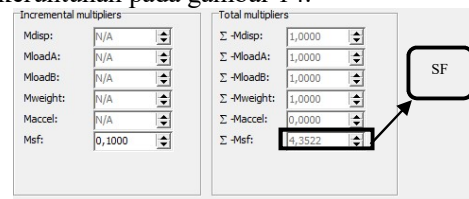
Besarnya nilai *safety factor* dan *total displacement* pada terowongan saat adanya perkuatan *wiremesh* dan pada saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai *safety factor* dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan Nilai Safety Factor dan Total Displacement Dengan Perkuatan Wiremesh

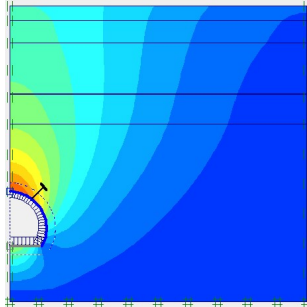
Step	Nilai Safety Factor	Total Displacement (m)
Konstruksi (Wiremesh)	3,38	0,01229
Konstruksi + Beban Gempa	2,428	0,01831

3. Analisis Stabilitas Terowongan Menggunakan Wiremesh dan 1 Rockbolt

Untuk hasil nilai *safety factor* terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 1 *rockbolt* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 13 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada gambar 14.

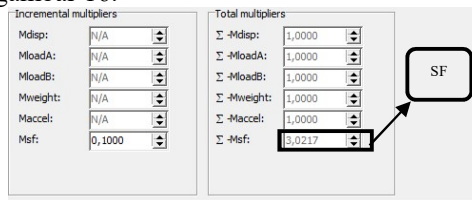


Gambar 13 Nilai *Safety Factor* Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 1 *Rockbolt*

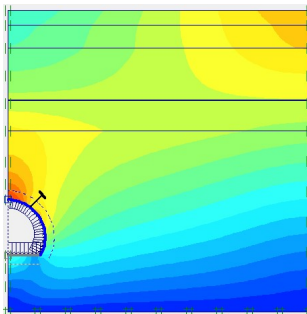


Gambar 14 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 1 *Rockbolt*

Untuk hasil nilai *safety factor* terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 1 *rockbolt* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 15 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada gambar 16.



Gambar 15 Nilai *Safety Factor* Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 1 *Rockbolt*



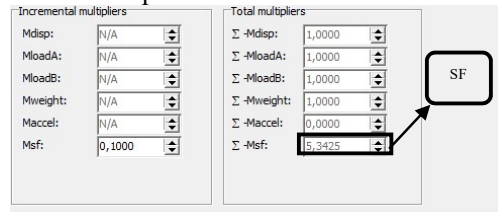
Gambar 16 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 1 *Rockbolt*

Besarnya nilai *safety factor* 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 *safety factor* dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 5.

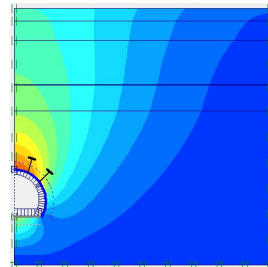
Tabel 5 Perbandingan Nilai *Safety Factor* dan *Total Displacement* Dengan Perkuatan *Wiremesh* + 1 *Rockbolt*

Step	Nilai <i>Safety Factor</i>	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 *safety factor* terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 2 *rockbolt* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 17 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada Gambar 18.

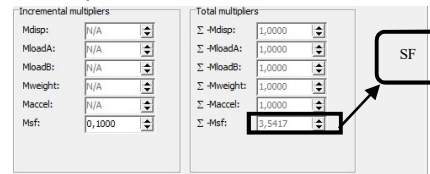


Gambar 17 Nilai *Safety Factor* Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*

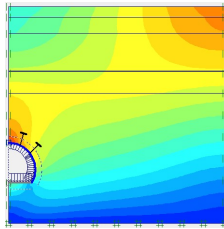


Gambar 18 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*

Untuk hasil nilai *safety factor* terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 2 *rockbolt* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 19 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada Gambar 20.



Gambar 19 Nilai *Safety Factor* Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan *Wiremesh* dan 2 *Rockbolt*



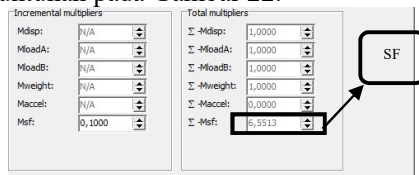
Gambar 20 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan Wiremesh dan 2 Rockbolt

Besarnya nilai *safety factor* 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 *safety factor* dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 6.

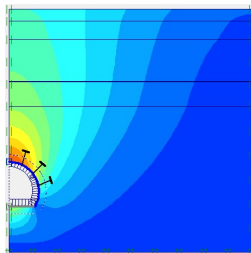
Tabel 6 Perbandingan Nilai Safety Factor dan Total Displacement Dengan Perkuatan Wiremesh + 2 Rockbolt

Step	Nilai Safety Factor	Total Displacement (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 *safety factor* terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 3 *rockbolt* pada titik bor log 3 dapat dilihat pada Gambar 21 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada Gambar 22.

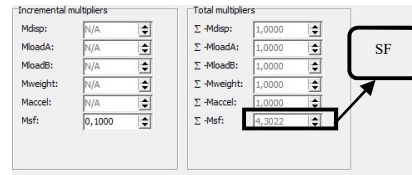


Gambar 21 Nilai Safety Factor Dengan Perkuatan Wiremesh dan 3 Rockbolt

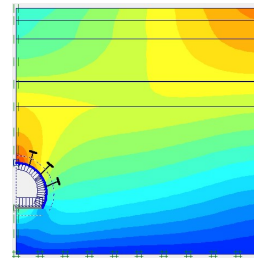


Gambar 22 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Perkuatan Wiremesh dan 3 Rockbolt

Untuk hasil nilai *safety factor* terowongan dengan perkuatan *wiremesh* dan 3 *rockbolt* pada titik bor 3 yang diperoleh dari beban gempa setelah adanya pekerjaan konstruksi dapat dilihat pada Gambar 23 sedangkan untuk daerah keruntuhan pada gambar 24.



Gambar 23 Nilai Safety Factor Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan Wiremesh dan 3 Rockbolt



Gambar 24 Daerah Potensial Keruntuhan Dengan Beban Gempa Setelah Adanya Perkuatan Wiremesh dan 3 Rockbolt

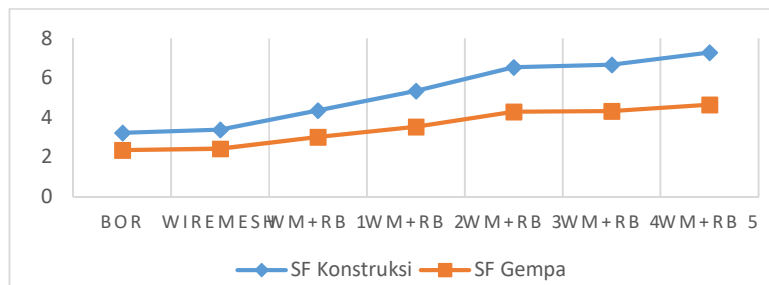
Besarnya nilai *safety factor* dan *total displacement* pada terowongan saat adanya perkuatan *wiremesh* dan 3 *rockbolt* dengan saat adanya beban gempa mempunyai perbedaan nilai yang cukup besar. Perbandingan nilai *safety factor* dan *total displacement* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan Nilai Safety Factor dan Total Displacement Dengan Perkuatan Wiremesh + 3 Rockbolt

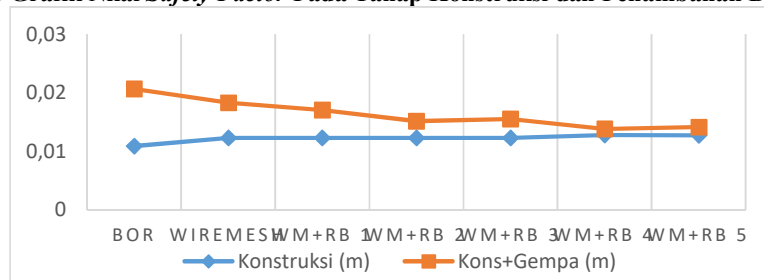
Step	Nilai Safety Factor	Total Displacement (m)
Konstruksi (Wm + 3 Rb)	6,551	0,0123
Konstruksi + Beban Gempa	4,303	0,01551

5.5 Hasil Analisis dan Pembahasan

Untuk mempersingkat maka perhitungan cukup sampai perkuatan *wiremesh* dan 3 *rockbolt*, selebihnya menggunakan rekapitulasi nilai grafik *safety factor* dan deformasi dapat dilihat pada Gambar 25 dan 26.



Gambar 25 Grafik Nilai *Safety Factor* Pada Tahap Konstruksi dan Penambahan Beban Gempa



Gambar 26 Nilai Deformasi Pada Tahap Konstruksi dan Penambahan Beban Gempa

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Nilai angka keamanan (*safety factor*) pada tahap pengeboran dengan program Plaxis v8.2 > 1,25 yang dapat dikatakan aman (Bowles, 1984). Dari hasil analisis dengan menggunakan perkuatan wiremesh hingga penambahan jumlah rockbolt juga mendapatkan hasil yang semakin meningkat nilai angka keamanannya (lihat Gambar 25). Hasil yang berbeda diperoleh dari nilai deformasi jika konstruksi ditambahkan beban gempa maka nilai deformasi dengan penambahan perkuatan pada terowongan akan semakin menurun (lihat Gambar 26). Dari hasil analisis tersebut penulis mempertimbangkan untuk memakai perkuatan dengan wiremesh + 3 rockbolt dengan pertimbangan selisih nilai angka keamanan pada penambahan 3 rockbolt dan 4 rockbolt sangat sedikit yaitu sebesar 0,021. Jumlah 3 rockbolt akan sangat mengurangi biaya dan waktu sehingga pekerjaan akan lebih efisien.

6.2 Saran

Analisis stabilitas terowongan sebaiknya ditinjau dari semua tipe batuan atau semua titik bor log yang ada di proyek terowongan agar mendapatkan

variasi hasil yang dapat di pertimbangkan. Untuk lebih spesifik lagi dalam menganalisis beban gempa yang terjadi, penulis menyarankan agar menggunakan beban gempa yang dinamis dikarenakan pada penelitian ini penulis menggunakan beban gempa statis.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyono, Anwar, 2010, "*Tinjauan Kekuatan Sistem Penyangga Terowongan dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*", Purwokerto.
- Arsip PT PP, Purwokerto, 2017.
- Blackwell, Wiley, 2006, "*Handbook of Road Power*", Oxford.
- Fadhillah, Ryan Achmad, 2016, "*Analisis Geoteknik Terowongan Batuan Geurutee Aceh Menggunakan Metode Elemen Hingga*", Bandung.
- KEMENHUB, 2015, "*Pembangunan Jalur Ganda Cirebon-Kroya*", Jakarta.
- Kolybas, D, 2005, "*Tunneling and Tunnel Mechanic*", Spinger, Berlin.
- Pakbaz dan Yareevand, 2005, "*2-D Analysis of Circular Tunnel Against Earthquake Loading*", Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.
- Rahardjo, Paulus, 2004, "*Desain dan Analisis Terowongan Batuan Studi Kasus*

- Terowongan Kereta Api Purwokerto – Kroya*”, Proceeding of International Workshop on Tunnel Engineering, Bandung.
- Rai, Made Astawa, 2013, “*Mekanika Batuan*”, ITB, Bandung.
- Singh dan Rajnish, 2006, “*Tunneling in Weak Rock*”, Elsevier Ltd, London.
- Standar Nasional Indonesia, 2003, “*Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung*”, Bandung.