



Lampiran 5

Tabel 2 Variasi Tipe Penyangga dan Total Displacements pada Kelas Massa Batuan III b

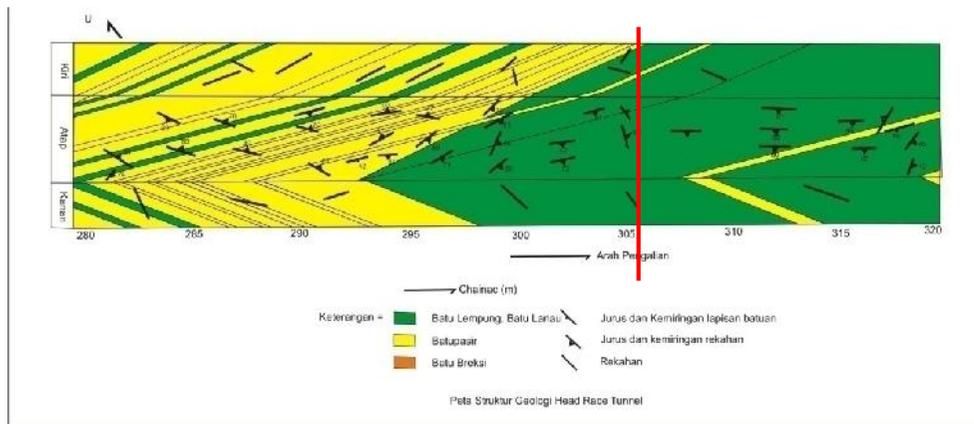
Kelas massa batuan	Tipe Penyangga					Kriteria keruntuhan	Total displacement				Kriteria keruntuhan	Total displacement			
	Beton tembak (mm)		Rockbolt				Stage 1	stage 2	stage 3	stage 4		Stage 1	stage 2	stage 3	stage 4
	Shotcreat	Liner	Panjang (m)	Spasi (m)	Jumlah										
Kelas IIIa	120	120	2	1,2	7	<i>Mohr Coloumb</i>	2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611	<i>Generalized Hoek-Brown</i>	2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	2,5	1,2	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	3	1,2	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	2	1,5	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	2,5	1,5	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	3	1,5	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	2	1,7	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	2,5	1,7	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	3	1,7	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	2	2,0	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	2,5	2,0	7		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	120	120	3	2,0	7		6.71E-15	0,0167071	0,0186065	0,018873		6.71E-15	0,0167071	0,0186065	0,018873

Lampiran 4

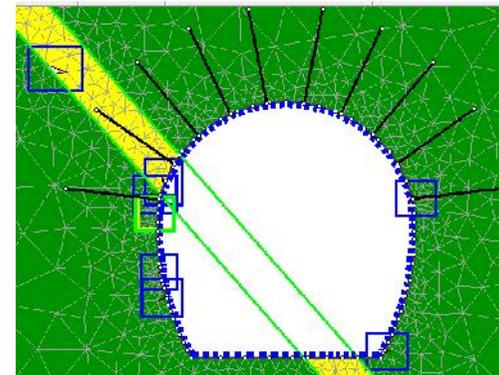
Tabel 2 Variasi Tipe Penyangga dan Total Displacements pada Kelas Massa Batuan III a

Kelas massa batuan	Tipe Penyangga					Kriteria keruntuhan	Total displacement				Kriteria keruntuhan	Total displacement			
	Beton tembak (mm)		Rockbolt				Stage 1	stage 2	stage 3	stage 4		Stage 1	stage 2	stage 3	stage 4
	Shotcreat	Liner	Panjang (m)	Spasi (m)	Jumlah										
Kelas IIIb	150	150	2	1,2	10	Mohr Coloumb	2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611	Generalized Hoek-Brown	2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	2,5	1,2	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	3	1,2	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	2	1,5	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	2,5	1,5	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	3	1,5	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	2	1,7	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	2,5	1,7	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	3	1,7	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	2	2,0	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	2,5	2,0	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611
	150	150	3	2,0	10		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611		2.00E-12	0.0167071	0.0166341	0.0165611

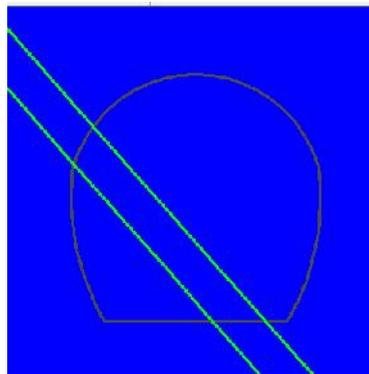
Lampiran 2



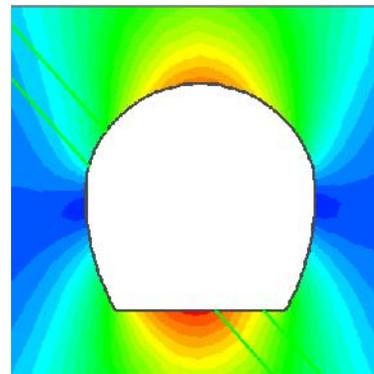
Gambar 2.1 *Headrace Tunnel* Chainage 260 - 320 m



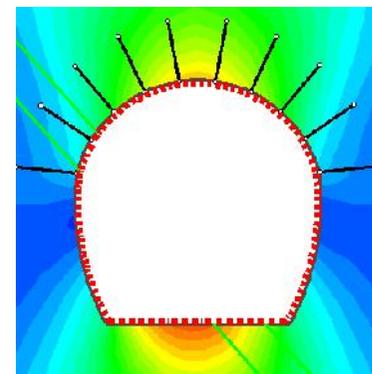
Gambar 2.2 Elemen Hingga Kelas III b



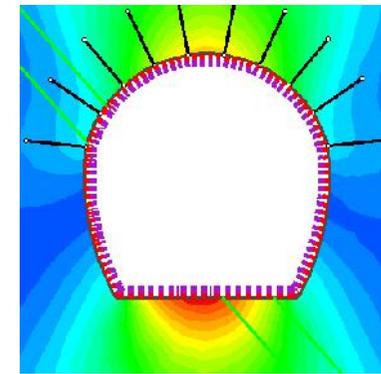
(1)



(2)



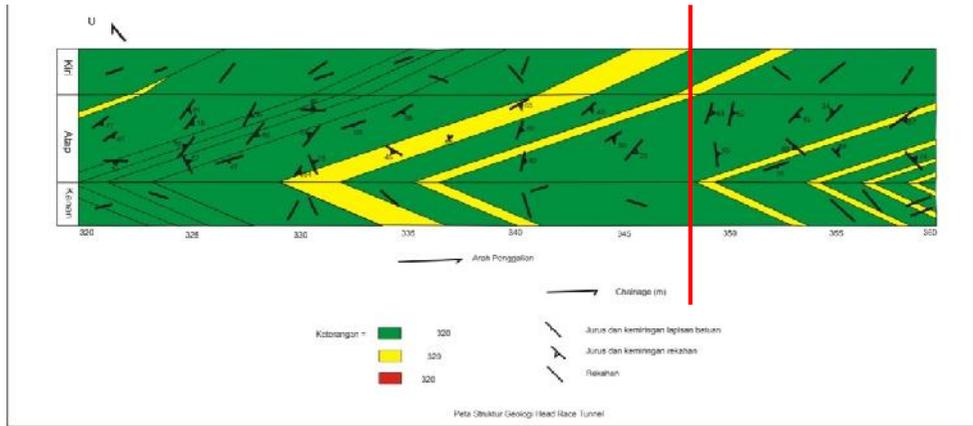
(3)



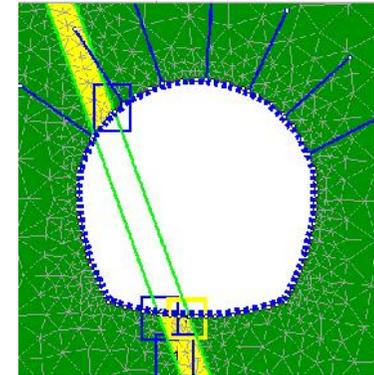
(4)

Gambar 2.3 Stage 1-4 Model 2 Kelas III b

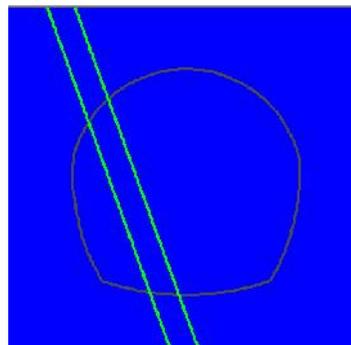
**VII. LAMPIRAN**  
**Lampiran 1**



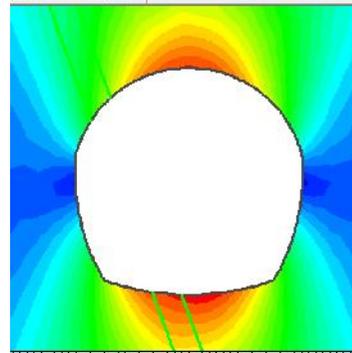
Gambar 1.1 Headrace Tunnel Chainage 320 -360 m



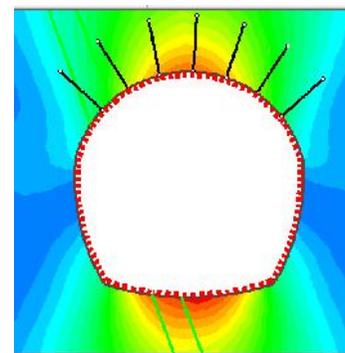
Gambar 1.2 Elemen Hingga pada Kelas III a



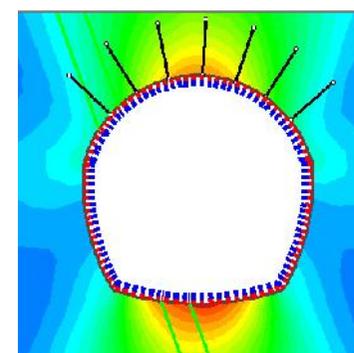
(1)



(2)



(3)



(4)

Gambar 1.3 Stage 1-4 Model 1 Kelas III a

- Terowongan Menggunakan Konvergenmeter Kaitannya dengan Pemasangan Penyangga di PLTA Tulis Jawa Tengah*. Bandung : Bidang Khusus Geomekanika Program Studi Rekayasa Pertambangan Program Pascasarjana ITB.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Hand out Geoteknik D4 Sungai dan Pantai*. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum.
- Eldebro, Catrin. 2003. *Technical Report : Rock Mass Strength*. Lulea University of Technology.
- Goodman, Richard. E. 1989. *Introduction to Rock Mechanics*. Edisi Kedua. John Wiley and Sons. New York
- Hoek, E., Kaiser, P.K. dan Bawden, W.F. 1995. *Support of underground excavations in hard rock*. A.A Balkema/Rotterdam/Brookfield
- Hoek, E. 2002. A brief history of the Hoek-Brown criterion, Program : "Roclab", URL : <http://www.rockscience.com>, 10 Juni 2012.
- Koesnaryo, S. 1994. *Diktat Kuliah Teknik Terowongan "Buku 1 Teknik Penyelidikan untuk Rancangan Terowongan"*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Pertambangan UPN Yogyakarta.
- \_\_\_\_\_. 1994. *Diktat Kuliah Teknik Terowongan "Buku 2 Rancangan Terowongan"*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Pertambangan UPN Yogyakarta.
- Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 NI-2*. Bandung.
- Lucio, Canonica. 1991. *Memahami Beton Bertulang*. Bandung : Penerbit Angkasa.
- Menteri Pekerjaan Umum. 2005. *Penyelidikan Geoteknik untuk Fondasi Bangunan Air*. Keputusan Menteri Pekerjaan Umum. Nomor 498/KPTS/M/2005.t. t.
- Price, D. G. 2009. *Engineering Geology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Berlin
- PT Terra Buana Manggala Jaya. 1984. *Pekerjaan Geologi Teknik dan Seismik Rencana Terowongan PLTA Tulis*.
- \_\_\_\_\_. 1988. *Pekerjaan Penyelidikan Geologi Tambahan untuk Waterways PLTA Tulis*.
- Rai, Made. A dan Kramadibrata, Suseno. 1999. *Mekanika Batuan*. Laboratorium Geomekanika Jurusan Teknik Pertambangan ITB. Bandung
- Waltham, Tony. 2009. *Foundations of Engineering Geology*. Edisi Ketiga. Spon Press. New York

(1)

(2)

(3)

Gambar 4.3 Total Displacement pada Model 2 Kelas III b

Berdasarkan gambar-gambar di atas terlihat bagaimana nilai total displacement pada tiap tahapan stage dari stage 1 sampai 3. Terlihat bahwa pada kelas massa batuan III a (lihat gambar 4.1) dan III b (lihat gambar 4.2). Warna coklat-oranye pada gambar tersebut menunjukkan nilai total displacement yang cukup tinggi yang berarti terowongan tersebut belum stabil sehingga memungkinkan terjadi keruntuhan pada daerah berwarna coklat-oranye tersebut. Dari gambar terlihat pula pada kelas III a dan III b yang mengalami pengurangan nilai total displacement pada model (dapat dilihat dari berkurangnya warna coklat-oranye pada stage 2 dan 3 pada kelas III a serta III b).

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil pembahasan tersebut dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a. Permodelan penyangga sementara pada lubang terowongan dengan menggunakan perangkat lunak *Phase2* telah menghasilkan nilai total displacement pada kelas massa batuan IIIa memiliki nilai total displacement 0,0165611 mm; berdasarkan kriteria keruntuhan *Mohr Coloumb*, dan 0,0188752 m berdasarkan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* dan pada kelas massa batuan IIIb memiliki nilai total displacement 0,0222129 m; berdasarkan kriteria keruntuhan *Mohr Coloumb*, dan 0,0188752 m berdasarkan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* sehingga dapat dikatakan tidak aman maka jenis penyangga yang paling sesuai adalah baut batuan, beton tembak dan *steel set*.
- b. Hasil pemodelan penyangga sementara pada terowongan memiliki kelas massa batuan IIIa yang terletak pada *chainage* 347 m dengan nilai RMR 29 serta kondisi fisik batuan batulempung dan perselingan batupasir dan kelas massa batuan IIIb yang terletak pada *chainage* 306 m dengan nilai RMR 16 serta kondisi fisik batuan batulempung dan perselingan batupasir maka jenis penyangga

yang paling sesuai adalah baut batuan, beton tembak dan *steel set*.

- c. Pembagian kelas massa batuan pada *chainage* 265 -375 m, jumlah elemen hingga pada pemodelan kelas massa batuan IIIa berdasarkan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* terdiri dari 4 buah, sedangkan berdasarkan kriteria keruntuhan *Mohr-Coloumb* terdiri dari 4 buah dan kelas massa batuan IIIb berdasarkan kriteria keruntuhan *Generalized Hoek-Brown* terdapat terlihat 8 buah, sedangkan berdasarkan kriteria keruntuhan *Mohr-Coloumb* terdapat 12 buah sehingga dapat dikatakan tidak aman maka jenis penyangga sementara yang paling sesuai adalah baut batuan, beton tembak dan *steel set*.

### Saran

- Dari pemodelan yang dilakukan pada kelas massa batuan IIIa dan IIIb tidak ada yang aman. Maka perlu adanya penambahan baut batuan terhadap zona yang terdapat mengindikasikan keruntuhan. Zona tersebut ditunjukkan dengan keterdapatannya elemen yang pecah. Sebagai contoh misal pada *chainage* 347 m elemen pecah terdapat pada atap terowongan maka untuk memperkuat perlu ditambahkan beberapa baut batuan pada *chainage* tersebut.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. New York : John Wiley & Sons.
- Brady, B. G. H dan Brown, E. T. 1985. *Rock Mechanics for Underground Mining*. George Allen & Unwin.
- Condon, W.H, dkk, 1996., Peta Geologi Lembar Banjarnegara dan Pekalongan, Jawa, Edisi ke dua, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung
- Dwiyanto J. S. 1994. *Tesis "Pemantauan Pembangunan*

dapat dikatakan aman bila jumlahnya kurang dari 4 buah.

Pada permodelan penyangga sementara kelas massa batuan IIIa menunjukkan tidak aman. Bentuk kotak tersebut merupakan *element* yang menunjukkan element yang pecah dan ada di daerah atas sebelah kiri terdapat 1 buah dan bagian bawah terdapat 3 buah. Elemen yang pecah ini tidak lebih dari 4 maka dapat dikatakan tidak aman. (terdapat di lampiran 1)

Pada penyangga sementara kelas massa batuan IIIb menunjukkan tidak aman. Bentuk kotak tersebut merupakan *element* yang menunjukkan *element* yang pecah dan ada di daerah atas sebelah kiri sampai ke bawah terdapat 6 buah dan bagian kanan dan bawah terdapat 2 buah. Elemen ini lebih dari 4 maka dapat dikatakan tidak aman. (terdapat di lampiran 2)

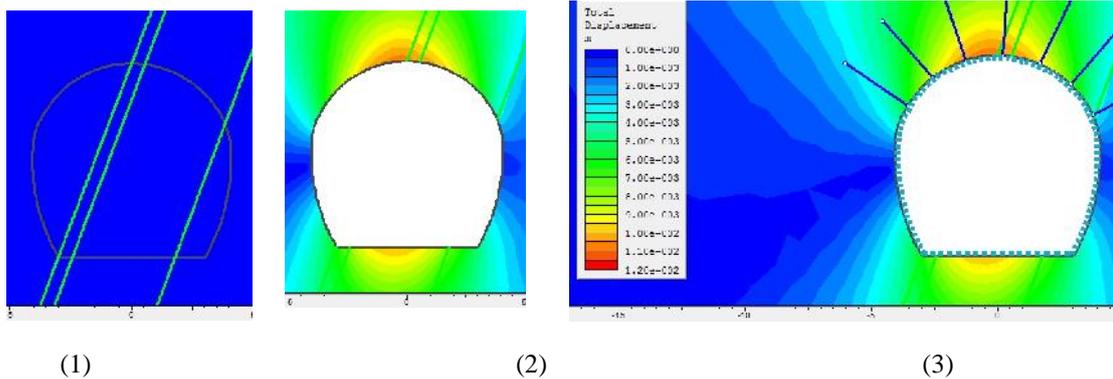
#### 4.4 Total Displacement

Pada ketiga model tersebut dilakukan variasi penyangga sementara dengan menambahkan beton tembak dan baut batuan setelah dilakukan eskavasi/penggalian. Variasi tersebut didasarkan dari petunjuk penggalian dan pemasangan penyangga terowongan (After Bieniawski, 1989) serta variasi yang telah dilakukan pada terowongan tersebut (Dwiyanto, 1994). Dan setelah diproses dengan menggunakan paket program Phase2 dihasilkan nilai total *displacement* pada

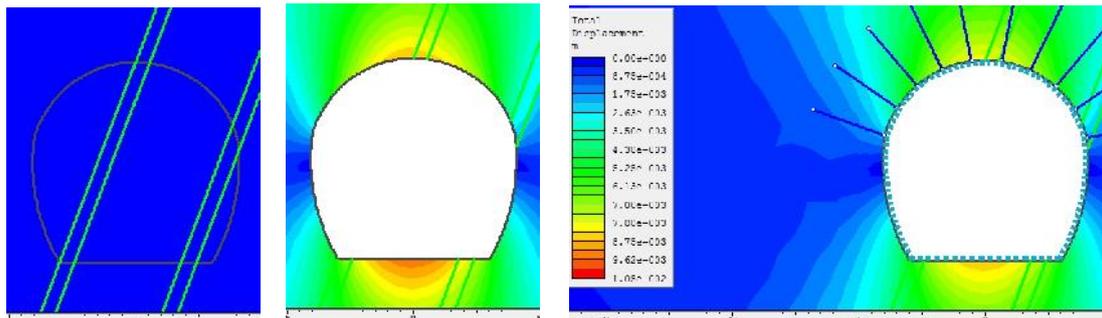
model 1 seperti pada tabel 1 (terdapat di lampiran 3), model 2 seperti pada tabel 2 (terdapat di lampiran 4). Untuk tiap tabel tersebut 1 model diproses dalam 1 stage (stage 1 sebelum eskavasi; stage 2 setelah eskavasi; stage 3 setelah eskavasi dan dipasang beton tembak 1 + baut batuan; stage 4 baut batuan + beton tembak 2; stage 5 beton tembak 1 + baut batuan + beton tembak 2)

Berdasarkan tabel-tabel tersebut terlihat bahwa

- Untuk semua variasi penyangga sementara yang dilakukan pada kelas massa batuan III b dan III a memiliki nilai total *displacement* > 5 mm, sehingga terowongan tersebut masih belum stabil dan aman dengan variasi beton tembak dan baut beton yang telah dilakukan. Maka diperlukan variasi penambahan penyangga sementara lagi berupa *steel set* seperti petunjuk penggalian dan pemasangan penyangga terowongan (After Bieniawski, 1989). Apabila penambahan *steel sets* tidak dilakukan kemungkinan keruntuhan pada terowongan tersebut sangatlah besar.
- Nilai total *displacement* bukan dipengaruhi dari nilai RMR-nya tetapi dari kedalaman terowongan/overburden terowongan semakin besar kedalamannya maka makin besar nilai total *displacement*nya.



Gambar 4.2 Total Displacement pada Model 1 Kelas III a



$z = 3$ . Misal pada chainage 45 dengan nilai tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) = 1,479 dan tegangan horisontal ( $\sigma_h$ ) = 1,422994.

- Langkah kelima adalah *discretize and mesh*, membagi media kontinu menjadi banyak bentuk elemen hingga. Elemen hingga berbentuk segitiga. Sehingga pada tahapan ini seolah-olah kita seperti membuat jaring-jaring elemen, dimana semakin kecil elemen yang kita buat maka hasil permodelan yang akan didapatkan akan semakin baik. Untuk model *headrace tunnel* ini memakai *gradiation factor* 0,1, dimana semakin besar *gradiation factor* semakin kecil pula elemen yang dihasilkan.
- Langkah keenam adalah *define material properties*, menentukan sifat-sifat material/litologi berdasarkan tipe material, kriteria keruntuhan, serta sifat-sifat fisik dan mekanik material berdasarkan uji laboratorium berupa nilai.
- Langkah ketujuh adalah membuat model *headrace tunnel* ini menjadi 4 tahapan/stage (lihat gambar 1.3 pada lampiran 1, gambar 2.3 pada lampiran 2, dan gambar 3.3 pada lampiran 3) yakni
  - Stage 1 penampang terowongan sebelum penggalian (prosesnya dari langkah 1 sampai 6 di atas)
  - Stage 2 penampang terowongan setelah penggalian
  - Stage 3 penampang terowongan dengan variasi tipe penyangga sementara 1 (baut batuan + beton tembak I)
  - Stage 4 penampang terowongan dengan variasi tipe penyangga sementara 2 (ditambahkan beton tembak II).
- Langkah kedelapan adalah *compute and interpret*, pada tahap ini model yang telah kita buat tadi akan diproses dan dianalisis oleh program Phase2 yang nantinya akan dihasilkan output berupa gambar dan grafik dimana nantinya kita bisa menganalisis dan menyimpulkan kombinasi penyangga sementara mana yang paling sesuai berdasarkan sifat fisik, mekanika batuan serta perilaku massa batuan sepanjang

terowongan. Hasil *interpret* misal seperti gambar 4.1 yang merupakan hasil interpretasi total *displacement* pada model 1.

#### 4.1 Model 1

Model 1 merupakan pemodelan penyangga sementara pada terowongan pada kelas massa batuan II b yang terletak pada *chainage* 347. Massa batuan ini mempunyai nilai RMR 29, berdasarkan (Bieniawski, 1989) massa batuan ini termasuk kelas V (*poor rock*). Dimana massa batuan ini hanya memiliki *stand-up time* sekitar 10 jam untuk 5 m span, sehingga diperlukanlah pemasangan penyangga sementara pada *chainage* 347 m agar terowongan tidak mengalami keruntuhan. Pada model ini tersusun atas litologi berupa batulempung perselingan batupasir.

dan berada pada kedalaman 25 m. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) = 1,479 dan tegangan horisontal ( $\sigma_h$ ) = 1,442494. Setelah dimodelkan dengan *software* Phase2 maka dihasilkan model 1 seperti gambar berikut ini (terdapat di lampiran 1)

#### 4.2 Model 2

Model 2 merupakan pemodelan penyangga sementara pada terowongan pada kelas massa batuan III b yang terletak pada *chainage* 306. Massa batuan ini mempunyai nilai RMR 16, berdasarkan (Bieniawski, 1989) massa batuan ini termasuk kelas V (*very poor rock*). Dimana massa batuan ini hanya memiliki *stand-up time* 1 jam untuk span 2 m, sehingga diperlukanlah pemasangan penyangga sementara pada *chainage* 108 agar terowongan tidak mengalami keruntuhan. Pada model ini tersusun atas litologi berupa batulempung dengan perselingan batupasir dengan kemiringan lapisan batuan  $58^0$  dan berada pada kedalaman 50 m. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) = 1,174 dan tegangan horisontal ( $\sigma_h$ ) = 0,319328. Setelah dimodelkan dengan *software* Phase2 maka dihasilkan model 2 seperti gambar berikut ini. (terdapat di lampiran 2)

#### 4.3 Element Hingga

Terdapat beberapa elemen hingga pada permodelan menggunakan kriteria keruntuhan *Mohr Coloumb* dan *Generalized Hoek-Brown* yang ditunjukkan dengan bentuk kotak pada elemen yang ada namun hal itu

warna pada suatu jenis material yang dipakai pada kriteria keruntuhan *Mohr Coloumb*.

Untuk melakukan komputasi kestabilan terowongan dengan menggunakan program perangkat lunak Phase2, maka diperlukan masukan data yang lengkap. Data tersebut mencakup:

- Penentuan kondisi batas dan pembebanan
- Penentuan kondisi batas dan pembebanan
- Pembuatan model
- Penentuan parameter sifat fisik dan mekanik massa batuan dan penyangga

Menentukan nilai sigma 1 dan sigma 3 menggunakan teori tegangan karena pembebanan. Sigma 1 merupakan tegangan vertikal ( $\sigma_v$ ) sedangkan sigma 3 merupakan tegangan horisontal ( $\sigma_h$ ) Dalam menentukan nilai tegangan tersebut maka digunakan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_v = \gamma \cdot h$$

merupakan nilai bobot isi batuan dan h merupakan kedalaman lapisan batuan.

Sedangkan perhitungan untuk menentukan nilai tegangan sigma 3 atau tegangan horisontal ( $\sigma_h$ ) diperlukan data berupa *Poisson's ratio* ( $\nu$ ) dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma_h = \frac{1-\nu}{\nu} \sigma_v$$

Selain itu membuat bentuk terowongan yang akan diekskavasi. Terowongan mempunyai bentuk tapal kuda standard dengan diameter 8 m.

Hal yang perlu diperhatikan pada perancangan terowongan tekan ialah kemandapan pada saat kosong maupun pada saat terisi air. Terowongan air mempunyai tekanan air dari dalam dan tekanan luar akibat massa batuan dan air tanah. Untuk menahan resultan tegangan tarik, bentuk penampang yang paling menguntungkan dan ekonomis ialah bentuk bulat, dengan perkuatan beton. Akan tetapi agar lebih mudah dalam penggalian terowongannya maka dipilihlah bentuk tapal kuda pada *Headrace Tunnel* di PLTA Tulis ini.

Total panjang penyangga sementara *headrace tunnel* PLTA Tulis yakni 2860 m, pada tugas akhir ini akan dilakukan analisis dan permodelan penyangga sementara pada chainage 265 m – 375 m. Selanjutnya chainage

tersebut akan dimodelkan menjadi 2 buah model penyangga sementara dengan menggunakan program Phase2. Program Phase2 merupakan program element hingga elasto-plastic 2 dimensi untuk memperhitungkan tegangan dan *displacement* lubang bukaan di bawah tanah. Pembuatan 2 model tersebut didasarkan pada variasi klasifikasi massa batuan yang terdapat pada chainage 265 m – 375 m yang terdiri atas 2 kelas yakni kelas III a, dan III b. Tiap-tiap model tersebut terdiri atas 4 stage/tahapan.

Tahapan dalam pembuatan model penyangga sementara pada *headrace tunnel* PLTA Tulis dengan menggunakan program Phase2 ini adalah

- Pertama-tama kita membuat penampang terowongannya, bentuk penampang terowongan *headrace tunnel* ini adalah tapal kuda dengan diameter terowongan 8 m.
- Kemudian kita tentukan batas model untuk penampang terowongan tersebut. Untuk model penyangga sementara pada *headrace tunnel* ini memakai batas model yang tidak dipengaruhi oleh penggalian bukaan/eskavasi sebesar 20 kali diameter terowongan lubang bukaan itu sendiri. Batas model tersebut bisa berbentuk kotak, lingkaran, dsb. (seperti pada gambar 1.2 pada lampiran 1, gambar 2.2 pada lampiran 2, dan gambar 3.2 pada lampiran 3)
- Langkah ketiga adalah melakukan sayatan horisontal melintang pada peta struktur geologi *headrace tunnel* untuk mendapatkan gambaran litologi yang terdapat di dalam dan di luar penampang terowongan. Sehingga pada tahap ketiga ini kita akan mendapatkan gambaran bagaimana persebaran jurus dan kemiringan litologi jika kita melihat dari arah depan penampang terowongan. (seperti pada gambar 1.1 pada lampiran 1, gambar 2.1 pada lampiran 2 dan gambar 3.1 pada lampiran 3)
- Langkah keempat adalah menentukan besar tegangan yang terjadi pada penampang terowongan. Nilai-nilai yang harus ditentukan adalah nilai tegangan vertikal ( $\sigma_v / 1$ ), tegangan horisontal ( $\sigma_h / 3$ ), dan  $z$  (dimana pada model *headrace tunnel* ini nilai

waktu cukup lama,. Sehingga untuk mengetahui kemandapan terowongan dengan menggunakan penyangga sementara perlu dilakukan analisis pemodelan penyangga sementara agar tidak terjadi keruntuhan pada dinding-dinding terowongan, sebelum nantinya setelah penggalian selesai seluruhnya dibuat dinding beton (*concrete lining*).

Dalam penelitian ini untuk dapat melakukan pemodelan penyangga sementara pada *headrace tunnel* dengan perangkat lunak *Phase 2* maka dibutuhkan data terowongan yang meliputi peta struktur geologi sepanjang terowongan, peta geologi daerah setempat, data uji laboratorium dan lapangan, serta data rancangan terowongan. Berdasarkan data tersebut kemudian dianalisis dan dievaluasi dengan menggunakan perangkat lunak *Phase2* sehingga dihasilkan pemodelan penyangga sementara yang tepat dan efektif sesuai berdasarkan sifat fisik, mekanika batuan serta perilaku massa batuan sepanjang terowongan.

#### Hipotesis

1. Berdasarkan permodelan penyangga sementara pada lubang terowongan pada *chainage* 265 – 375 m dengan menggunakan perangkat lunak *Phase2* diperkirakan menghasilkan nilai *total displacement* kurang dari 0,005 m dan jumlah elemen yang pecah berjumlah 4 buah.
2. Berdasarkan sifat fisik, mekanika batuan, serta perilaku massa batuan sepanjang terowongan dengan *chainage* 265 – 375 m, untuk faktor keamanan diperkirakan jenis penyangga sementara yang paling aman
3. Berdasarkan pembagian kelas massa batuan pada *chainage* 265 -375 m, diperkirakan elemen hingga pada pemodelan kelas massa batuan IIIa dan IIIb yang pecah berkisar antara 4 – 10 buah.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pelaksanaan pemasangan penyangga sementara di terowongan PLTA Tulis dipasang kombinasi (Dwiyanto, 1994) antara lain baut batuan dan beton tembak ; baut batuan, beton tembak, dan penyangga besi baja. Untuk menentukan kombinasi mana yang akan dipasang, telah dibuat rancangan tipe

penyangga berdasarkan harga klasifikasi massa batuan (*rock mass rating= RMR*) (Dwiyanto, 1994). Klasifikasi massa batuan tersebut terdiri atas 5 kelas yang merupakan modifikasi dari klasifikasi geomekanik dari Z.T Bieniawski. Kelas massa batuan tersebut yakni Kelas I, II a, II b, III a, dan III b.

Penggunaan perangkat lunak *Phase2* dapat menunjukkan hasil metode elemen hingga (*Element Method*) merupakan metode solusi numerik, yang dalam geomekanika dipakai untuk menentukan medan tegangan dan perpindahan jika diketahui modulus elastisitas atau deformasi berdasarkan perilaku massa batuan yang diterapkan.

Di dalam pemodelan penyangga sementara *headrace tunnel* menggunakan dua kriteria keruntuhan yaitu dengan menggunakan kriteria keruntuhan *Mohr Coloumb* dan *Generalized Hoek Brown*. Hasil dari simulasi menggunakan perangkat lunak *Phase2* dapat menghasilkan nilai *total displacement* dan *element* yang pecah.

Pada pemodelan terowongan di *chainage* 347 m, material yang ada pada *chainage* ini terdiri dari lempung dan batupasir dan nilai *total displacement* dari kelas massa batuan IIIa adalah 0.0165611 m. Pada pemodelan terowongan di *chainage* 306 m, material yang ada pada *chainage* ini terdiri dari lempung dan batupasir dan nilai *total displacement* dari kelas massa batuan IIIb adalah 0.0165611 m.

Parameter yang digunakan dalam mem Kriteria keruntuhan yang digunakan adalah kriteria *Generalized Hoek-Brown* yang telah tergeneralisasi. Dalam kriteria ini parameter yang digunakan meliputi nilai UCS atau  $\sigma_{ci}$ ,  $m_b$ ,  $s$  dan  $a$ . Nilai parameter  $m_b$ ,  $s$  dan  $a$  merupakan analisis nilai kekuatan dari kriteria *Generalized Hoek-Brown* terdahulu. Parameter yang digunakan untuk memperoleh nilai jenis litologi ( $m_i$ ), faktor gangguan ( $D$ ). Selain itu parameter lain yang digunakan meliputi jenis aplikasinya, dan bobot isi ( $\gamma$ ), sedangkan alah satu parameter material dengan pemasukan data sifat mekanik batuan berupa modulus elastisitas ( $E$ ), *poisson ratio* ( $\nu$ ), kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ) dan tipe material. Selain itu dalam penentuan material terdapat pemilihan tipe material dan pemberian

Pada proses pembangunan terowongan, proses perancangan penyangga merupakan suatu hal yang sangat penting untuk dilakukan. Proses ini harus dilakukan dengan cermat dan teliti agar didapatkan efisiensi biaya pengeluaran pada proyek pembangunan terowongan tersebut. Karena jumlah pengeluaran total dalam pembangunan suatu terowongan membutuhkan biaya yang tidak murah. Proses perencanaan penyangga ini sendiri terbagi menjadi 2 yakni perencanaan penyangga sementara dan juga permanen. Perencanaan penyangga sementara biasanya dilakukan sebelum dan saat dilakukan konstruksi terowongan.

Proses perencanaan penyangga sementara inilah yang dijadikan pokok permasalahan dalam penulisan Tugas Akhir ini, dalam hal ini pada proses pembangunan *headrace tunnel* PLTA Tulis di Banjarnegara

## II. KAJIAN PUSTAKA

Penyanggaan bertujuan membantu dinding terowongan menyangga beban massa batuan dari atas dan samping terowongan, sehingga terowongan tetap stabil (Dwiyanto, 1994).

Berdasarkan fungsinya, penyanggaan pada terowongan dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu :

- 1) penyangga sementara (temporer)
- 2) penyangga permanen.

Penyangga sementara biasanya digunakan pada saat berlangsungnya konstruksi terowongan, sebelum dipasang penyangga yang permanen. Di samping itu, penggalian suatu terowong-uji (test adit) biasanya juga memerlukan penyangga sementara (Dwiyanto, 1994).

Jika ditinjau dari segi bahannya, penyangga dapat menggunakan salah satu atau gabungan dari bahan (Dwiyanto, 1994) :

- 1) kayu
- 2) baja
- 3) beton monolit
- 4) beton tembak (shotcrete) dan jaring kawat (wire mesh)

Sedangkan *rockbolts* tidak termasuk jenis penyangga struktural melainkan sebagai bahan perkuatan (Dwiyanto, 1994).

Penyangga jenis kayu lebih umum digunakan di tambang bawah tanah, sebab biasanya umur terowongan relatif singkat dan biaya harus ditekan serendah mungkin. Jenis penyangga yang lain digunakan pada terowongan sipil (Dwiyanto, 1994).

Dalam pelaksanaan pemasangan penyangga sementara di terowongan PLTA Tulis dipasang kombinasi (Dwiyanto, 1994) antara :

- Baut batuan dan beton tembak
- Baut batuan, beton tembak, dan penyangga besi baja

Untuk menentukan kombinasi mana yang akan dipasang, telah dibuat rancangan tipe penyangga berdasarkan harga klasifikasi massa batuan (*rock mass rating = RMR*) (Dwiyanto, 1994). Hal ini sesuai tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Klasifikasi Massa batuan di Terowongan PLTA Tulis (Dwiyanto, 1994)

Menurut Bieniawski	Modifikasi PLN	Nilai Pembobotan (RMR)
I	I	81 - 100
II	IIa	61 - 80
III	IIb	41 - 60
IV	IIIa	21 - 40
V	IIIb	< 20

## III. METODOLOGI

Lokasi penelitian merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Tulis yang terletak di Desa Sokaraja, Kecamatan Pagentan, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. Dalam pelaksanaan pembangunan PLTA Tulis akan dibangun bendungan tipe beton yang membendung Kali Tulis di Kabupaten Banjarnegara. Air dari bendungan Tulis direncanakan untuk suplesi rencana bendungan Maung, dengan cara membuat terowongan dari bendungan Tulis menuju Kali Merawu. Air dari terowongan ini masuk di bagian hulu rencana bendungan Maung. Sebelum air sampai di Kali Merawu, dimanfaatkan dulu sebagai penggerak turbin pembangkit listrik. Sehingga terowongan disini berfungsi sebagai *headrace tunnel*. Penggalian terowongan tersebut sampai selesai membutuhkan

**PEMODELAN PEMASANGAN PENYANGGA SEMENTARA MENGGUNAKAN  
PERANGKAT LUNAK PHASE 2 PADA HEADRACE TUNNEL CHAINAGE 265 M – 375  
M DI PLTA TULIS KABUPATEN BANJARNEGARA, JAWA TENGAH**

Oleh : Lulu Febri Nugraha

**ABSTRACT**

*Implementation of development Hydroelectric Power Plant (HEPP) Write a dam will be constructed of concrete type dam times Write Banjarnegara district. Water from the dam Write dams planned for suplesi plan Maung, by creating a tunnel from the dam Write Merawu towards Kali. Water from the tunnel entrance on the upstream dam plan Maung. Before the water reached the Kali Merawu, formerly used as power plant turbines. So the head race tunnel tunnel work. Making the tunnel is strongly influenced by the mass of rock above the tunnel or overburden. Modeling research purposes pit tunnel condition before reinstalling the system buffer and temporary buffer on the tunnel design using Phase2 software so that it can determine the type most suitable buffer while the tunnel chainage chainage 306 m and 347 m The method used in this study with experimental methods. Using the help of Phase2 software to help model some temporary buffer to buffer variations in the form of bolts while concrete and benton shoot. Determining whether or not the buffer is safe while the results of the use value of the total displacement, and finite element. From the use of one of these parameters the total displacement (total collapse), there is a scale from chainage 306 m and 347 m chainage have total displacement 0.0222129 and 0.0165611 m m. Of the total displacement that there are more than 0.005 m, then at chainage 306 m and 347 m chainage unsafe and finite element number is less than 4 then the class of models Masaa rocks found on the chainage is less than 4 including unsafe. Type of buffer used in the form of concrete shot but shows the total value of less than 0.005 m displacement then coupled with the type of buffer while steel. Modeling is done in class IIIa and IIIb rock mass unsafe. It is necessary to increase the zone of concrete screws are indicated collapse. Zones are shown by the broken keterdapatan finite element.*

*Keywords: Tunnel, planning temporary buffer, buffer system simulation, total displacement, finite element*

**I. PENDAHULUAN**

Terowongan adalah sebuah tembusan di bawah permukaan tanah atau gunung. Terowongan umumnya tertutup di seluruh sisi kecuali di kedua ujungnya yang terbuka pada lingkungan luar. Beberapa ahli teknik sipil mendefinisikan terowongan sebagai sebuah tembusan di bawah permukaan yang memiliki panjang minimal 0.1 mil (0,1609 km), dan yang lebih pendek dari itu lebih pantas disebut *underpass*. Terowongan memiliki fungsi dan tujuan masing-masing yaitu sebagai jalan, pertambangan, pengelak aliran air dan penyedia air baku pada bendungan.

Pada pembangunan terowongan sering dijumpai masalah yang tidak biasa terjadi pada rancangan bangunan biasa. Masalah yang sering dijumpai pada pembangunan terowongan meliputi massa batuan yang memiliki sifat heterogen, anisotrop dan diskontinyu. Faktor-faktor geologi menjadi hal yang sangat penting dalam perancangan suatu galian bawah tanah atau terowongan

karena berkaitan dengan kekuatan batuan. Penentuan kekuatan batuan tidak jauh berkaitan dengan sifat fisik batuan dan struktur geologi yang berkaitan langsung dengan gaya-gaya yang dihasilkan dari redistribusi tegangan awal.

Dalam perancangan sebuah galian bawah tanah diharapkan mampu memberikan penilaian massa batuan secara cermat. Tujuan dasar setiap rancangan untuk galian di bawah tanah harus menggunakan massa batuan itu sendiri sebagai material struktur utamanya. Selama penggalian terowongan diharapkan menghasilkan gangguan kemantapan pada dinding terowongan sekecil mungkin dan sedikit dalam penambahan beton atau penyangga. Dalam keadaan asli, batuan keras yang memiliki tegangan tekan akan lebih kuat daripada beton mungkin dalam beberapa kasus kekuatannya sama dengan baja (Hoek dan Brown, 1980 dalam Koesnaryo, 1994)