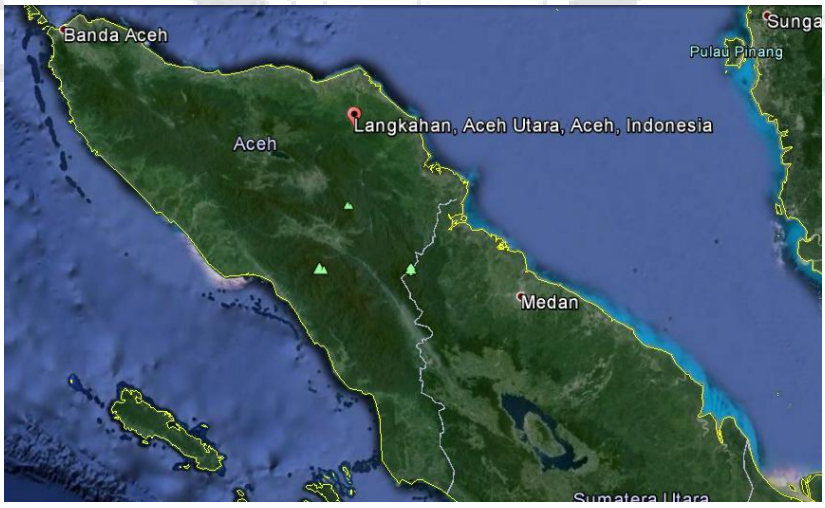
BAB V
ANALISIS DATA

5.1 Umum

Analisis yang membahas mengenai desain terowongan pada batuan akan dibahas pada bab ini. Selain data teknis data lain yang akan digunakan adalah data pengujian di lapangan dan data hasil pengujian di laboratorium. Adapun data, parameter desain dan analisis desain terowongan dengan menggunakan metode empiris dan finite element pada batuan adalah sebagai berikut:

5.2 Lokasi Studi

Terowongan pada studi ini merupakan diversion tunnel dari Bendungan Jambu Aye. Dimana lokasi Bendungan Jamboaye terletak di perbatasan dua Kabupaten yaitu : Kabupaten Aceh Utara (di kiri Kr. Jamboaye) dan kabupaten Aceh Timur (di kanan Kr. Jamboaye). Secara administratif calon bendungan ini terletak di Desa Leubuk Pusaka, Kecamatan Langkahan, Kabupaten Aceh Utara dan Desa Blang Seunong Kecamatan Pante Bidari, Kabupaten Aceh Timur. Berikut adalah gambar dari lokasi studi:



Gambar 5. 1 Lokasi Studi

5.3 Data Teknis Terowongan

Data teknis terowangan adalah sebagai berikut:

Tipe penampang terowongan	: Lingkaran
Diameter penampang dalam terowongan	: 8 m
Kemiringan dasar saluran	: 1:200
Panjang total terowongan	: 201.9 m
Elevasi dasar saluran	: EL. 22 m
Konstruksi beton menggunakan beton bertulang tipe	: K 225
Ketebalan lapisan terowongan	: 1 m

Terowongan dibagi dalam empat bagian yaitu:

U/S Portal Tunnel

Tipe : Penampang lingkaran dengan diameter dalam 8.00m, tebal 1.0m

Panjang : 27.00m

U/S Tunnel

Tipe : Penampang lingkaran dengan diameter dalam 8.00m, tebal 1.0m

Panjang : 99.00m

D/S Tunnel

Tipe : Penampang lingkaran dengan diameter dalam 8.00m, tebal 1.0m

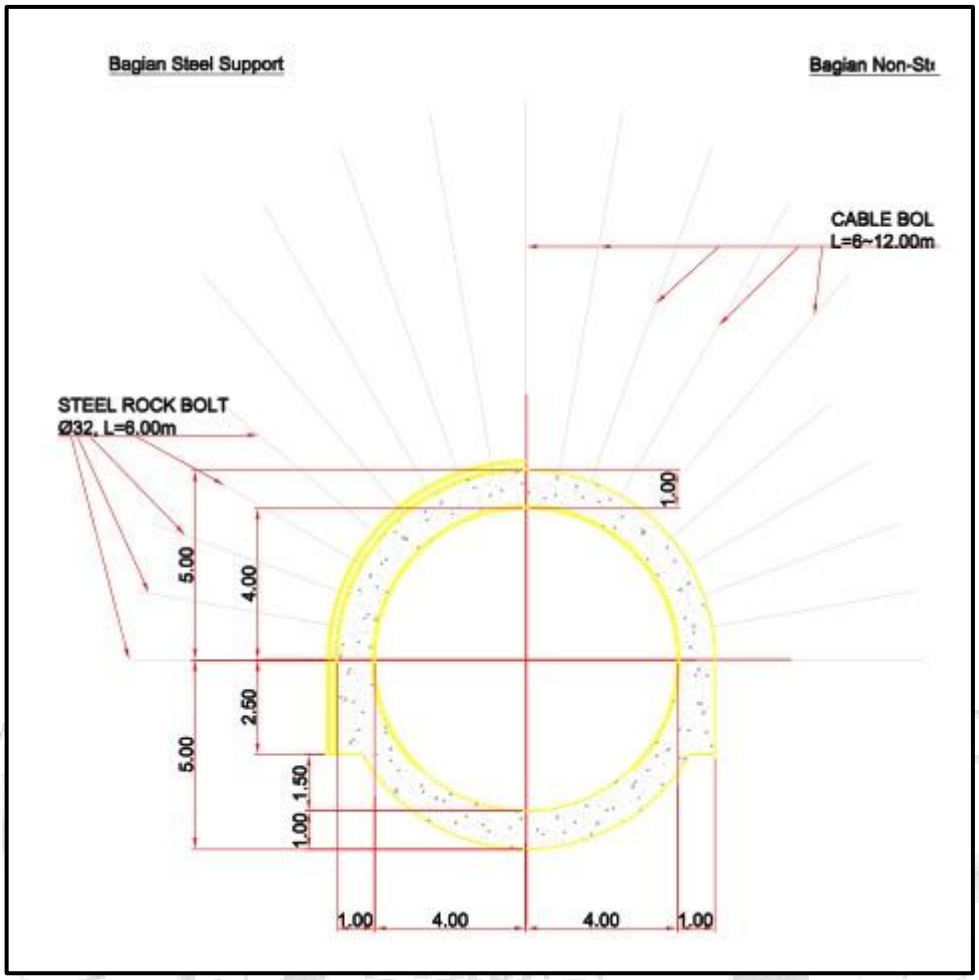
Panjang : 63.00m

D/S Portal Tunnel

Tipe : Penampang lingkaran dengan diameter dalam 8.00m, tebal 1.0m

Panjang : 21.90m

Berikut adalah rencana penampang terowong:



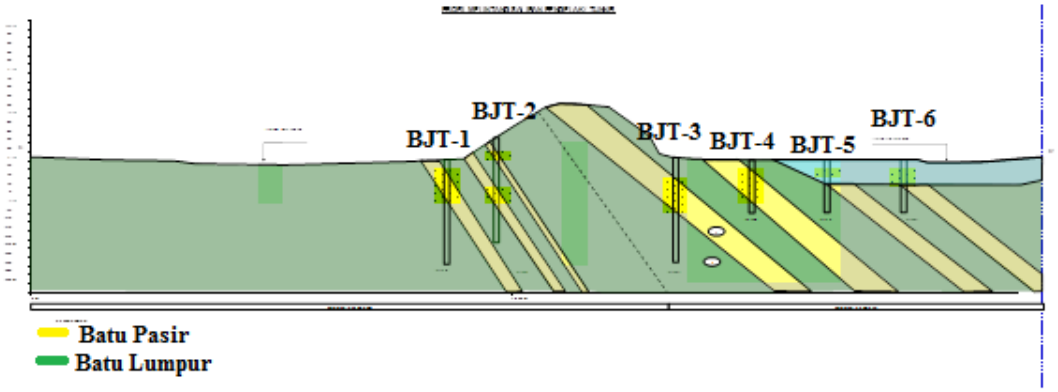
Gambar 5. 2 Penampang Terowongan

5.4 Parameter Desain

Parameter desain terowongan pada studi ini diambil dari laporan perencanaan terowongan Jambo Aye. Parameter desain berupa profil batuan, data geologi dan parameter batuan adalah sebagai berikut:

5.4.1 Pofil Batuan

Penampang melintang geologi sepanjang as terowongan adalah sebagai berikut:



Gambar 5. 3 Profil melintang geologi sepanjang as terowongan

5.4.2 Data Geologi

Berdasarkan pemboran inti dan pengujian insitu di enam lokasi yaitu BJT-1 sampai dengan BJT-6 maka kondisi geologi dan sifat-sifat teknis batuan pada sepanjang lokasi calon terowongan sebagai berikut:

- Mulai dari portal udik (inlet) sampai dengan lubang bor BJT-2 ditempati oleh batu lupur (selang seling lapisan tipis batulumpur dengan laminasi batupasir), dip 55°-60° miring ke arah hilir, kompak termasuk dalam kelompok formasi Keutapang.
- Dari BJT3-BJT6 ke arah portal hilir (outlet) ditempati oleh batu pasir (selang seling lapisan tipis batupasir dengan laminasi batulumpur), dip 35°-40° miring ke arah hilir, termasuk kedalam kelompok formasi Seurela.
- Berdasarkan hasil uji penetrasi memberikan SPT N > 50, Hal ini menunjukkan batuan relatif kompak.
- Berdasarkan nilai Lu (Legeon) berkisar 2-15, batuannya bersifat semu lulus-kedap.
- Muka Air rata-rata berada di elevasi +3.12 m, sehingga posisi air tanah adalah terletak diatas sepanjang terowongan.
- Batu lumpur dan batu pasir termasuk dalam jenis batuan sedimen dan merupakan batuan lunak.
- Tingkat pelapukan batuan adalah highly weathered sampai slightly wearthered, umumnya batuan lunak.
- Nilai UCS yang diperoleh dari data studi terdahulu adalah untuk batu pasir dan batu lumpur adalah 37.12 kgf/cm² (3.712 Mpa) dan 16.12 kgf/cm² (1.612

Mpa). Namun setelah melakukan korelasi maka nilai UCS untuk batu pasir dan batu lumpur maka nilai UCS yan digunakan dalam perhitungan adalah sebesar 20 MPa dan 10 MPa.

- Struktur geologi yang dijumpai di daerah sekitar penyelidikan hanya berupa kekar-kekar minor. Sedangkan struktur lipatan yang dijumpai berupa homoklin yaitu kemiringan perlapisan batuan searah yang miring relative ke arah timur laut dengan sudut kemiringan 55^o – 60^o formasi baong dan formasi keutapang, sedangkan formasi diatasnya (bagian hilir) memiliki kemiringan lebih landai yaitu 35-40° (formasi Seurela). Struktur sesar/patahan yang membahayakan konstruksi tidak dijumpai pada lokasi penyelidikan.
- Struktur Lipatan : Struktur Lipatan regional pada umunya mempunyai arah barat laut –tenggara dan mempengaruhi Formasi Julu Rayeu dan satuan batuan yang lebih tua. Struktur ini dapat diketahui dengan jelas pada Formasi Keutapang dan Formasi Seureula yang tersingkap disepanjang Krueng Jamboaye.
- Struktur Sesar : Sesar Lokop – Kotacane dengan arah utara timutlaut – barat baratdaya merupakan sesar aktif yang dijumpai ± 40 km tenggara dari lokasi rencana bendungan. Beberapa sesar minor terdapat di lokasi proyek dan sekitarnya.
- Pada studi ini tidak terdapat data RQD sehingga berdasarkan jenis batuan yang diketahui maka nilai RQD diasumsikan sebesar 20% - 40%.
- Nilai ϕr untuk batu lumpur dan batu pasir adalah sebesar 6° dan 12°.

5.4.3 Parameter Batuan

Parameter batuan yang digunakan pada studi ini diperoleh dari hasil pengujian di lapangan dan laboratorium. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

– Pengujian Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Strength).

  Uji kuat tekan uniaksial dilakukan untuk menentukan kuat tekan batuan (σ_{ci}), Modulus Young (E), Poisson Ratio (ν) , dan kurva tegangan-regangan.

– Pengujian Triaksial.

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan nilai *Strength envelope* (kurva *instrinsic*), Kuat geser atau *shear strength*, Sudut geser (ϕ) dan Kohesi (c)

- Pengujian Kuat Tarik-Uji Brazilia (Indirect Tensile Strength Test).
  Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tarik (tensile strength).
- Pengujian Rock Quality Designing Index (RQD).
  Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas dari massa batuan.
- Parameter batuan m dan s diperoleh dari tabel dan rumus dibawah ini.
  Tabel untuk menentukan parameter m untuk batuan untuh adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Nilai m_i untuk batuan utuh (Hoek, 2000)

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
Sedimentary	Clastic		Conglomerate (22) Breccia (20)	Sandstone 19	Siltstone 9 Greywacke (18)	Claystone 4
	Non-clastic	Organic		Chalk 7 Coal (8 to 21)		
		Carbonate		Spartic (10)	Micritic 8	
		Chemical		Gypstone 16	Anhydrite 13	
Metamorphic	Non foliated		Marble 9	Hornfels (19)	Quartzite 24	
	Slightly foliated		Migmatite (30)	Amphibolite 25 to 31	Mylonite (6)	
	Foliated*		Gneiss 33	Schist 4 to 8	Phyllite (10)	Slate 9
Igneous	Light		Granite 33 Granodiorite (30) Diorite (28)	Rhyolite (16)	Obsidian (19) Dacite (17) Andesite 19	
	Dark		Gabbro 27 Norite 22	Dolerite (19)	Basalt 17	
	Extrusive pyroclastic type		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)	

* These values are for intact rock specimens tested normal to bedding or foliation. The value of m_i will be significantly different if failure occurs along a weakness plane.

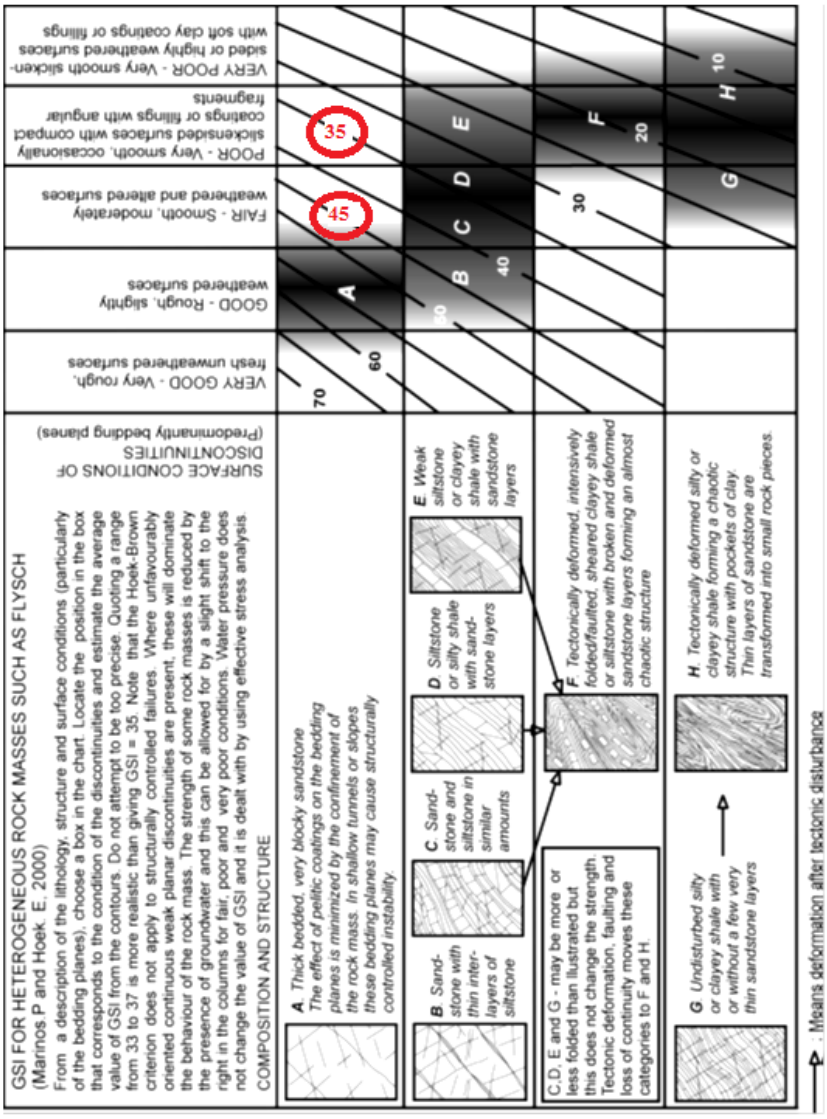
Dari tabel di atas diperoleh parameter m sebesar 19 untuk batu pasir dan 4 untuk batu lumpur.

Karena batuan memiliki joint maka parameter m dan s untuk batuan berkekar harus diketahui, adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan parameter batuan berkekar adalah sebagai berikut:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

Dimana *Geological Stength Index* (GSI) dan faktor kerusakan (D) dapat diperoleh berdasarkan tabel berikut:



Gambar 2. 1 Perkiraan Kekuatan Geologi Index GSI untuk massa batuan heterogen seperti Flysch (After Marinos and Hoek, 2001).

Dari gambar di atas diperoleh nilai GSI sebesar 45 untuk batu pasir dan 35 untuk batu lumpur.

Berikut ini adalah tabel untuk menentukan besarnya nilai D (faktor kerusakan)

Tabel 2. 2 Pedoman untuk menentukan besarnya nilai D (Hoek,200)

Appearance of rock mass	Description of rock mass	Suggested value of *D*
	Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.	*D* = 0
	Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass. Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.	*D* = 0 *D* = 0.5 No invert
	Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.	*D* = 0.8
	Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.	*D* = 0.7 Good blasting *D* = 1.0 Poor blasting
	Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal. In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.	*D* = 1.0 Production blasting *D* = 0.7 Mechanical excavation

Dari tabel di atas diperoleh nilai D sebesar 0.5 untuk batu pasir dan 0.8 untuk batu lumpur.

Sehingga dari berbagai pengujian, rumus dan tabel diatas maka parameter batuan yang digunakan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

Korelasi nilai modulus young dilakukan dengan menggunakan rumus korelasi berdasarkan metode empirik. Adapaun korelasinya adalah sebagai berikut.

- RMR (Serafim and Pereira,1983)

$$E_{mass} = 10^{\frac{RMR-10}{40}}$$
$$= 10^{\frac{28-10}{40}}$$
$$= 10^{-0.45}$$
$$= 0.355\text{GPa}$$

- RMR (Read et al, 1999)

$$E_{mass} = 0.1\left(\frac{RMR}{10}\right)^3$$
$$= 0.1\left(\frac{28}{10}\right)^3$$
$$= 2.195\text{GPa}$$

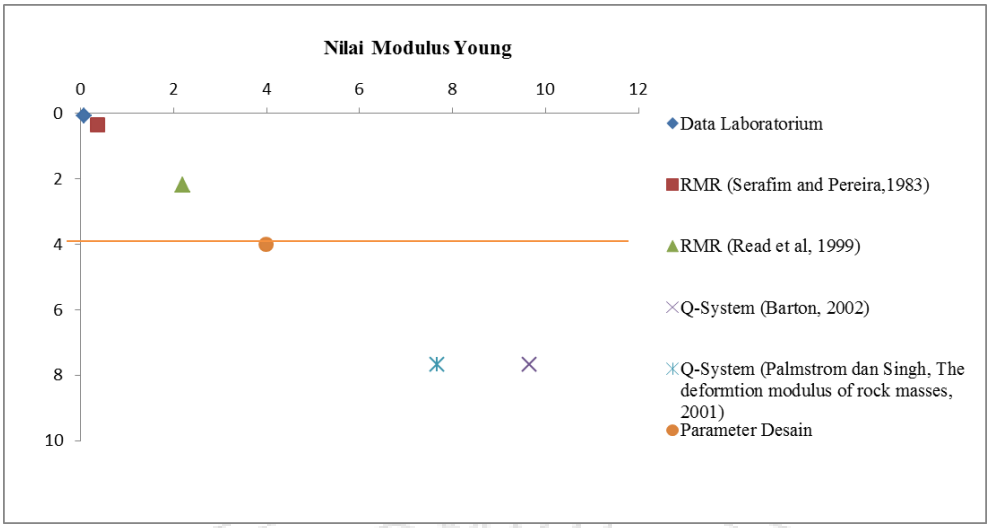
- Q-System (Barton, 2002)

$$E_{mass} = 10Q_c^{1/3}$$
$$= 10 \times 0.9^{1/3}$$
$$= 9.654\text{GPa}$$

- Q-System (Palmstrom dan Singh, The deformtion modulus of rock masses, 2001)

$$E_{mass} = 8Q^{0.4}$$
$$= 8 \times 0.9^{0.4}$$
$$= 7.669\text{GPa}$$

Dari masil korelasi diatas diperoleh parameter desain modulus young adalah sebesar 3.99 GPa. Grafik nilai modulus young dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 5. 4 Parameter desain modulus young

Parameter tanah seperti barat jenis batuan, poisson's ratio, tensile strength, dan UCS (*Unconfined Compression Strength*) diperoleh dari hasil korelasi yang telah disajikan pada bab 2. Untuk nilai sudut geser dan kohesi diperoleh dari data labortorium studi terdahulu.

Sehingga parameter desain yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Parameter batuan PHASE2

Parameter	Nilai		Satuan
	Batu Lumpur		
Material model	Morh Coulumb	Hoek Brown	
Initial Element Loading	Field Stress Only	Field Stress Only	-
Unit Weight	0.01832	0.01832	MN/m³
Elastic Properties			
Material Type	Isotropic	Isotropic	-
Young's Modulus	3990	3990	Mpa
Poisson's Ratio	0.15	0.15	-
Strength Parameter			
Material Type	Elastic	Elastic	-
Tensile Strenght	5	-	Mpa
Friction Angle	39.5	-	°
Cohesi	0.343	-	Mpa
Intac UCS	-	1.61	Mpa
m Parameter	-	0.00	-
s Parameter	-	0.00001	-

Tabel 5. 2 Parameter batuan Plaxis 3D Tunnel

Parameter	Nama	Batu Lumpur	Satuan
Material model	Model	Morh-Coulumb	-
Type of material behaviour	Type	Drained	-
Soil weight above phr. level	γ_{unsat}	18.32	kN/m³
Soil weight below phr. level	γ_{sat}	19.9	kN/m³
Young's modulus (constant)	E_{ref}	3990000	kN/m²
Poisson's ratio	ν	0.15	-
Cohesion (constant)	c_{ref}	342	kN/m²
Friction angle	φ	39.5	°
Dilatancy angle	ψ	9.5	°
Tensile strength (tension cut-off)	TS	5000	kN/m²

5.5 Analisis Desain Terowongan

5.5.1 Analisis Desain Terowongan dengan Metode Empirik

Analisis desain terowongan menggunakan metode empirik atau yang dikenal dengan sistem rock mass classification pada studi ini adalah sebagai berikut:

5.5.1.1 Terzaghi's Rock Mass Classification

Metode yang diperkenalkan oleh Karl von Terzaghi pada tahun 1946 merupakan metode pertama yang cukup rasional yang mengevaluasi beban batuan untuk desain terowongan dengan penyangga baja. Berdasarkan tabel Klasifikasi Rock Load Terzaghi maka rock condition dan rock load dapat ditentukan sebagai berikut :

- Dengan RQD batuan sebesar 20%-40% kondisi batuan masuk dalam dua jenis kelompok yaitu "*Very blocky and searny* dan *completely crushed but chemically intact*", sehingga nilai rock loadnya adalah sebagai berikut:
- Rock Load :

  Untuk kelompok batuan v*ery blocky and searny.*

$$H_p = (0.20 - 0.60)(B + Ht)$$
$$= (0.2)(8 + 8)$$
$$= 0.2 \times 16$$
$$= 3.2\, m$$

Untuk kelompok batuan *completely crushed but chemically intact.*

$$H_p = (0.60 - 1.10)(B + Ht)$$
$$= (1.10)(8 + 8)$$
$$= 1.10 \times 16$$
$$= 17.6\, m$$

– Tekanan penyangga untuk batu lumpur.

Diketahui γ batu lumpur adalah 1832 gr/cm³, maka tekanan penyangga adalah:

$$P = \gamma \times H_p$$
$$= 1832 \times 3.2$$
$$= 5{,}862.4 \text{ kg/m}^2$$

$$P = \gamma \times H_p$$
$$= 1832 \times 17.6$$
$$= 32{,}243.2 \text{ kg/m}^2$$

Diperoleh besarnya tekanan penyangga untuk batu lumpur adalah 5,862.4 kg/m² sampai 32,243.2 kg/m².

– Tekanan penyangga untuk batu pasir.

Diketahui γ batu pasir adalah 1957 gr/cm³, maka tekanan penyangga adalah:

$$P = \gamma \times H_p$$
$$= 1957 \times 3.2$$
$$= 6{,}262.4 \text{ kg/m}^2$$

$$P = \gamma \times H_p$$
$$= 1957 \times 17.6$$
$$= 34{,}443.2 \text{ kg/m}^2$$

Diperoleh besarnya tekanan penyangga untuk batu pasir adalah 6,262.4 kg/m² sampai 34,443.2 kg/m².

5.5.1.2 Klasifikasi Stund Up Time

Klasifikasi yang diperkenalkan oleh Laufer pada tahun 1958 ini tidak lama digunakan, karena dimodifikasi beberapa kali oleh *engineer* Austria yang

mempelopori pengembangan *New Austria Tunneling Method* (NATM). Dan untuk mengetahui stand up time yang dibutuhkan untuk suatu konstruksi terowongan maka diperlukan klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) yang akan dijelaskan sebagai berikut:

5.5.1.3 Rock Mass Rating System (RMR)

Klasifikasi RMR menggunakan enam parameter antara lain kuat tekan batuan utuh (s*trength of intact rock material*), Rock Quality Designation (*RQD*), jarak antar (spasi) kekar (*spacing of discontinuities*), kondisi kekar (c*ondition of discontinuities*), kondisi air tanah (g*roundwater conditions*) dan orientasi Kekar *(orientation of discontinuities).* Analisis untuk klasifikasi RMR disajikan pada tabel berikut:

– Klasifikasi *Rock Mass Rating* untuk batu lumpur.

Tabel 5. 3 Analisis klasifikasi RMR untuk batu lumpur

Tabel	Item	Value	Rating
2.30A-1 (Hal 2-106)	UCS	10 MPa	2
2.30A -2 (Hal 2-106)	RQD	20 – 40 %	8
2.30A -3 (Hal 2-107)	Spacing of discontinuities	1,12 m	15
2.30 -4 (Hal 2-107)	Condition of discontinuities	Tingkat pelapukan batuan adalah highly weathered sampai slightly wearthered	1
2.30A -5 (Hal 2-107)	Groundwater	Posisi air tanah adalah terletak diatas sepanjang terowongan	7
2.30B (Hal 2-107)	Adjustment for joint orientation	Tunnel	-5
		Total (RMR)	28

Nilai RMR diperoleh berdasarkan jumlah seluruh rating dari parameter RMR. Nilai RMR yang diperoleh untuk batu lumpur adalah sebesar 28. Maka berdasarkan tabel petunjuk untuk penggalian dan penyangga terowongan batuan dengan sistem RMR masa batuan pada studi ini masuk dalam kelompok “Poor

Rock" dimana petunjuk untuk penggalian dan penyangga terowongan adalah sebagai berikut:

a. Excavation: Top heading and bench, 1.0 - 1.5 m maju kedalam top heading. Menginstal support bersamaan dengan excavation, 10 m dari depan.

b. Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted): Systematic bolts 4 – 5 m, panjang spasi 1-1,5 m di mahkota dan dinding dengan kawat di mahkota.

c. Shotcrete: Tebal shotcrete 100-150 mm di mahkota dan 100 mm di sisinya.

d. Steel sets: Light sampai medium ribs spasi 1,5 m.

Tekanan penyangga atap permanen untuk batu lumpur.

Diketahui γ batu lumpur adalah 18.32 kN/m³ dengan lubang bukaan terowongan sebesar 8 m, maka tekanan penyangga adalah:

$$P_{roof} = \left(\frac{100 - RMR}{100}\right).w.\gamma$$

$$= \left(\frac{100-28}{100}\right).8 \times 18.32$$

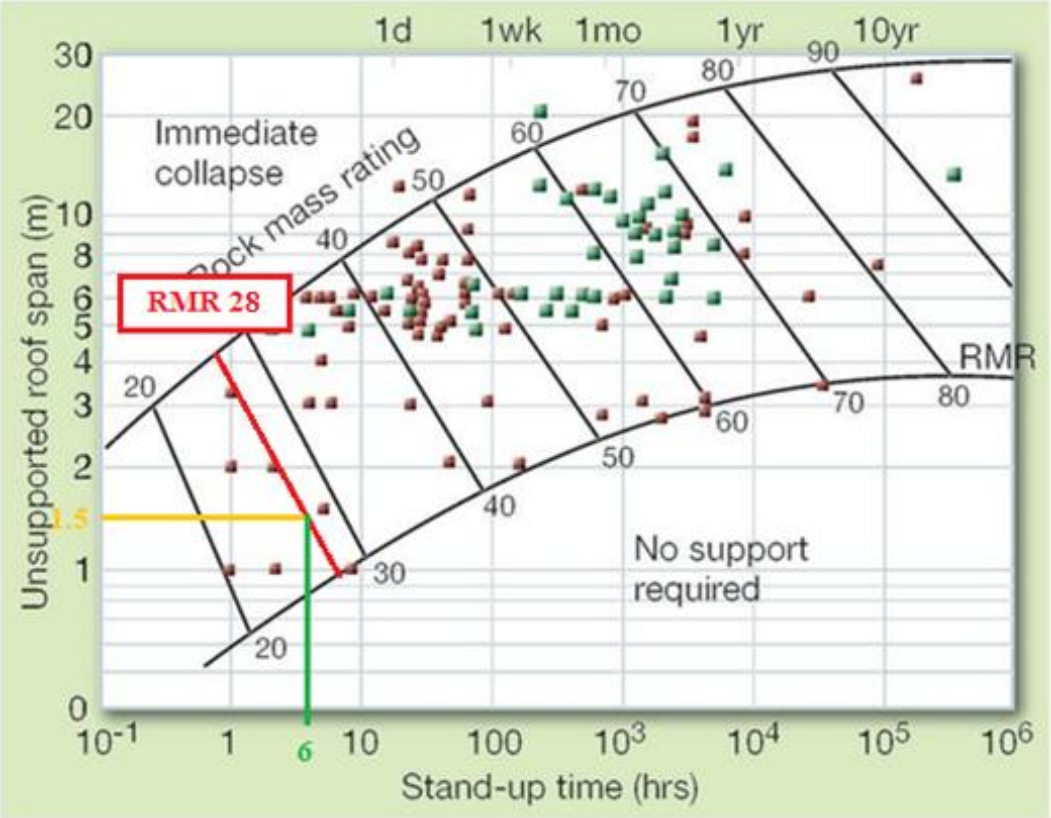
$$= \left(\frac{100-28}{100}\right).8 \times 18.32$$

$$= 0.72 \times 8 \times 18.32$$

$$= 105.5232 \text{kN/m}^2$$

Diperoleh besarnya tekanan penyangga untuk batu lumpur adalah 105.5232 kN/m².

Stand up time untuk batu lumpur dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 5. 5 Stand Up Time untuk batu pasir RMR (after Bieniawski 1989)

Dengan RMR 28 dan support tanpa penyangga 1.5 m maka stand up time yang dibutuhkan adalah 6 jam.

– Klasifikasi *Rock Mass Rating* untuk batu pasir.

Tabel 5. 4 Analisis klasifikasi RMR untuk batu pasir

Tabel	Item	Value	Rating
2.30A-1 (Hal 2-106)	UCS	20 MPa	2
2.30A -2 (Hal 2-106)	RQD	20 – 40 %	8
2.30A -3 (Hal 2-107)	Spacing of discontinuities	1,12 m	15
2.30 -4 (Hal 2-107)	Condition of discontinuities	Tingkat pelapukan batuan adalah highly weathered sampai slightly wearthered	1
2.30A -5 (Hal 2-107)	Groundwater	Posisi air tanah adalah terletak diatas sepanjang terowongan	7
2.30B (Hal 2-107)	Adjustment for joint orientation	Tunnel	-5
		Total (RMR)	28

Nilai RMR yang diperoleh untuk batu pasir adalah sebesar 28. Sehingga petunjuk untuk penggalian dan penyangga serta stand up time pada kedua jenis batuan adalah sama, yang membedakan adalah tekanan penyangga atap permanennya. Adapun tekanan penyangga atap permanen untuk batu pasir adalah sebagai berikut:

Diketahui γ batu pasir adalah 19.57 kN/m³ dengan lubang bukaan terowongan sebesar 8 m,, maka tekanan penyangga adalah:

$$P_{roof} = \left(\frac{100 - RMR}{100}\right).w.\gamma$$

$$= \left(\frac{100-28}{100}\right).8 \times 19.57$$

$$= \left(\frac{100-28}{100}\right).8 \times 19.57$$

$$= 0.72 \times 8 \times 19.57$$

$$= 112.7232 \text{kN/m}^2$$

Diperoleh besarnya tekanan penyangga untuk batu pasir adalah 112.7232 kN/m².

5.5.1.4 Rock Quality Designing Index (RQD)

Pada tahun 1967 D.U. Deere memperkenalkan *Rock Quality Designation* (RQD) sebagai sebuah petunjuk untuk memperkirakan kualitas dari massa batuan. Nilai RQD untuk studi ini adalah 20% - 40%. Sehingga berdasarkan hubungan antara nilai RQD dan kualitas dari suatu massa batuan maka kualitas batuan masuk dalam kelompok "*Poor atau Jelek*".

5.5.1.5 Rock Structure Rating (RSR)

Parameter geologi dan kostruksi merupakan dua faktor dari konsep RSR yang harus diperhatikan. Kedua faktor tersebut dapat dikelompokan dalam tiga parameter dasar yaitu parametar A, B dan C yang telah dijelaskan pada bab 2. Klasifikasi *Rock Mass Rating* (RMR) hanya dapat digunakan untuk terowongan berbentuk lingkaran dengan diameter maksimal 7.3 m dan pada studi ini diameter terowongan yang digunakan adalah 8 m. Sehingga kalisfikasi RSR ini tidak dapat digunakan.

5.5.1.6 Rock Mass Quality (Q) System

Q-System merupakan salah satu dari klasifikasi massa batuan yang dibuat berdasarkan studi kasus dilebih dari 200 kasus *tunneling* dan *caverns. Q-system* merupakan fungsi dari enam parameter yaitu *Rock Quality Designation, Joint set number, Joint roughness number, Joint alteration number, Joint water reduction factor* dan *Stress Reduction Factor*. Adapun analisis *Q-System* adalah sebagai berikut:

– Q-System untuk batu Lumpur

Tabel 5. 5 Analisis *Q-System* untuk batu lumpur

Tabel	Parameter	Decsription	Value
2.32 (Hal 2-112)	RQD	20% - 40% Poor	37
2.33 (Hal 2-112)	Jn	Sifat batuan kompak dan tedapat kekar-kekar minor. Massive no or few joints	0.75
2.34 (Hal 2-113)	Jr	Discontinuities bervariasi dari berukuran texture sampai major fault	4
2.35 (Hal 2-113)	Ja	Nilai ϕr batu lumpur sebesar 6°	12
2.36 (Hal 2-114)	Jw	LU 2-15 batuan bersifat semi lulus -kedap	0.66
2.37 (Hal 2-115)	SRF	Lapisan batu pasir dan batu lumpur mengandung clay. Kedalaman galian 25 m (< 50 m)	10
2.39 (Hal 2-117)	ESR	Water tunnel for hydro	1.6

Langkah selanjutnya setelah memperoleh ke-enam parameter Q-system adalah mencari nilai Q menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \cdot \frac{Jr}{Ja} \cdot \frac{Jw}{SRF}$$

$$Q = \frac{30}{0.75} \times \frac{4}{12} \times \frac{0.66}{10}$$
$$= 40 \times 0.333 \times 0.066$$
$$= 0.9$$

Berdasarkan persamaan di atas diperoleh nilai Q adalah 0.9.

Untuk mengetahui rekomendasi penyangga berdasarkan Q-System maka dimensi ekivalen dari galian harus diketahui. Dimensi ekivalen dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

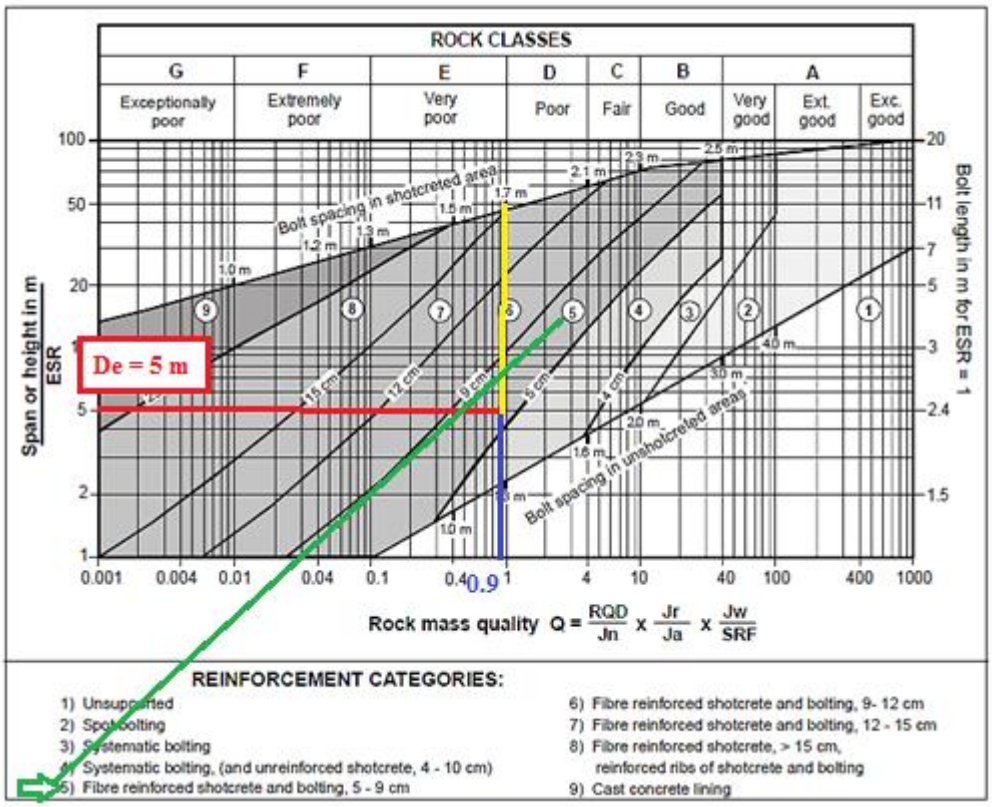
$$\text{Dimensi Ekivalen} = \frac{\text{Panjang galian, diameter atau tinggi (m)}}{\text{ERS}}$$

$$= \frac{8}{1.6}$$

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

Diameter terowongan adalah sebesar 8 m, sehingga nilai dimensi ekivalen galian yang diperoleh adalah sebesar 5 m.

Setelah nilai Q (0.9) dan dimensi ekivalen (5 m) diketahui maka dari grafik berikut ini kita dapat menentukan rekomendasi penyangga berdasarkan Q-system.



Gambar 5. 6 Grafik Penentuan Rekomendasi Penyangga Berdasarkan Q-System untuk Batu Lumpur (After Grimstad & Barton, 1993)

Berdasarkan grafik batuan masuk dalam kelompok "Poor" dan rekomendasi penyangga masuk dalam kategori 5 yaitu fiber reinforced shotcrete dan bolting, 5-9 cm, jarak spasi bolt pada daerah shotcrete adalah 1.7 m dan spasi bolt pada daerah tanpa shotcrete adalah 1.3 m. Batuan masuk dalam kelas batuan " *Very Poor Rock*".

Klasifikasi Q-sytem juga memberikan persamaan untuk memperoleh berapa panjang rockbolt dan span maksimum tanpa penyangga yang dibutuhkan serta tekanan penyangga atap permanen. Ketiga nilai tersebut diketahui berdasarkan persamaan berikut:

Panjang L dari *rockbolt:*

$$\begin{aligned} L &= \frac{2 + 0.15\,B}{ERS} \\ &= \frac{2 + (0.15 \times 8)}{1.6} \\ &= 2\,\text{m} \end{aligned}$$

Span maksimum

$$\begin{aligned} \text{Span maksimum (tidak disangga)} &= 2 \times ERS \times Q^{0.4} \\ &= 2 \times 1.6 \times 0.9^{0.4} \\ &= 3.07\,\text{m} \end{aligned}$$

Tekanan penyangga atap permanen

$$\begin{aligned} P_{roof} &= \frac{200}{Jr} . Q^{1/3} \\ &= \frac{200}{4} \times 0.9^{1/3} \\ &= 48.29\,\text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas diperoleh panjang rockbolt adalah sebesar 2 m, span maksimum tanpa penyangga adalah sebesar 3.07 m dan tekanan penyangga atap permanen adalah sebesar 48.29 kN/m² .

– Q-System untuk batu Pasir

Tabel 5. 6 Analisis *Q-System* untuk batu pasir

Tabel	Parameter	Decsription	Value
2.32 (Hal 2-112)	RQD	20% - 40% Poor	37
2.33 (Hal 2-112)	Jn	Sifat batuan kompak dan tedapat kekar-kekar minor. Massive no or few joints	0.75
2.34 (Hal 2-113)	Jr	Discontinuities bervariasi dari berukuran texture sampai major fault	4
2.35 (Hal 2-113)	Ja	Nilai ϕr batu pasir sebesar 12°	4
2.36 (Hal 2-114)	Jw	LU 2-15 batuan bersifat semi lulus -kedap	0.66
2.37 (Hal 2-115)	SRF	Lapisan batu pasir dan batu lumpur mengandung clay. Kedalaman galian 25 m (< 50 m)	10
2.39 (Hal 2-117)	ESR	Water tunnel for hydro	1.6

Langkah selanjutnya setelah memperoleh ke-enam parameter Q-system adalah mencari nilai Q menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{RQD}{Jn} . \frac{Jr}{Ja} . \frac{Jw}{SRF}$$

$$Q = \frac{30}{0.75} \times \frac{4}{4} \times \frac{0.66}{10}$$
$$= 40 \times 1 \times 0.066$$
$$= 2.64$$

Berdasarkan persamaan di atas diperoleh nilai Q adalah 2.64.

Untuk mengetahui rekomendasi penyangga berdasarkan Q-System maka dimensi ekivalen dari galian harus diketahui. Dimensi ekivalen dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

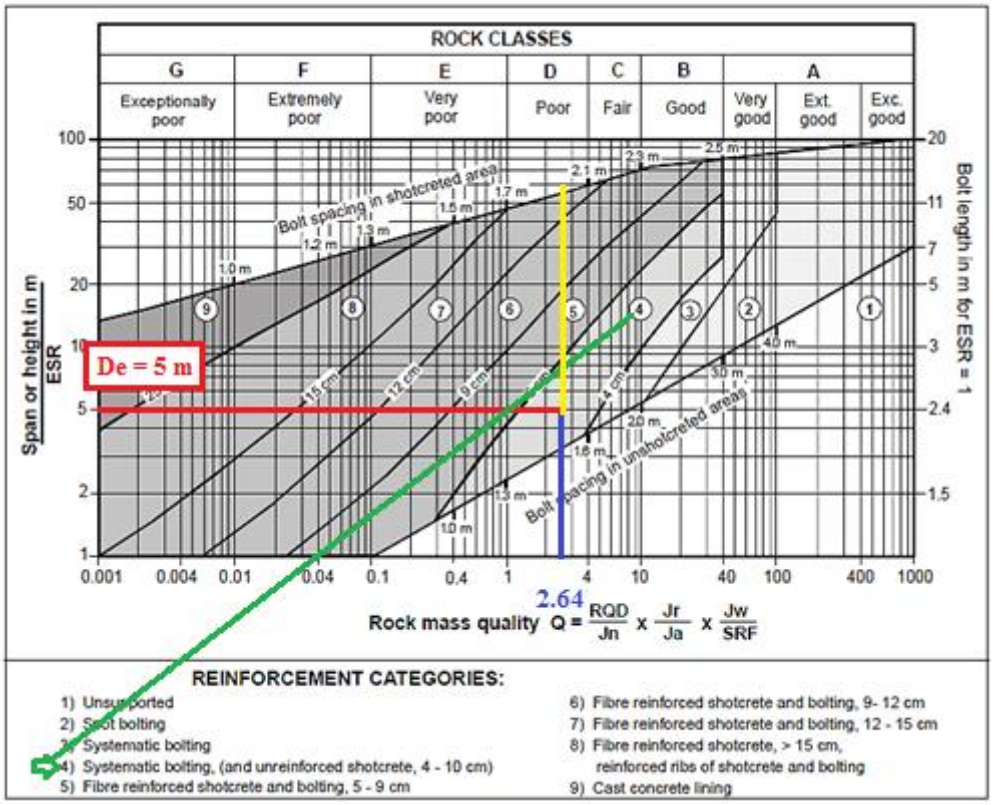
$$\text{Dimensi Ekivalen} = \frac{\text{Panjang galian, diameter atau tinggi (m)}}{\text{ERS}}$$

$$= \frac{8}{1.6}$$

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

Diameter terowongan adalah sebesar 8 m, sehingga nilai dimensi ekivalen galian yang diperoleh adalah sebesar 5 m.

Setelah nilai Q (2.64) dan dimensi ekivalen (5 m) diketahui maka dari grafik berikut ini kita dapat menentukan rekomendasi penyangga berdasarkan Q-system.



Gambar 5. 7 Grafik Penentuan Rekomendasi Penyangga Berdasarkan Q-System untuk Batu Pasir (After Grimstad & Barton, 1993)

Berdasarkan grafik batuan masuk dalam kelompok “Poor” dan rekomendasi penyangga masuk dalam kategori 4, dimana jenis bolt adalah systematic bolt dengan spasi 2 m pada daerah shotcrete dan spasi 1.5 m pada derah tanpa

shotcrete (unreinforced shotcrete sebesar 4-5 cm). Batuan masuk dalam kelas "*Poor Rock*".

Klasifikasi Q-sytem juga memberikan persamaan untuk memperoleh berapa panjang rockbolt dan span maksimum tanpa penyangga yang dibutuhkan serta tekanan penyangga atap permanen. Ketiga nilai tersebut diketahui berdarasarkan persamaan berikut:

Panjang L dari *rockbolt:*

$$L = \frac{2 + 0.15\,B}{ERS}$$
$$= \frac{2 + (0.15 \times 8)}{1.6}$$
$$= 2\,\text{m}$$

Span maksimum

$$\text{Span maksimum (tidak disangga)} = 2 \times ERS \times Q^{0.4}$$
$$= 2 \times 1.6 \times 2.64^{0.4}$$
$$= 3.87\,\text{m}$$

Tekanan penyangga atap permanen

$$P_{roof} = \frac{200}{Jr}.Q^{1/3}$$
$$= \frac{200}{4} \times 2.64^{1/3}$$
$$= 68.88\,\text{kN/m}^2$$

Dari persamaan di atas diperoleh panjang rockbolt adalah sebesar 2 m, spam maksimum tanpa penyangga adalah sebesar 3.87 m dan tekanan penyangga atap permanen adalah sebesar 68.88 kN/m² .

Berikut adalah tabel yang menampilkan hasil dari keenam metode empiris.

Tabel 5. 7 Tabel Hasil dari Metode Empiris

Klasifikasi	Hasil
Terzaghi's Rock Mass Classification **Batu Lumpur**	– Kelas batuan adalah "*Very blocky and searny completely* dan *crushed but chemically intact*". – Tekanan penyangga adalahh 5,862.4 kg/m² samapi 32,243.2 kg/m².
Terzaghi's Rock Mass Classification **Batu Pasir**	– Kelas batuan adalah "*Very blocky and searny completely* dan *crushed but chemically intact*". – Tekanan penyangga adalah 6,262.4 kg/m² samapi 34,443.2 kg/m².
Klasifikasi Stund Up Time	– Stand up time 6 jam untuk span 1.5 m.
Rock Mass Rating System (RMR) **Rekomendasi penyangga dan penggalian untuk batu lumpur dan batu pasir, yang membedakan adalah besarnya nilai tekanan penyangga.**	– Kelas batuan "poor rock" – Excavation: Top heading and bench, 1.0 - 1.5 m maju kedalam top heading. Menginstal support bersamaan dengan excavation, 10 m dari depan. – Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted): Systematic bolts 4 – 5 m, panjang spasi 1-1,5 m di mahkota dan dinding dengan kawat di mahkota. – Shotcrete: Tebal shotcrete 100-150 mm di mahkota dan 100 mm di sisinya. – Steel sets: Light sampai medium ribs spasi 1,5 m. – Diperoleh besarnya tekanan penyangga untuk batu lumpur adalah 106,9888 kN/m². – Diperoleh besarnya tekanan penyangga untuk batu pasir adalah 114,2888 kN/m².
Rock Structure Rating (RSR)	– Hanya dapat digunakan untuk terowongan berbentuk lingkaran dengan diameter maksimal 7.3 m

Rock Mass Quality (Q) System **Batu Lumpur**	– Batuan masuk dalam kelas " Very Poor Rock". – Rekomendasi penyangga masuk dalam katagori 5 yaitu fiber reinforced shotcrete dan bolting, 5-9 cm, jarak spasi bolt pada daerah shotcrete adalah 1.7 m dan spasi bolt pada daerah tanpa shotcrete adalah 1.3 m. – Panjang rockbolt adalah sebesar 2 m, – Span maksimum tanpa penyangga adalah sebesar 3.07 m . – Tekanan penyangga atap permanen adalah sebesar 48.29 kN/m² .
Rock Mass Quality (Q) System **Batu Pasir**	– Kelas Batuan "Poor" – Rekomendai penyangga masuk dalam katagori 4, dimana jenis bolt adalah systematic bolt dengan spasi spasi 2 m pada daerah shotcrete dan spasi 1.5 m pada derah tanpa shotcret (unreinforced shotcrete sebesar 4-5 cm). – Panjang rockbolt adalah sebesar 2 m, – Span maksimum tanpa penyangga adalah sebesar 3.87 m – Tekanan penyangga atap permanen adalah sebesar 68.88 kN/m² .

Pada studi terdahulu hanya menggunakan Klasifikasi RMR untuk menentukan petunjuk penggalian dan penyangga serta stand up time yang dibutuhkan. Berikut adalah perbandingan hasil analisis yang dikerjakan pada studi terdahulu dan tugas akhir ini:

Dari studi terdahulu diperoleh :

Rock Mass Type 1 (RMT-1)

RMT-1 merupakan tipe penyangga untuk galian terowongan dengan kondisi geologi batuan Poor (Class IV).

– Galian dilaksanakan bertahap (top heading dan bench)
– Penyangga yang digunakan adalah shotcrete t = 15 cm dengan wiremesh, rockbolt D25mm L = 4.00 m @ 15^0 (transversal); 1.20 m (longitudinal) dan

steel rib I 150.75.5.7 jarak 1.00 m atau sebagaimana diistruksikan oleh Engineer.

- Panjang penggalian maksimum 1.5 m
- Stand up time sekitar 4 sampai 20 jam.

Rock Mass Type 2

RMT-2 adalah system penyangga yang digunakan untuk galian terowongan pada lokasi dengan kondisi geologi batuan very poor (Class V).

- Galian dilaksanakan bertahap (top heading dan bench)
- Penyangga yang digunakan adalah shotcrete t = 15 cm dengan wiremesh, rockbolt D25mm L = 6.00 m @ 15^0 (transversal); 0.60 m (longitudinal) dan steel rib I 150.75.5.7 jarak 0.60 m atau sebagaimana diistruksikan oleh Engineer.
- Panjang penggalian maksimum 1.5 m
- Stand up time sekitar <1 jam sampai 4 jam.

Berdasarkan analisis RMR pada tugas akhir ini diperoleh:

Batuan masuk dalam kelompok "Poor Rock" dimana petunjuk untuk penggalian dan penyangga terowongan adalah sebagai berikut:

- Excavation: Top heading and bench, 1.0 - 1.5 m maju kedalam top heading. Menginstal support bersamaan dengan excavation, 10 m dari depan.
- Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted): Systematic bolts 4 – 5 m, panjang spasi 1-1,5 m di mahkota dan dinding dengan kawat di mahkota.
- Shotcrete: tebal 100-150 mm di mahkota dan 100 mm di sisinya.
- Steel sets: Light sampai medium ribs spasi 1,5 m.
- Dari kelas batuan "Poor Rock" , memberikan Stand-up time yang dibutuhkan adalah 10 jam untuk spam 2.5 m.

Berikut adalah tabel perbandingan hasil studi terdahulu dan hasil tugas akhir dengan menggunakan metode RMR.

Tabel 5. 8 Perbandingan studi terdahulu dan tugas akhir

Deskripsi	Hasil Studi Terdahulu		Hasil Tugas Akhir		
	RMR		RMR	Q-System	
Kelas Batuan	Poor Rock	Very Poor Rock	Poor Rock	Poor Rock	Very Poor Rock
Excavation	Galian dilaksanakan bertahap (top heading dan bench), Panjang penggalian maksimum 1.5 m	Galian dilaksanakan bertahap (top heading dan bench), Panjang penggalian maksimum 1.5 m	Top heading and bench, 1.0 - 1.5 m maju kedalam top heading. Menginstal support bersamaan dengan excavation, 10 m dari depan.	– Rekomendasi penyangga masuk dalam katergori 5, fiber reinforced shotcrete dan bolting, 5-9 cm, jarak spasi bolt pada daerah shotcrete adalah 1.7 m dan spasi bolt pada daerah tanpa shotcrete adalah 1.3 m.. – Panjang rockbolt adalah sebesar 2 m, – Span maksimum tanpa penyangga adalah sebesar 3.07 m .	– Rekomendai penyangga masuk dalam katagori 4, dimana jenis bolt adalah systematic bolt dengan spasi 2 m pada daerah shotcrete dan spasi 1.5 m pada derah tanpa shotcrete (unreinforced shotcrete sebesar 4-5 cm). – Panjang rockbolt adalah sebesar 2 m, – Span maksimum tanpa penyangga adalah sebesar 3.87 m.
Rock bolts (20 mm diameter, fully grouted):	rockbolt D25mm L = 4.00 m @ 15^0 (transversal); 1.20 m (longitudinal)	rockbolt D25mm L = 6.00 m @ 15^0 (transversal); 0.60 m (longitudinal)	Systematic bolts 4 – 5 m, panjang spasi 1-1,5 m di mahkota dan dinding dengan kawat di mahkota		
Shotcrete	Penyangga yang digunakan adalah shotcrete t = 15 cm dengan wiremesh,	Penyangga yang digunakan adalah shotcrete t = 15 cm dengan wiremesh	Tebal 100-150 mm di mahkota dan 100 mm di sisinya		
Steel sets	steel rib I 150.75.5.7 jarak 0.60 m	steel rib I 150.75.5.7 jarak 0.60 m	Light sampai medium ribs spasi 1,5 m		
Stand Up Time	Stand up time sekitar 4 sampai 20 jam.	Stand up time sekitar <1 jam sampai 4 jam.	Stand up time 6 jam untuk span 1.5 m.		

Hasil studi terdahulu menggunakan perhitungan empirik yaitu metode *Rock Mass Rating System* (RMR), Galian dilaksanakan bertahap (top heading dan bench), Panjang penggalian maksimum 1.5 m. Dengan Rockbolt D25mm L = 4.00-6.00 m @ 150 (transversal); 0.60-1.20 m (longitudinal). Penyangga yang digunakan adalah shotcrete t = 15 cm dengan wiremesh. Steel rib I 150.75.5.7 jarak 0.60 m. Stand up time sekitar <1 jam sampai 20 jam.

Hasil tugas akhir berdasarkan metode *Rock Mass Rating System* (RMR) diperoleh Top heading and bench, 1.0 - 1.5 m maju kedalam top heading. Menginstal support bersamaan dengan excavation, 10 m dari depan. Systematic bolts 4 – 5 m, panjang spasi 1-1,5 m di mahkota dan dinding dengan kawat di mahkota. Tebal 100-150 mm di mahkota dan 100 mm di sisinya. Steel sets Light sampai medium ribs spasi 1,5 m. Stand up time 6 jam untuk span 1.5 m. Sedangkan berdasarkan metode Q-system rekomendasi penyangga yang diperoleh adalah fiber reinforced shotcrete 4-9 cm. Jenis bolt adalah systematic bolt dengan spasi 1.7-2 m pada daerah shotcrete dan spasi 1.3-1.5 m pada derah tanpa shotcrete. Panjang rockbolt adalah sebesar 2 m, Span maksimum tanpa penyangga adalah sebesar 3.07-3.87 m.

Setelah mengetahui rekomendasi penggalain dan penyangga maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dengan metode numerik. Dimana rekomendasi penggalian dan penyangga yang akan diinput pada metode numerik adalah *top heading and bench* untuk metode penggalian dengan panjang penggalian 1 m masuk kedalam *top heading*. *Support* yang digunakan adalah *shotcrete* dengan tebal 15 cm. Selain merupakan input untuk metode numerik, metode empirik juga dapat dibandingkan dengan metode numerik, dimana nilai yang akan dibandingkan adalah nilai tegangan yang terjadi di atas terowongan. Berikut adalah hasil analisis untuk metode numerik.

5.5.2 Analisis Desain Terowongan dengan Menggunakan PHASE2

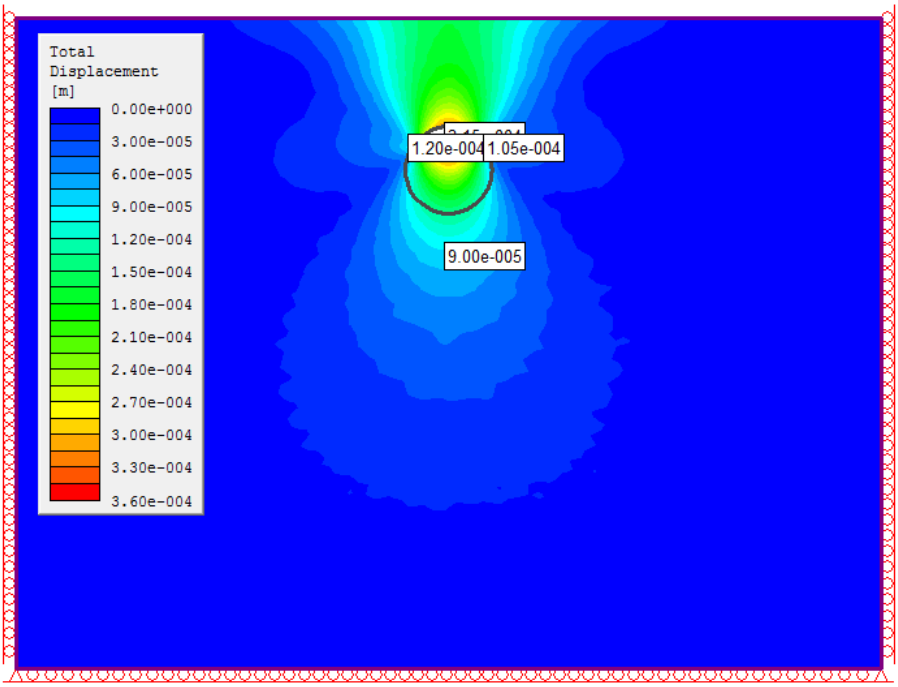
PHASE2 merupakan salah satu program komputer finite element untuk mendesain terwongan. Pemodelan terowongan akan dianalisis dengan menggunakan dua pemodelan batuan yaitu Model Mohr Coulumb dan Hoek-Brown. Dengan mempertimbangkan *joint* maupun tanpa mempertimbangkan

joint. Analisis akan ditinjau pada kondisi *support* dan *unsupport*. Berikut ini adalah hasil analisis desain dengan menggunakan PHASE2.

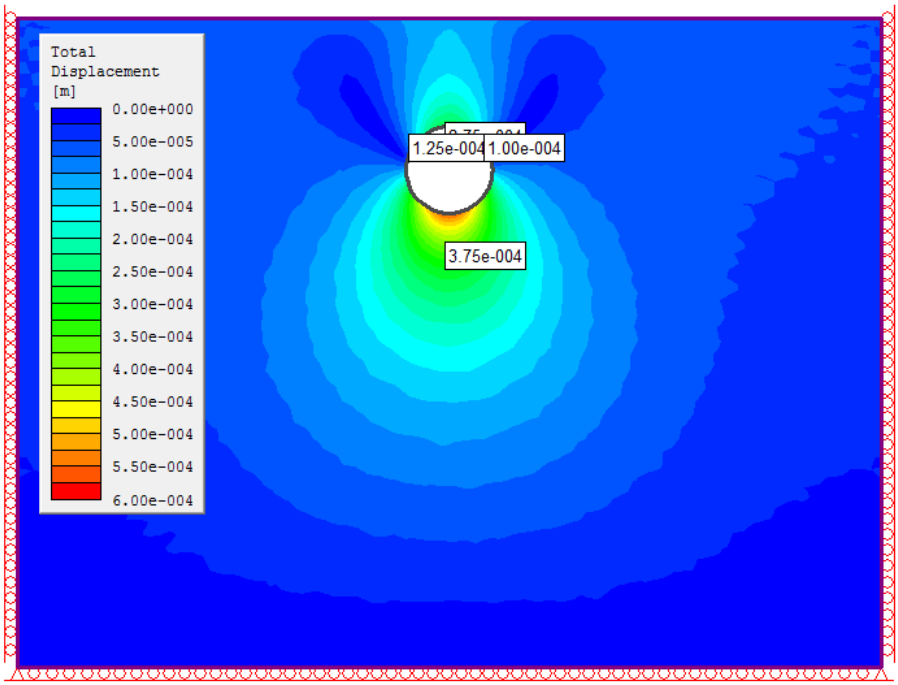
5.5.2.1 Analisis PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint.

Berikut ini adalah hasil analisis PHASE2 tanpa support dan tidak mempertimbangkan joint. Dimana pemodelan yang digunakan adalah Mohr Coulumb dan Hoek and Brown.

– Total Displacement Mohr Coulumb PHASE2 tanpa support dan tidak mempertimbangkan joint.

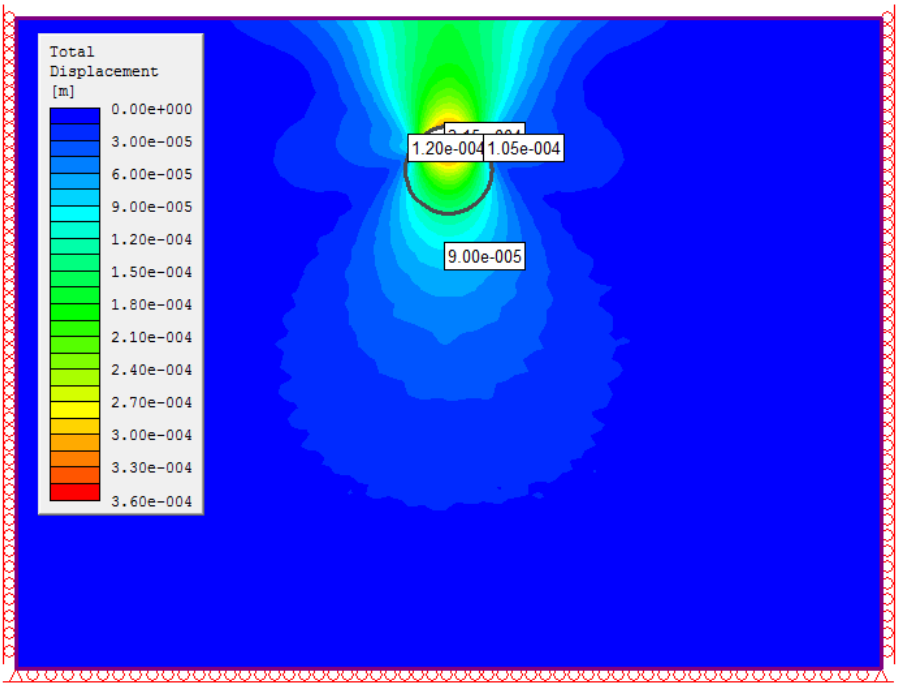


Gambar 5. 8 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint.

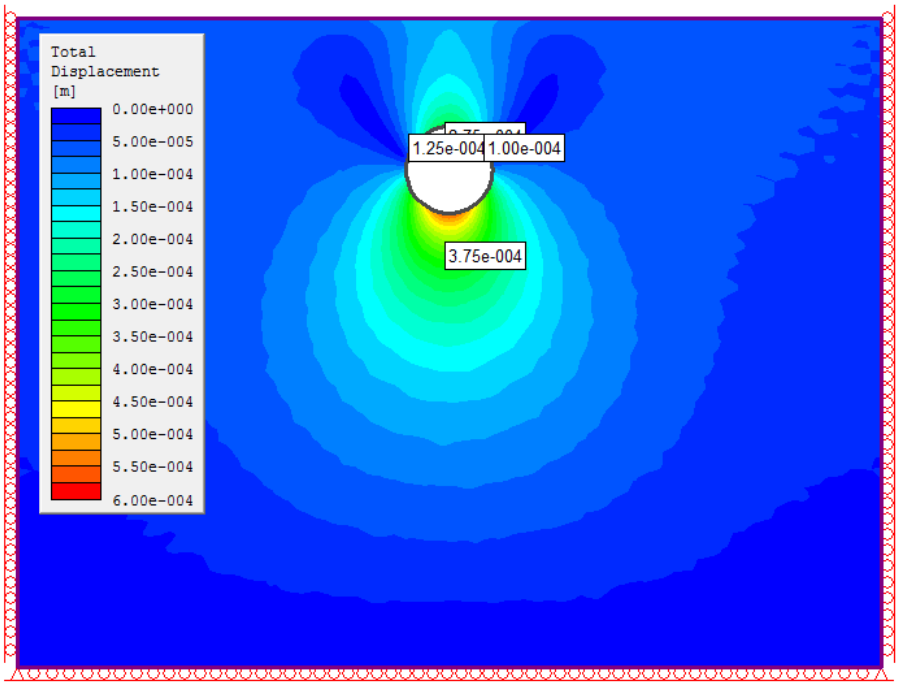


Gambar 5. 9 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint.

– Total Displacement Hoek and Brown PHASE2 tanpa support dan tidak mempertimbangkan joint.



Gambar 5. 10 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint.



Gambar 5. 11 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Tanpa Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint.

Berikut adalah nilai total displacement PHASE2 tanpa support dan tidak mempertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah.

Tabel 5. 9 Nilai total displacement PHASE2 tanpa support dan tidak memepertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah

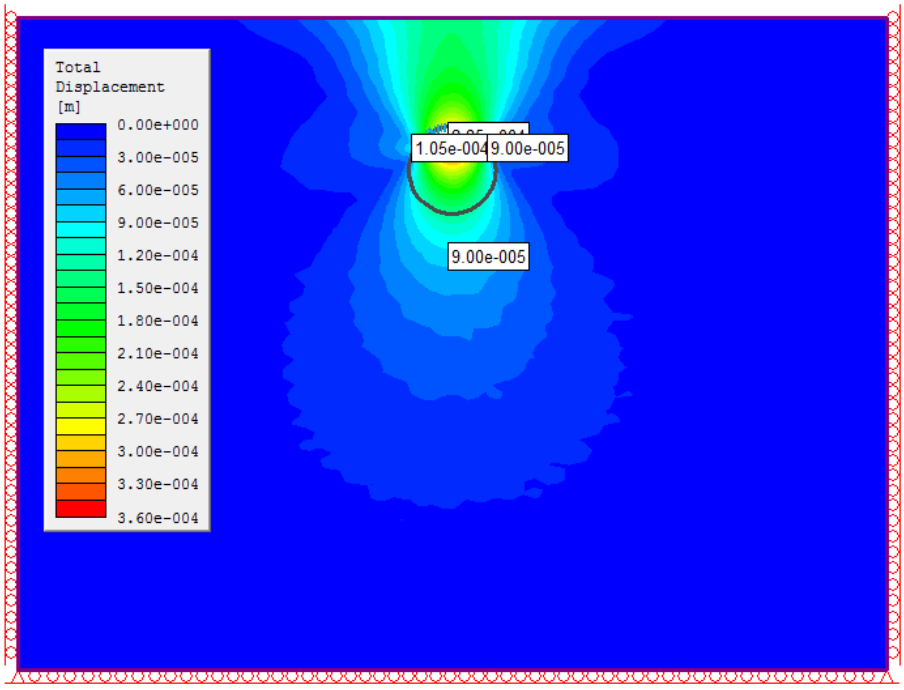
Lokasi	Total displacement (m)			
	Mohr Coulumb		Hoek and Brown	
	Top Heading	Bench	Top Heading	Bench
Right wall	1.05×10^{-4}	1.00×10^{-4}	1.05×10^{-4}	1.00×10^{-4}
Roof	3.15×10^{-4}	2.75×10^{-4}	3.15×10^{-4}	2.75×10^{-4}
Left wall	1.20×10^{-4}	1.25×10^{-4}	1.20×10^{-4}	1.25×10^{-4}
Floor	9.10×10^{-5}	3.75×10^{-4}	9.10×10^{-5}	3.75×10^{-4}

Dari hasil analisis diperoleh nilai total displacement untuk pemodelan Mohr Coulumb dan Hoek dan Brown adalah sama.

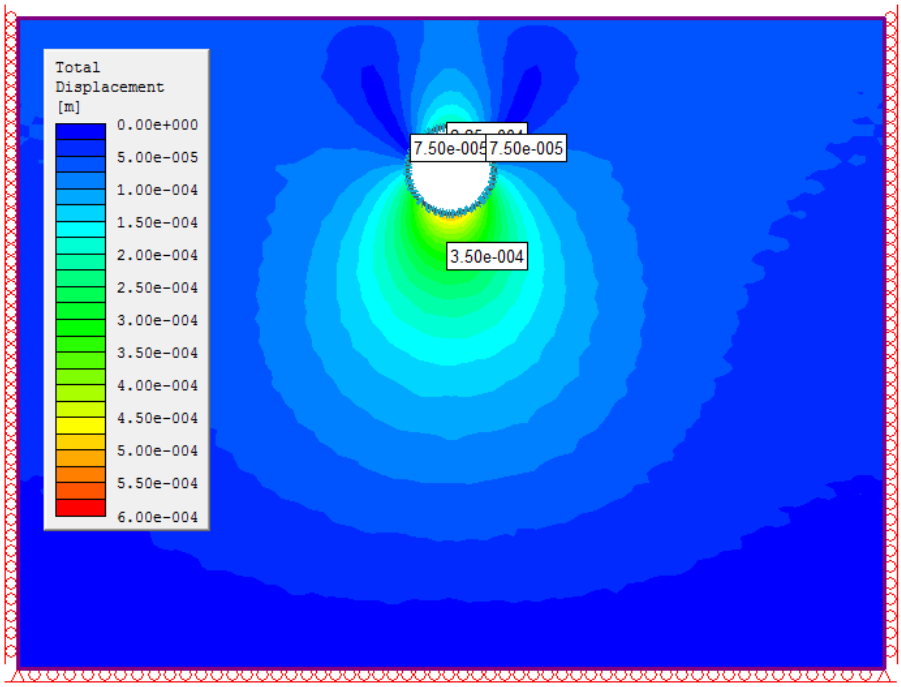
5.5.2.2 Analisis PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint.

Berikut ini adalah hasil analisis PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint. Dimana pemodelan yang digunakan adalah Mohr Coulumb dan Hoek and Brown.

– Total Displacement Mohr Coulumb PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint.

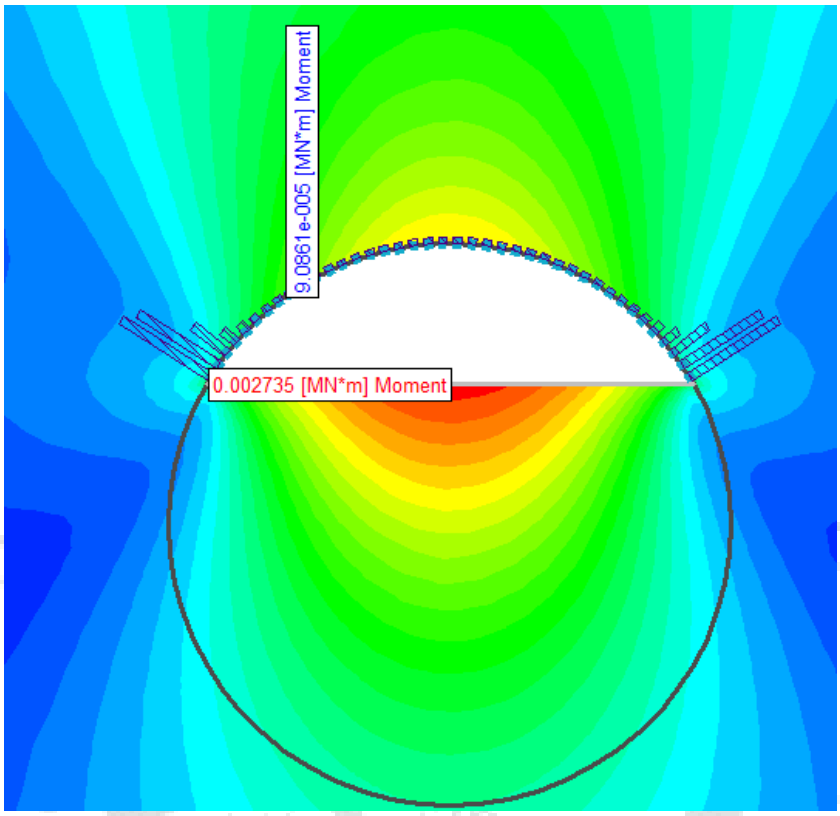


Gambar 5. 12 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

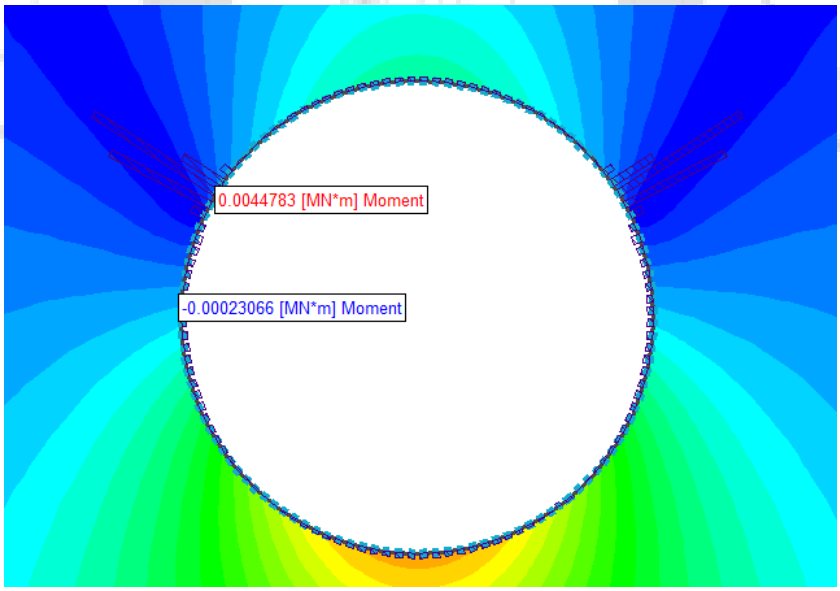


Gambar 5. 13 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

– Bending Moment Shotcrete Mohr Coulumb PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint.

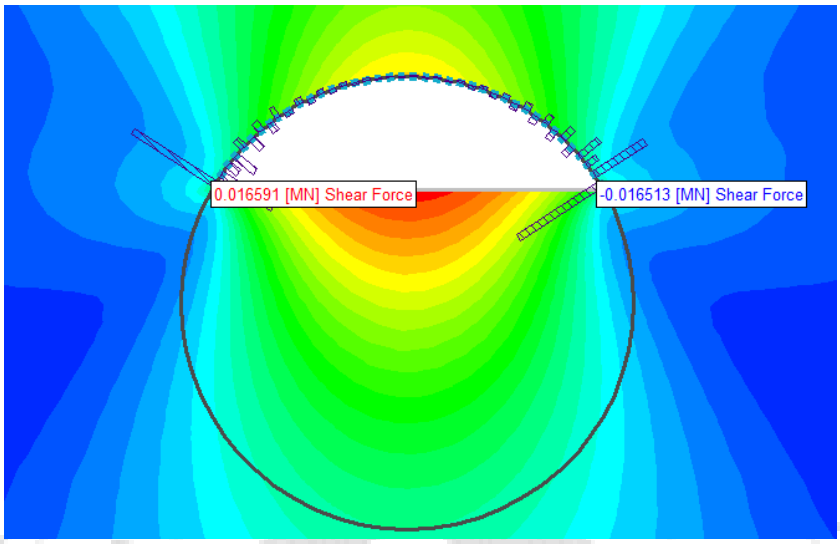


Gambar 5. 14 Bending Moment Shotcrete Top Heading Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

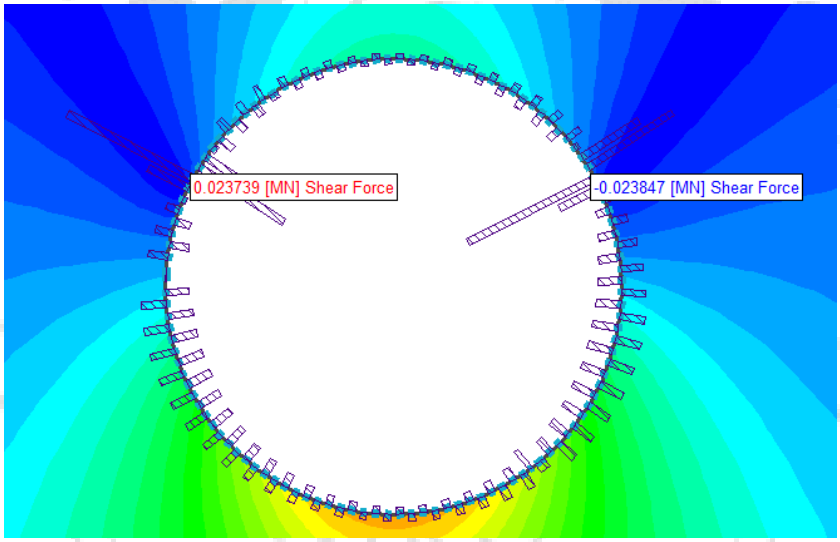


Gambar 5. 15 Bending Moment Shotcrete Bench Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

– Shear Force Shotcrete Mohr Coulumb PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint.

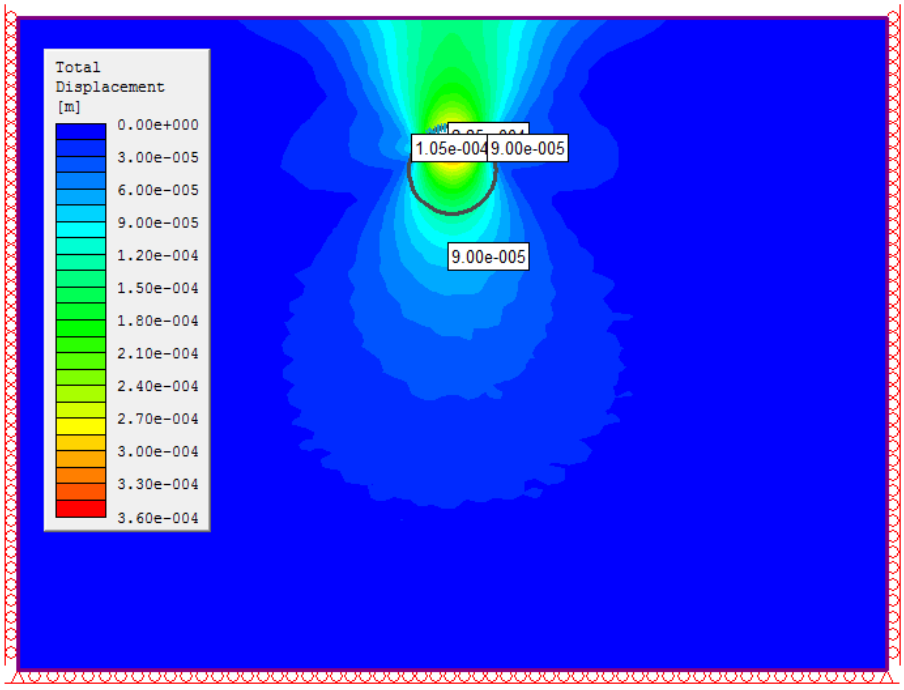


Gambar 5. 16 Shear Force Shotcrete Top Heading Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

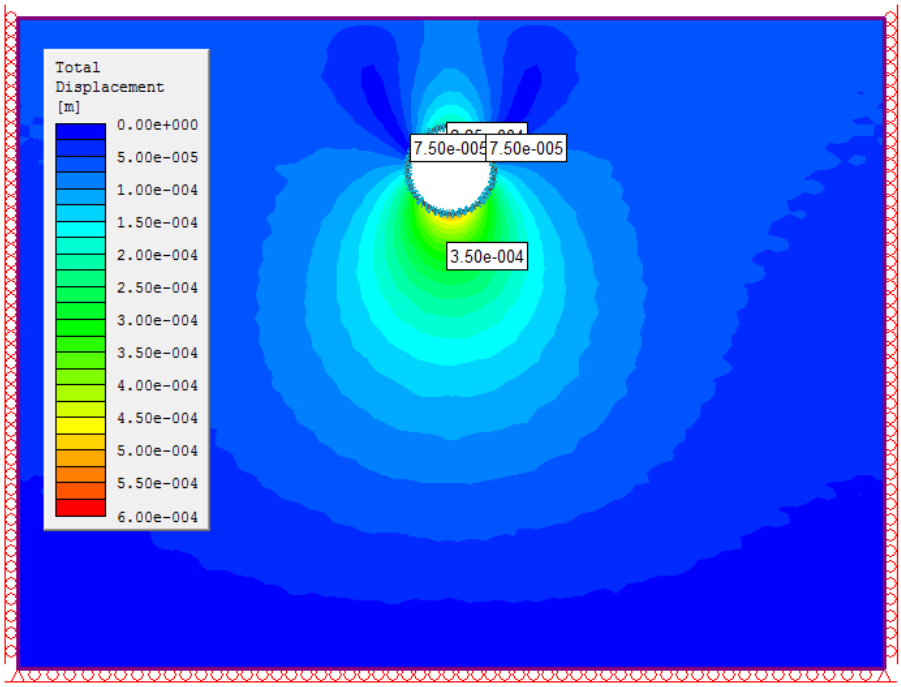


Gambar 5. 17 Shear Force Shotcrete Bench Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

– Total Displacement Hoek and Brown PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint.

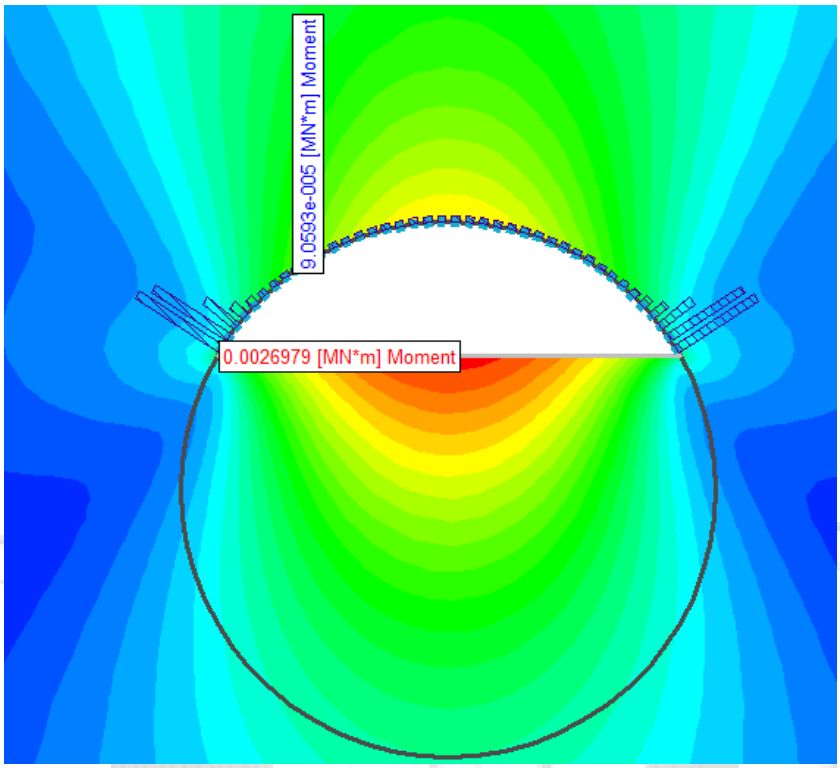


Gambar 5. 18 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

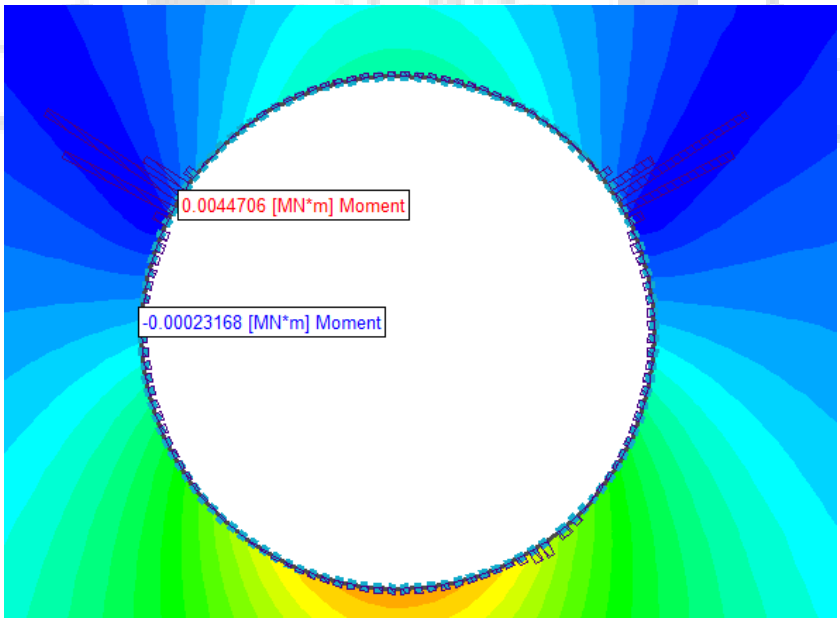


Gambar 5. 19 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

– Bending Moment Shotcrete Hoek and Brown PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint.

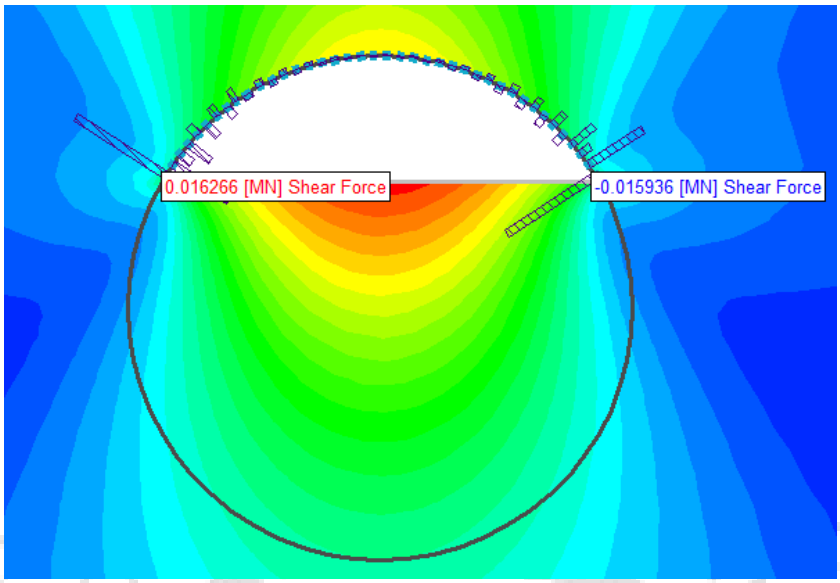


Gambar 5. 20 Bending Moment Shotcrete Top Heading Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

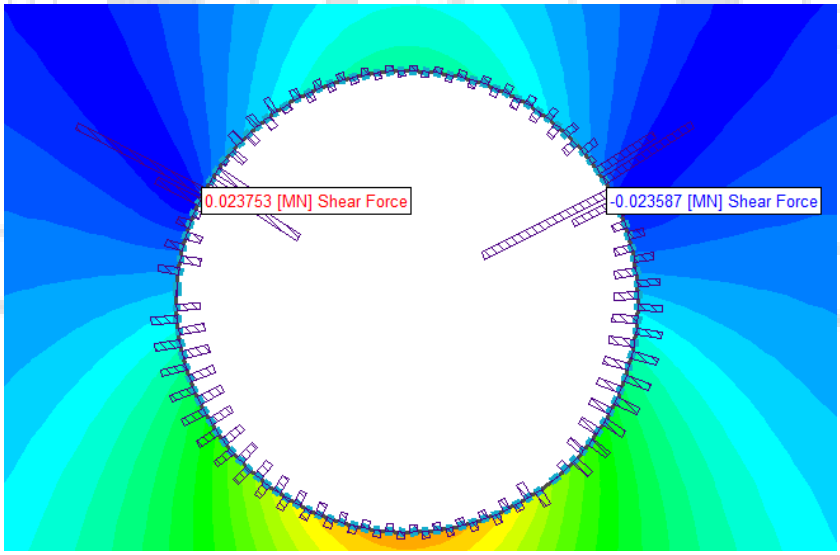


Gambar 5. 21 Bending Moment Shotcrete Bench Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

– Shear Force Shotcrete Hoek and Brown PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint.



Gambar 5. 22 Shear Force Shotcrete Top Heading Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint



Gambar 5. 23 Shear Force Shotcrete Bench Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Tidak Mempertimbangkan Joint

Berikut adalah hasil analis PHASE2 dengan support dan tidak mempertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah.

Tabel 5. 10 Nilai total displacement displacement PHASE2 dengan support dan tidak memepertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah

Lokasi	Total displacement (m)			
	Mohr Coulumb		Hoek and Brown	
	Top Heading	Bench	Top Heading	Bench
Right wall	9.00×10^{-5}	7.50×10^{-5}	9.00×10^{-5}	7.50×10^{-5}
Roof	2.85×10^{-4}	2.25×10^{-4}	2.85×10^{-4}	2.25×10^{-4}
Left wall	1.05×10^{-4}	7.50×10^{-5}	1.05×10^{-4}	7.50×10^{-5}
Floor	9.00×10^{-5}	3.50×10^{-4}	9.00×10^{-5}	3.50×10^{-4}

Tabel 5. 11 Hasil analisis support PHASE2 dengan support dan tidak memepertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah

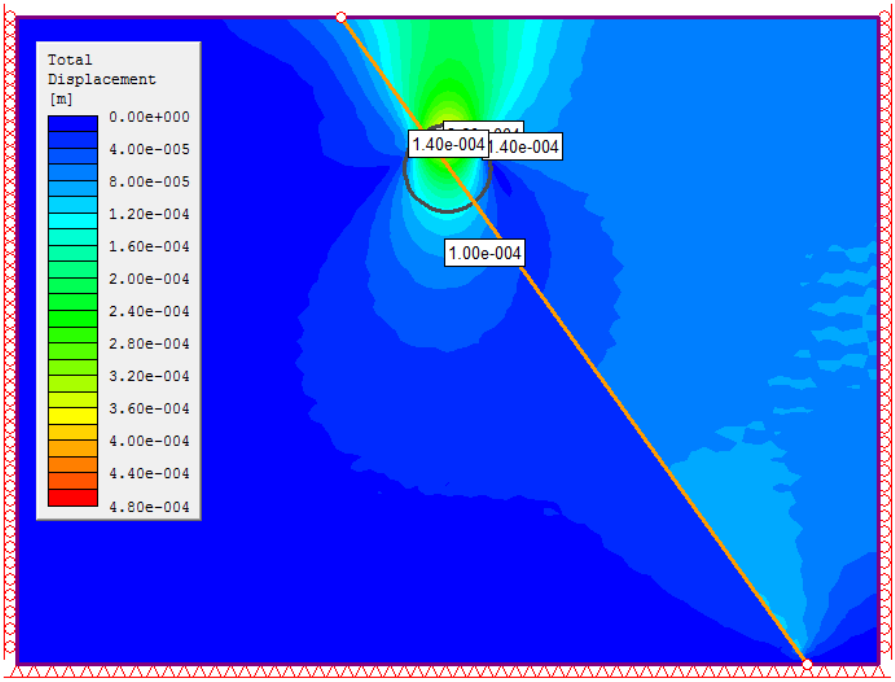
Jenis Support	Parameter	Mohr Coulumb				Hoeak and Brown			
		Top Heading		Bench		Top Heading		Bench	
		Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min
Shotcrete	Bending Moment (MN × m)	0.0027	0.0001	0.0045	-0.0002	0.0027	0.0001	0.0045	-0.0002
	Shear Force (MN)	0.0166	-0.0165	0.0237	-0.0238	0.0166	-0.0170	0.0238	-0.0236

Dari hasil analisis diperoleh nilai total displacement, bending moment shotcrete, dan shear force shotcrete untuk pemodelan Mohr Coulumb dan Hoek dan Brown adalah sama.

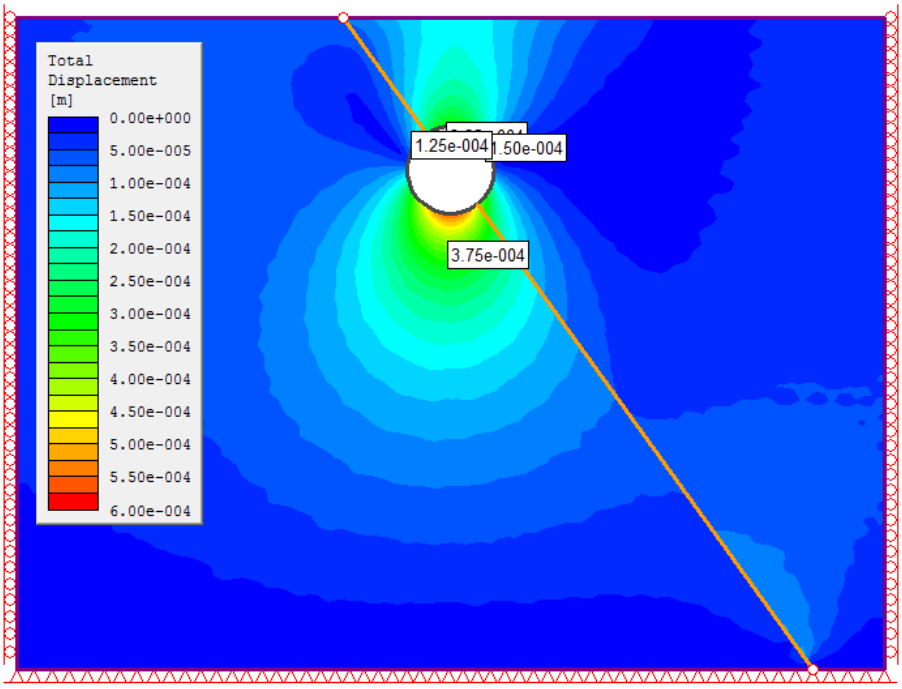
5.5.2.3 Analisis PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint

Berikut ini adalah hasil analisis PHASE2 tanpa support dan memepertimbangkan joint. Dimana pemodelan yang digunakan adalah Mohr Coulumb dan Hoek and Brown.

– Total Displacement Mohr Coulumb tanpa support dan mempertimbangkan joint.

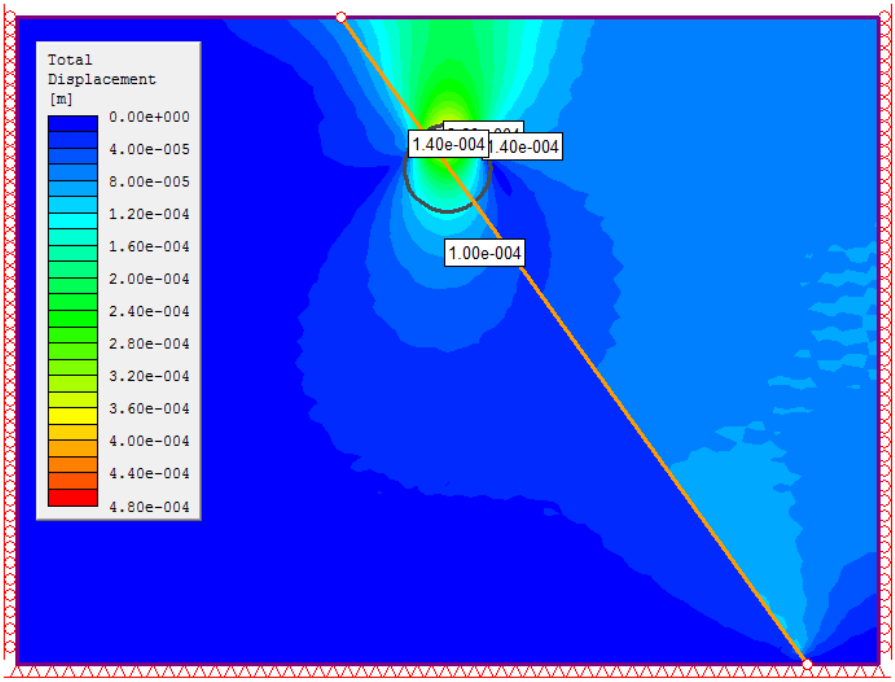


Gambar 5. 24 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint

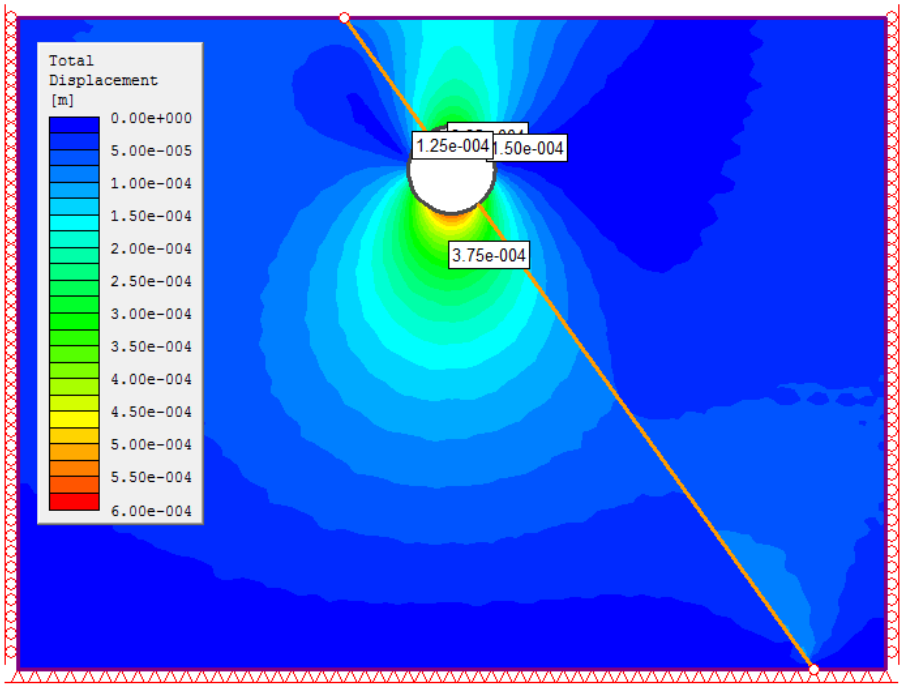


Gambar 5. 25 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint

– Total Displacement Hoeak and Brown tanpa support dan mempertimbangkan joint.



Gambar 5. 26 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint



Gambar 5. 27 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Tanpa Support dan Mempertimbangkan Joint

Berikut adalah nilai total displacement PHASE2 tanpa support dan mempertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah.

Tabel 5. 12 Nilai total displacement displacement PHASE2 dengan support dan tidak memepertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah

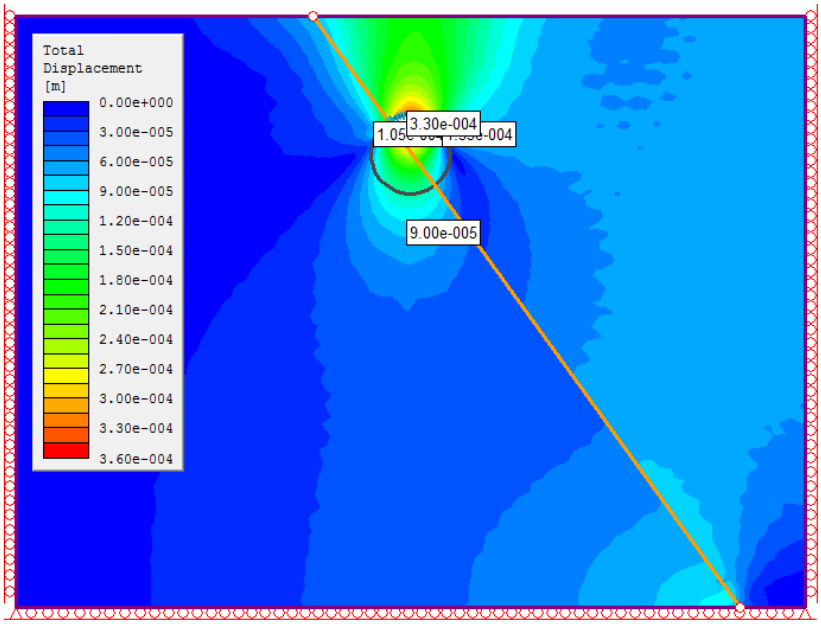
Lokasi	Total displacement (m)			
	Mohr Coulumb		Hoek and Brown	
	Top Heading	Bench	Top Heading	Bench
Right wall	1.40×10^{-4}	1.50×10^{-4}	1.40×10^{-4}	1.50×10^{-4}
Roof	3.60×10^{-4}	3.25×10^{-4}	3.60×10^{-4}	3.25×10^{-4}
Left wall	1.40×10^{-4}	1.25×10^{-4}	1.40×10^{-4}	1.25×10^{-4}
Floor	1.00×10^{-4}	3.75×10^{-4}	1.00×10^{-4}	3.75×10^{-4}

Dari hasil analisis diperoleh nilai total displacement untuk pemodelan Mohr Coulumb dan Hoek dan Brown adalah sama.

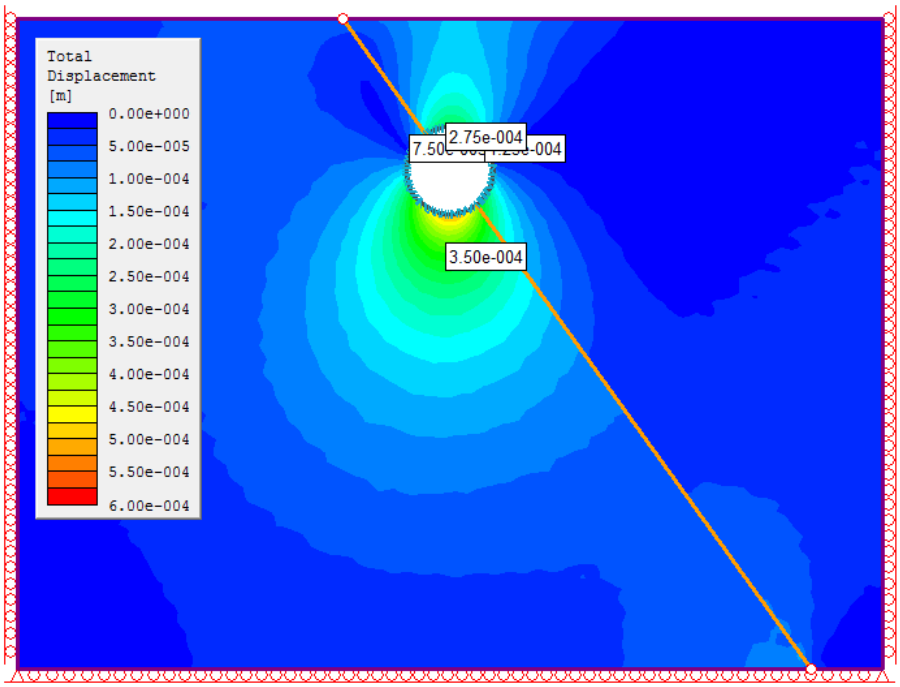
5.5.2.4 Analisis PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

Berikut ini adalah hasil analisis PHASE2 dengan support dan mempertimbangkan joint. Dimana pemodelan yang digunakan adalah Mohr Coulumb dan Hoek and Brown.

– Total Displacement Mohr Coulumb dengan support dan mempertimbangkan joint.

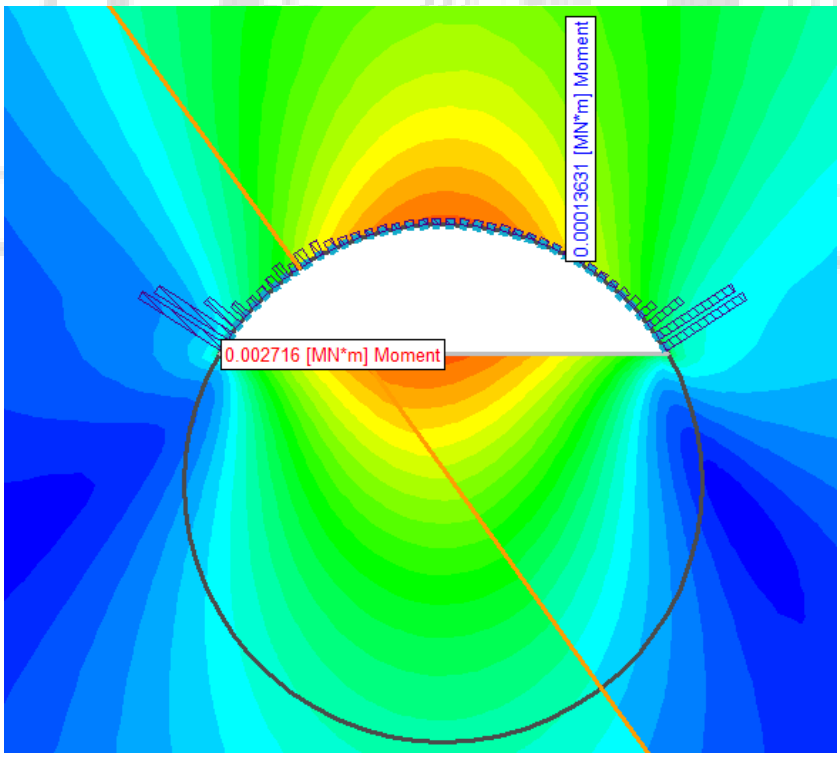


Gambar 5. 28 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

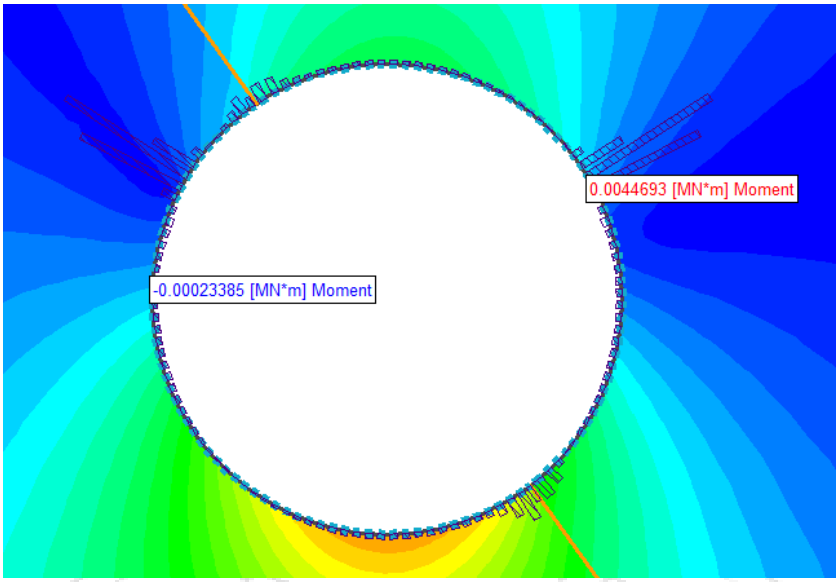


Gambar 5. 29 Total Displacement Top Bench dengan Pemodelan Mohr-Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

– Bending Moment Shotcrete Mohr Coulumb dengan support dan mempertimbangkan joint.

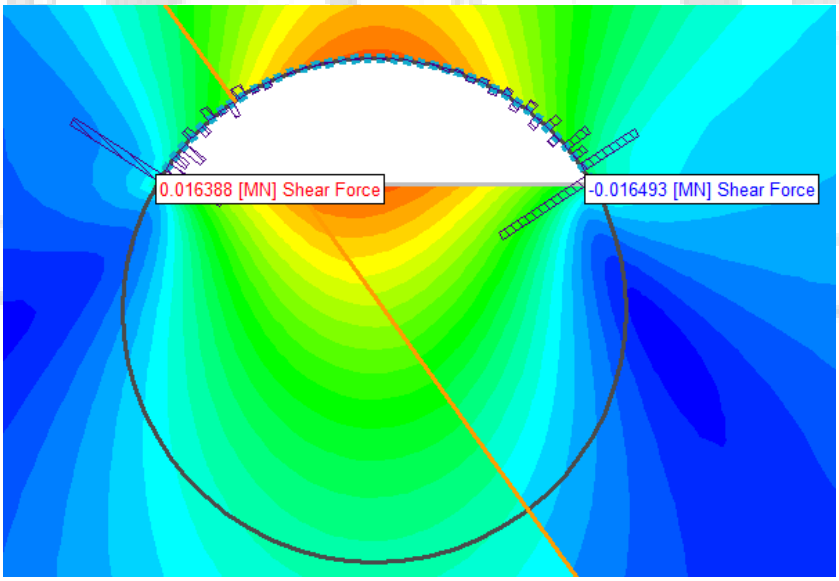


Gambar 5. 30 Bending Moment Shotcrete Top Heading Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

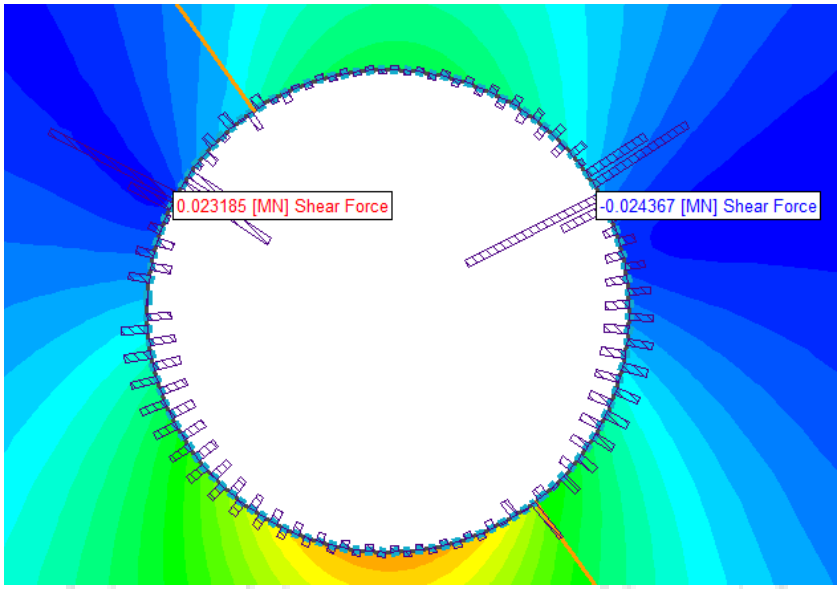


Gambar 5. 31 Bending Moment Shotcrete Bench Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

– Shear Force Shotcrete Mohr Coulumb dengan support dan mempertimbangkan joint.

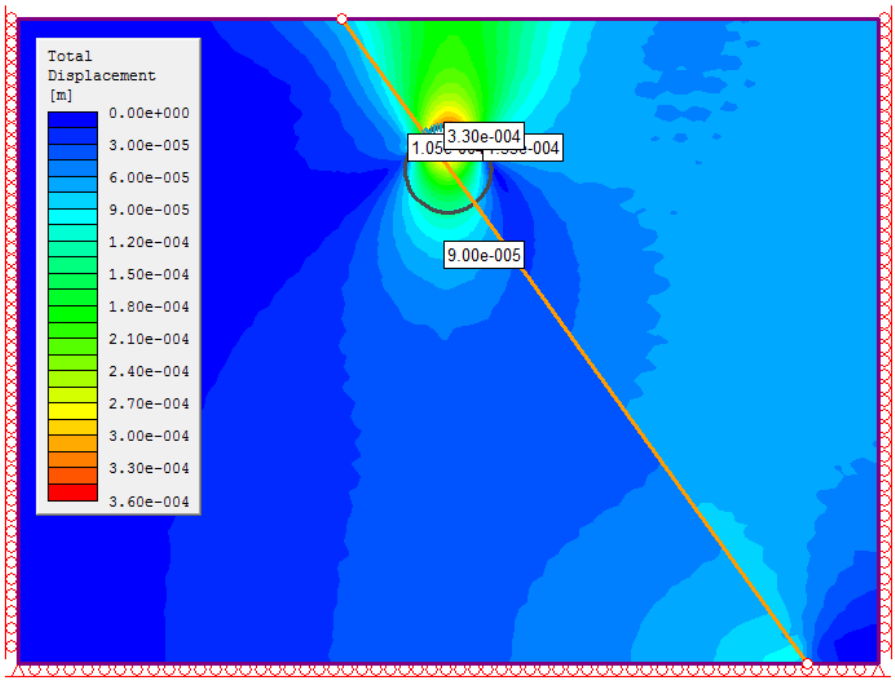


Gambar 5. 32 Shear Force Shotcrete Top Heading Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

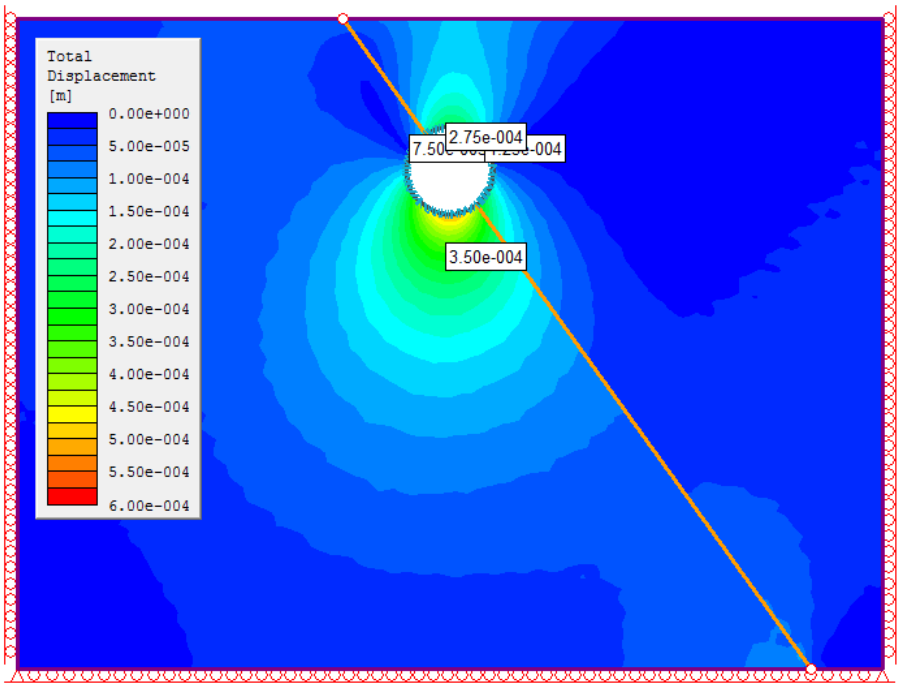


Gambar 5. 33 Shear Force Shotcrete Bench Mohr Coulumb PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

– Total Displacement Hoek and Brown dengan support dan mempertimbangkan joint.

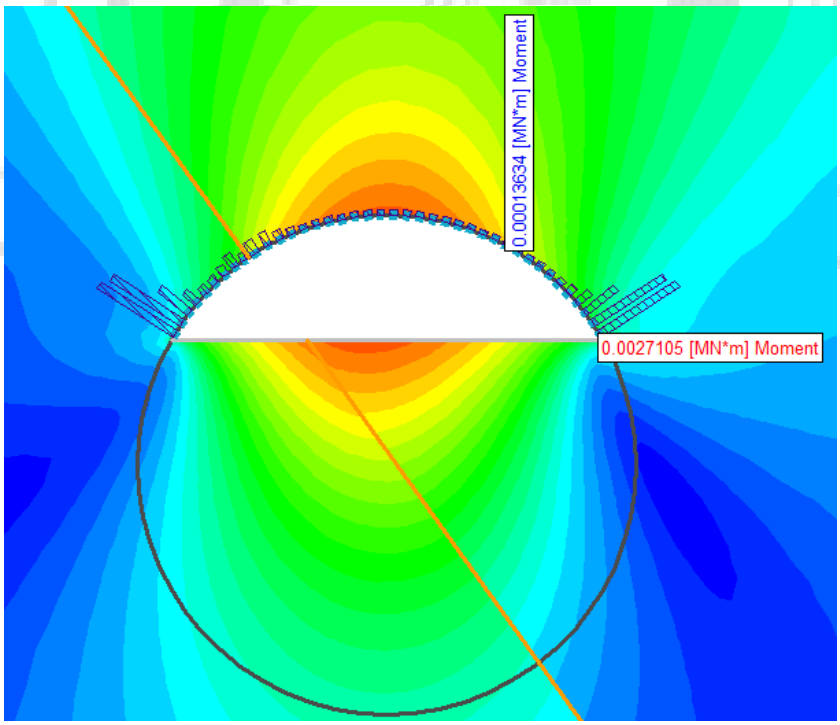


Gambar 5. 34 Total Displacement Top Heading dengan Pemodelan Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

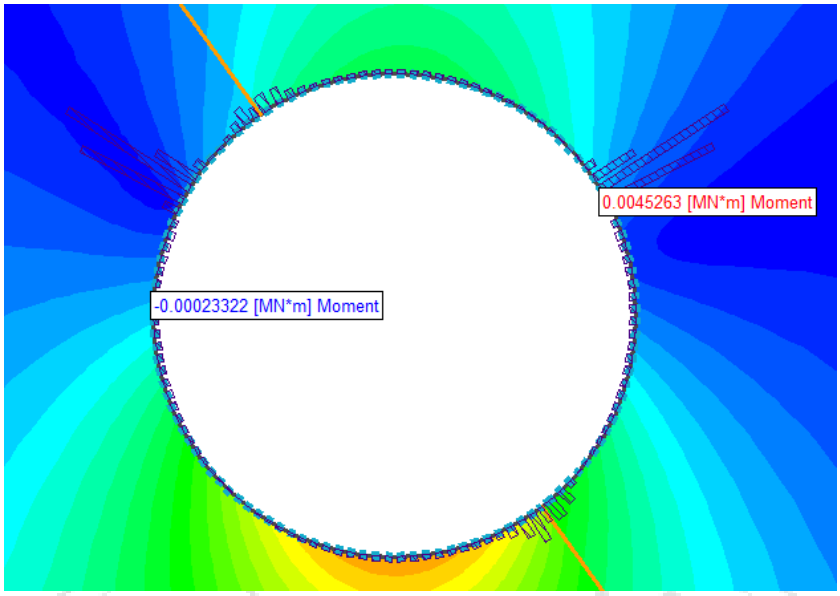


Gambar 5. 35 Total Displacement Bench dengan Pemodelan Hoeak and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

– Bending Moment Shotcrete Hoek and Brown dengan support dan mempertimbangkan joint.

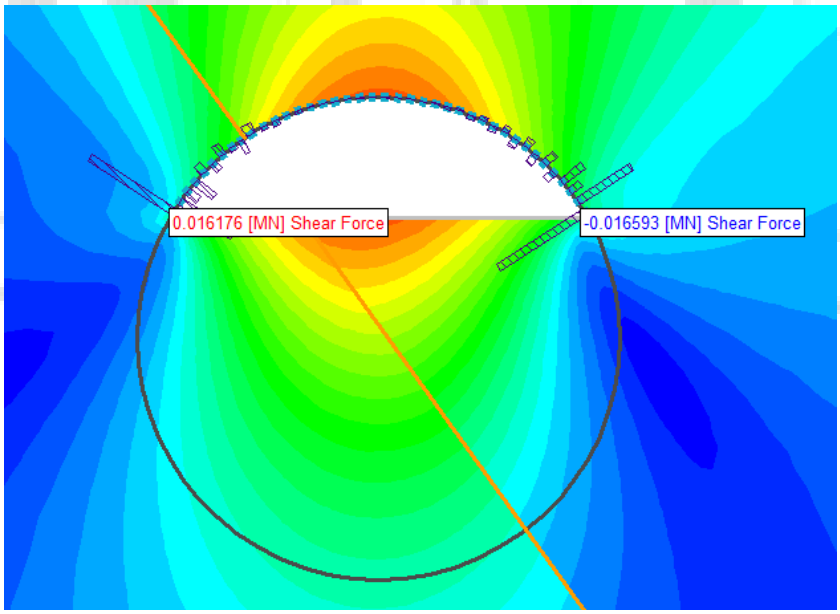


Gambar 5. 36 Bending Moment Shotcrete Top Heading Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

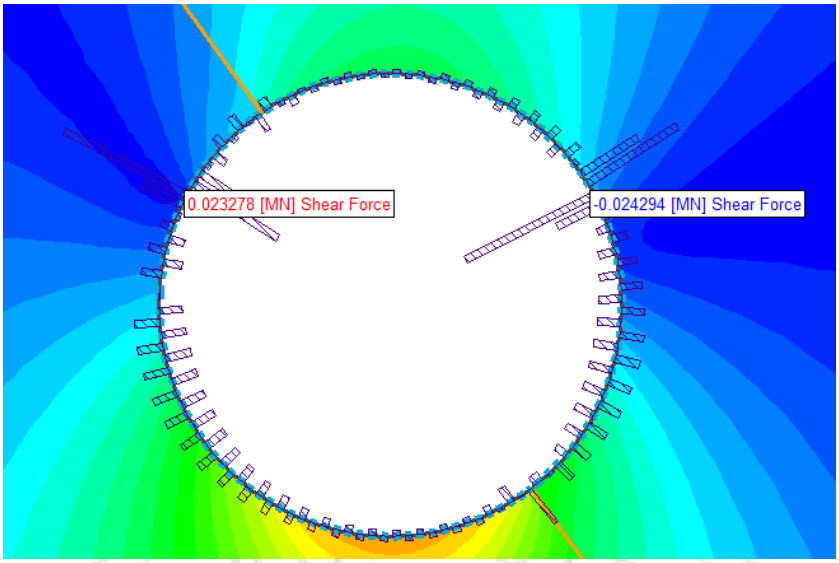


Gambar 5. 37 Bending Moment Shotcrete Bench Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

– Shear Force Shotcrete Hoek and Brown dengan support dan mempertimbangkan joint.



Gambar 5. 38 Shear Force Shotcrete Top Heading Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint



Gambar 5. 39 Shear Force Shotcrete Bench Hoek and Brown PHASE2 Dengan Support dan Mempertimbangkan Joint

Berikut adalah hasil analisis PHASE2 dengan support dan mempertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah.

Tabel 5. 13 Nilai total displacement displacement PHASE2 dengan support dan mempertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah

Lokasi	Total displacement (m)			
	Mohr Coulumb		Hoek and Brown	
	Top Heading	Bench	Top Heading	Bench
Right wall	1.35×10^{-4}	1.25×10^{-4}	1.35×10^{-4}	1.25×10^{-4}
Roof	3.30×10^{-4}	2.75×10^{-4}	3.30×10^{-4}	2.75×10^{-4}
Left wall	1.05×10^{-4}	7.50×10^{-5}	1.05×10^{-4}	7.50×10^{-5}
Floor	9.00×10^{-5}	3.50×10^{-4}	9.00×10^{-5}	3.50×10^{-4}

Tabel 5. 14 Hasil analisis support PHASE2 dengan support dan mempertimbangkan joint untuk kedua jenis pemodelan tanah

Jenis Support	Parameter	Mohr Coulumb				Hoeak and Brown			
		Top Heading		Bench		Top Heading		Bench	
		Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min
Shotcrete	Bending Moment (MN × m)	0.0027	0.0001	0.0045	-0.0002	0.0027	0.0001	0.0045	-0.0002
	Shear Force (MN)	0.0164	-0.0166	0.0232	-0.0244	0.0162	-0.0166	0.0233	-0.0243

Dari hasil analisis diperoleh nilai bending moment shotcrete dan shear force shotcrete untuk pemodelan Mohr Coulumb dan Hoek dan Brown adalah sama. Hal ini seperti hasil analisis yang dilakukan oleh Mazmur Togar, Imam Aschuri, dan Bemby Sunaryo (2012) dalam papernya yang berjudul "*Analisis Stabilitas Terowongan Batuan Dengan Metode Elemen Hingga Berdasarkan Teori Mohr-Coulumb & Hoek and Brown*" bahwa nilai gaya dalam untuk pemodelan Mohr Coulumb dan Hoek dan Brown pada kondisi ADT (*Active Diversion Tunnel*) adalah sama. Pada kondisi Max *Water Level At Dam,* nilai gaya aksial yang dihasilkan oleh pemodelan Mohr Coulumb lebih besar dibandingkan hasil pemodelan material menggunakan Hoek and Brown. Pada kondisi Max *Water Level At Dam,* nilai gaya geser dan momen yang dihasilkan oleh pemodelan Hoek and Brown lebih besar dibandingkan hasil pemodelan menggunakan Mohr Coulumb.

5.5.3 Perbandingan Pengaruh Support dan Joint Pada Analisis PHASE2

Berikut akan diperlihatkan perbandingan pengaruh support dan joint pada analisis PHASE2:

– Pengaruh support pada PHASE2 dengan tidak mempertimbangkan joint.
  Berikut adalah tabel pengaruh joint pada PHASE2 dengan support:

Tabel 5. 15 Pengaruh support pada PHASE2 dengan tidak mempertimbangkan joint

Lokasi	Total Displacement (m)			
	Top Heading		Bench	
	Unsupport	Support	Unsupport	Support
Right wall	1.05×10^{-4}	9.00×10^{-5}	1.00×10^{-4}	7.50×10^{-5}
Roof	3.15×10^{-4}	2.85×10^{-4}	2.75×10^{-4}	2.25×10^{-4}
Left wall	1.20×10^{-4}	1.05×10^{-4}	1.25×10^{-4}	7.50×10^{-5}
Floor	9.10×10^{-5}	9.00×10^{-5}	3.75×10^{-4}	3.50×10^{-4}

– Pengaruh support pada PHASE2 dengan mempertimbangkan joint.
  Berikut adalah tabel pengaruh support pada PHASE2 dengan mempertimbangkan joint:

Tabel 5. 16 Pengaruh support pada PHASE2 dengan mempertimbangkan joint

Lokasi	Total Displacement (m)			
	Top Heading		Bench	
	Unsupport	Support	Unsupport	Support
Right wall	1.40×10^{-4}	1.35×10^{-4}	1.50×10^{-4}	1.25×10^{-4}
Roof	3.60×10^{-4}	3.30×10^{-4}	3.25×10^{-4}	2.75×10^{-4}
Left wall	1.40×10^{-4}	1.05×10^{-4}	1.25×10^{-4}	7.50×10^{-5}
Floor	1.00×10^{-4}	9.00×10^{-5}	3.75×10^{-4}	3.50×10^{-4}

– Pengaruh joint pada PHASE2 untuk kondisi support.

  Berikut adalah tabel pengaruh joint pada PHASE2 untuk kondisi support:

Tabel 5. 17 Pengaruh joint pada PHASE2 untuk kondisi support

Lokasi	Total Displacement (m)			
	Top Heading		Bench	
	Unjoint	Joint	Unjoint	Joint
Right wall	9.00×10^{-5}	1.35×10^{-4}	7.50×10^{-5}	1.25×10^{-4}
Roof	2.85×10^{-4}	3.30×10^{-4}	2.25×10^{-4}	2.75×10^{-4}
Left wall	1.05×10^{-4}	1.05×10^{-4}	7.50×10^{-5}	7.50×10^{-5}
Floor	9.00×10^{-5}	9.00×10^{-5}	3.50×10^{-4}	3.50×10^{-4}

– Pengaruh joint pada PHASE2 untuk kondisi unsupport.

  Berikut adalah tabel pengaruh joint pada PHASE2 untuk kondisi unsupport

Tabel 5. 18 Pengaruh joint pada PHASE2 untuk kondisi unsupport

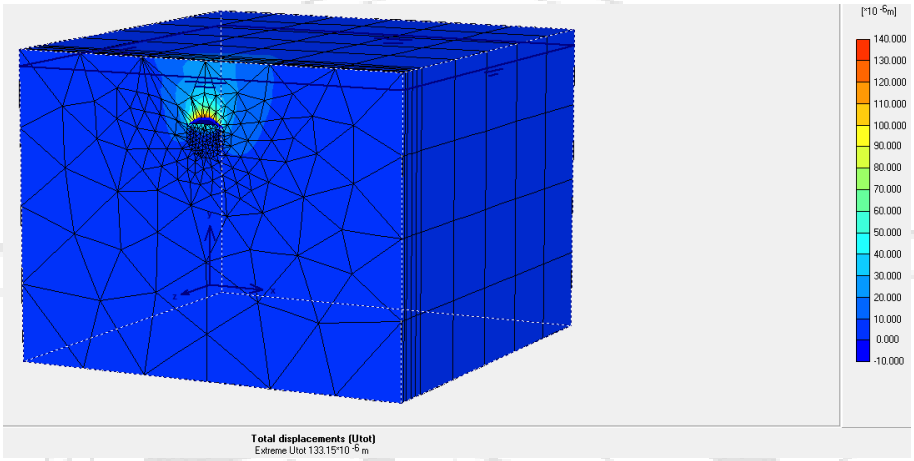
Lokasi	Total Displacement (m)			
	Top Heading		Bench	
	Unjoint	Joint	Unjoint	Joint
Right wall	1.05×10^{-4}	1.40×10^{-4}	1.00×10^{-4}	1.50×10^{-4}
Roof	3.15×10^{-4}	3.60×10^{-4}	2.75×10^{-4}	3.25×10^{-4}
Left wall	1.20×10^{-4}	1.40×10^{-4}	1.25×10^{-4}	1.25×10^{-4}
Floor	9.10×10^{-5}	1.00×10^{-4}	3.75×10^{-4}	3.75×10^{-4}

Dari hasil perbandingan diperoleh nilai total displacement dengan mempertimbangkan joint lebih besar (maksimal sama) dibandingkan dengan yang tidak mempertimbangkan joint. Dan nilai nilai total displacement untuk kondisi support lebih kecil (maksimal sama) dibandingkan dengan kondisi unsupport.

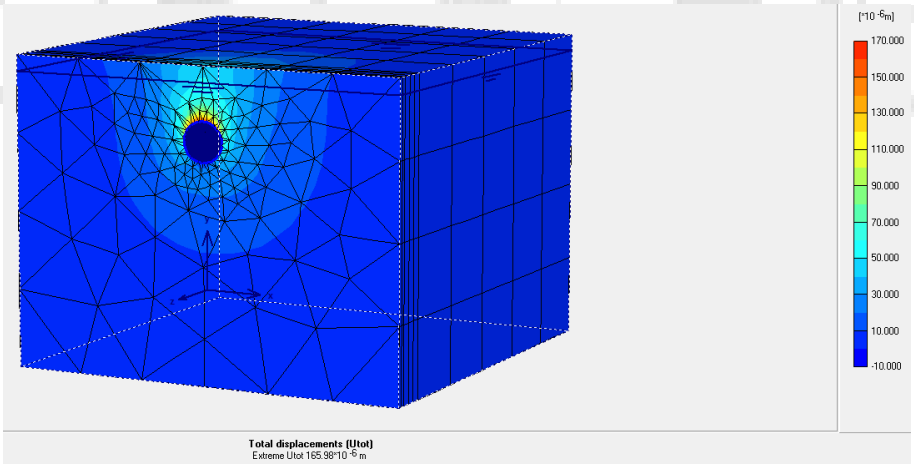
5.5.4 Analisis Desain Terowongan dengan Menggunakan Plaxis 3D Tunnel

Analisis desain terowongan dengan menggunakan finite element dilakukan dengan menggunakan program komputer Plaxis 3D Tunnel. Pemodelan terowongan akan dianalisis dengan menggunakan Model Mohr Coulumb. Analisis dengan Plaxis 3D tidak mempertimbangkan joint. Berikut ini adalah hasil analisis dengan menggunakan Plaxis 3D Tunnel.

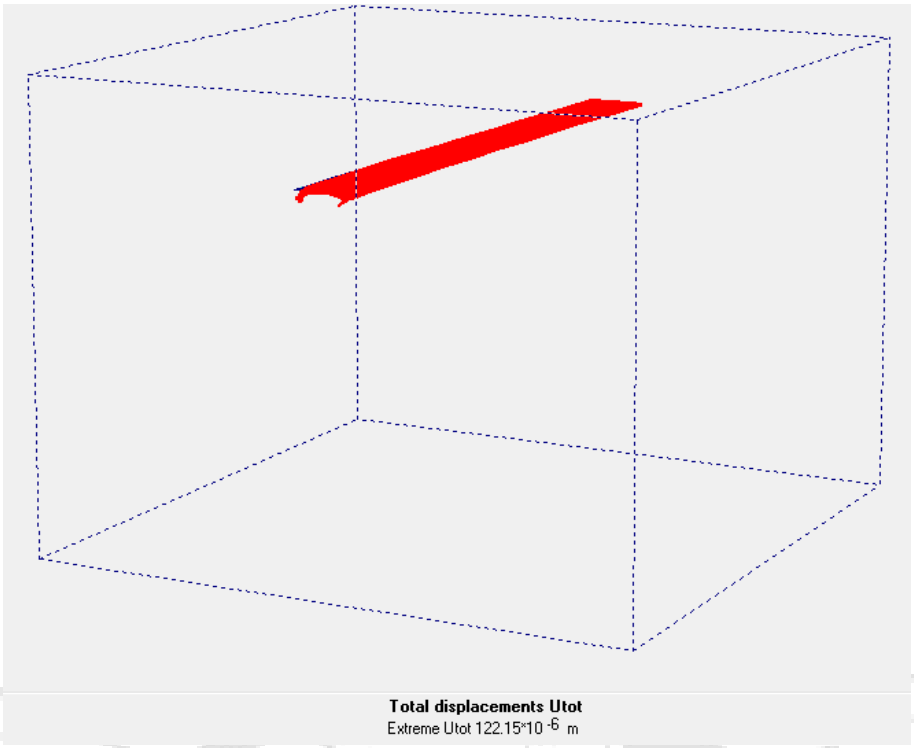
– Total Displacement



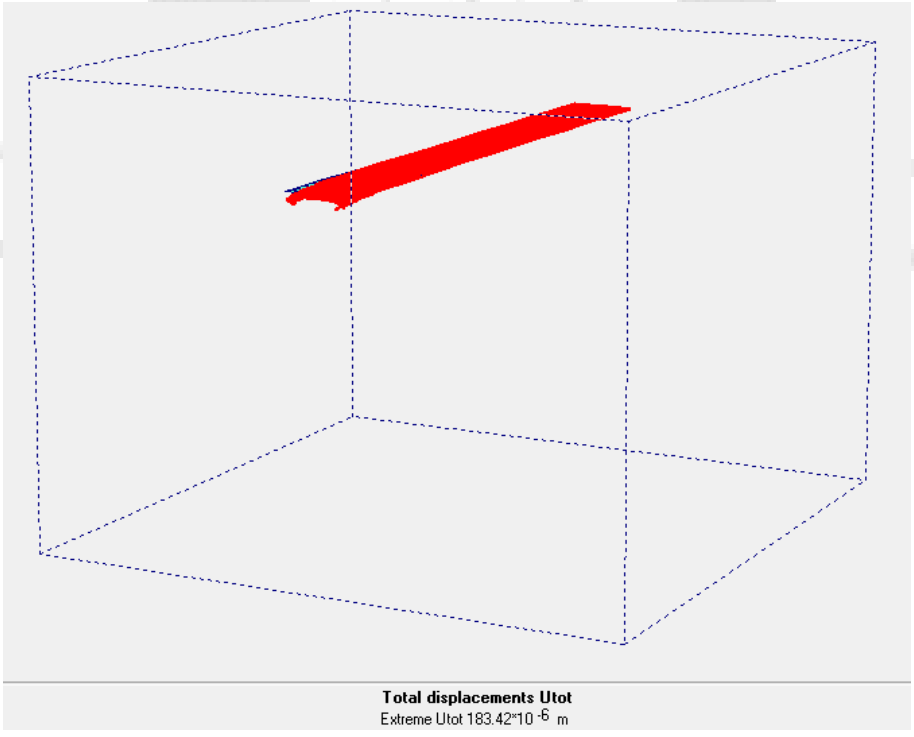
Gambar 5. 40 Total displacement top heading 3D Plaxis 3D Tunnel



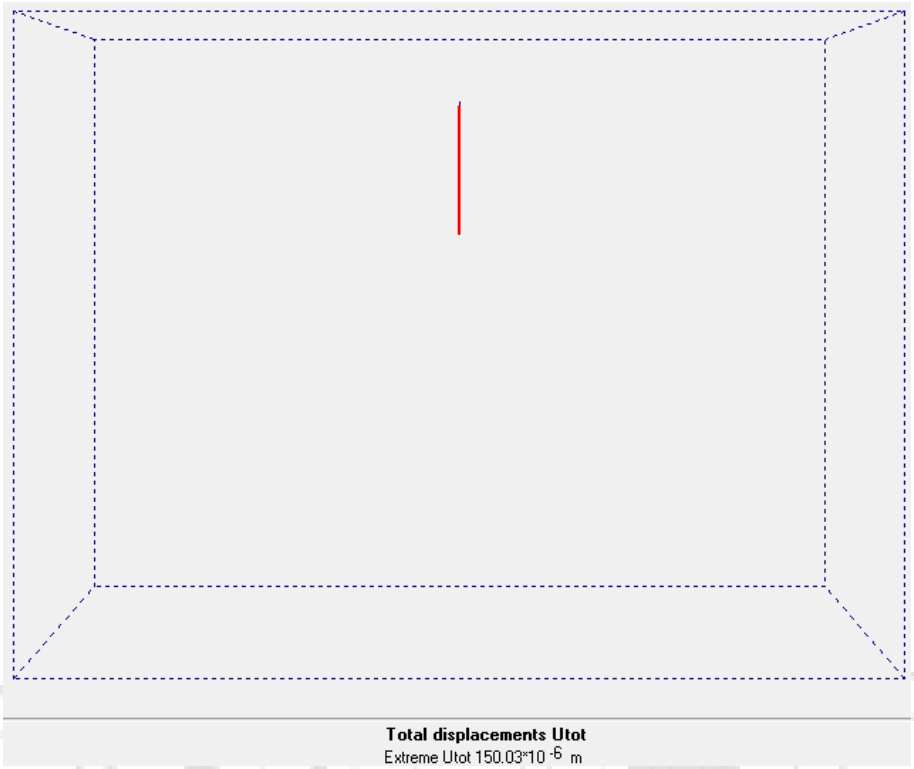
Gambar 5. 41 Total displacement bench 3D Plaxis 3D Tunnel



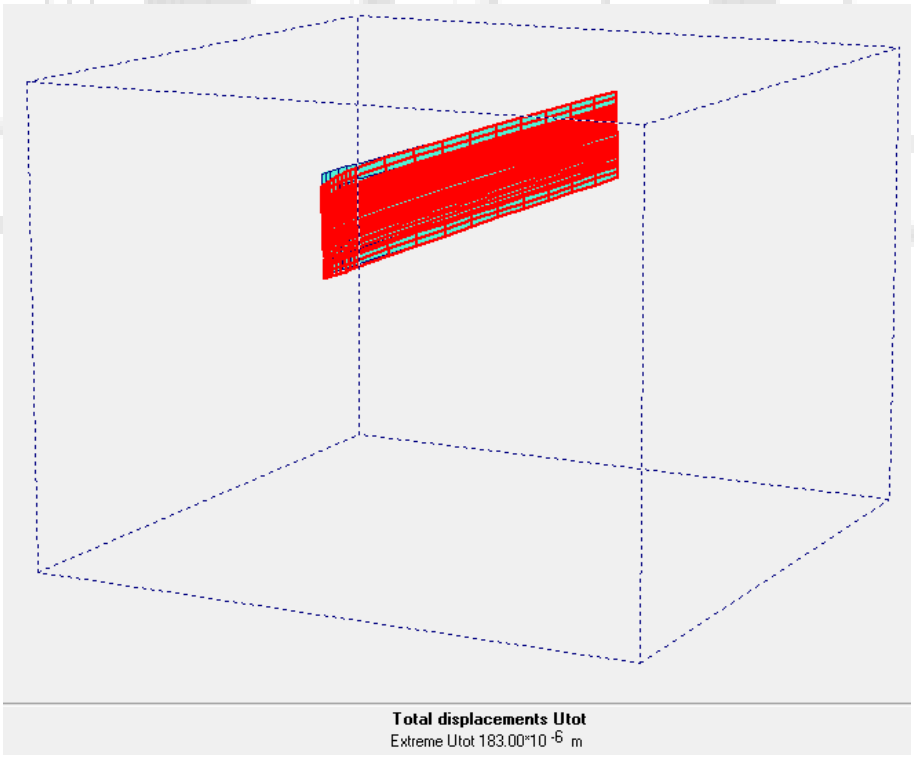
Gambar 5. 42 Total Displacement Top Heading Plaxis 3D Tunnel



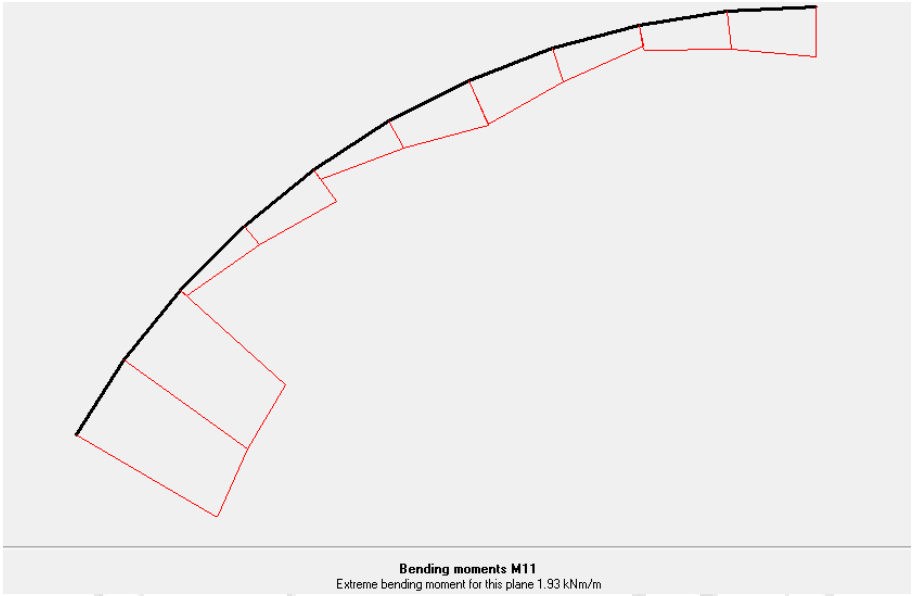
Gambar 5. 43 Total Displacement Bench Plaxis 3D Tunnel



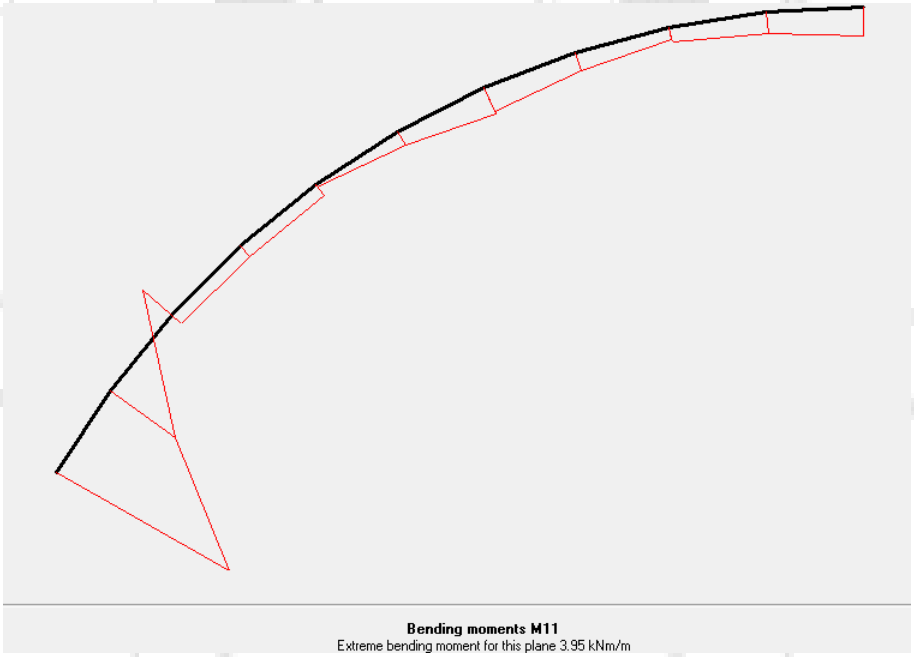
Gambar 5. 44 Total Displacement Top Heading Plaxis 3D Tunnel



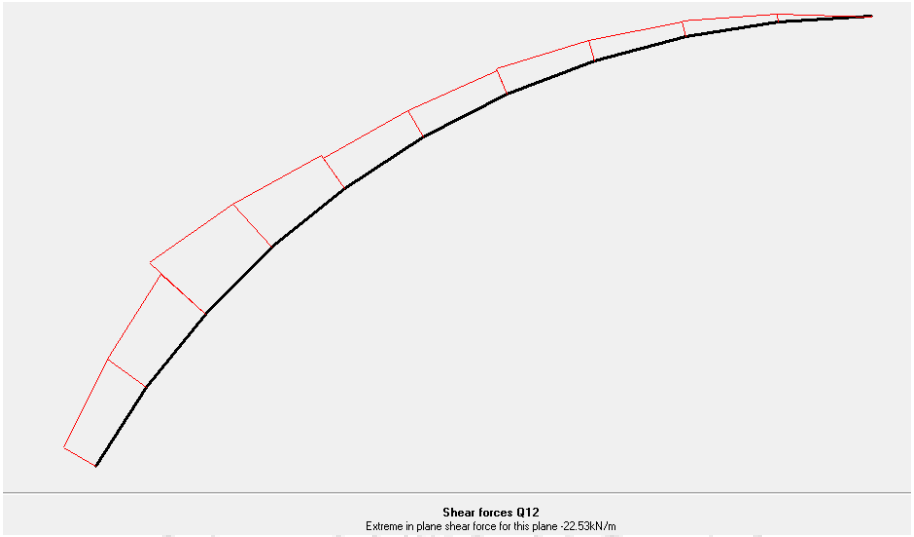
Gambar 5. 45 Total Displacement Bench Plaxis 3D Tunnel



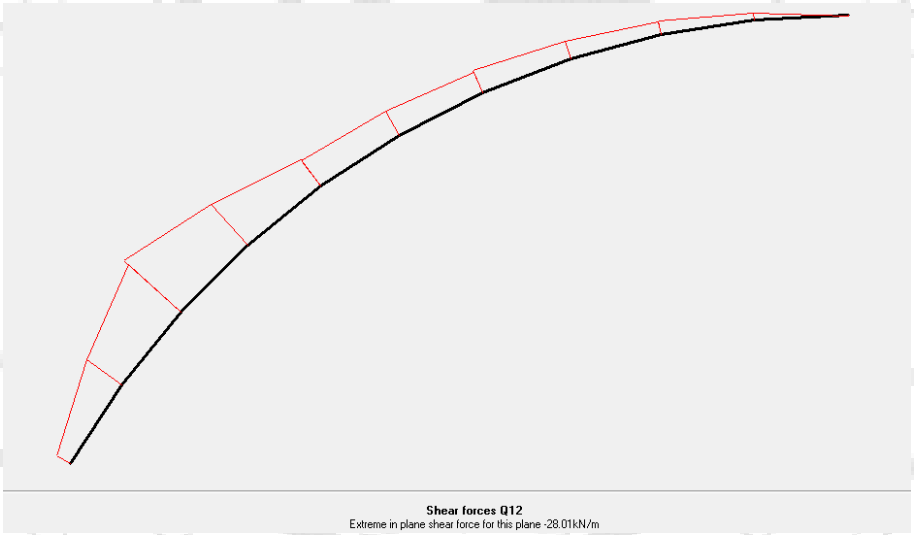
Gambar 5. 46 Bending Moment Shotcrete Top Heading Plaxis 3D Tunnel



Gambar 5. 47 Bending Moment Shotcrete Bench Plaxis 3D Tunnel



Gambar 5. 48 Shear Force Shotcrete Top Heading Plaxis 3D Tunnel



Gambar 5. 49 Shear Force Shotcrete Bench Plaxis 3D Tunnel

Dari hasil analisis diperoleh nilai total displacement untuk Plaxis 3D tunnel adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 19 Hasil Analisis total displacemnet Plaxis 3D Tunnel

Location	Total Displacement (m)	
	Top Heading	Bench
Right Wall	1.2215×10^{-4}	1.8342×10^{-4}
Roof	1.5003×10^{-4}	1.8300×10^{-4}
Left Wall	1.2215×10^{-4}	1.8342×10^{-4}
Floor	1.5003×10^{-4}	1.8300×10^{-4}

Tabel 5. 20 Hasil analisis support Plaxis 3D Tunnel

Support	Parameter	Top Heading	Bench
Shotcrete	Bending Moment kNm/m	1.93	3.95
	Shear Force kN/m	-22.52	-28.01

Berdasarkan hasil analisis metode numerik dengan menggunakan program komputer PHASE2 dan Plaxis 3D Tunnel, nilai total displacement yang terjadi tidak melebihi batas izin yaitu sebesar 100 mm (Ramadani, 2012). Hal ini dapat terjadi karena analisis hanya dilakukan dengan menggunakan satu joint.

5.5.5 Perbandingan Analisis PHASE2 2D dan Plaxis 3D Tunnel

Pada studi ini akan membandingkan hasil analisis PHASE2 2D dan Plaxis 3D Tunnel. Dimana nilai yang akan dibandingkan adalah nilai total displacement, bending momen pada shotcrete dan shear force pada shotcrete dengan tidak mempertimbangkan joint. Berikut adalah hasil analisis PHASE2 2D dan Plaxis 3D.

Tabel 5. 21 Hasil analisis total displacement PHASE2 2D dan Plaxis 3D Tunnel Tanpa Support

Lokasi	Total Displacement (m)					
	Top Heading		Deviasi (%)	Bench		Deviasi (%)
	PHASE2	Plaxis 3D Tunnel		PHASE2	Plaxis 3D Tunnel	
Righ wall	0.00009	0.00012	26.3	0.00008	0.00018	59.1
Roof	0.00029	0.00015	47.3	0.00023	0.00018	18.7
Left wall	0.00011	0.00012	14.0	0.00008	0.00018	59.1
Floor	0.00009	0.00015	40.1	0.00035	0.00018	47.7

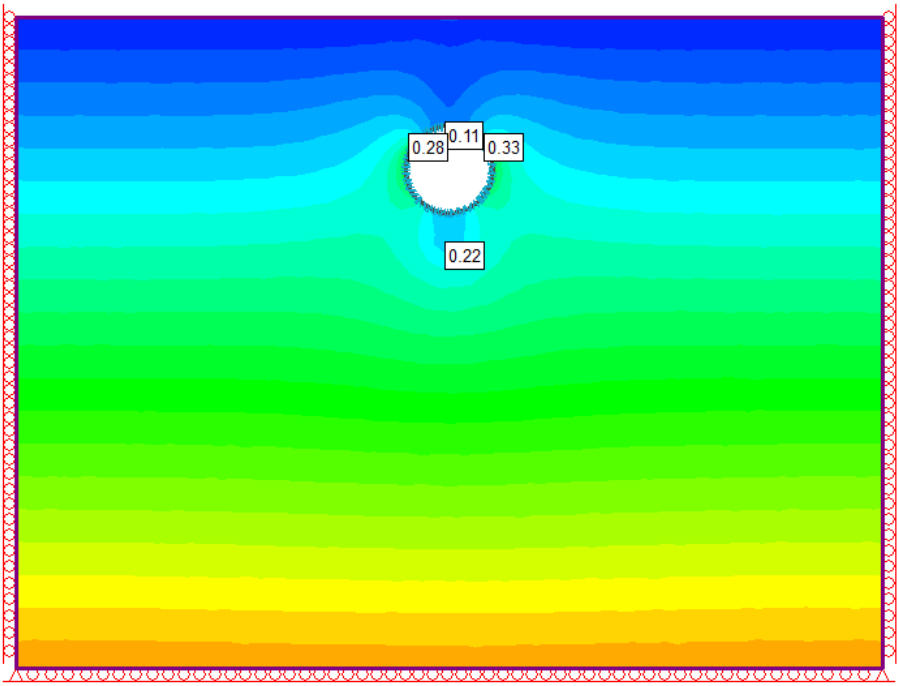
Tabel 5. 22 Hasil analisis gaya dalam PHASE2 2D dan Plaxis 3D Tunnel Dengan Support

Support	Parameter	Top Heading		Deviasi (%)	Beanch		Deviasi (%)
		PHASE2	Plaxis 3D Tunnel		PHASE2	Plaxis 3D Tunnel	
Shotcrete	Bending Moment (kNm/m)	2.74	1.93	29.43	4.48	3.95	11.80
	Shear Force (kN/m)	12.12	22.53	46.21	23.74	28.01	15.25

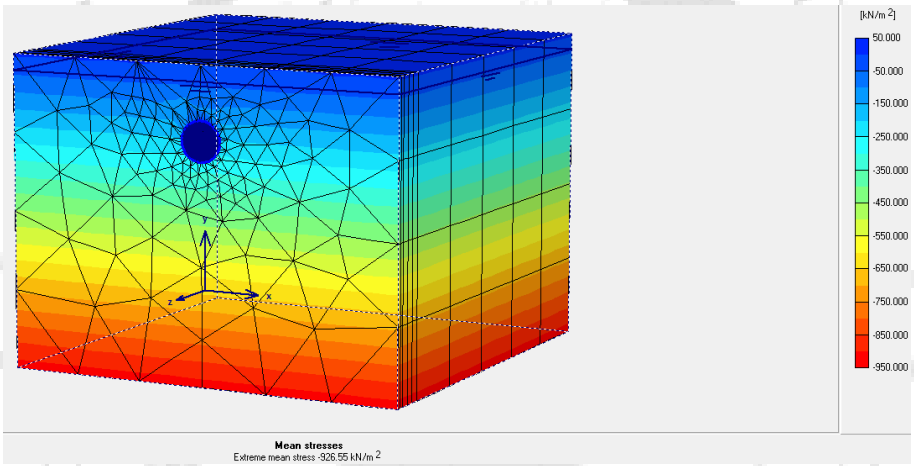
Dari hasil berbandingan PHASE2 dan Plaxis 3D Tunnel diperoleh nilai total displacement berdasarkan Plaxis 3D Tunnel lebih besar dibandingkan dengan PHASE2. Nilai gaya dalam untuk bending moment berdasarkan PHASE2 lebih besar dari pada Plaxis 3D Tunnel. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Serkan Ucer (2006) dalam papernya yang berjudul "*comparison of 2D and 3D finite element models of tunnel advance in soft ground:a case study on Bolu tunnels".* Namun pada tugas akhir ini diperoleh nilai gaya dalam untuk shear force berdasarkan PHASE2 lebih kecil daripada Plaxis 3D Tunnel sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut tentang gaya dalam pada shotcrete berdasarkan program komputer PHASE2 dan Plaxis 3D Tunnel.

5.5.6 Perbandingan Analisis Metode Emprik dan Numerik

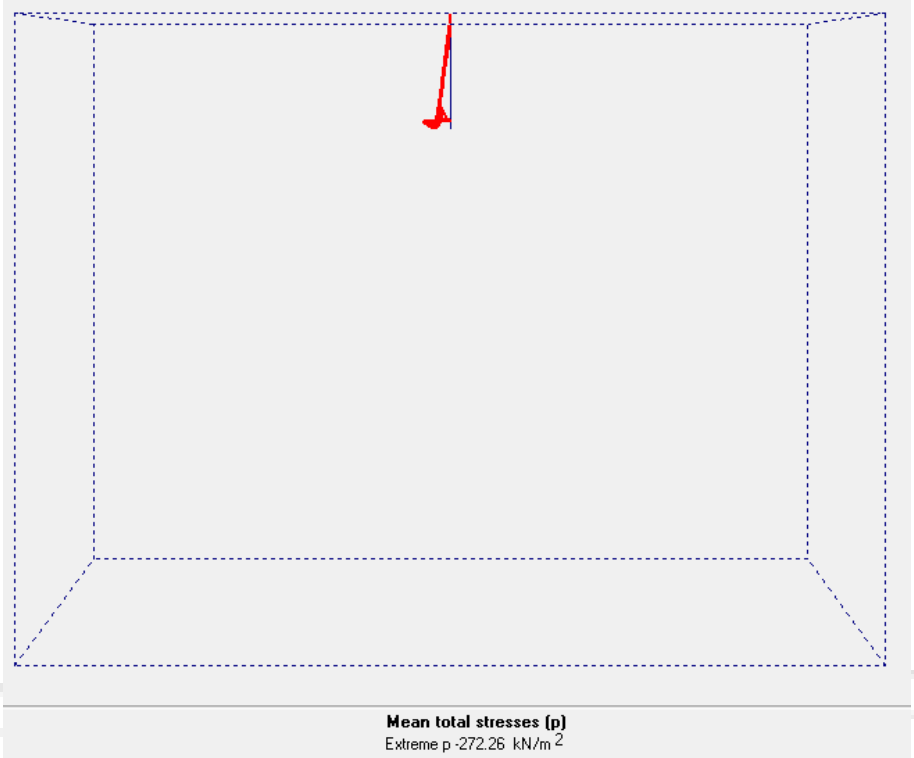
Nalai yang dapat dibandingkan dari metode empirik dan metode numerik adalah niali tegangan yang terjadi di atas terowongan. Berikut adalah hasil analisis berdasarkan kedua metode.



Gambar 5. 50 Tegangan PHASE2



Gambar 5. 51 Tampilan 3D Tegangan Plaxis 3D Tunnel



Gambar 5. 52 Tegangan di atas terowongan Plaxis 3D Tunnel

Tabel 5. 23 Niali tegangan yang terjadi di atas terowongan untuk metode empirik dan metode numerik

Metode	Metode Empirik			Metode Numerik	
	Terzaghi's	RMR	Q-System	PHASE2	Plaxis 3D Tunnel
NilaiTegangan di Roof (kN/m²)	57.49 s/d 316.19	105.52	48.29	111	272.6

Dari hasil berbandingan nilai tegangan diperoleh nilai untuk metode Q-System jauh lebih kecil dari metode Terzaghi's, RQD, Q-System, PHASE2, dan Plaxis 3D Tunnel. Hal ini disebabkan karena metode Q-System tidak memperhitungkan berat jenis batuan, namun hanya memperhitungkan nilai dari rating yang dihasilkan berdasarkan data geologi. Sedangkan metode yang lain memperhitungkan nilai dari berat jenis batuan.