

1. Rancangan Geometri Lereng Penambangan Nikel Laterit pada Pit Bravo Romeo 2 PT Sulawesi Cahaya Mineral, Sulawesi Tenggara ... **R. Hariyanto, Mahardika Damar Kunjana, Peter Eka Rosadi**
2. Analisis Fuel Consumption Alat Angkut Komatsu HD 785-7 dan Caterpillar Cat 777E pada Pengangkutan Lapisan Tanah Penutup di Pit Roto Tengah PT Kideco Jaya Agung Kalimantan Timur ... **Danang Priambodo, Edy Nursanto, Dwi Poetranto**
3. The Wave Effect Analysys Caused by Blasting Toward Highwall Slope Stability at Coal Mining, Pit 3000 Block 05 Sb 1, Pt. Trubaindo Coal Mining, Kutai Western District, East Kalimantan Province ... **Guntur Suryo Putro, Bambang Wisaksono, S Koesnaryo**
4. Kajian Teknis Unit Peremuk Batu Andesit untuk Memenuhi Target Produksi dan Fraksi -30+20 Mm Di Pt. Amir Hajar Kilsil Kec. Pamotan, Kab. Rembang Provinsi Jawa Tengah...**Sudaryanto, Gunawan Nusanto, Satria Mukhlis**
5. Rancangan Teknis Penambangan Batubara Di Pit IV PT CMSB Kecamatan Tering Kabupaten Kutai Barat Kalimantan Timur...**Hartono, Abdul Rauf, Rezki Rahmawan**
6. Rancangan Geometri Lubang Ledak Top Air Deck ... **Arfani Kurniawan, Barlian Dwi Nagara, Nur Ali Amri**
7. Pengaruh Metoda Peggalian NATM Terhadap Kestabilan Terowongan Ganda Cisumdawu Di Kabupaten Sumedang Provinsi Jawa Barat ... **Singgih Saptono, Indun Titisariwati, Dika Pandu Atmaja**
8. Estimasi Perhitungan Sumberdaya Batu Andesit dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity 2D di Desa Banyuasinspare Kecamatan Loano, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah ... **Winda, Wawong Dwi Ratminah, Heru Suharyadi**
9. Kajian Teknis Produksi Alat Muat Dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Batubara Di Site KBB Sarolangun, PT. Caritas Energi Indonesia, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi ... **Anton Sudiyanto, Ketut Gunawan, Sherly Aprilia**
10. Kajian Hidrogeologi Dan Penentuan Metode Penyaliran Pada Lubang Buka Bekas Penambangan Bijih Mangan Di Kliripan, Desa Hargorejo, Kecamatan Kokap Kabupaten Kulonprogo ... **Suyono, Halimah Tusak Diah, Priyo Widodo, Hartono**
11. *Overview* Metode Gumbel dan Metode Thomas Fiering Dalam Sistem Penyaliran Tambang ... **Tedy Agung Cahyadi, Deka Citra Dinata**
12. Kajian Teknis Kebutuhan Alat Muat dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Ore dan Waste Pada Bulan Mei-Desember 2018 di PT Sago Prima Pratama J-Resources Sebuku Nunukan Kalimantan Utara ... **Bagus Wiyono, Indah Setyowati, Muhammad Fadhil Goldi**
13. Kajian Teknis Produksi Alat Gali Muat Volvo EC 480DL dan Alat Angkut DT CWE Quester 28064R Bulan September 2018 di Operasi Penambangan Batubara 4 Satker Penbara Blok Timur PT. Bukit Asam Tbk Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan ... **Kresno, Faizal Agnetto, Sudaryanto**
14. Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara Pada Pit C2 di PT. Sapta Indra Sejati Jobsite Samarata PT. Berau Coal Kabupaten Berau Provinsi Kalimantan Timur ... **Hasywir Thaib Siri, Moh. Ilham Saputro, Waterman Sulistyana**
15. Estimasi Sumberdaya Batu Andesit Dengan Metode Cross Section di PT. Harmak Indonesia Dusun Clapar 3, Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta ... **Eddy Winarno, Arif Kurniawan, Suyono**
16. Analisis *Working Geometry Front Overburden* Terhadap *Cycle Time Backhoe* di Pit D2PT Sapta Indra Sejati Jobsite Binnungan, Berau, Kalimantan Timur ... **Prio Widodo, Mega Dwi Aprilia, Rika Ernawati**
17. Kajian Teknis Metode Double Decking pada Kedalaman Lubang Bor 8 m untuk Mengurangi Isian Bahan Peledak per Delay Peledakan dengan Batasan PPV 3 mm/s di Tambang Batubara PT Kaltim Prima Coal ... **Barlian Dwinagara, Indun Titisariwati, Zukhrufa Awalia Rahma**
18. Kajian Teknis Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Area Pengolahan Hasil Penambangan Batugamping PT Sugih Alamanugroho Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunung Kidul Daerah Istimewa Yogyakarta ... **Dyah Probowati, Michael Adicaksono Bramantio**
19. Analisis Nilai Rimpull dan Load Factor terhadap Produksi Dump Truck CAT 793C pada Pit Tembaga Phase 6 Batu Hijau PT Newmont Nusa Tenggara ... **Inmarlinianto, Winda, Goldy Putra U. S.**
20. Analisis Interaksi Double Tunnel dengan Finite Element Method: Pengaruh Posisi Terowongan dan Tahapan Peggalian di Terowongan Cisumdawu ... **M. Rahman Yulianto, Singgih Saptono, Sudaryanto**
21. Analisis Kelayakan dan Kepekaan Ekonomi pada Penambangan Bijih Nikel di Tambang Pomalaa PT Antam Tbk. UBPB SULTRA, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara ... **Wawong D.R., Peter E.R., Cahyo T.L.**
22. Model Pengolahan Bijih Emas Menggunakan Metode Heap Leaching Dari Sample Urat Urat Emas di Desa Kertajaya Kecamatan Simpenan Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat ... **Nurkhamim, Arrina Khanifa, Andrawina, Deta Hibatul Wafi**
23. Estimasi Sumberdaya Tanah Urug Menggunakan Metode Kontur di Iup Tanah Urug Ngadimin, Desa Hargomulyo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DIY ... **Hananto Dwi Kurniawan, Abdul Rauf, Inmarlinianto**
24. Kajian Teknis Unit Peremuk Batu Andesit untuk Memenuhi Kebutuhan Agregat di PT SCD Readymix, Desa Wirokerten, Kec. Banguntapan, Kab. Bantul... **Untung Sukamto, Satria Legowo, Oki Trinugroho**



# JURNAL

## Teknologi Pertambangan

### DAFTAR ISI

1. Rancangan Geometri Lereng Penambangan Nikel Laterit pada Pit Bravo Romeo 2 PT Sulawesi Cahaya Mineral, Sulawesi Tenggara ... **R. Hariyanto, Mahardika Damar Kunjana, Peter Eka Rosadi** .....(1-9)
2. Analisis Fuel Consumption Alat Angkut Komatsu HD 785-7 dan Caterpillar Cat 777E pada Pengangkutan Lapisan Tanah Penutup di Pit Roto Tengah PT Kideco Jaya Agung Kalimantan Timur ... **Danang Priambodo, Edy Nursanto, Dwi Poetranto** ..... (10-22)
3. The Wave Effect Analysys Caused by Blasting Toward Highwall Slope Stability at Coal Mining, Pit 3000 Block 05 Sb 1, Pt. Trubaindo Coal Mining, Kutai Western District, East Kalimantan Province ... **Guntur Suryo Putro, Bambang Wisaksono, S Koesnaryo** ..... (23-28)
4. Kajian Teknis Unit Peremuk Batu Andesit untuk Memenuhi Target Produksi dan Fraksi - 30+20 Mm Di Pt. Amir Hajar Kilsu Kec. Pamotan, Kab. Rembang Provinsi Jawa Tengah...**Sudaryanto, Gunawan Nusanto, Satria Mukhlis**..... (29-38)
5. Rancangan Teknis Penambangan Batubara Di Pit IV PT CMSB Kecamatan Tering Kabupaten Kutai Barat Kalimantan Timur...**Hartono, Abdul Rauf, Rezki Rahmawan**..... (39-46)
6. Rancangan Geometri Lubang Ledak Top Air Deck ... **Arfani Kurniawan, Barlian Dwi Nagara, Nur Ali Amri**..... (47-50)
7. **Pengaruh Metoda Peggalian NATM Terhadap Kestabilan Terowongan Ganda Cisumdawu Di Kabupaten Sumedang Provinsi Jawa Barat ... Singgih Saptono, Indun Titisariwati, Dika Pandu Atmaja**..... (51-64)
8. Estimasi Perhitungan Sumberdaya Batu Andesit dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity 2D di Desa Banyuasinspare Kecamatan Loano, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah **Winda, Wawong Dwi Ratminah, Heru Suharyadi** ..... (65-74)
9. Kajian Teknis Produksi Alat Muat Dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Batubara Di Site KBB Sarolangun, PT. Caritas Energi Indonesia, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi **Anton Sudiyanto, Ketut Gunawan, Sherly Aprilia**..... (75-85)
10. Kajian Hidrogeologi Dan Penentuan Metode Penyaliran Pada Lubang Bukaan Bekas Penambangan Bijih Mangan Di Kliripan, Desa Hargorejo, Kecamatan Kokap Kabupaten Kulonprogo ... **Suyono, Halimah Tusak Diah, Priyo Widodo, Hartono**..... (86-92)
11. **Overview Metode Gumbel dan Metode Thomas Fiering Dalam Sistem Penyaliran Tambang Tedy Agung Cahyadi, Deka Citra Dinata**..... (93-97)
12. Kajian Teknis Kebutuhan Alat Muat dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Ore dan Waste Pada Bulan Mei-Desember 2018 di PT Sago Prima Pratama J-Resources Sebuku Nunukan Kalimantan Utara **Bagus Wiyono, Indah Setyowati, Muhammad Fadhil Goldi** ..... (98-107)
13. Kajian Teknis Produksi Alat Gali Muat Volvo EC 480DL dan Alat Angkut DT CWE Quester 28064R Bulan September 2018 di Operasi Penambangan Batubara 4 Satker Penbara Blok Timur PT. Bukit Asam Tbk Kabupaten Muara Enim Provinsi Sumatera Selatan **Kresno, Faizal Agnetto, Sudaryanto**..... (108-121)
14. Kajian Teknis Sistem Penyaliran Tambang Batubara Pada Pit C2 di PT. Sapta IndraSejati Jobsite Samarata PT. Berau Coal Kabupaten Berau Provinsi Kalimantan Timur ... **Hasywir Thaib Siri, Moh. Ilham Saputro, Waterman Sulistyana**..... (122-134)
15. Estimasi Sumberdaya Batu Andesit Dengan Metode Cross Section di PT. Harmak Indonesia Dusun Clapar 3, Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta ... **Eddy Winarno, Arif Kurniawan, Suyono** ..... (135-140)

16. Analisis *Working Geometry Front Overburden* Terhadap *Cycle Time Backhoe* di Pit D2PT Sapta Indra Sejati Jobsite Binnungan, Berau, Kalimantan Timur **Prio Widodo, Mega Dwi Aprilia, Rika Ernawati** ..... (141-150)
17. Kajian Teknis Metode Double Decking pada Kedalaman Lubang Bor 8 m untuk Mengurangi Isian Bahan Peledak per Delay Peledakan dengan Batasan PPV 3 mm/s di Tambang Batubara PT Kaltim Prima Coal **Barlian Dwinagara, Indun Titisariwati, Zukhrufa Awalia Rahma** ..... (151-157)
18. Kajian Teknis Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Area Pengolahan Hasil Penambangan Batugamping PT Sugih Alamanugroho Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunung Kidul Daerah Istimewa Yogyakarta **Dyah Probowati, Michael Adicaksono Bramantio**..... (158-171)
19. Analisis Nilai Rimpull dan Load Factor terhadap Produksi Dump Truck CAT 793C pada Pit Tembaga Phase 6 Batu Hijau PT Newmont Nusa Tenggara **Inmarlinianto, Winda, Goldy Putra U. S.** ..... (172-180)
20. Analisis Interaksi Double Tunnel dengan Finite Element Method: Pengaruh Posisi Terowongan dan Tahapan Penggalian di Terowongan Cisumdawu **M. Rahman Yulianto, Singgih Saptono, Sudaryanto** ..... (181-190)
21. Analisis Kelayakan dan Kepekaan Ekonomi pada Penambangan Bijih Nikel di Tambang Pomalaa PT Antam Tbk. UBPN SULTRA, Kabupaten Kolaka, Provinsi Sulawesi Tenggara **Wawong D.R., Peter E.R., Cahyo T.L.** ..... (191-198)
22. Model Pengolahan Bijih Emas Menggunakan Metode Heap Leaching Dari Sample Urat Urat Emas di Desa Kertajaya Kecamatan Simpenan Kabupaten Sukabumi Provinsi Jawa Barat **Nurkhamim, Arrina Khanifa, Andrawina, Deta Hibatul Wafi**..... (199-208)
23. Estimasi Sumberdaya Tanah Urug Menggunakan Metode Kontur di Iup Tanah Urug Ngadimin, Desa Hargomulyo, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, DIY ... **Hananto Dwi Kurniawan, Abdul Rauf, Inmarlinianto** ..... (209-218)
24. Kajian Teknis Unit Peremuk Batu Andesit untuk Memenuhi Kebutuhan Agregat di PT SCD Readymix, Desa Wirokerten, Kec. Banguntapan, Kab. Bantul... **Untung Sukamto, Satria Legowo, Oki Trinugroho** ..... (218-227)

## **Pengaruh Metoda Peggalian NATM Terhadap Kestabilan Terowongan Ganda Cisumdawu Di Kabupaten Sumedang Provinsi Jawa Barat**

Singgih Saptono, Indun Titisariwati, Dika Pandu Atmaja

Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan Fakultas Teknologi Mineral UPN “Veteran” Yogyakarta,  
Jln. SWK 104, Condong Catur, Depok, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta  
55283, e-mail: [dikapandu97@gmail.com](mailto:dikapandu97@gmail.com)

### **ABSTRAK**

*The development of Cisumdawu tunnel will disturb the in-situ stress and the in-situ stress is redistributed. In addition, double tunnel excavation also influences the stress distribution and the total displacement. Therefore it can be classified as unstable condition. The result at monitoring of Cisumdawu Tunnel with no support based on total displacement is approximately 60 mm. Those cases that based on the strength factor are less than 1.3 which is considered to be in an unstable condition. Then, the influence of in-situ stress condition can be considered cause it causes the unstable condition. This research will be analyzing those conditions.*

*Keywords: Sequence, displacement, strength factor, in-situ stress, stability*

### **ABSTRAK**

Penggalian terowongan Cisumdawu membuat terjadinya redistribusi tegangan. Disamping itu, penggalian terowongan ganda juga mempengaruhi distribusi tegangan dan nilai perpindahan. Berdasarkan data monitoring terowongan Cisumdawu sebelum dipasang penyangga mengalami deformasi/perpindahan  $\pm 60$  mm. Perpindahan tersebut apabila berdasarkan nilai batas *strength factor* diperoleh nilai  $< 1,3$  yang dianggap dalam kondisi tidak stabil. Salah satu faktor yang dapat membuat terowongan menjadi tidak stabil adalah pengaruh dari perubahan tegangan in-situ. Sehingga, perlu dilakukan analisis terhadap kejadian tersebut.

Kata Kunci : Tahapan, Tegangan in-situ, Perpindahan, Faktor Kekuatan, Kestabilan

### **1. PENDAHULUAN**

Pada era globalisasi saat ini pembangunan infrastruktur sangat berkembang pesat salah satunya adalah pembangunan prasarana transportasi yang merupakan strategi pemerintah untuk mendukung pertumbuhan dan kemajuan ekonomi di seluruh Indonesia. Pertimbangan dalam mengkonsepkan dan merencanakan pembangunan harus diperhatikan beberapa faktor yaitu kondisi topografi, kondisi geologi dan lingkungan adalah beberapa faktor penting. Salah satu prasarana transportasi di Indonesia yang sedang dilakukan pembangunan sejak tahun 2017 adalah Terowongan Cisumdawu.

Terowongan Cisumdawu menerapkan sistem penyanggaan pada Terowongan yang terdiri dari *temporary support* dan *permanent Support*. *Temporary support* meliputi *forepoling grouting* atau dengan injeksi semen *H-Beam* yang dikombinasi dengan *Wire Mesh* dan *Steel Fiber Shortcrete*. *Permanent support* sebagai penyangga permanen menggunakan kerangka besi dan melakukan pengecoran dengan *formwork* untuk *concrete Lining*. Metode penggalian yang digunakan adalah *New*

*Austrian Tunneling Method* (NATM) dengan *sequence* penggalian adalah *3 benches and 7 steps*. Metode tersebut disesuaikan karena kondisi geologi adalah tanah yang memiliki kuat tekan  $< 1$  MPa. Penggunaan metode NATM dan *sequence* tersebut akan mempertahankan kondisi tanah agar tidak terjadi deformasi yang sangat besar, hal tersebut untuk mempertahankan terowongan tetap stabil selama proses penggalian. Metode dengan *sequence* penggalian tersebut penting karena mengendalikan redistribusi tegangan dengan tegangan yang terjadi diteruskan terhadap struktur penyangga. Kondisi redistribusi tegangan disebabkan karena awalnya tegangan yang terdistribusi merata mengalami gangguan akibat terjadi proses penggalian terowongan. kondisi tersebut dapat menyebabkan ketidakstabilan terowongan. Dengan demikian, tereduksinya tegangan insitu dapat menjadi faktor penyebab *failure* pada sistem penyangga. Sebagai tindakan untuk mengurangi adanya deformasi yang besar dengan pemasangan penyangga sangat berpengaruh Sistem penyangga sebagai tegangan internal harus kurang dari tegangan penyangga kritis. Apabila tegangan internal lebih besar dari tegangan penyangga kritis

maka akan terjadi keruntuhan pada daerah penggalian.

Pada penelitian ini untuk mengetahui kestabilan terowongan akan dianalisis distribusi tegangan, perpindahan/deformasi terowongan dan *strength factor* dengan perhitungan numerik menggunakan *Finite Element Method* (FEM). Berdasarkan tingkat kestabilan terowongan pada *temporary support* dapat dinyatakan aman ketika memiliki nilai  $SF > 1,3$  (Kaiser P.K., 1998) Perubahan desain penyangga akan disesuaikan dari perencanaan penyangga yang telah ada. Pada penelitian ini akan membahas pengaruh perubahan tegangan insitu. Kondisi tersebut dianalisis untuk mengetahui pengaruh tegangan insitu terhadap *strength factor*. Nilai tegangan insitu tersebut berdasarkan dari hasil pengukuran menggunakan *pressuremeter test*.

## 2. METODE

Pada penelitian ini permodelan numerik menggunakan perangkat lunak RS2 2019 yang dikembangkan oleh rockscience. Daerah penggalian terowongan Cisumdawu berdasarkan pengukuran insitu dengan alat *Pocket penetrometer* adalah tergolong tanah keras. Terowongan yang dibangun ganda memiliki geometri meliputi lebar terowongan adalah 14.413 m, tinggi terowongan adalah 11,083 m, panjang terowongan adalah 472 m, dan jarak antara terowongan adalah 16,61 m. terowongan yang tergolong *shallow tunnel* karena jarak ke permukaan  $\pm 50$  m.

Pada Penelitian ini terdapat data primer. Data primer yakni hasil hasil pengujian triaxial tanah, pengujian *shotcrete*, pengujian *grouting* dan pengukuran in-situ dengan *pocket penetrometer*.

Data tersebut dibuat sebagai tambahan informasi dari data sekunder permodelan dengan menggunakan metode analisis adalah *Finite Element Method* (FEM). Pada penelitian ini akan berfokus pada terowongan kanan (*right tunnel*). Kestabilan terowongan ditentukan berdasarkan nilai *strength factor* sebagai nilai batas. *Strength factor*  $> 1,3$  terowongan dianggap aman.

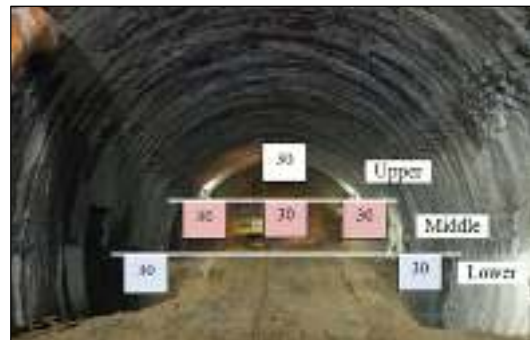
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis lapisan tanah berpengaruh terhadap rancangan terowongan serta sistem penyanggaan yang diterapkan, sehingga memerlukan data pendukung dan suatu analisa numerik. Hasil penelitian yang diperoleh sebagai data pendukung dibagi menjadi data primer dan data sekunder, kemudian data tersebut digunakan sebagai data input dalam menganalisa kestabilan terowongan. Tujuan penelitian berupa nilai perpindahan, *strength factor*, nilai Sigma 1 dan Sigma 3.

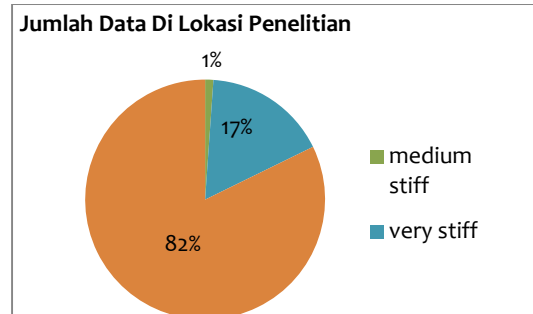
### 3.1. Penentuan Karakteristik Tanah

Jenis pengambilan data kuat tekan tanah menggunakan alat *pocket penetrometer*. Tujuan pengukuran ini adalah untuk mengetahui kekuatan tanah setelah penggalian dilakukan untuk mengklasifikasikan jenis kekuatan tanah pada daerah penggalian Gambar 1. Penggunaan dan mengklasifikasikan hasil dari *pocket penetrometer* berdasarkan aturan ASTM WK27337.

Pengukuran pada lokasi penelitian tersebut memperoleh data sebanyak 180 data pada terowongan kanan sebagai lokasi penelitian yang dapat dilihat pada gambar 2. Dan gambar 4 diambil secara acak pada terowongan kanan dengan 540 data.

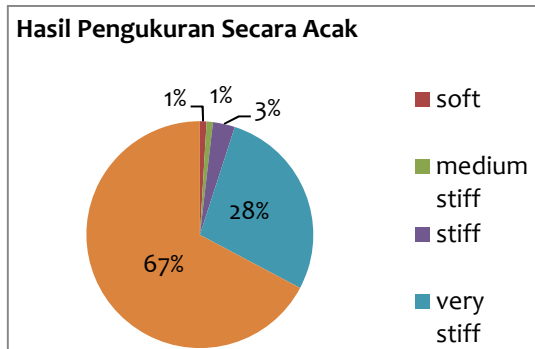


Gambar 1. Lokasi pengukuran kuat tekan dengan *pocket penetrometer test*



Gambar 2. Hasil pengukuran pada lokasi penelitian

Hasil kuat tekan yang diambil pada 180 titik lokasi pada Gambar 3 menunjukkan bahwa 82 % dari 180 titik lokasi dengan jumlah 148 data dikategorikan “Hard” atau jenis tanah keras, dengan kuat tekan tanah  $> 4$  tsf atau  $> 383$  kpa. Sedangkan kategori *very stiff* memiliki jumlah data sebanyak 30, dan kategori *medium stiff* memiliki 2 data.

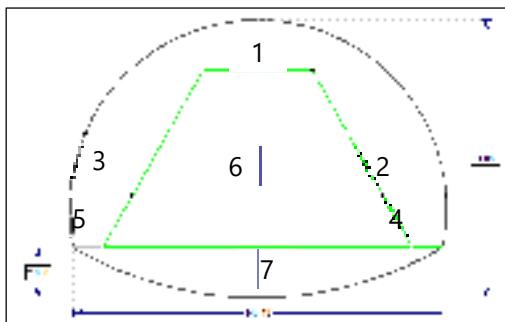


Gambar 3. Hasil pengukuran kuat tekan secara acak

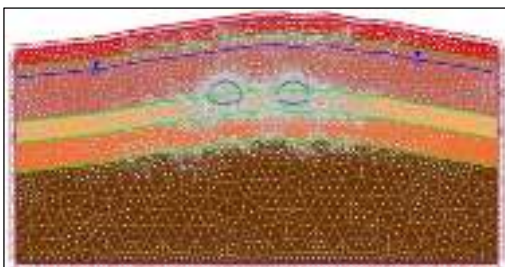
Hasil pengukuran terdapat pada gambar 3 diperoleh bahwa terdapat 363 data atau 67% dari 540 data menunjukkan kekuatan tanah > 4 tsf, sedangkan untuk kekuatan tanah category *very stiff* terdapat 150 data atau 28%. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa kategori kekuatan tanah pada Terowongan Cisumdawu secara umum digolongkan kategori tanah keras/*hard soil*.

### 3.2. Tahapan Permodelan Numerik

Pada penelitian ini, geometri terowongan dapat dilihat pada gambar 4 dalam melakukan permodelan terowongan. Pada permodelan terowongan Cisumdawu dapat dilihat pada gambar 6, Setelah melakukan permodelan kemudian menginput properties tanah dengan parameter input yaitu modulus young (E), kohesi (c) dan sudut gesek dalam ( $\phi$ ). Masing-masing parameter tanah tersebut yang di input adalah nilai rata-rata dari hasil 7 pemboran inti yang telah diuji dilaboratorium.



Gambar 5. Geometri terowongan Cisumdawu



Gambar 6. Permodelan terowongan Cisumdawu

#### a. Input Properties Material

Pada penelitian ini terdapat terdapat 5 lapisan. Lapisan tersebut diperoleh dari hasil pengeboran inti yang di deskripsikan perolehan corenya dan nilai N-SPT dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Input permodelan numerik

Field Stress	Konstan
Failure criteria	Mohr-coulomb
Material type	Plastic (Peak = residu),
Mesh tipe	Graded with 6 noded triangles

Tabel 2. input properties tanah

Material	Propertis	Satuan	Rata-rata
Lapisan 1	c	MPa	0,531
	$\phi$	°	6,545
	E	MPa	23
Lapisan 2	c	MPa	0,5
	$\phi$	°	10,98
	E	MPa	51,44
Lapisan 3	c	MPa	0,458
	$\phi$	°	18,56
	E	MPa	43,94
Lapisan 4	c	MPa	0,17
	$\phi$	°	26,13
	E	MPa	46,938
Lapisan 5	c	MPa	0,197
	$\phi$	°	28,15
	E	MPa	51,18

\*E = modulus elastisitas, \*c= kohesi,

\*  $\phi$  =Sudut gesek dalam

#### b. Input Properties Penyangga

Tabel 3. Karakteristik Penyangga Sementara

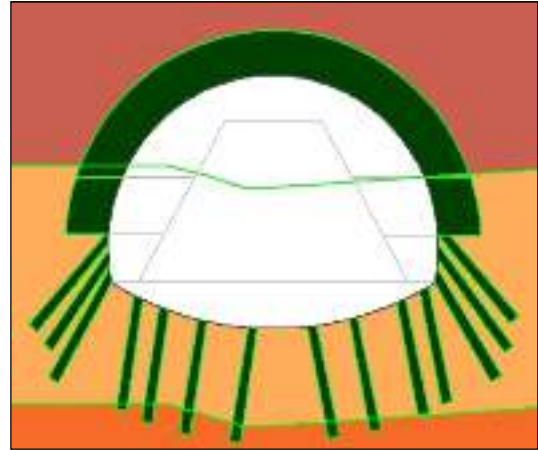
Jenis Penyangga	E (Mpa)	c (Mpa)	v	T (Mpa)
Beam (W150X18)	200000	400	0.3	400
wiremesh	200000	110	0.3	3
Shotcrete	26315	25	0.3	2
Grout	4444,44	37.97	0.3	2
Steel pipe	180000	345	0.25	345

\*C= compressive strength, \*v=poisson ratio,

\*T=tensilestrength

Nilai input propertis khusus untuk *forepolling grouting* didapatkan dari pendekatan empiris oleh **Evert hook**. Pendekatan 2D untuk analisis dengan membuat suatu *layer* khusus disebut **improved layer** untuk menginterpretasikan *forepolling grouting*. hasil dari improved layer dapat dilihat pada gambar 7 dan hasil improved layer pada tabel 4 :

$$\text{Improved layer} = (\text{soil} \times 0.8) + (\text{steel pipe} \times 0.01) + (\text{Concrete} \times 0.19)$$



Gambar 7. *Improvement layer* pada terowongan

Tabel 4. Hasil *Improvement Layer* untuk *forepolling grouting* terowongan Cisumdawu

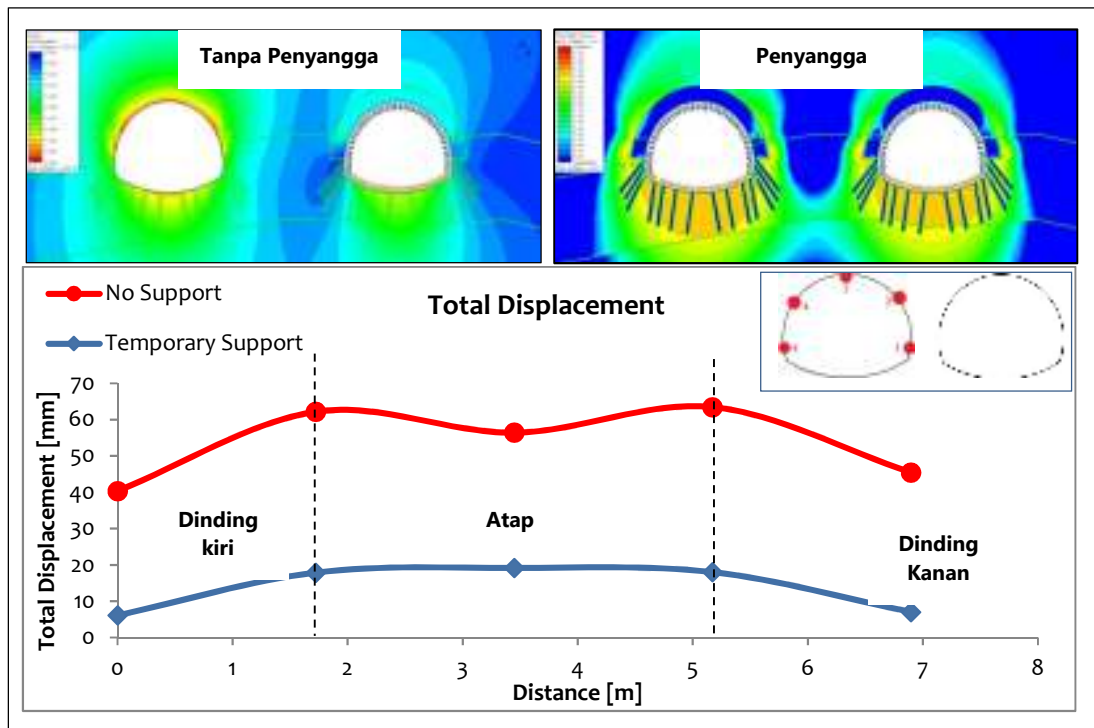
Parameter	Symbol	Material (Tanah)	Steel Pipe	Concrete	Improved Layer
Young's Modulus	E (MPa)	50	210000	4444,44	2984,44
Poisson ratio	v	0,3	0,3	0,3	0,30
Tensile Strength	T (MPa)	0	415	5	5,10
Friction Angle	$\phi$ (°)	21,48	High	35	24,03
Cohesion	c (MPa)	0.041	High	5	1,60

### 3.3. Hasil Analisis Pengaruh Perpindahan Terowongan Kanan Pada Kondisi Terowongan Kiri Penyangga Permanen

Material pada daerah penggalian terowongan Cisumdawu yang merupakan tanah sehingga berpengaruh terhadap kestabilan terowongan yang dikaitkan dengan perpindahan yang terjadi pada terowongan. Perpindahan dianalisis melalui besaran yang terjadi pada atap dan dinding terowongan yang terdiri dari 5 titik

pengamatan yakni 1 titik pada atap, 2 titik pada dinding terowongan kiri dan 2 titik pada terowongan kanan. Hasil dari Perpindahan dapat dilihat pada gambar 8.

Berdasarkan hasil diperoleh bahwa perpindahan yang terjadi pada terowongan adalah 40 mm hingga 60 mm. perpindahan terbesar pada dinding kiri atas dan dinding kanan atas. Kondisi terowongan setelah dipasang penyangga menurun menjadi 5 mm hingga 15 mm.



Gambar 8. Hasil permodelan numerik untuk “Total displacement” pada terowongan kanan

### 3.4. Hasil Analisis Pengaruh Strength Factor Terowongan Kanan Pada Kondisi Terowongan Kiri Telah Pemasangan Penyangga Sementara

Strength factor (SF) merupakan rasio dari kekuatan batuan (berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr Coulomb) dengan tegangan terinduksi. Kestabilan terowongan sangat bergantung pada respon tanah di daerah penggalian. Pada hasil pengamatan sebelum dipasang penyangga nilai strength factor diperoleh terowongan adalah 1,00 hingga 1,91. Dari hasil tersebut diperoleh bahwa terowongan tanpa penyangga berada dalam kondisi tidak aman. Sehingga, perlu pemasangan penyangga untuk meningkatkan nilai strength factor sebagai upaya agar terowongan dalam kondisi stabil.

Terowongan setelah dipasang penyangga nilai safety factor diperoleh pada dinding dan atap terowongan lebih besar dari 1,3. Adapun hasil nilai strength factor dapat dilihat pada gambar 9.

### 3.5. Hasil Analisis Tegangan Vertikal dan Tegangan Horisontal Terowongan Kanan Pada Kondisi Terowongan Kiri Penyangga Permanen

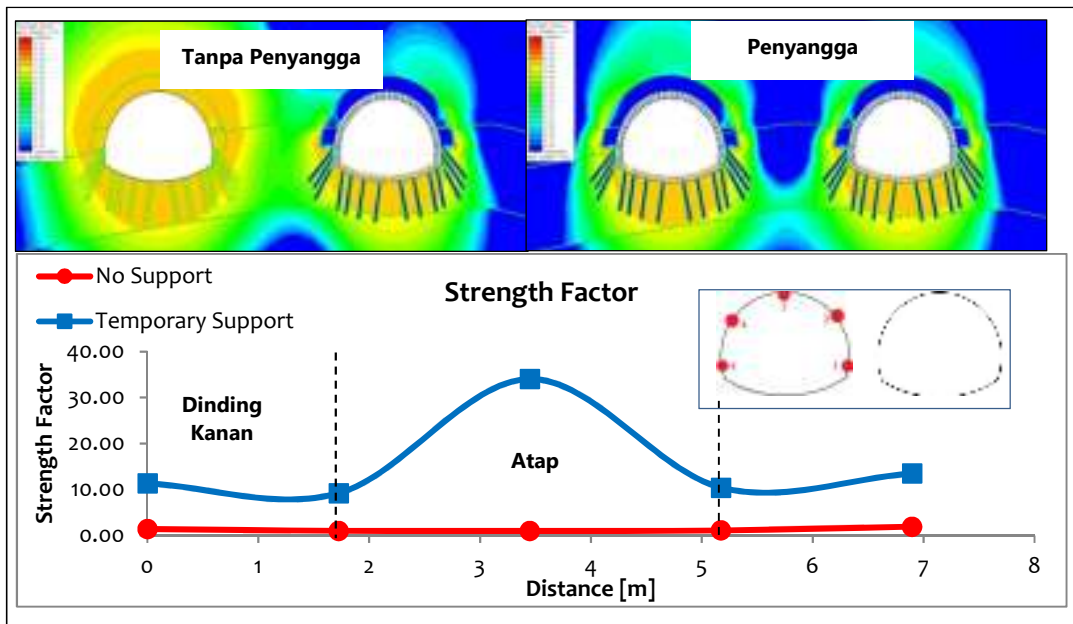
Tegangan Insitu suatu titik ditentukan oleh kondisi pembebanan material yang ada di permukaan ataupun beban dari tanah. Distribusi tegangan sangat berpengaruh terhadap nilai kestabilan terowongan karena dalam menentukan kestabilan terowongan parameter sigma 1 dan sigma 3 berpengaruh dalam perhitungan untuk kriteria keruntuhan Mohr-coulomb. Terjadi redistribusi tegangan



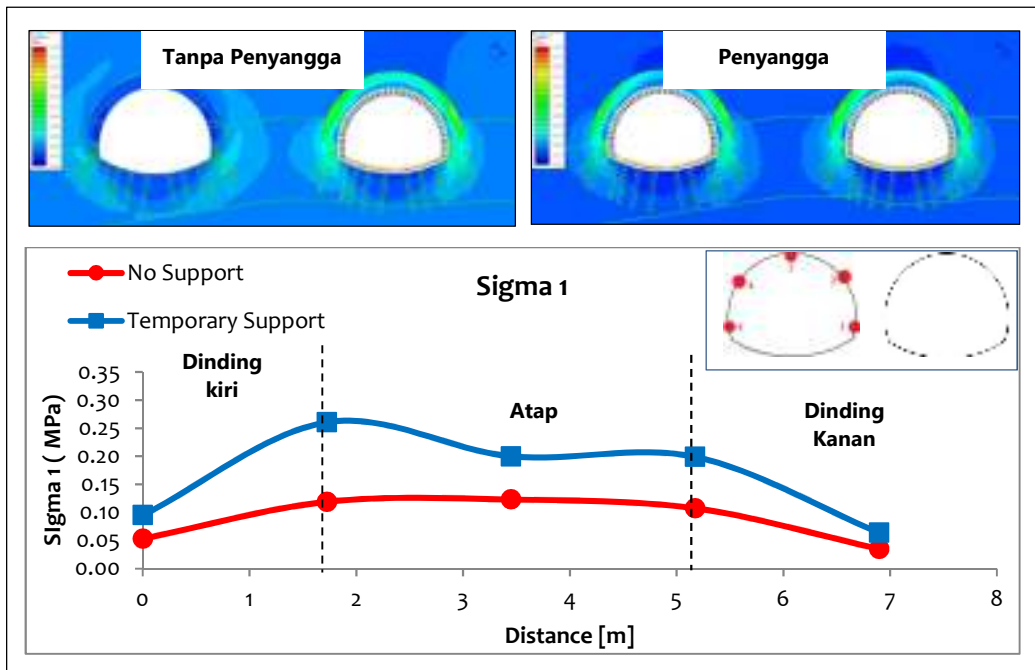
dkk

dipengaruhi oleh proses penggalian terowongan. Dari hasil yang diperoleh pada  $\sigma_1 > \sigma_3$ . Apabila dilihat pada hasil penelitian nilai tegangan meningkat setelah dipasang penyangga.

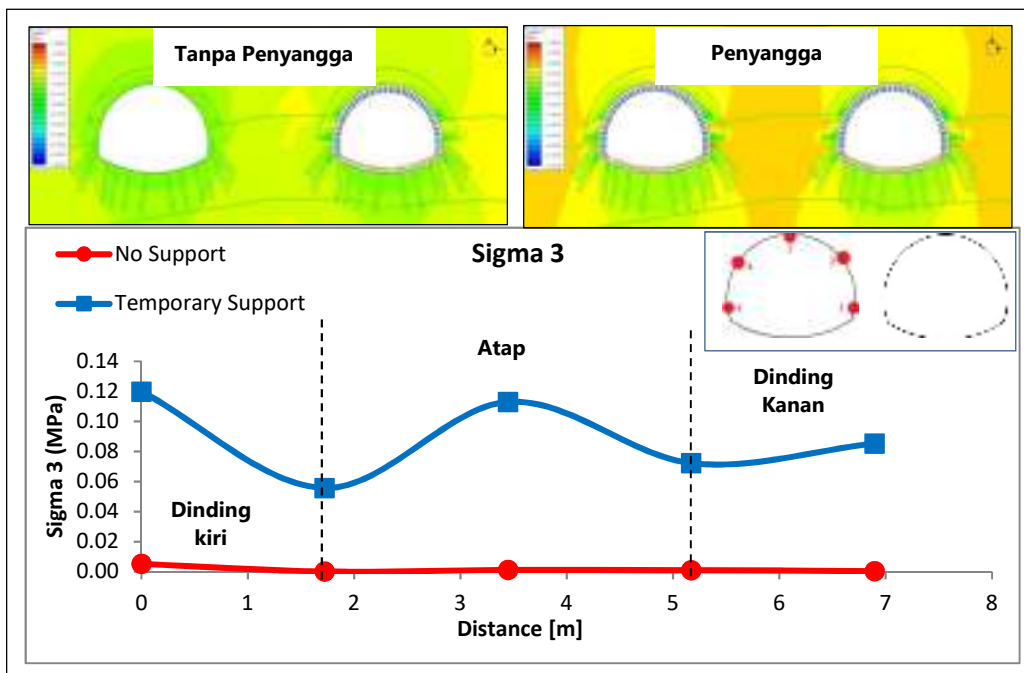
sehingga dengan kondisi tersebut peningkatan tersebut apabila mengacu pada kriteria Mohr-Coulomb lingkaran Mohr akan menjauhi dari garis *envelope* maka terowongan akan semakin aman karena lingkaran tidak menyinggung garis *envelope*. Hasil dari permodelan numerik tersebut dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 9. Hasil permodelan numerik untuk “Strength Factor” pada terowongan kanan



Gambar 10. Hasil permodelan numerik untuk “Sigma 1” pada terowongan kanan

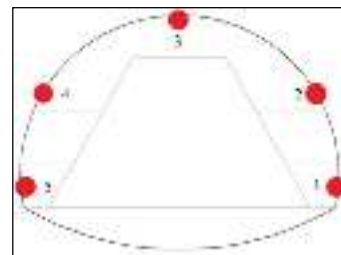


Gambar 12. Hasil permodelan numerik untuk “Sigma 3” pada terowongan kanan

#### 4. PEMBAHASAN

Karakteristik material daerah penggalian Terowongan Cisumdawu adalah tanah atau *softground*. Sehingga, pemilihan metode *New Austrian Tunneling Method* (NATM) merupakan metode yang sesuai. NATM adalah metode penerowongan dimana selama proses penggalian dan pemasangan penyangga bertujuan untuk mempertahankan kondisi perpindahan tanah serendah mungkin (singh & Goel, 2005). *Sequence* penggalian yang terdiri dari penggalian *upper*, *middle*, *core* dan *lower* adalah tindakan dimana tanah yang belum digali adalah sebagai penyangga alami, dimana penyangga alami dimanfaatkan untuk menahan beban akibat redistribusi tegangan selama penggalian terowongan. Berdasarkan pengujian kuat tekan tanah di daerah penggalian dengan penetrometer test di dapatkan bahwa tanah tergolong *stiff soil*, *very stiff soil* dan *hard soil* dengan nilai UCS < 1 MPa. Berdasarkan analisis terdahulu diperoleh bahwa kondisi perpindahan terowongan sebesar  $\pm 60$  mm sebelum dipasang penyangga.

Pada penelitian ini terdapat 5 titik pengamatan yang didasarkan pada monitoring. Titik tersebut yakni dinding kanan bawah (1), dinding kanan atas (2), atap (3), dinding kiri atas (4) dan dinding kiri bawah terowongan (5). titik pengamatan terowongan dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Titik pengamatan terowongan Cisumdawu

#### 4.1. Analisis *Strength Factor* Sistem Penyanggaan Terhadap *Sequence* Penggalian Terowongan

Keberhasilan penyangga dapat diperoleh dari analisis nilai *strength factor*. Analisis nilai *strength factor* bertujuan untuk mengetahui sistem penyangga yang digunakan paling berpengaruh terhadap terowongan. Adapun sistem penyanggaan yang dianalisis terdapat 4 jenis sistem penyangga yaitu *forepoling grouting*, *beam*, *wiremesh* dan *shotcrete*. Kekuatan penyangga yang dianalisis berdasarkan nilai *strength factor*, pada penelitian ini terowongan dianggap aman apabila  $SF > 1,3$ . Hasil pada kondisi terowongan kiri telah pemasangan penyangga permanen yang difokuskan pada *sequence* ke-7 yang bertujuan untuk melihat kinerja ketika seluruh penyangga telah dipasang.

Berdasarkan dari nilai total displacement diperoleh pada *forepoling grouting* mengalami

dkk

perpindahan terbesar pada 19 mm dan terkecil pada 11 mm. Beam mengalami perpindahan terbesar pada pengamatan 4 sebesar 43 mm dan terkecil sebesar 23 mm pada pengamatan 1. Wiremesh mengalami perpindahan terbesar pada pengamatan 2, pengamatan 3 dan pengamatan 4 sebesar 51 mm dan perpindahan terkecil pada pengamatan 5 sebesar 38 mm. SFRS mengalami perpindahan terbesar pada pengamatan 5 sebesar 44 mm dan terkecil pada pengamatan 1 sebesar 26 mm.

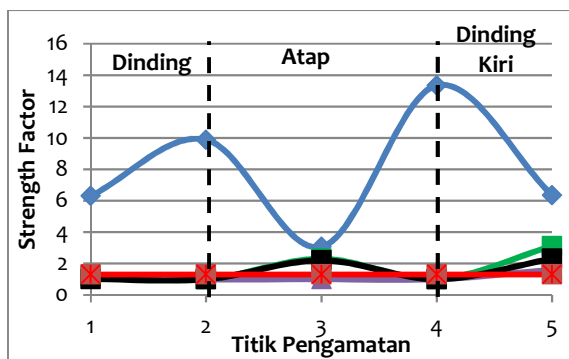
Berdasarkan Gambar 13 dari distribusi tegangan dengan ditunjukkan dengan vektor untuk terowongan kanan. Pada kondisi pemasanga jenis sistem penyangga yaitu *forepolling grouting*, *beam*, *wiremesh* dan *shotcrete*. Kekuatan penyangga yang dianalisis berdasarkan nilai *strength factor*, pada penelitian ini terowongan dianggap aman apabila  $SF > 1,3$ . Hasil pada kondisi terowongan kiri telah pemasangan penyangga permanen yang difokuskan pada *sequence* ke-7 yang bertujuan untuk melihat kinerja ketika seluruh penyangga telah dipasang.

Berdasarkan dari nilai total displacement diperoleh pada *forepolling grouting* mengalami perpindahan terbesar pada 19 mm dan terkecil pada 11 mm. Beam mengalami perpindahan terbesar pada pengamatan 4 sebesar 43 mm dan terkecil sebesar 23 mm pada pengamatan 1. Wiremesh mengalami perpindahan terbesar pada pengamatan 2, pengamatan 3 dan pengamatan 4 sebesar 51 mm dan perpindahan terkecil pada pengamatan 5 sebesar 38 mm. SFRS mengalami

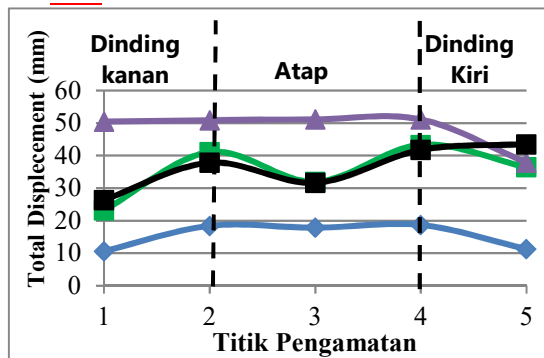
perpindahan terbesar pada pengamatan 5 sebesar 44 mm dan terkecil pada pengamatan 1 sebesar 26 mm.

Berdasarkan Gambar 13 dari distribusi tegangan dengan ditunjukkan dengan vektor untuk terowongan kanan. Pada kondisi pemasangan wiremesh mengalami penumpukan distribusi tegangan sehingga hal tersebut dapat membuat terowongan hanya dengan menggunakan wiremesh mengalami perpindahan sangat besar dibandingkan sistem penyangga lainnya.

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh untuk sistem penyangga yang digunakan pada terowongan, *forepolling grouting* merupakan jenis penyangga yang sangat berpengaruh dalam meningkatkan keamanan pada terowongan, hal tersebut dibuktikan dengan nilai *strength factor* yang aman pada semua titik pengamatan dan nilai *total displacement* yang rendah. Sedangkan jenis penyangga lainnya terdapat kondisi bahwa nilai  $SF < 1,3$  yang merupakan batas aman terowongan, yang meliputi jenis *beam* diperoleh pada pengamatan 1, pengamatan 2 dan pengamatan 4. Nilai SF wiremesh diperoleh pada pengamatan 2, pengamatan 3 dan pengamatan 4. Dan pada SFRS terdapat pada pengamatan 1, pengamatan 2 dan pengamatan 4. Sehingga, mengacu pada analisis yang diperoleh bahwa *forepolling grouting* merupakan yang efektif untuk meningkatkan kemaan terowongan dan upaya mereduksi perpindahan.

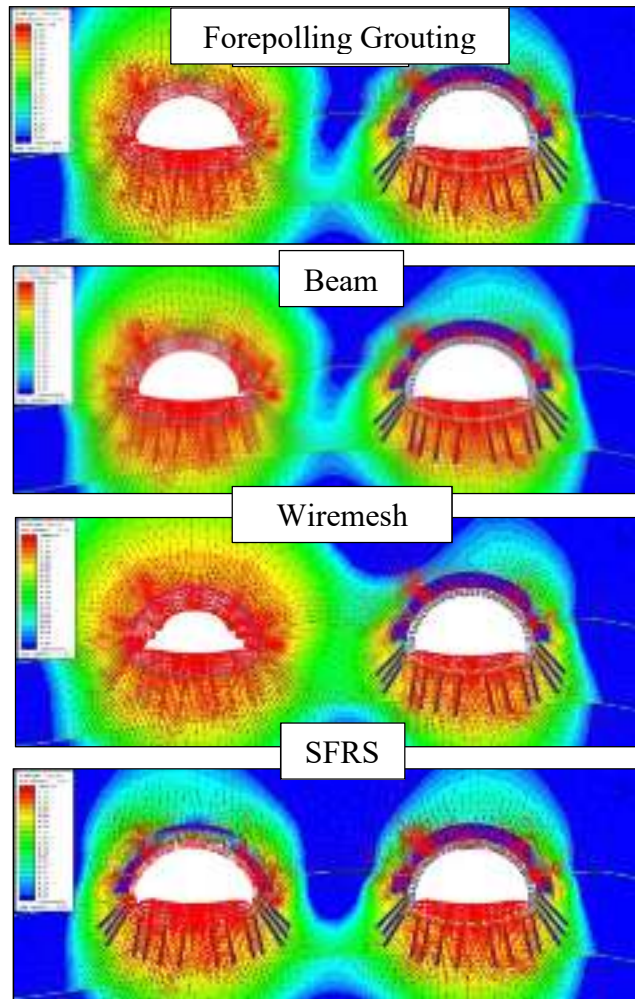


\* = *Forepolling grout*, \* = *Beam*, \*  
\* = *Batas SF*



= *Wiremesh*, \* = *SFRS*,

Gambar 13. Grafik nilai strength factor dan total displacement pada sistem penyangga

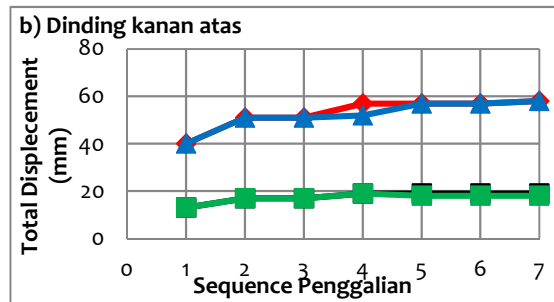
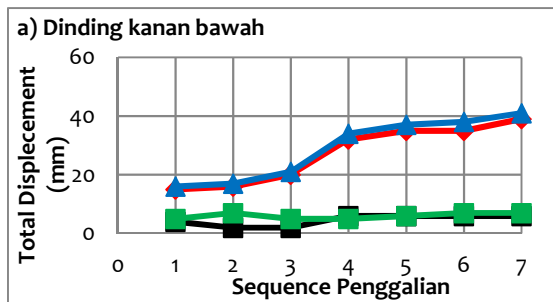


Gambar 14. Kondisi *strength factor* pada sistem penyangga

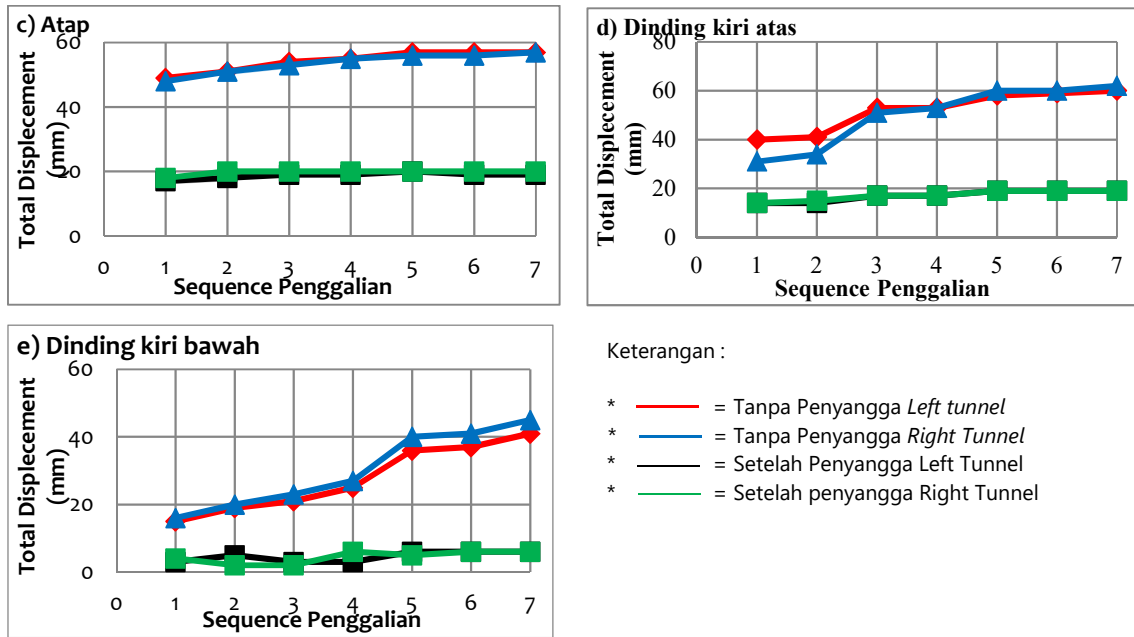
**4.2. Analisis Total Displacement Pada Penggalian Terowongan Kiri dan Terowongan Kanan**

Berdasarkan gambar 22 nilai maximum sebelum penyangga terdapat pada tahap ke-7 sebesar 39 mm (terowongan kiri) dan 41 mm (terowongan kanan). Peningkatan perpindahan terbesar

sebelum penyangga terjadi di tahap ke-3 sebesar 38% pada kedua terowongan. Sedangkan, pada tahap ke-4 hingga ke-7 mengalami peningkatan pada terowongan kiri sebesar 9%,0%,10 % dan terowongan kanan sebesar 8%,3%,7%. Namun, setelah penyangga rata-rata mengalami penurunan perpindahan menjadi 5 mm atau turun sebesar 83%.



dkk



**Gambar 15.** Distribusi perpindahan pada pengamatan 3

Berdasarkan hasil perhitungan numerik dengan menganalisis *total displacement* dapat disimpulkan bahwa perpindahan yang terjadi pada terowongan kanan lebih besar dari pada terowongan kiri. Perbedaan total displacement pada pada titik pengamatan antara 1 mm – 10 mm. Kemudian, berdasarkan perpindahan setelah penyangga diketahui bahwa kinerja penyangga bekerja efisien karena dapat mengurangi perpindahan yang terjadi di setiap sequence penggalian. Dengan demikian, dengan kondisi model tersebut berdasarkan nilai perpindahannya, apabila terowongan dilakukan penggalian pada elevasi tersebut maka, letak pada terowongan kanan akan mengalami perpindahan yang lebih besar dibandingkan terowongan kiri.

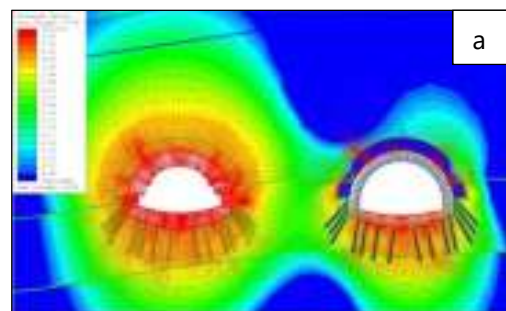
pada dinding kiri dan dinding kanan terowongan hal tersebut juga dapat menjadi faktor terjadi peningkatan perpindahan yang drastis pada sequence tersebut. Berdasarkan persentase diperoleh pada dinding kanan bawah (pengamatan 1) terjadi penurunan yang besar dibandingkan titik pengamatan lainnya artinya penyangga yang bekerja titik tersebut sangat efektif.

Pada gambar 27 dapat diperoleh dari pengamatan arah distribusi tegangan pada terowongan kanan terdistribusi pada dinding – dinding terowongan. Sehingga, apabila terjadi perpindahan yang besar pada dinding terowongan dapat diindikasikan terjadi distribusi tegangan yang besar pada dinding terowongan.

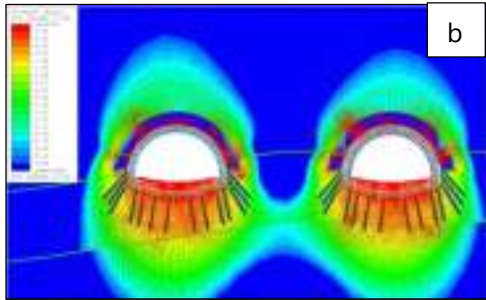
### 4.3. Pengaruh Terowongan Kiri Terhadap Terowongan Kanan Berdasarkan Nilai *Total Displacement*

#### a. Terowongan kaan terhadap terowongan kiri setelah pemasangan penyangga permanen

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari persentase dapat dibuat ilustrasi terhadap sequence penggalian terowongan Cisumdawu dapat mengalami peningkatan yang tinggi pada sequence ke-2, sequence ke-3, sequence ke-4 dan sequence ke-5. Sehingga, dapat dibuktikan bahwa peran dari middle dan lower sangat penting dalam mereduksi distribusi perpindahan. apabila melihat dari distribusi vektor terjadi akumulasi



**Gambar 16.** Kondisi distribusi vektor pada terowongan kanan di *sequence* akhir penggalian terowongan tanpa penyangga



**Gambar 17.** Kondisi distribusi vektor pada terowongan kanan di *sequence* akhir penggalian terowongan setelah penyangga

**b. Perbandingan nilai total displacement terowongan kanan terhadap terowongan kiri**

Berdasarkan pada grafik dinding kanan bawah diperoleh bahwa *sequence* ke-2 dan ke-3 lebih besar ketika terdapat penyangga permanen. Kemudian, setelah *sequence* ke 4 hingga ke 7 terowongan tanpa penggalian lebih besar. Kemudian pada pengamatan dinding kanan atas diperoleh pada *sequence* 1 tanpa terowongan kiri mengalami perpindahan yang lebih besar sebesar 40 mm, namun setelah *sequence* ke-2 hingga ke-7 diperoleh bahwa terowongan kiri dengan penyangga permanen lebih besar. Pada atap terowongan tidak mengalami perbedaan ketika terowongan kiri penyangga permanen atau tanpa penggalian terowongan kiri. Pada dinding kiri atas diperoleh pada *sequence* ke-1 dan ke-2 mengalami perpindahan yang lebih besar ketika tanpa penggalian terowongan kiri. Namun, setelah *sequence* ke-3 hingga ke-7 diperoleh mengalami perpindahan yang lebih ketika terowongan kiri penyangga permanen. Pada dinding terowongan kiri bawah diperoleh *sequence* ke-1 hingga ke-7 lebih besar ketika terowongan kiri penyangga permanen.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa terjadinya penggalian terowongan kiri sangat berpengaruh terhadap kondisi perpindahna terowongan kanan. adanya pengaruh tersebut diperoleh dari contour yang terjadi diantara terowongan kanan dan terowongan kiri. Hal tersebut juga dibuktikan pada penelitian yang telah ada bahwa jarak antara terowongan berpengaruh terhadap kestabilan terowongan penelitian tersebut melakukan simulasi dengan 2 kali diameter (2D) dan 3 kali diameter (3D).

**4.4. Pengaruh Tegangan Vertikal dan Tegangan Horisontal Terowongan Kanan Terhadap Terowongan Kiri**

**a. Analisis tegangan vertikal dan tegangan horizontal terowongan kanan ketika terowongan kiri telah penyangga permanen**

Berdasarkan hasil distribusi sigma 3 beberapa titik pengamatan terowongan mengalami kondisi *compression stress* (+) dan *tensile stress* (-).

Pengamatan terhadap sigma 1 untuk terowongan kanan dapat dilihat pada Tabel 5.4. berdasarkan hasil sigma 1 diperoleh pada pengamatan 1 dan 5 terjadi penurunan nilai. Tahap ke-7 pada pengamatan 2 dan 3 menjadi lebih besar dibandingkan tahap ke-1. Sedangkan, pengamatan 1,4 dan 5 mengalami penurunan. Setelah penyangga pada dinding kanan atas, atap dan kiri atas diperoleh tegangan sebesar 0,254, 0,200 dan 0,199. Berdasarkan Tabel 5.4 diperoleh hasil sigma 1 setelah penyangga lebih besar daripada sebelum penyangga.

Pengamatan terhadap sigma 3 dapat dilihat pada Tabel 5.4. Setelah dilakukan analisis sigma 3 terowongan mengalami *tensile stress* atau tegangan tarik (-) dan *compression stress* atau tegangan penekan (+). *Tensile stress* terjadi pada seluruh pengamatan saat sebelum penyangga dan setelah penyangga. sebelum penyangga *Compression stress* maximum terjadi pada pengamatan 1 tahap ke-2 (atap) sebesar 0,121 Mpa. *Tensile stress* maximum sebelum penyangga terjadi pada pengamatan 1 di tahap ke-2 sebesar -0,1771 MPa. Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 5.4 mengindikasikan terjadi *tensile stress* pada terowongan setelah penyangga. Terjadi kondisi tersebut dapat disebabkan oleh *compression stress* atau tegangan vertikal yang terlalu besar.

Berdasarkan hasil analisis numerik, diperoleh sigma 1 terowongan setelah penyangga lebih besar dari tanpa penyangga. Hal tersebut dapat disebabkan karena kondisi daerah penggalian yang merupakan tanah sehingga dipasang penyangga akan menambah beban pada terowongan sehingga kondisi tersebut dapat terjadi.

**b. Perbandingan Nilai Tegangan Vertikal dan Tegangan Horisontal Terowongan Kanan Terhadap Terowongan Kiri Pada Kondisi Tanpa Penggalian Dan Penyangga Permanen**

Berdasarkan hasil yang diperoleh diatas dapat dikemukakan ilustrasi distribusi tegangan terhadap *sequence* penggalian secara umum. Terowongan kanan setelah dipasang penyangga

dkk

ketika tanpa penggalian terowongan kiri memiliki nilai distribusi tegangan yang lebih besar. Kemudian terowongan kanan tanpa penyangga diperoleh bahwa kondisi tanpa penggalian terowongan kiri lebih besar. Sehingga, dapat disimpulkan pada distribusi tegangan yang terjadi lebih besar pada terowongan tanpa penggalian terowongan kiri. Kemudian terjadi peningkatan tegangan apabila dihubungkan dengan lingkaran mohr coulomb artinya tegangan yang meningkat dapat membuat terowongan menjadi semakin aman, karena menjauhi garis envelope atau batas *failure*. Melihat dari nilai sigma 1 dan sigma 3 ketika dipasang penyangga mengalami kenaikan yang besar disebabkan oleh karakteristik dari daerah penggalian yang merupakan tanah jelek sehingga dapat dimungkinkan terjadi hal tersebut.

**4.5. Analisis Pengaruh Perubahan Tegangan In-situ Terhadap *Strength Factor***

Pada penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh yang terjadi akibat peningkatan *field stress*. Untuk mengetahui pengaruh tersebut, dibuat hubungan tegangan insitu terhadap *streng factor*.

Berdasarkan hasil analisis nilai tegangan insitu dan strength factor dapat dibuat hubungan untuk melihat pengaruh. Pada penelitian ini, variabel bebas adalah tegangan in-situ dan variabel terikat adalah *strength factor*. Sehingga, perubahan yang terjadi pada tegangan in-situ dapat diketahui nilai strength factornya pada titik pengamatan

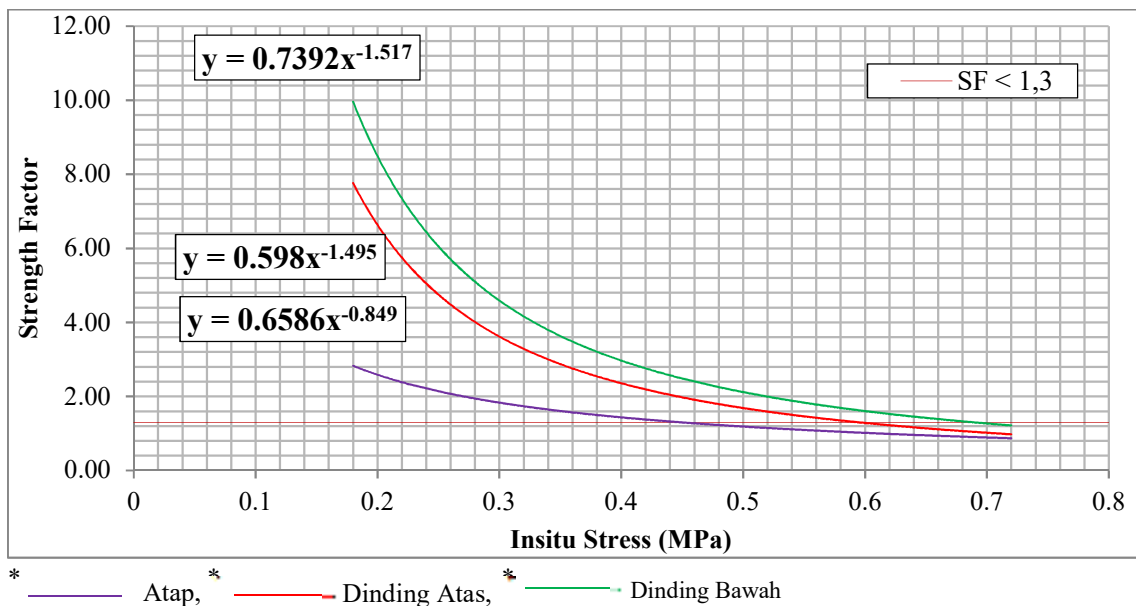
terowongan. Tingkat hubungan kedua variabel tersebut berdasarkan koefisien korelasi menurut sugiyono yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.5 Nilai koefisien korelasi (Sugiyono, 2009)

Interval Koefisien	Tingkat hubungan
0,00 - 0,19	Sangat Redah
0,20 - 0,39	Rendah
0,40 - 0,59	Sedang
0,60 - 0,79	Kuat
0,80 - 1,00	Sangat Kuat

Grafik pada Gambar 18 menggunakan *trendlline power* dan terbagi atas 3 trendline yakni pada dinding atas, dinding bawah dan atap. Sehingga, grafik dibawah dapat digunakan dengan asumsi yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Grafik dibawah sebagai prediksi untuk menentukan kestabilan terowongan Cisumdawu.

Berdasarkan grafik diatas dapat diperoleh nilai tegangan insitu ketika terjadi peningkatan hingga terjadi kondisi tidak stabil. Pada atap terowongan mengalami kondisi tidak stabil ketika tegangan in-situ sebesar 0,41 MPa. Sedangkan, pada dinding atas terowongan ketika tegangan in-situ sebesar 0,60 MPa. Pada dinding bawah terowongan ketika tegangan insitu sebesar 0,68 MPa. Sehingga, terowongan akan mengalami kondisi tidak stabil ketika diterjadi tegangan insitu sebesar 0,68 MPa.



Gambar 18. Grafik hubungan tegangan in-situ terhadap *strength factor*

## 5. KESIMPULAN

- a. Berdasarkan nilai *strength factor* diperoleh pada jenis penyangga *Forepolling grouting* adalah yang paling berpengaruh dalam meningkatkan stabilitas terowongan.
- b. Pada hasil analisis nilai *total displacement* pada sequence penggalian pada terowongan kiri dan terowongan kanan diperoleh terowongan kanan mengalami perpindahan yang lebih besar. Perbedaan terowongan kanan dengan terowongan kiri tanpa penyangga berkisar 1 mm – 10 mm. Sedangkan, setelah penyangga memiliki perbedaan 1 mm.
- c. Berdasarkan analisis nilai *total displacement* pada *sequence* penggalian pada terowongan kanan diperoleh :
  - Pada kondisi terowongan kiri setelah pemasangan penyangga permanen diketahui bahwa sequence ke-2, ke-3, ke-4 dan ke-5 atau penggalian middle dan lower merupakan sequence yang berpengaruh dalam upaya mereduksi perpindahan pada terowongan.
  - Penggalian terowongan kiri menyebabkan terjadi perpindahan yang lebih besar dibandingkan tanpa penggalian terowongan kiri.
- d. Berdasarkan analisis distribusi tegangan terowongan diperoleh :
  - Kondisi terowongan kanan setelah pemasangan penyangga permanen diperoleh tegangan vertikal ( $\sigma_1$ ) dan tegangan horizontal ( $\sigma_3$ ) mengalami kenaikan di setiap *sequence* dan kondisi  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  setelah penyangga lebih besar dibanding tanpa penyangga.
  - Terowongan kanan dengan tanpa penggalian terowongan kiri memiliki nilai distribusi tegangan lebih besar ketika tanpa penyangga maupun setelah dipasang penyangga.
- e. Peningkatan tegangan insitu dapat menurunkan nilai *strength factor* sehingga dapat mempengaruhi kestabilan terowongan.

## 6. SARAN

1. Perlu dilakukan studi yang terperinci untuk penyangga jenis *forepolling grouting*. Studi tersebut meliputi pengaruh sudut *forepolling*, panjang dari *forepolling* dan kualitas dari properties *grout*. Hal tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh terhadap kestabilan terowongan.
2. Terowongan yang berada pada elevasi sama berpengaruh terhadap nilai *total displacement*

sehingga perlu dilakukan studi terkait pengaruh *total displacement* berdasarkan fungsi kedalaman. Pengaruh dari *total displacement* dapat menyatakan kondisi terowongan aman dari keruntuhan atau tidak aman dari keruntuhan.

## 7. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, diantaranya Orang tua, Program Studi Sarjana Teknik Pertambangan UPN “Veteran” Yogyakarta, Pembimbing dan Pembahas yaitu Dr. Ir. Singgih Saptono, MT dan Dra. Indun Titisariwati, MT. Penulis Berharap semoga penelitian ini bermanfaat dan sebagai satu tambahan wawasan ilmu pengetahuan dalam bidang geomekanika.

## 8. DAFTAR PUSTAKA

1. Abdellah, W. R., 2018, *Studying The Effect Of Some Parameters On The Stability Of Shallow*, Journal Elseveir, Mesir.
2. Bieniawski Z. T., 1989, *Engineering Rock Mass Clasifications*, Jhon Wiley & Sons, Inc., Canada.
3. Chu, B. L., 2006, *Mechanical Behaviour Of A Twin Tunnel In Multi-Layered Formations*, Journal Elsevier, Taiwan.
4. Clarke, B.G., 1995, *Pressuremeters In Geotechnical Design*, Blackie Academic & Professional, London.
5. Das, Braja M., dkk., 1995., *Mekanika Tanah Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
6. Hoek, E., dkk., 1998, *Support of Underground Excavation in Hard Rock*, A.A. Balkema Publishers, Rotterdam.
7. Langaker, M., 2014, *Joborget tunnel – Analysis of stability and support design for tunneling in soil*, Norwegian University of Science and Technology, Department of Geology and Mineral Resources Engineering.
8. Kolymbas, Dimitrios., 2008, *Tunnelling and Tunnel Mechanics*, Springer, Berlin.
9. Li, Pengfei, dkk., 2016, *Displacement characteristics of high-speed railway tunnel construction in loess ground by using multi-step excavation method*, Journal Elsevier, Tiongkok.



dkk

10. Rai, M.A., Kramadibrata, S., Wattimena, R.K., 2013, *Mekanika Batuan*. Penerbit ITB, Bandung.
11. Saptono, S., 2012, *Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara*, Disertasi, Program Studi Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
12. Saptono, S., dkk., 2009, *Pengaruh Ukuran Contoh Terhadap Kekuatan Batuan*, Jurnal Teknologi Mineral Vol. XVI No. 1/2009, ITB.
13. Sakurai, Shunsuke, 2017, *Back Analysis In Rock Engineering*, CRC Press/Balkema, London, Volume 4.
14. Singh, B., and Goel, R.K., 1999, *Rock Mass Classification*, Elsevier Science Ltd, Oxford, UK.
15. SNI 03 4813-1998. *Cara Uji Triaxial Untuk Tanah Kohesif Dalam Keadaan Tidak Terkonsolidasi dan Tidak Terdrainase (UU)*.
16. SNI 03 2815-1992. *Metode Pengujian Triaxial*.
17. SNI 03 1974-1990. *Metode Pengujian Kuat Tekan Beton*.
18. SNI 03 6825-2002. *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil*.
19. Singh, B., and Goel, R.K., 2006, *Tunnelling in Weak Rock*, Elsevier Science Ltd, Oxford, UK.
20. Smith, M.J., 1984, *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat, Diterjemahkan oleh : Elly Madyayanti, Erlangga, Jakarta.
21. Soedarmo, G.D., dan Purnomo, S.J.E, 1993, *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Kanisius, Malang.
22. Terzaghi, K., dan Peck, R.B., 1987, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*, Edisi Kedua, Diterjemahkan oleh : Bagus Witjaksono dan Benny Krisna R., Erlangga, Jakarta.
23. Terzaghi, K. and Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 3rd edition, Wiley, New York, NY, USA.
24. Verrujit, A., 2001, *Soil Mechanics*, Delf University Of Technology, Belanda.
25. Verrujit, A., 2018, *An Introduction to Soil Mechanics*, Springer International, Belanda, Volume 30.
26. Wyllie, D. C. and Mah, C.W., 2004, *Rock Slope Engineering Civil and Mining 4<sup>th</sup> Edition*, Spon Press, 270 Madison Avenue, New York, USA.