

Analisis Pengaruh Penyanggaan Pada Deformasi Terowongan Di Batuan Lemah Pada Pembangunan Double Terowongan Jalur Tol Cisumdawu (Cileunyi – Sumedang – Dawuan), Jawa Barat

Nurmaya Putri Ira¹, Singgih Saptono², Metallurgy Corporation of China (MCC)³

Magister Teknik Pertambangan Konsentrasi Geomekhanika UPN "Veteran" Yogyakarta¹

Email : nrmayaputriira@gmail.com

Abstrak

Pembangunan Double Terowongan pada pembangunan jalan tol CISUMDAWU (Cileunyi – Sumedang – Dawuan) yang dimulai pada Juli 2017 dan ditargetkan selesai pada Desember 2018 ini memiliki panjang 472 meter dengan diameter 14 meter. Lokasi pembangunan terowongan ini berada di kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. Penggalian pada terowongan ini menggunakan dua metode, yaitu Cut and cover (untuk bagian kiri) dan NATM (untuk bagian kanan). Penggalian terowongan menggunakan alat bantu seperti excavator dan dozer dikarenakan kondisi batuan lapuk. Dari hasil Pemantauan dilapangan dengan bantuan alat Total Station dan convergen didapat deformasi akibat pengaruh massa batuan sebesar 5mm. Dari hasil perhitungan secara analitik didapatkan besarnya deformasi terkecil pada pembuatan terowongan untuk dengan penyanggaan steel rib sebesar 2.1826 mm dan shotcrete 2.1219 mm sedangkan nilai deformasi terbesar untuk steel rib sebesar 2.1219 mm dan shotcrete 159.3114 mm. Sedangkan untuk nilai zona plastis terkecil dari terowongan dengan penyangga steel rib 4.5051 mm dan shotcrete 4.4729 mm, untuk nilai zona plastis terbesar dari penyangga steel rib 113.5986 mm dan shotcrete 111.9032 mm.

Kata kunci: Deformasi, weak rock, CISUMDAWU

1. Pendahuluan

Pembangunan Double terowongan Cisumdawu merupakan daerah yang memiliki litologi, morfologi dan struktur geologi yang kompleks. Struktur geologi di area terowongan bebas dari struktur patahan lembang dan patahan tongo dan pada saat penggalian diterowongan diarea terowongan kiri, tidak ditemukan indikasi micro fault ataupun mikro joint, dan ini sesuai dengan analisa seismic refraksi yang telah dilakukan pada area pekerjaan terowongan tetapi area pekerjaan ini tidak akan terbebas dari guncangan gempa vulkanik dan tektonik. Oleh karena itu konstruksi yang dibuat pada terowongan ini harus sesuai dengan hasil seismic refraksi. Salah satu hal yang dipertimbangkan dalam pembuatan terowongan ini adalah kondisi batuan yang sangat lapuk dan berada di atas elevasi muka air tanah sehingga dibutuhkan penyanggaan yang lebih spesifik untuk mengatasi deformasi serta permeabilitas batuan dari terowongan. Untuk itu diputuskan pengerjaan terowongan dimulai dari sisi elevasi titik terendah yaitu sisi outlet.

Lapisan overburden dari terowongan ini mencapai hingga 52.8 meter. Terowongan dengan panjang 472 meter ini terbentang dari STA 12+628 sampai STA 13+100. Menggunakan dua metode

penggalian yaitu Cut and Cover (left tunnel) dan New Austrian Tunneling Method NATM (right tunnel).

2. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggabungkan antara teori dan kenyataan yang terdapat di lapangan. Dari kedua hal tersebut dapat ditarik pendekatan terhadap permasalahan yang timbul.

2.1 Metode Pengumpulan Data

Urutan kegiatan yang akan ditempuh sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur yaitu dengan mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan masalah yang akan dibahas dilapangan melalui buku-buku/literature. Selain itu juga mempelajari penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya berupa penelitian atau laporan data perusahaan.

2. Penelitian di lapangan

Maksud dari orientasi dilapangan adalah melakukan pengamatan secara langsung terhadap permasalahan yang akan dibahas yaitu topografi daerah penelitian, kondisi daerah pembuatan terowongan, serta sistem penggalian yang digunakan hingga saat ini. Penelitian dilapangan ditujukan untuk mendapatkan data-data yang diperlukan secara langsung dilapangan. Pengambilan data dilakukan dengan pengamatan dan pengukuran. Pengamatan dilakukan untuk data kegiatan penggalian dan kondisi material hasil penggalian, sedangkan data hasil pengukuran dilakukan pada:

- Data hasil monitoring alat Convergen dan Total Station.
- Pengamatan pada pengerjaan pemasangan penyanggaan.

3. Penelitian di Laboratorium

Pengambilan data di laboratorium dilakukan dengan beberapa pengujian, seperti:

- Data hasil pengujian Bore Hole
- Data hasil pengujian triaxial
- Data hasil pengujian UCS

2.2 Metode Analisis Data

Pengolahan data hasil penelitian dilakukan berdasarkan perhitungan dan teori yang ada dan data hasil penelitian.

- a. Perhitungan deformasi terowongan
- b. Perhitungan zona plastis
- c. Perhitungan tegangan insitu yang terjadi

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Lokasi, geologi daerah, tinjauan geologi

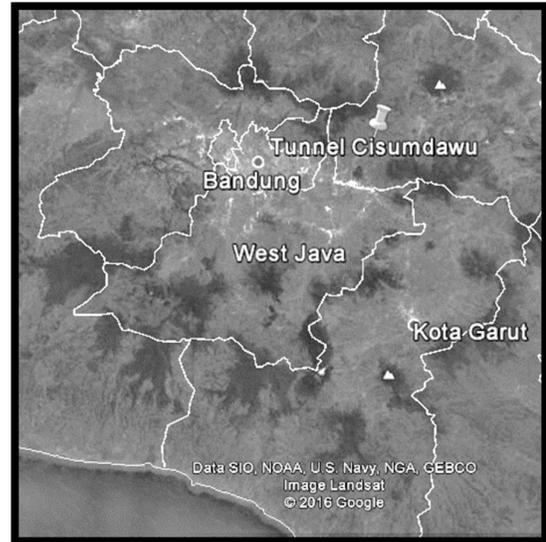
Pembangunan terowongan Tol CISUMDAWU ini terletak di Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat.

3.2 Deformasi terowongan

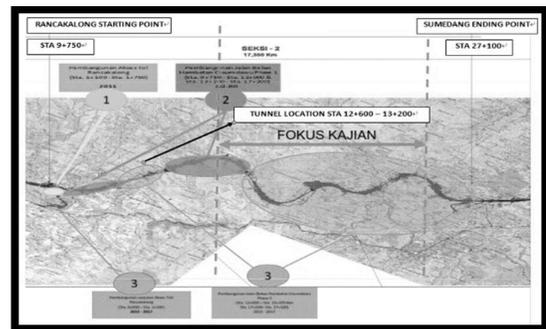
Dari pembacaan alat monitoring yang telah dilakukan didapatkan hasil deformasi dari terowongan sebesar 5 mm.

Untuk membuktikan hal tersebut dilakukan analisis perhitungan secara analitik dengan menggunakan rumus-rumus dengan pendekatan perkiraan kekuatan massa batuan. Sifat massa batuan yang digunakan dalam analisis ini menggunakan kriteria kegagalan Hoek-Brown (Hoek and Brown 1997).

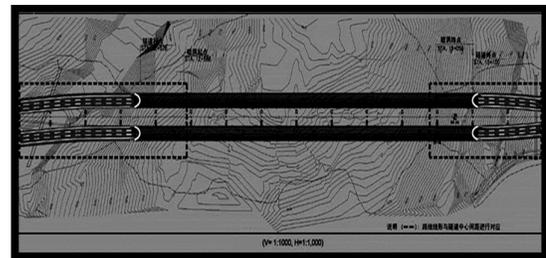
Parameter massa batuan untuk analisis ini adalah sudut gesek dalam (ϕ), kohesi (c), modulus deformasi (E) dan kuat tekan uniaxial (σ_{cm}), serta didukung dengan pendekatan GSI.



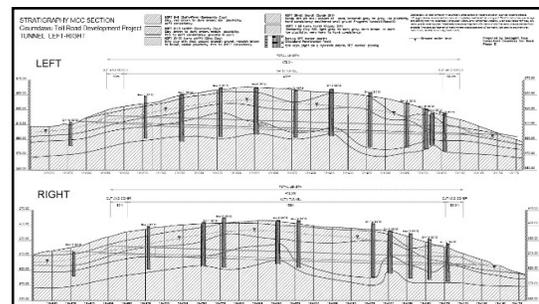
Gambar 1: Peta Lokasi Terowongan CISUMDAWU



Gambar 2: Lokasi Tunnel CISUMDAWU



Gambar 3: Layout terowongan

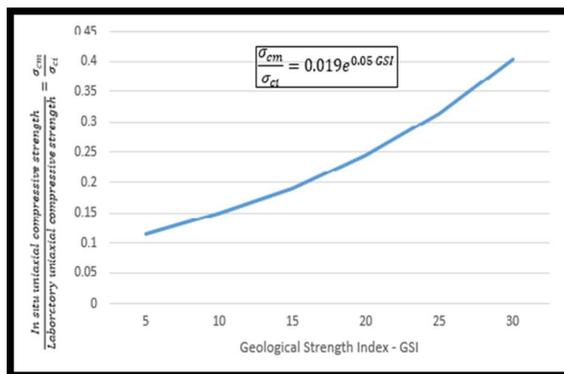


Gambar 4: Stratigrafi terowongan

Nilai GSI pada massa batuan dapat diilustrasikan pada gambar 5. Untuk batuan lemah "weak rock", nilai-nilai GSI dari 5 sampai 30 sebagai acuan utama. Untuk kisaran nilai tersebut, terdapat perkiraan hubungan antara GSI dan Kuat tekan uniaxial (Insitu) dari hasil laboratorium (gambar 6). Hubungan ini menyajikan cara sederhana untuk memperkirakan kuat tekan uniaxial (σ_{cm}) yang digunakan dalam analisis deformasi terowongan.

Gambar 5: Nilai Geological Strength Index GSI pada massa batuan (Hoek and Brown, 1997)

Rock Type: General	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY →				
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40		
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				30	20
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10



Gambar 6. Hubungan antara Geological Strength Index (GSI) dan rasio pengujian laboratorium dari tekanan uniaxial Insitu vs Kekuatan batuan

Perhitungan zona plastic dan deformasi pada terowongan menggunakan rumus:

$$\frac{d_p}{d_o} = \left(1.25 - 0.625 \frac{p_i}{p_o} \right) \frac{\sigma_{cm}}{p_o} \left(\frac{p_i}{p_o} \right)^{-0.57} \dots (1)$$

$$\frac{\delta_i}{d_o} = \left(0.002 - 0.0025 \frac{p_i}{p_o} \right) \frac{\sigma_{cm}}{p_o} \left(2.4 \frac{p_i}{p_o} - 2 \right) \dots (2)$$

Keterangan:

d_p = Plastic zone radius

δ_i = Tunnel sidewall deformation

d_o = Original tunnel radius in metres

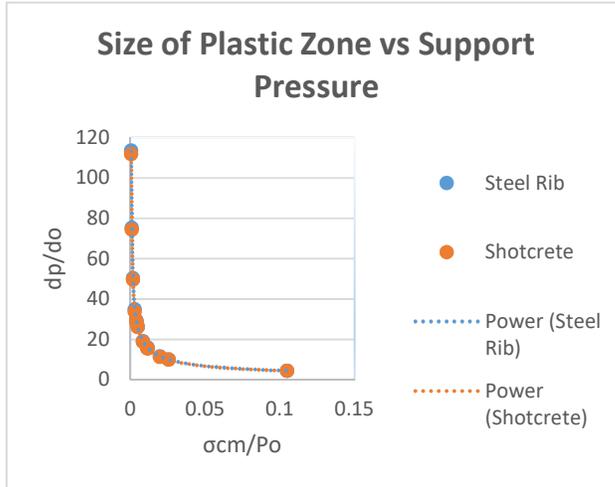
p_i = Internal support pressure

p_o = In situ stress = depth × unit weight of rock mass

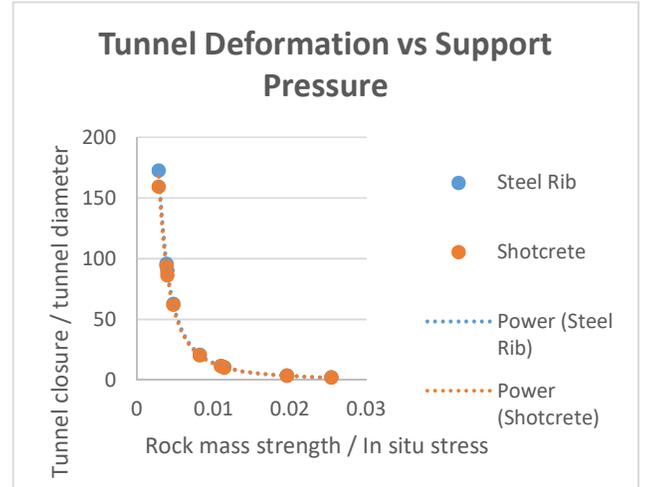
σ_{cm} = Rock mass strength
 $= 2c \cos \phi / (1 - \sin \phi)$

Tabel 1: Hasil perhitungan deformasi terowongan

No	B H	ST A	(m)	σ_{cm} m/ Po	dp/do		δ_i /do	
					steel rib	shocret e/concrete	steel rib	shocret e/concrete
1	1 4	12 +9 -75	18.5 - 19.0	0.0 11 866	15. 866 4	15.5255	10. 769 3	10.2698
2	1 4	12 +9 -75	59.5 - 60.0	0.0 04 296	26. 9 8	26.1608	62. 824 6	62.1092
3	1 5	13 +0 -25	15.5 - 16.0	0.1 04 9	4.5 051	4.4729	5.1 290	5.1271
4	1 5	13 +0 -25	30.5 - 31.0	0.0 08 2	19. 182 2	18.8878	20. 884 5	20.1870
5	1 5	13 +0 -25	48.5 - 49.0	0.0 00 4	113 .59 86	111.903 2	107 .14 50	103.545 8
6	1 6	13 +0 -50	30.5 - 31.0	0.0 19 6	11. 645 0	11.4002	3.6 370	3.4742
7	1 6	13 +0 -50	38.5 - 39.0	0.0 03 8	29. 642 7	29.3459	95. 888 4	93.7679
8	1 7	13 +0 -50	32.5 - 33.0	0.0 25 4	10. 080 2	9.9483	2.1 826	2.1219
9	1 8	13 +0 -75	26.5 - 27.0 0	0.0 02 8	34. 910 4	33.6892	172 .48 10	159.311 4
10	1 8	13 +0 -75	32.5 - 33.0	0.0 03 9	29. 082 7	28.5152	90. 133 5	86.2724
11	1 8	13 +0 -75	35.5 - 36.0	0.0 11 0	16. 251 9	15.9941	11. 678 0	11.2771



Gambar 7. Grafik perbandingan Zona plastis dengan tekanan pada penyangga



Gambar 8. Grafik perbandingan Deformasi terowongan dengan tegangan in situ

3.3 Analisis Pemantauan Terowongan

Deformasi untuk Terowongan sebelah kiri (Left tunnel) diantisipasi sebesar 250 mm dari STA 13+100 ~ STA 13+028. Dengan adanya pemantauan langsung dilapangan, akumulasi dari monitoring berada dalam jarak 5 mm dan deformasi yang terjadi pada setiap harinya tidak lebih dari 1 mm, menandakan bahwa batuan disekitar dalam keadaan stabil.

Penggalian pada Terowongan sebelah kiri dimulai dari STA 13+028, dengan antisipasi deformasi sebesar 150 mm. Antisipasi tersebut disesuaikan dengan situasi aktual yang terjadi.

1. Jenis Monitoring

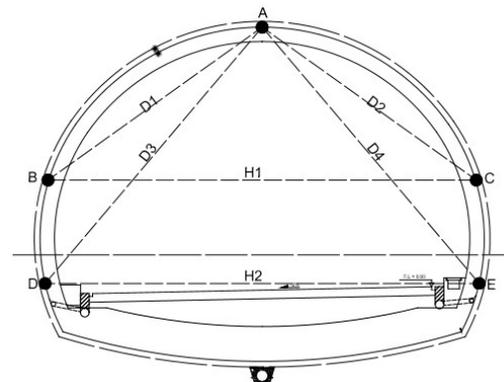
Menurut desain, ada dua jenis pemantauan yang dilakukan:

Tabel 2: Tunnel Monitoring Spacing, Location and Frequency

Item	Spacing	Location	Position & Timing	Frequency		
				0~15 days (0~7days)	15~30 days (8~14 days)	Over 30 days (Over 15 days)
Measurement A (Regular measurement)	Tunnel Internal Inspection	Whole Length	Every Cycle	Every Cycle	Every Cycle	Every Cycle
	Internal Displacement	10~50m	2 Points Horizontal, 4 points Diagona	1~2 Times/Day	2 Times/Week	1 Time/Week
	Roor Settlement	10~50m	1 Point	1~2 Times/Day	2 Times/Week	1 Time/Week
Measurement B (Regular measurement)	Shotcrete Stress	200~500m	3~5 Points (Radial and Tangen tial Direction)	1 Time/Day	1 Time/Week	1 Time/2 Weeks

a. Analisis Monitoring NATM

Pemantauan pada NATM dengan melakukan pemasangan prisma pada 5 titik serta pemasangan stress box. Analisis ini diilustrasikan pada gambar 8.



Gambar 9: Sketsa pemantauan di NATM



Gambar 10: NATM monitoring point

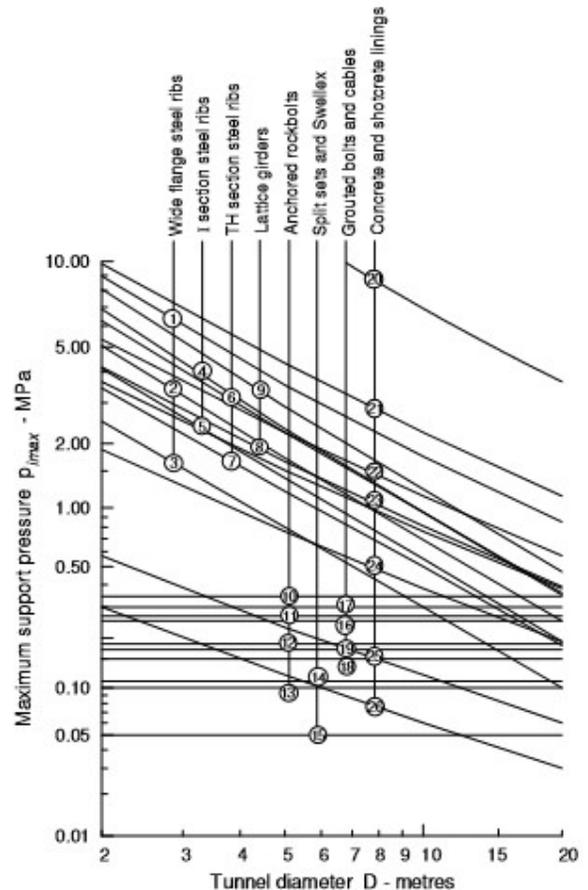
3.4 Perkiraan Kapasitas Penyanggaan

Hoek and Brown (1980) dan Brady and Brown (1985) mengemukakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kapasitas dari penyanggaan seperti rockbolt, shotcrete/ lining concrete, serta steel set untuk perkuatan diameter terowongan. Pada pengerjaan terowongan CISUMDAWU ini, penyanggaan yang digunakan berupa steel rib dan shotcrete/lining concrete.

Support type	Flange width - mm	Section depth - mm	Weight - kg/m	Curve number	Maximum support pressure $p_{i\max}$ (MPa) for a tunnel of diameter D (metres) and a set spacing of s (metres)
 Wide flange rib	305	305	97	1	$p_{i\max} = 19.9D^{-1.23}/s$
	203	203	67	2	$p_{i\max} = 13.2D^{-1.3}/s$
	150	150	32	3	$p_{i\max} = 7.0D^{-1.4}/s$

Support type	Thickness - mm	Age - days	UCS - MPa	Curve number	Maximum support pressure $p_{i\max}$ (MPa) for a tunnel of diameter D (metres)
 Concrete or shotcrete lining	1m	28	35	20	$p_{i\max} = 57.8D^{-0.92}$
	300	28	35	21	$p_{i\max} = 19.1D^{-0.92}$
	150	28	35	22	$p_{i\max} = 10.6D^{-0.97}$
	100	28	35	23	$p_{i\max} = 7.3D^{-0.98}$
	50	28	35	24	$p_{i\max} = 3.8D^{-0.99}$
	50	3	11	25	$p_{i\max} = 1.1D^{-0.97}$
	50	0.5	6	26	$p_{i\max} = 0.6D^{-1.0}$

Gambar 11: Support type classification (Steel rib and Shotcrete and concrete lining)



Gambar 12: Grafik perkiraan kapasitas maksimum perbedaan antara beberapa penyanggaan pada terowongan.

Pada kasus pengerjaan terowongan CISUMDAWU ini diterapkan konsep-konsep perhitungan dengan analitikal berdasarkan rumus yang telah diterapkan pada persamaan (1) dan (2). Terowongan berbentuk tapal kuda dengan kondisi batuan yang sangat tidak baik (weak rock) dikarenakan batuan termasuk golongan sangat lapuk (sandy silt). Massa batuan didapat dari pengujian uniaxial di laboratorium, $\sigma_{ci} = 13 \text{ MPa}$. Dari Tabel 1 dijelaskan mengenai Geological Strength Index GSI = 5. Dari Gambar 1 untuk kekuatan uniaxial massa batuan didapatkan, $\sigma_{cm} = 1.5 \text{ MPa}$.

Analisis awal untuk deformasi terowongan dan penyanggaan yang diperlukan, disajikan dalam tabel 3. Ini memperkirakan tekanan insitu serta rasio dari kekuatan batuan untuk setiap kedalaman terowongan yang berhubungan dengan persamaan 2.

Untuk kasus pembuatan terowongan pada CISUMDAWU dengan kedalaman 40 meter dengan kondisi tanah yang kompleks tidak bisa menahan beban sendiri terlalu lama dikarenakan kondisi batuan yang sangat lemah serta memiliki tingkat permeabilitas yang tinggi.

Untuk steel rib menggunakan spesifikasi H150x150x7x10-12m dengan Standart SNI-

2610:2011. Untuk shotcrete menggunakan ketebalan 250 mm dengan hasil interpolasi didapatkan $p_{imax} = 14.85 D^{-1.02}$.

4. KESIMPULAN

Desain penyanggaan untuk terowongan pada batuan lemah (weak rock) memiliki masalah yang kompleks. Dari hasil perhitungan didapatkan besarnya deformasi terkecil pada pembuatan terowongan untuk dengan penyanggaan steel rib sebesar 2.1826 mm dan shotcrete 2.1219 mm sedangkan nilai deformasi terbesar untuk steel rib sebesar 2.1219 mm dan shotcrete 159.3114 mm. Sedangkan untuk nilai zona plastis terkecil dari terowongan dengan penyangga steel rib 4.5051 mm dan shotcrete 4.4729 mm, untuk nilai zona plastis terbesar dari penyangga steel rib 113.5986 mm dan shotcrete 111.9032 mm.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis kepada orang tua, serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan paper ini.

Daftar Pustaka

- Hoek, E. and Brown, E.T. (1980), a). Underground excavations in rock. London, Inst. Min. Metall.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1980), b). Empirical strength criterion for rock masses. J. Geotech Engng. Div., ASCE, 106 (GT 9), 1013-1035.
- Hoek, E., and Brown, E.T. (1980). Underground excavations in rock. Instn Min. Metall., London.
- Hoek, E. (1983). Strength of jointed rock masses, 23rd Rankine Lecture. Géotechnique 33(3), 187- 223.
- Hoek, E. (1994). Strength of rock and rock masses, ISRM News Journal, 2(2), 4-16.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden. W.F. (1995). Support of underground excavations in hard rock. Balkema, Rotterdam.
- Hoek, E. 1998. Tunnel support in weak rock, Keynote address, Symp. On sedimentary rock engineering, Taipei, Taiwan, 20-22.
- Sakurai, S. (1983). Displacement measurements associated with the design of underground openings. Proc. Int. Symp. Field Measurements in Geomechanics, Zurich 2, 1163-1178.