

# Pengaruh Retak dan Perilaku Batuan Kapur Saat Pembebanan Pada Proses Penambangan Bawah Permukaan

Dedy Asmaroni<sup>1)</sup>, Agus Irmawan<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Teknik Sipil, Universitas Madura

Jl. Raya Panglegur KM. 3,5 Pamekasan 69371

Email: dedyasmaroni@unira.ac.id

<sup>2)</sup> Teknik Sipil, Universitas Madura

Jl. Raya Panglegur KM. 3,5 Pamekasan 69371

Email: agurirmawan@unira.ac.id

## Abstract

Dolomite rocks included in limestone rocks are a sedimentary rock composed of mineral calcite which is a limestone shaped builder composed of calcium (Ca) and Carbonate (CO<sub>3</sub>) as well as magnesite (Mg). Utilization of limestone as a building material has been done long, this is due to limestone rock easy to get and cheap. Oleh therefore, limestone mining is mostly done both on the surface and under the surface of rock forming limestone tunnel. Until now, limestone mining in above the surface still has not happened slope due to limestone mining on the surface has a high enough level of safety even though the excavation done has a corner of 90°. But on the contrary, lumbar (collapse) often occurs on the excavation below the surface, The collapse is caused by miners' ignorance about the boundaries safe mining of batukapur beneath the surface especially when the rainy season. Therefore To minimize the occurrence of collapse in limestone rock when mining under the surface needs to be done research on the physical properties, technical properties and mechanical properties of limestone rock and its behavior when there is beba n work on it and the effect of cracks that occur in the rock to its carrying capacity when underground mining is done. Laboratory testing is carried out to determine the physical and technical properties of limestone rock while the bending test is done to find out the strength of the rock bending during the work load and the presence of limestone crevices. Laboratory test results will be used as data for inputplaxis modeling with different load and depth variations. Data analysis is done from Plaxis modeling result and mechanical test so it will know the influence of width and depth of excavation. The result of laboratory testing showed limestone Pamekas grouped into weak rock with compressive strength of 2.34 MPa with value of Gs 2.4 and cohesion 27.27 kPa. The result of modeling of Plaxis 8.2 shows that Lime tunnel collapse for its own weight occurs when the width of 5 meters with 7m deep tunnel 7m above the surface. While For mining with more bebantambahan, collapse began to occur when the width of the tunnel above 3 meters with excavation of more than 6 meters.

**Keywords:** Limestone; subsurface mining; excavation width

## Abstrak

Batuan dolomit termasuk dalam batuan kapur adalah sebuah batuan sedimen terdiri darimineral calcite yang merupakan pembentuk batuan kapur yang terdiri atas kalsium (Ca) danCarbonat (CO<sub>3</sub>) serta magnesite (Mg). Pemanfaatan batu kapur sebagai bahan bangunan telah lama dilakukan, hal ini disebabkan batuan kapur mudah didapatkan dan berharga murah. Oleh sebab itu, penambangan batu kapur banyak dilakukan baik di permukaan maupun dibawah permukaan batuan yang membentuk terowongan batu kapur. Sampai saat ini, penambangan batu kapur di atas permukaan masih belum terjadi kelongsoran karenapenambangan batu kapur di atas permukaan mempunyai tingkat keamanan yang cukup tinggi meskipun penggalian yang dilakukan mempunyai sudut 90°. Namun sebaliknya, kelongsoran(keruntuhan) sering terjadi pada penggalian di bawah permukaan, Keruntuhan tersebut diakibatkan oleh ketidaktahuan penambang tentang batas-batas aman penambangan batukapur di bawah permukaan terlebih ketika musim hujan. Oleh karena itu Untuk meminimalkan terjadinya keruntuhan pada batuan kapur ketika penambangan di bawah permukaan perlu dilakukan penelitian terhadap sifat fisik, sifat teknis dan sifat mekanis batuan kapur dan perilakunya ketika terdapat beban yang bekerja diatasnya serta pengaruh retakan yang terjadipada batuan terhadap daya dukungnya saat penambangan bawah permukaan dilakukan. Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan teknis batuan kapur sedangkan uji lentur dilakukan untuk mengetahui kuat lentur batuan saat beban bekerja dan adanya retakan batuan kapur. Hasil uji laboratoium akan dijadikan data untuk pemodelan inputplaxis dengan variasi beban dan kedalaman yang berbeda-beda. Analisa data dilakukan dari hasil pemodelan Plaxis dan pengujian mekanisnya sehingga akan diketahui pengaruh lebar dan kedalaman penggalian. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan batuan kapur Pamekas dikelompokkan ke dalam batuan lemah dengan kuat tekan 2.34 MPa dengan nilai Gs 2.4 dan kohesi 27.27 kPa. Hasil pemodelan Plaxis 8.2 menunjukkan bahwa Keruntuhan terowongan batuan kapur untuk berat sendiri terjadi ketika lebar galian 5 meter dengan kedalaman terowongan 7 meter dari atas permukaan. Sementara Untuk penambangan dengan bebantambahan di atasnya, keruntuhan mulai terjadi saat lebar terowongan di atas 3 meter dengankedalaman galian lebih dari 6 meter.

**Kata Kunci:** Batu kapur; penambangan bawah permukaan; lebar penggalian

## PENDAHULUAN

Batuan dolomit termasuk dalam batuan kapur adalah sebuah batuan sedimen terdiri dari mineral calcite yang merupakan pembentuk batuan kapur yang terdiri atas kalsium (Ca) dan Carbonat (CO<sub>3</sub>) serta magnesite (Mg). Sumber utama dari calcite ini adalah organisme laut. Organisme ini mengeluarkan *shell* yang keluar ke air dan

terdepos di lantai samudra sebagai *pelagic ooze*. Calcite sekunder juga dapat terdeposi oleh air meteorik tersupersaturasi (air batuan yang presipitasi material di gua) hal ini mengakibatkan terbentuknya *speleothem* seperti *stalagmit* dan *stalaktit*. Sumber dari *magnesite* ini dikarenakan batuan kapur yang tercampur dengan mineral *magnesium* di dalam kerak bumi sehingga warnanya agak

kecoklatan atau kekuningan (Salim, 2004).

Pemanfaatan batu kapur sebagai bahan bangunan telah lama dilakukan, hal ini disebabkan batuan kapur mudah didapatkan dan berharga murah. Oleh sebab itu, penambangan batu kapur banyak dilakukan baik di permukaan maupun di bawah permukaan batuan yang membentuk terowongan batu kapur. Sampai saat ini, penambangan batu kapur di atas permukaan masih belum terjadi kelongsoran karena penambangan batu kapur di atas permukaan mempunyai tingkat keamanan yang cukup tinggi meskipun penggalian yang dilakukan mempunyai sudut  $90^0$  (Yerry, 2012). Namun sebaliknya, kelongsoran (keruntuhan) sering terjadi pada penggalian di bawah permukaan batuan berupa terowongan dengan menelan korban jiwa lebih dari 3 orang seperti yang terjadi di Desa Sentol Laok, Sumenep ([http://www.indosiar.com/patroli/2-penambang-tewas-3-luka-serius\\_93204.html](http://www.indosiar.com/patroli/2-penambang-tewas-3-luka-serius_93204.html), 01 Oktober 2015, 11:52 wib) dan di desa Tanah merah, Sumenep (<http://skalaneews.com/berita/detail/146550/Warga-Tewas-Tertimbun-Longsor-di-Penambangan-Batu-Bata>, 01 Oktober 2015, 11:53). Keruntuhan tersebut diakibatkan oleh ketidaktahuan penambang tentang batas aman penambangan batu kapur di bawah permukaan terlebih ketika musim hujan.

Untuk meminimalkan terjadinya keruntuhan pada batuan kapur ketika penambangan di bawah permukaan dilakukan perlu dilakukan penelitian terhadap sifat fisik dan teknis batu kapur dan perilakunya ketika terdapat beban yang bekerja di atasnya serta pengaruh retakan yang terjadi pada batuan terhadap daya dukungnya saat penambangan bawah permukaan dilakukan. Hasil yang diinginkan dari penelitian ini adalah berapa lebar penggalian dan kedalaman penggalian yang harus dilakukan oleh penambang saat beban bekerja dan pengaruh retakan yang terjadi terhadap keamanan penambangan batu kapur bahwa permukaan. Sehingga ketika penambangan dilakukan keruntuhan diharapkan tidak akan terjadi lagi.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian laboratorium dengan pengolahan data menggunakan perangkat lunak Plaxis 8.2. Penelitian ini direncanakan akan selesai dalam waktu sekitar 5 bulan. Analisa data dilakukan berdasarkan data sifat fisik dan teknis serta data kimia yang didapatkan dari uji laboratorium. Data data tersebut nantinya akan menjadi masukan data (input data) untuk program Plaxis 8.2 yang akan memodelkan penggalian batuan kapur dengan variasi lebar dan kedalaman penggalian untuk tiga jenis batuan kapur yang dibedakan berdasarkan warnanya. Gambar 5.1 menjelaskan alir penelitian yang akan dilaksanakan, sedangkan detail pelaksanaan penelitian sebagai berikut :

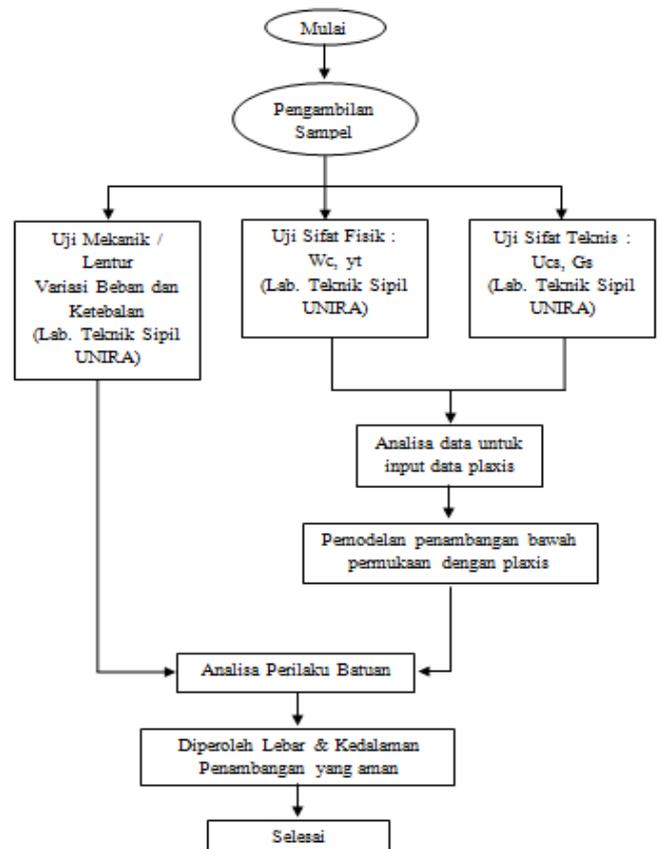
1. Persiapan Alat
2. Pengambilan Sampel Batuan Kapur
3. Pengujian Laboratorium
4. Analisa Data Laboratorium
5. Pemodelan Plaxis 8.2
6. Analisa Perilaku Batuan

## HASIL PENELITIAN

### 1. Sifat Batuan

#### 1.1. Sifat Fisik Batuan

Material penelitian berupa batuan kapur (Dolomit) yang diambil dari lokasi penambangan di Desa BlumbunganKec. Larangan yang berjarak sekitar 20 KM ke arah utara dari pusat kota Pamekasan (Lampiran). Seluruh pengujian sifat fisik dan teknis batuan dilakukan di laboratorium dilakukan berdasarkan ASTM (D 2937-83; ASTM D 2216 - 80; D 854-83; Salim, 2004). Hasil pengujian sifat fisik ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar.1 Diagram alir penelitian batuan

Tabel 1 menunjukkan sifat fisik batuan pamekasan tidak berbeda jauh dengan sifat fisik batuan yang berasal dari daerah lainnya di Jawa Timur (Kahaditu, 2012). Nilai  $\gamma_t$  batuan Pamekasan merupakan nilai terkecil diantara nilai  $\gamma_t$  batuan lainnya sehingga batuan Pamekasan merupakan yang paling ringan diantara yang lain. Meskipun angka pori lebih kecil dibandingkan batuan Batuan Bangkalan dan Gresik, namun kadar air (wc) nya cukup besar yang menandakan batuan Pamekasan mempunyai daya absorpsi yang cukup besar.

Tabel 1. Sifat Fisik Batuan Pamekasan

Parameter	Satuan	Asal Batuan Dolomit				
		Pamekasan	Penelitian Lainnya (Kahaditu, 2012)			
			Bangkalan	Gresik	Jember	
Berat Volume Batuan	$\gamma_t$	gr/cm <sup>3</sup>	1.430	1.751	1.782	2.443
Berat Volume Jenuh	$\gamma_{sat}$	gr/cm <sup>3</sup>	1.560	1.841	1.943	2.470
Kadar Air	$w_c$	%	24.570	28.473	22.790	3.156
Specific Gravity	Gs		2.430	2.277	2.382	2.625
Angka Pori	e		0.563	0.669	0.644	0.109

No	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Type	Dial (Kn)
5	70	20	9	0	2
6				1	2
7				2	2
8				3	2
9				0	4
10	70	20	12	1	4
11				2	3
12				3	3
13	70	20	15	0	4
14				1	4
15				2	4
16				3	4

Namun, karena Gs batuan Pamekasan lebih lebih besar dari batuan Bangkalam dan Gresik dimungkinkan sifat teknisnya juga lebih baik dibandingkan batuan Bangkalan dan Gresik. Sedangkan batuan Jember mempunyai sifat fisik yang terbaik dari tuan yang diteliti. hal ini dimungkinkan oleh usia batuan Jember lebih lama pembentukannya dibandingkan lainnya.

**1.2 Sifat Teknis Batuan**

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian laboratorium untuk sifat teknis batuan Pamekasan. Karena batuan Jember mempunyai sifat fisik yang paling baik maka sifat teknisnyapun juga mempunyai nilai yang terbaik diantara batuan lainnya. Batuan Pamekasan mempunyai kohesi yang lebih rendah dibandingkan batuan kapur Gresik dan batuan kapur Bangkalan, namun karena Gs batuan Pamekasan lebih besar maka nilai sifat teknis lainnya (sudut geser dalam, modulus young, Kuat tekan dan tegangan) lebih besar dibandingkan batuan Bangkalan dan Gresik. hal ini juga terjadi pada Batuan Jember yang mempunyai nilai Gs dan angka pori yang lebih baik dibandingkan batuan lainnya. Berdasarkan karakteristik tegangan batumannya, batuan Pamekasan diklasifikasikan sebagai batuan lemah dengan nilai tegangan antara 2-25MPa (Hook dan Brown, 1997).

Tabel 2. Sifat Teknis Batuan Pamekasan

Parameter	Satuan	Asal Batuan Dolomit				
		Pamekasan	Penelitian Lainnya (Kahaditu, 2012)			
			Bangkalan	Gresik	Jember	
Kohesi	C	KN/m <sup>2</sup>	20.00	33.07	35.07	15.08
Sudut Geser Dalam	$\phi$	°	30.00	5.01	3.04	41.00
Modulus Young	E	KN/m <sup>2</sup>	62633.00	166821.00	89345.00	971661.00
Tegangan	$\sigma_c$	kg/cm <sup>2</sup>	23.49	14.76	6.99	332.66
Kuat Tarik	$\sigma_t$	kg/cm <sup>2</sup>	2.94	1.85	0.87	41.58
Kuat Tekan	P	kg	295.00	187.33	88.67	8125.00

**1.3 Sifat Mekanis Batuan**

Sifat Mekanis Batu Putih

Tabel 3. Uji Tekan Lentur Pada Batuan (Putih)

No	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Type	Dial (Kn)
1	70	20	6	0	1
2				1	1
3				2	1
4				3	1

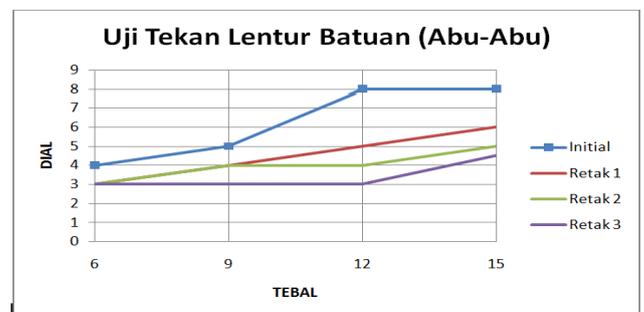


Gambar 2 Grafik Uji Tekan Lentur Batuan (Putih)

Sifat Mekanis Batu Abu-Abu

Tabel 4. Uji Tekan Lentur Pada Batuan (Abu-Abu)

No	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Type	Dial (Kn)
1	70	20	6	0	4
2				1	3
3				2	3
4				3	3
5	70	20	9	0	5
6				1	4
7				2	4
8				3	3
9	70	20	12	0	8
10				1	5
11				2	4
12				3	3
13	70	20	15	0	8
14				1	6
15				2	5
16				3	4,5

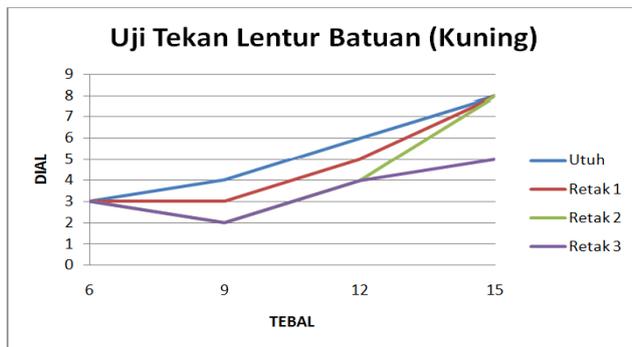


Gambar 3 Grafik Uji Tekan Lentur Batuan (Abu-Abu)

Sifat Mekanis Batu Kuning

Tabel 5. Uji Tekan Lentur Pada Batuan (Kuning)

No	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Type	Dial (Kn)
1	70	20	6	0	3
2				1	3
3				2	3
4				3	3
5	70	20	9	0	4
6				1	3
7				2	2
8	70	20	12	3	2
9				0	6
10				1	5
11				2	4
12	70	20	15	3	4
13				0	8
14				1	8
15				2	8
16				3	5



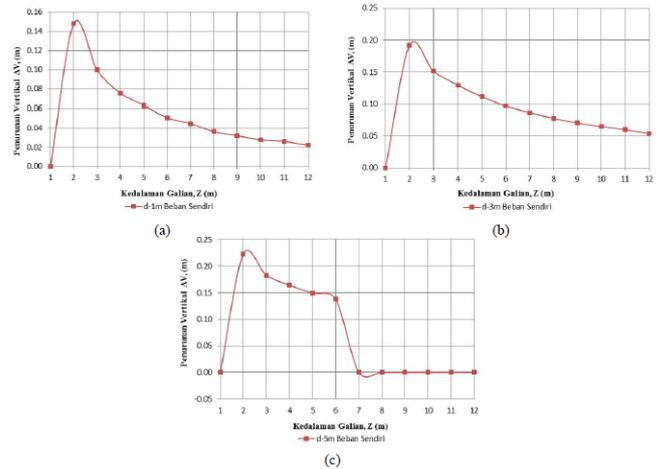
Gambar 4 Grafik Uji Tekan Lentur Batuan (Kuning)

2. Lebar Maksimal Penggalian Batuan Bawah Permukaan.

Penentuan lebar penggalian yang aman pada penggalian batuan bawah permukaan (terowongan) dilakukan dengan bantuan software Plaxis 8.2 dengan memodelkan variasi lebar dan kedalaman galian serta beban yang bekerja di atas galian. Asumsi pemodelan berdasarkan kondisi riil lapangan adalah sebagai berikut :

1. Beban yang bekerja meliputi berat sendiri, beban bangunan sederhana (5.82 kN/m<sup>2</sup>) dan beban kendaraan kelas III-C (80 kN/m<sup>2</sup>).
2. Pemodelan terowongan (penggalian bawah permukaan) berbentuk lingkaran dengan ketebalan terowongan 60 cm.

Gambar 5 menunjukkan perilaku penurunan terowongan penggalian bawah permukaan dengan lebar dan kedalaman penggalian yang berbeda beda untuk beban kerja dari berat sendiri batuan. Penurunan terbesar terjadi Saat kedalaman penggalian mencapai 2 meter. Saat kedalaman penggalian bertambah penurunan terus berkurang sampai dengan kedalaman penggalian mencapai 12 meter.

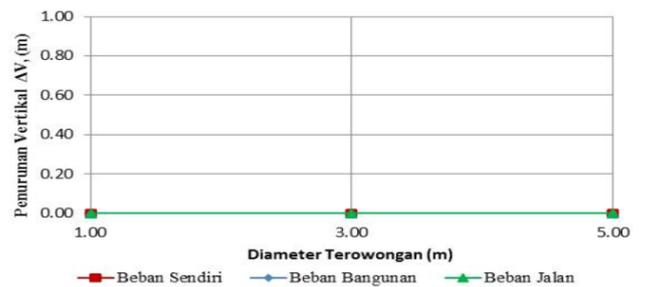


Gambar 5 Penurunan pada terowongan akibat beban sendiri untuk lebar penggalian, a) 1 meter, b) 2 meter, c) 3 meter

Perilaku berbeda ditunjukkan oleh penggalian dengan lebar 5 meter (Gambar 5c). Penurunan penggalian pada kedalaman 7 meter bernilai 0 (nol) yang menandakan keruntuhan telah terjadi pada terowongan dengan lebar galian 5 meter. Keruntuhan ini disebabkan oleh keruntuhan lentur akibat lebar penggalian yang cukup lebar sehingga momen yang bekerja pada terowongan semakin besar dan melebihi kapasitas ijin batuan.

Pada Gambar 5, pemodelan terowongan untuk beban kerja bangunan sederhana dan kendaraan akan dilakukan dengan variasi lebar penggalian sebesar 1 meter, 3 meter dan 5 meter seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6 sampai dengan Gambar 8.

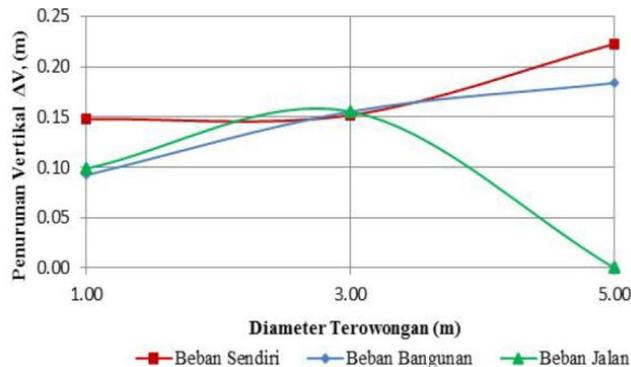
Saat penggalian terowongan dilakukan pada kedalaman 1 meter dari permukaan (Gambar 6), penurunan vertikal yang terjadi bernilai 0 (nol). Perilaku ini tidak sama dengan penurunan yang terjadi pada Gambar 5 yang juga bernilai nol. Nilai nol pada Gambar 6 menandakan tidak adanya penurunan vertikal pada terowongan karena beban vertikal yang bekerja sebesar 0.4 meter di atas terowongan (Ketebalan terowongan 0.6 meter).



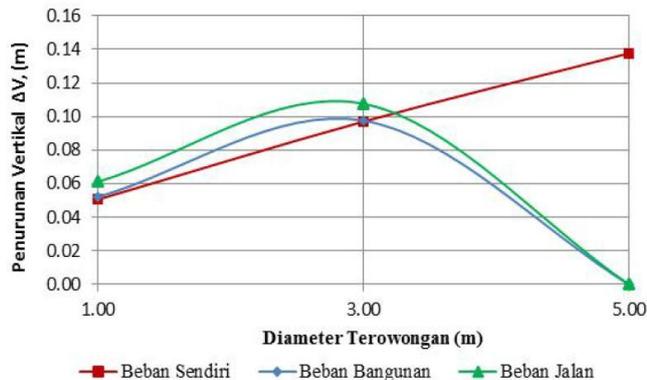
Gambar 6 Besar penurunan vertikal terowongan pada kedalaman penggalian 1 meter

Penurunan vertikal pada batuan mulai nampak ketika kedalaman terowongan mencapai 3 meter dari permukaan tanah (Gambar 5.6). Penurunan vertikal pada terowongan meningkat cukup besar karena penambahan beban dari berat bantuan di atasnya yang semakin tebal, bahkan pada terowongan dengan beban jalan keruntuhan

terjadi saat lebar terowongan di atas 3 meter. Sedangkan pada terowongan dengan beban berat sendiri dan beban bangunan keruntuhan masih belum terjadi namun penurunan vertikal yang terjadi pada kedua jenis terowona tersebut semakin besar.



Gambar 7 Besar penurunan vertikal terowongan pada kedalaman penggalian 3 meter



Gambar 8 Besar penurunan vertikal terowongan pada kedalaman penggalian 6 meter

Ketika kedalaman penggalian di tambah menjadi 6 meter (Gambar 8), keruntuhan sudah terjadi pada terowongan yang mendapatkan beban tambahan di atasnya. Sedangkan pada terowongan dengan beban sendiri keruntuhan masih belum terjadi.

Dari Gambar 7 ini diketahui bahwa beban tambahan yang berada di atas terowongan mempunyai kontribusi yang cukup besar terhadap keruntuhan terowongan. Selain itu penambahan lebar terowongan akan menyebabkan beban momen lentur yang bekerja pada batuan juga semakin besar.

Dari penjelasan tersebut diketahui bahwa penambangan batuan di bawah permukaan (terowongan) mempunyai resiko yang cukup besar terhadap keruntuhan dibandingkan penambangan di atas permukaan dimana penambangan di atas permukaan dapat dilakukan sampai dengan ketinggian 10 meter meskipun kemiringan lereng mencapai 900 (Kahaditu, 2012).

Berdasarkan analisa Plaxis diketahui bahwa lebar maksimal penambangan batuan kapur bawah permukaan adalah 3 meter dengan kedalaman maksimal 6 meter dan disarankan penambangan bawah permukaan tidak dilakukan pada lokasi yang terdapat beban tambahan di atas penggalian.

## KESIMPULAN

Dari hasil penjelasan di atas dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Batuan kapur Pamekasan mempunyai kuat tekan sebesar 23 Mpa dan termasuk dalam batuan dengan konsistensi batuan lemah.
2. Keruntuhan terowongan batuan kapur untuk berat sendiri terjadi ketika lebar galian 5 meter dengan kedalaman terowongan 7 meter dari atas permukaan.
3. Untuk terowongan dengan beban tambahan di atasnya, keruntuhan mulai terjadi saat kedalaman terowongan di atas 3 meter dengan lebar galian lebih dari 6 meter.
4. Penambangan batuan kapur bawah permukaan adalah 3 meter dengan kedalaman maksimal 6 meter dan disarankan penambangan bawah permukaan tidak dilakukan pada lokasi yang terdapat beban tambahan di atas penggalian.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C dan D (Standart Test Method of Rocks), 1992.
- Azzuhry, Y. 2014. *"Analisis Stabilitas dan Mekanisme Keruntuhan Lereng Batuan Sedimen Tambang Terbuka Batubara Kecamatan Muaralawa dan Kecamatan Damai Kabupaten Kutai Barat Propinsi Kalimantan Timur"*. Tesis. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Kramadibrata, dkk. 2000. *"Sifat Fisik dan Mekanika Batuan"*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Radar Madura. *"Bupati Achmad Syafii Tinjau Lokasi Bencana Longsor Desa Larangan"*. Diakses pada tanggal 02 Oktober 2015, 18:30 WIB di halaman <http://radarmadura.co.id/2014/04/bupati-achmad-syafii-tinjau-lokasi-bencana-longsor-desa-larangan/>.
- Raven. 2013. *"Praktikum Mekanika Batuan"*. Laporan Praktikum. Samarinda: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda.
- Salim, H. 2004. *"Laporan Praktikum Mekanika Batuan"*. Laporan Praktikum. Semarang: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Semarang.
- Skala News. *"Warga Tewas Tertimbun Longsor di Penambangan Batu Bata"*. Diakses pada tanggal 01 Oktober 2015, 11:53 WIB di halaman <http://skalaneews.com/berita/nasional/daerah/146550-warga-tewas-tertimbun-longsor-di-penambangan-batu-bata->.
- Soetojo, M. 2008. *"Teknik Pondasi pada Lapisan Batuan"*. ITS Press, Surabaya.
- Tahir, M., dkk. 2011. *"Strength Parameters and Their Inter-Relationship for Limestone of Cherat and*

***Kohat Areas of Khyber Pakhtunkhwa***.  
Journal of Himalayan Earth Sciences, 2, 45-51.

Yerry Kahaditu, F. 2012. ***Analisa Kestabilan Lereng Galian Akibat Getaran Dinamis pada Daerah Penambangan Kapur Terbuka***. Seminar Nasional Program D3 Teknik Sipil ITS Surabaya.