

	Bulletin of SCIENTIFIC CONTRIBUTION Fakultas Teknik Geologi UNIVERSITAS PADJADJARAN homepage : http://jurnal.unpad.ac.id/bsc	p-ISSN : 1693 - 4873 Volume 14, No.1 April 2016
---	--	---

KUALITAS BATUGAMPING BERDASARKAN ANALISIS KLASIFIKASI GEOMEKANIK DI GOA SEROPAN, GUNUNG KIDUL, YOGYAKARTA

Bani Nugroho¹, Pulung², Edi Prasetyo Utomo³

¹ Universitas Trisakti, Jakarta

² PusAir, Bandung

³ Puslit Geoteknologi LIPI, Bandung

ABSTRACT

Seropan cave is one of the caves in Semanu sub District, located in the karst region, Gunung Kidul, Yogyakarta. Based on reserach of Karlsruhe Institut of Teknology (KIT) German, is known underground river in the cave is very potential to be developed. Underground dams and micro hydro installations built to pump water upwards the river. These are used as raw water for daily needs and irrigation in the surface. For this purpose it is necessary to study the stability of the rock mass in the cave Seropan. The stability of a tunnel or cave is heavily influenced by geological and non-geological factors. The most dominant geological factors in general are geological structures, can be muscular or fault, the type of rock and rock mass quality. The rocks at the cave Seropan in general are limestones. Based on rock mass classification of Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989) otherwise known as the geomechanics classification, these rocks are included in class III and class IV. These rocks include moderate to bad quality. Until now the cave conditions remained relatively stable and secure. This is due to the naturally formed cave. The process of distribution of stresses around the cave coincided with the formation of caves and takes place in a relatively long time. However, in some parts of the cave should be because the effect of fractures can lead to collapse of the roof of the cave.

Key words : geological structure, stability, geomechanical classification.

ABSTRAK

Goa Seropan adalah salah satu goa di Kecamatan Semanu yang berada di kawasan karst Gunung Kidul Yogyakarta. Dari hasil penelitian Karlsruhe Institut of Teknology (KIT) Jerman, sungai bawah tanah di goa tersebut sangat potensial untuk dikembangkan sehingga dibuat suatu bendungan bawah tanah dan instalasi mikrohidro, untuk memompa air sungai tersebut keatas. Air yang telah dipompa tersebut dimanfaatkan sebagai air baku kebutuhan sehari-hari dan untuk irigasi di permukaan. Untuk maksud tersebut maka perlu adanya penelitian stabilitas massa batuan yang ada di goa Seropan. Stabilitas suatu terowongan atau gua, sangat dipengaruhi oleh faktor geologi dan faktor non-geologi. Faktor geologi yang paling dominan pada umumnya adalah struktur geologi, dapat berupa kekar maupun sesar, jenis batuan serta kualitas massa batuan yang ada. Batuan yang ada di goa Seropan pada umumnya adalah batugamping, berdasarkan Klasifikasi Massa Batuan Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989) atau dikenal sebagai Klasifikasi geomekanika, batuan tersebut termasuk dalam klas III dan klas IV, yang berarti batuan tersebut termasuk berkualitas sedang sampai jelek. Sampai saat ini kondisi goa relatif tetap stabil dan aman, hal ini disebabkan karena goa tersebut terbentuknya secara alami sehingga proses redistribusi tegangan disekitar goa terjadi bersamaan dengan proses pembentukan goa dan berlangsung dalam waktu yang relatif lama. Meskipun demikian, dibeberapa bagian dari goa tersebut perlu untuk diwaspadai karena pengaruh dari kekar yang ada dapat mengakibatkan runtuhnya atap goa.

Kata kunci : struktur geologi, stabilitas, klasifikasi geomekanika.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Gua Seropan adalah salah satu gua yang ada di kawasan karst kabupaten Gunung Kidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Di dalam gua tersebut terdapat sungai bawahtanah yang sangat potensial untuk dikembangkan dan dimanfaatkan untuk kesejahteraan masyarakat di sekitarnya. Sungai bawah tanah tersebut

mempunyai debit sekitar 600 – 800 liter per detik pada musim kemarau (Puslitbang SDA, 2009), sehingga sungai bawahtanah di gua Seropan ini akan dimanfaatkan dengan membangun bendung bawahtanah, untuk menggerakkan instalasi mikrohidro yang menghasilkan listrik. Listrik tersebut nantinya akan digunakan untuk memompa air sungai kepermukaan,

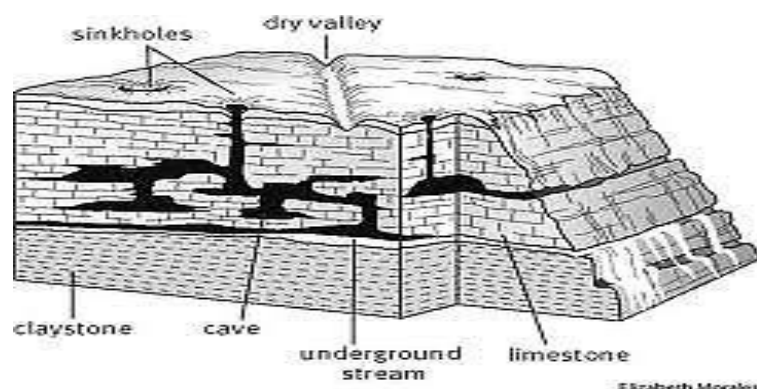
yang dimanfaatkan untuk keperluan hidup sehari-hari dan juga untuk irigasi. Bendung ini nantinya akan menjadi bendung bawah tanah yang kedua di Indonesia, setelah bendungan bawahan di Gua Bribin, yang letaknya juga di daerah Gunung Kidul.

Studi pendahuluan dan studi kelayakan sudah dilakukan yang merupakan kerjasama antara Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia dengan pemerintah Jerman. Meskipun demikian, penelitian tersebut masih harus dilengkapi dengan penelitian Geologi Teknik, khususnya yang menyangkut kondisi dan kualitas teknis batugampingnya. Gua Seropan yang terletak di daerah Gunung Kidul ini berada pada suatu kawasan Karst yang merupakan bagian dari rangkaian Pegunungan Selatan.

Kawasan karst terbentuk akibat proses pelarutan batugamping yang intensif. Batugamping tersusun atas mineral karbonat yang mudah larut oleh air. Proses tersebut menghasilkan porositas sekunder yang semakin berkembang sehingga kawasan karst ini merupakan suatu bentangalam yang sangat spesifik. Suatu ciri umum kawasan karst adalah adanya bentukan-bentukan atau ornamen, yang berada di atas permukaan disebut sebagai *eksokarst* dan yang berada di bawah permukaan disebut sebagai *endokarst*, (Gambar 1). Pada musim penghujan, bagian permukaan kawasan karst ini banyak terdapat tumbuhan dan dijadikan ladang pertanian, tetapi pada musim kemarau,

di bagian permukaan kawasan karst biasanya sangat gersang dan tandus, seperti tampak pada Gambar 2. Sementara itu, di bagian bawahnya justru banyak ditemukan air yang cukup banyak dan bahkan dapat menjadi sungai bawah tanah. Pada kawasan ini, umumnya banyak terdapat rekahan dan rongga-rongga, baik di permukaan maupun di bawah permukaan, akibat adanya struktur geologi yang dilanjutkan dengan proses pelarutan yang intensif terhadap karbonat yang ada pada batuan tersebut dan akhirnya akan menghasilkan rongga-rongga yang tidak jelas pola maupun penyebarannya. Hasil penelitian tim konsultan pemerintah Inggris tahun 1980 di daerah Gunung Kidul, didapatkan hasil bahwa ada sejumlah besar pengumpulan air di bawah tanah yang berupa sungai bawah tanah. Terdapat empat sumber air sungai bawah tanah yang memiliki debit yang memadai, yaitu sumber air Baron 1.080 liter per detik, sumber air Bribin 1.000 liter per detik, sumber air Seropan 800 liter per detik dan sumber air Ngobaran 135 liter per detik (Puslitbang SDA, 2009).

Tindak lanjut dari hasil penelitian tersebut, Kementerian Riset dan Pendidikan Pemerintah Federasi Jerman (BMBF) melalui *Institute for Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering* (IWK) Universitas Karlsruhe melakukan survey intensif untuk pemanfaatan dan manajemen air bawah tanah.



Gambar 1. Kenampakan sebagian morfologi di permukaan (*eksokarst*) dan di bawah permukaan (*endokarst*).



Gambar 2. Kondisi salah satu bagian di Kabupaten Gunung Kidul pada saat musim hujan dan pada saat musim kemarau.

Hasil survey tersebut menyimpulkan bahwa air sungai bawah tanah harus dapat dimanfaatkan untuk keperluan dipermukaan, diantaranya adalah sebagai pasokan air untuk keperluan hidup sehari-hari. Untuk itu maka air sungai bawah tanah tersebut harus dinaikkan kepermukaan. Cara untuk menaikkan air tersebut jika dipompa dengan menggunakan pompa konvensional akan sangat mahal dan sangat memberatkan penduduk. Untuk itu kemudian dibuat perencanaan

dengan cara membuat bendungan di bawah tanah yang membendung aliran air sungai bawah tanah agar dapat menghasilkan listrik yang digunakan untuk memompa air ke atas permukaan.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kualitas teknik massa batuan disepanjang gua Seropan untuk dijadikan masukkan dalam rangka pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik mikrohidro.



Gambar 3. Lokasi daerah penelitian

Lokasi daerah Penelitian

Penelitian dilakukan di Goa Seropan yang berada di wilayah desa Dadapayu, Kecamatan Semanu Kabupaten Gunung Kidul, Yogyakarta (Gambar 3). Goa Seropan terletak sekitar 40 km ke arah

tenggara Yogyakarta. Aksesibilitas cukup mudah, dari Yogyakarta menuju Wonosari, kemudian disambung dengan jalan kearah Bedoyo. Lokasi pintu masuk goa sekitar 100 meter dari jalan Wonosari – Bedoyo. Secara keseluruhan

Goa Seropan ini dapat ditempuh dalam waktu sekitar 2 sampai 2,5 jam dari Yogyakarta dengan menggunakan kendaraan bermotor.

Rumusan Masalah

Batugamping di daerah Gunung Kidul dan Goa Seropan termasuk dalam kawasan karst, karena batugamping di daerah tersebut sudah mengalami proses karstifikasi. Hal ini mengakibatkan karakteristik fisik batugamping tersebut berbeda dengan batugamping pada umumnya. Perbedaan karakteristik fisik antara batugamping pada kawasan karst dengan batugamping dan batuan sedimen pada umumnya antara lain adalah:

1. Banyak terdapat rongga-rongga, akibat adanya proses pelarutan terhadap karbonat pada batugamping tersebut.
2. Banyak terdapat rekahan-rekahan sebagai bidang diskontinyu, yang dapat disebabkan oleh adanya struktur geologi dan akibat proses pelarutan.
3. Rekahan yang ada sulit untuk ditentukan polanya sehingga sulit untuk diketahui baik dalam penyebaran maupun dalam dimensinya

Dari kenyataan tersebut maka masalah yang utama dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kualitas teknik batugamping di gua Seropan dan sekitarnya.

Manfaat penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan dan penyempurnaan terhadap kualitas perencanaan konstruksi teknik yang akan dibuat untuk instalasi Mikrohidro di goa Seropan.

METODOLOGI

Metode yang digunakan untuk pendekatan dalam penyelesaian masalah ini adalah dengan cara membuat klasifikasi massa batuan dengan klasifikasi geomekanika. Dengan klasifikasi tersebut dapat diketahui kualitas teknik massa batuan, sebagai bahan masukan dan sekaligus rekomendasi terhadap penggalan maupun penyanggaan yang diperlukan.

Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian merupakan bagian dari rangkaian Pegunungan Sewu. Morfologi daerah penelitian ini berupa perbukitan karst yang tersebar merata pada seluruh daerah penelitian. Ketinggian pada daerah ini berkisar antara 150-500 meter dari permukaan laut. Satuan ini dicirikan dengan pola penyebaran dari bentang alam yang sejajar dengan besar kelerengan 10-15% dan bentuk relief secara keseluruhan membulat.

Batuan yang mendominasi daerah penelitian adalah batugamping klastik, disamping itu juga terdapat batugamping terumbu yang tersebar di daerah ini. Batuan ini menempati $\pm 45\%$ dari seluruh daerah penelitian. Ketebalannya tidak dapat ditentukan dengan pasti karena tidak ditemui batas bawahnya. Kedudukan lapisan batugamping berkisar antara $U329^{\circ}T$ sampai $U340^{\circ}T$. Kemiringan lapisan berkisar antara 10° - 18° . Secara megaskopik, batuan ini berwarna abu-abu, dengan ukuran butir pasir halus-sedang, bentuk butir membulat-membulat tanggung, pemilahan baik, porositas baik, kemas grain supported, dan kekompakan cukup. (Gambar 4).

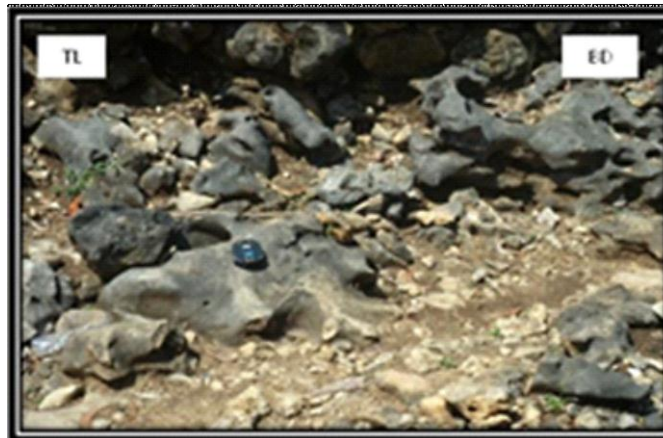


Foto 1. Satuan Batugamping, kedudukan perlapisan U 329° S / 15°.

Gambar 4. Satuan batugamping, kedudukan lapisan batugamping berkisar antara U329°T sampai U340°T. Kemiringan lapisan berkisar antara 10°-18°.

Selain batugamping klastik, terdapat juga batugamping non-klastik yaitu batugamping terumbu. Kondisi singkapan segar menempati hampir 55% dari seluruh daerah penelitian. Ketebalan batugamping ini tidak dapat dipastikan karena tidak ditemui batas bawah dari

lapisan ini. Tidak terdapat pengukuran pada batuan ini, dikarenakan tidak adanya bidang perlapisan pada batugamping terumbu. Singkapan batugamping terumbu ditemukan dalam keadaan segar dan berwarna abu-abu (Gambar 5).



Gambar 5. Singkapan batugamping terumbu ditemukan dalam keadaan segar dan berwarna abu-abu.

Kondisi umum Goa Seropan

Panjang goa ini yang sampai saat ini diketahui adalah sekitar 888 meter dengan kedalaman sekitar 62 meter dari permukaan. Pintu goa terletak pada dasar dari sebuah cekungan tertutup,

seperti tampak pada Gambar 6. Jalan yang menuju ke pintu goa sudah dibuat tangga dari beton, sekaligus untuk perawatan instalasi yang sudah terpasang di dalam goa tersebut.

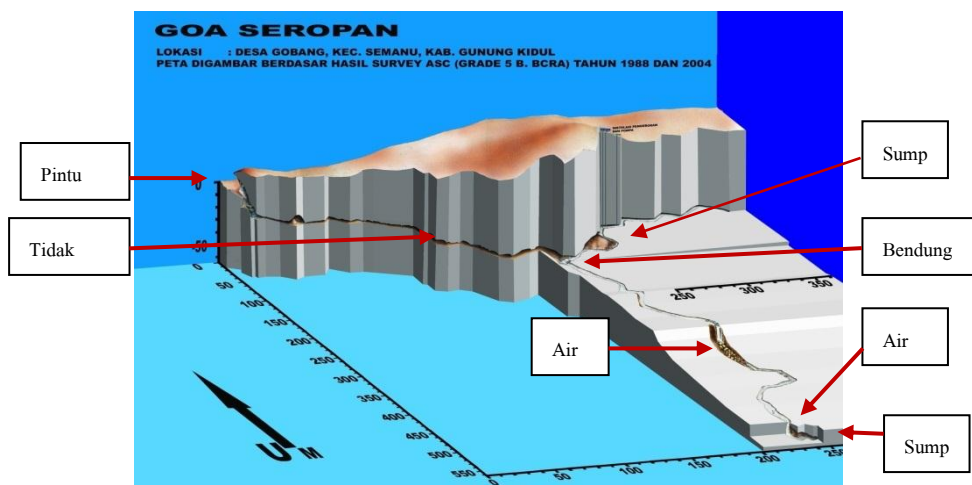


Gambar 6. Pintu Goa Seropan

Lorong awal beratap rendah sampai pada suatu ruangan yang lebih besar. Bagian lorong berikutnya dapat diakses dengan berjalan kaki. Panjang lorong dari mulut goa sampai ke badan sungai bawah tanah sekitar 211 meter. Sungai bawah tanah di goa Seropan ini mempunyai debit 600 – 800 liter per detik pada musim kemarau (Puslitbang SDA, 2009). Lorong kearah hulu, seluruhnya terendam air dengan kedalaman antara 1 meter sampai 1,5 meter. Pada bagian sisi dalam belokan sungai, biasanya air lebih dalam. Lorong ini berakhir pada sebuah *sump*, yaitu lorong goa yang seluruhnya terendam air, dari dasar sampai atap. Kearah hilir, kedalaman air relatif lebih dangkal, sekitar 0,6 meter sampai kedalaman 1,5 meter. Lorong ini berakhir pada sebuah tempat dimana

terdapat air terjun pertama dengan ketinggian sekitar 8 meter. Setelah air terjun pertama ini, lorong masih berlanjut sekitar 200 meter sebelum berakhir pada air terjun kedua setinggi 9 meter. Selanjutnya, aliran air sungai bawah tanah ini berakhir pada sebuah *sump* lagi (Gambar 7).

Penelitian yang dilakukan oleh *Institute for Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering (IWK)*, Universitas Karlsruhe Pemerintah Federasi Jerman di gua Seropan dipandang masih belum cukup, diantaranya masih perlu dilengkapi dengan penelitian Geologi Teknik yang lebih teliti, untuk mengetahui kualitas dan stabilitas batugamping di gua tersebut.



Gambar 7. Ilustrasi bawah permukaan Goa Seropan (ASC, 1988)

Klasifikasi Geomekanika

Klasifikasi *Rock Mass Rating* atau lebih dikenal sebagai Klasifikasi Geomekanika yang dibuat oleh Bieniawski (1973), merupakan salah satu dari banyak pilihan dalam klasifikasi massa batuan. Klasifikasi ini paling sesuai dan cukup representatif untuk keperluan penelitian geologi, karena sudah mulai banyak menggunakan parameter geologi dan bersifat kuantitatif, sehingga mudah dimengerti oleh ahli bidang teknik lainnya, misalnya ahli teknik sipil, ahli teknik pertambangan dan sebagainya. Klasifikasi ini menggunakan 6 (enam) parameter utama, yaitu:

1. **Kuat tekan Uniaksial**
Adalah besarnya kekuatan batuan jika ditekan dari dua arah.
2. **Rock Quality Designation/ RQD**
Adalah indeks keutuhan dari batuan, dilihat dari analisis *Core* atau jika tidak ada *core* maka dihitung dengan rumus pendekatan yang berdasarkan atas spasi.
3. **Spasi bidang diskontinyu**
Adalah jarak antar bidang diskontinyu, dihitung rata-rata dari setiap *Joint family*.
4. **Kondisi bidang diskontinyu**
Adalah kondisi dari permukaan bidang diskontinyu, meliputi panjang, Separasi atau lebar bukaan, ada atau tidaknya pengisian

pada bidang diskontinyu tersebut, kekasaran dari permukaan bidang diskontinyu serta pelapukan pada bidang diskontinyu tersebut.

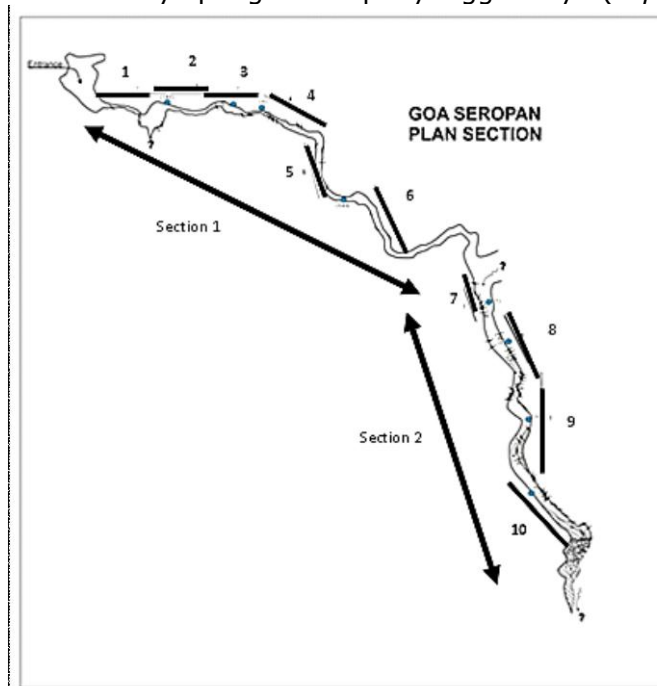
5. Kondisi airtanah

Adalah kondisi air tanah yang ada disekitar bidang diskontinyu. Secara umum terdapat lima kondisi airtanah ini, yaitu kering (*completely dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), menetes (*dripping*) dan mengalir (*flowing*).

6. Orientasi bidang diskontinyu.

Adalah bagaimana pengaruh jurus dan kemiringan bidang diskontinyu terhadap arah sumbu terowongan atau gua. Dalam hal ini terdapat 5 kemungkinan, yaitu sangat tidak menguntungkan (*very unfavourable*), tidak menguntungkan (*unfavourable*), biasa saja (*fair*), menguntungkan (*favourable*) dan sangat menguntungkan (*very favourable*).

Hasil dari klasifikasi ini berupa klas batuan yang menunjukkan kualitas dari massa batuan tersebut. Selain itu, dari klas batuan tersebut akan didapatkan rekomendasinya baik untuk sistem penggalian maupun sistem penyanggaannya (*supporting*).



Gambar 8. Pembagian Section dan segmen penelitian

Kondisi dan Lokasi pengambilan data

Daerah penelitian dibagi menjadi 2 section, yaitu section-1 dan section-2. Section-1 merupakan jalur gua yang tidak ada sungai bawah tanahnya sedangkan section-2 merupakan jalur gua yang dialiri sungai bawah tanah. Masing-masing section tersebut dibagi lagi menjadi beberapa segmen, berdasarkan pada kondisi medan di

lapangan dan kondisi geologinya, terutama kondisi batuan dan struktur geologinya. Pembagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karena penelitian dilakukan pada beberapa segmen, maka klasifikasi juga dibuat pada setiap segmen.

Data yang dihasilkan sebagai berikut :

1. Data Kuat Tekan Uniaksial

Segmen	Nilai Kuat Tekan (MPa)	Bobot / Rating
1	39,61	4
2	39,61	4
3	21,17	2
4	23,62	2
5	6,25	1
6	6,25	1
7	14,90	2
8	38,60	4
9	19,81	2
10	37,19	4

2. Data Rock Quality Designation (RQD)

Segmen	Posisi Dinding	RQD (%)	Bobot (Rating)
1	Kanan	99,71	20
2	Kanan	97,46	20
3	Kanan	98,79	20
4	Kiri	99,48	20
5	Kanan	99,97	20
6	Kanan	99,92	20
7	Kiri	99,97	20
8	Kanan	99,96	20
9	Kiri	99,96	20
10	Kiri	99,97	20

3. Data Spasi bidang diskontinyu

Segmen	Posisi Dinding	Spasi (m)	Bobot (Rating)
1	Kanan	1,29	15
2	Kanan	0,41	10
3	Kanan	0,61	15
4	Kiri	0,96	15
5	Kanan	4,68	20
6	Kanan	7,90	20
7	Kiri	4,70	20
8	Kanan	3,51	20
9	Kiri	3,53	20
10	Kiri	4,74	20

4. Data Kondisi bidang diskontinyu

Segmen / dinding	Panjang (m)	Separasi (mm)	Pengisian dan material pengisi	Kekasaran permukaan	Pelapukan permukaan
1 / Kanan	1 - 3	< 5	Material kasar	Agak kasar	Agak Lapuk
2/ Kanan	1 - 3	< 5	Material halus	Agak kasar	Agak Lapuk
3 / Kanan	1 - 3	> 5	Material halus	Agak kasar	Agak Lapuk
4 / Kiri	1 - 3	> 5	Material halus	Agak kasar	Agak Lapuk
5 / Kanan	1 - 3	> 5	Material halus	Agak kasar	Lapuk
6 / Kanan	3 - 10	> 5	Material halus	Agak kasar	Agak Lapuk
7 / Kiri	3 - 10	> 5	Material halus	Agak kasar	Agak Lapuk
8 / Kanan	3 - 10	> 5	Material halus	Halus	Agak Lapuk
9 / Kiri	3 - 10	> 5	Material halus	Agak kasar	Agak Lapuk
10 / Kiri	10 - 20	> 5	Material halus	Agak kasar	Agak Lapuk

5. Kondisi Airtanah

No	Segmen	Kondisi Airtanah	Bobot / Rating
1	1	Lembab / damp	10
2	2	Lembab / damp	10
3	3	Lembab / damp	10
4	4	Lembab / damp	10
5	5	Lembab / damp	10
6	6	Lembab / damp	10
7	7	Menetes / <i>dripping</i>	4
8	8	Menetes / <i>dripping</i>	4
9	9	Menetes / <i>dripping</i>	4
10	10	Menetes / <i>dripping</i>	4

6. Orientasi bidang diskontinyu

Segmen	Arah Tegasan utama (N ..° E)	Arah Axis gua (N ..° E)	Efek Orientasi
1	230	74	Sangat tidak menguntungkan
2	236	60	Sangat tidak menguntungkan
3	199	118	Sangat menguntungkan
4	222	117	Menguntungkan
5	77	179	Sangat menguntungkan
6	288	158	Sangat tidak menguntungkan
7	228	164	Sangat menguntungkan
8	248	153	Sangat menguntungkan

9	257	209	Sangat tidak menguntungkan
10	58	142	Sangat menguntungkan

7. Hasil klasifikasi

Untuk mendapatkan hasil klasifikasi, dilakukan prosedur sebagai berikut:

1. Jumlahkan bobot dari 5 parameter awal, yaitu Kuat tekan Uniaksial, Rock Quality Designation / RQD, Spasi bidang diskontinyu, Kondisi bidang diskontinyu dan Kondisi airtanah.
2. Tentukan Orientasi bidang diskontinyu yang ada terhadap arah sumbu gua, karena ini akan memberikan hasil apakah keberadaan bidang diskontinyu tersebut Sangat menguntungkan (Very Favourable), Menguntungkan (Favourable), Biasa saja (Fair), Tidak Menguntungkan (UnFavourable) atau Sangat tidak menguntungkan (very UnFavourable)

3. Lakukan penyesuaian bobot tersebut berdasarkan hasil orientasi dan tujuan penggunaannya, apakah untuk keperluan Penambangan baik tambang terbuka maupun tambang bawah tanah, Daya dukung untuk fondasi atau untuk stabilitas lereng. Penyesuaian ini berupa pengurangan terhadap bobot awal mulai di 0 sampai 12 tergantung penggunaannya.
4. Tentukan klas batuan berdasarkan besarnya bobot total tersebut. Terdapat 5 Klas batuan berdasarkan bobot total ini, yaitu Klas I, klas II, klas III, klas IV dan klas V.

Hasil yang didapatkan dari penelitian di gua Seropan pada setiap segmen dapat dilihat pada tabel berikut ini :

	Segmen									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jumlah bobot	67	62	59	61	59	65	58	56	56	58
Orientasi	VUF	VUF	VF	F	VF	VUF	VF	VF	VUF	VF
Adjustment	-12	-12	0	-5	0	-12	0	0	-12	0
Bobot Total	55	50	59	56	59	53	58	56	44	58
Klas Batuan	III	III	III	III	III	III	III	III	III	III

Keterangan :

VUF : *Very UnFavourable*, sangat tidak menguntungkan

VF : *Very Favourable*, sangat menguntungkan

F : *Favourable*, menguntungkan

Arti kelas batuan :

KLAS	I	II	III	IV	V
Arti klas batuan	Batuan sangat bagus	Batuan bagus	Batuan sedang	Batuan jelek	Batuan sangat jelek
Stand-up time	20 th utk span 15 m	1 th utk span 10 m	1 minggu utk span 5 m	10 jam utk span 2-5 m	300 menit utk span 1 m
Kohesi (kPa)	>400	30 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100
Sudut geser dalam (Φ)	>45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

KESIMPULAN

Dari hasil klasifikasi tersebut dapat disimpulkan bahwa :

1. Semua segmen dalam jalur penelitian ini batuanannya termasuk dalam klas III, yang artinya batuan tersebut termasuk batuan yang sedang-sedang saja.
2. Semua batuan dalam setiap segmen mempunyai stand-up time 1 minggu untuk span 5 m.
3. Kohesi batuan adalah 200 sampai 300 kPa, dan sudut geser dalamnya antara 250 - 350.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, M., Grasso, P.; 1992, *Geomechanics Principles In the Design of Tunnels And Caverns in Rock*, Turin.
- Astawa, M.; 1994, Teknik Terowongan, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Institut Teknologi Bandung.
- Bagus, dkk; 1988, Peta goa Seropan, Acintyacunyata Speleological Club (ASC), Yogyakarta.
- Bieniawski, Z. T.; 1976, *Geomechanics Classification* atau Rock Mass Rating (RMR) system
- Bieniawski, Z. T.; 1989, *Engineering Rock Mass Classifications*, John Wiley & Sons, New York
- Dunham., 1962, Klasifikasi Batuan Karbonat.
- Ford,D and Williams,P 1989. Karst Geomorphology and Hydrology, Unwin Hyman Ltd, London, Fetter
- Karlsruhe Institute of Technology (KIT), 2010. Pre-Design of the Hydropower Plat with Wood Stave Pipeline in Gua Seropan, Joint Project Integrated Water Ressources Management (IWRM) in Gunung Kidul, Yogyakarta, Indonesia
- Koesoemadinata, 1987. Reef Carbonate Exploration, Institut Teknologi Bandung.
- Nugroho, Bani., 2000, Pengaruh Kekar Terhadap Kestabilan Terowongan Bawah Tanah, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Trisakti, Jakarta
- Pekerjaan Umum.; 2009, Laporan ringkas penyediaan air baku babin, Yogyakarta
- Priest, S. D.; 1993, *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*, London
- Pusat Litbang Sumber Daya Air, 2009. Pengembangan Teknologi Reservoir Bawah Tanah, Laporan Akhir, Bandung.
- Surono, dkk.; 1992, Geologi lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, skala 1:100.000, lembar 1408-3 dan 1407-6, terbitan Pusat penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.

