

## Aplikasi Uji Kuat Geser Dalam Remediasi Lereng Tambang Aspal Di PT Karunia Alam Indonesia Kec. Lasalimu Kab. Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara

**(Application of Shear Strength Test in Remediation of Asphalt Mining Slope of Pumul  
at PT Kurnia Alam Indonesia, Lasalimu Subdistrict, Buton Regency, Southeast  
Sulawesi Province)**

Novandri Kusuma Wardana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik  
Universitas Bangka Belitung

### Abstract

Mining activities is commonly to work with the problem of deformation or rock movement, this is causing the shift of rock mass and generated in the occurrence of landslides activity. Slope Stability Analysis required that the slope in stable condition. Therefore, stable bench is needed to prevent failure bench that bring about interference either tool traffic or loading material during production process. Testing of UCS value is done on 6 lithology that is on asphalt lithology, mudstone, siltstone, sandstone and claystone. Based on the results of laboratory testing show that value of cohesion and friction angle to generate by using Generalized Hoek Brown Failure Criterion method. The values of cohesion and friction angle in asphalt are 0.080712 MPa and 26.3176 °. Asphalt Rock Mass Strength Value is 0.145453 MPa. The values of cohesion and friction angle in mudstone are 0.075424 MPa and 17.4773°. Rock Mass Value The mudstone rock is 0.220617 MPa. The values of cohesion and friction angle in siltstone are 0,105107 MPa and 28,2864°. Rock Mass Strength siltstone rock is 0.311426 MPa. The values of cohesion and friction angle in the sandstone are 0.180389 MPa And 38.9621°. Rock mass strength sandstone rock is 0.739092 MPa. The values of cohesion and friction angle in siltstone are 0.180389 MPa And 38.9621°. The Power of Mass The siltstone rock is 0.739092 MPa. The values of cohesion and friction angle in mudstone are 0.180389 MPa And 38.9621°. Rock Mass Strength value The mudstone rock is 0.739092 MPa. Given that in Geological Strength Index method only qualitative data will be more accurate using RMR method so it can get quantitative data.

Keywords: RMR, GSI, UCS, Rock Mass Strength

### 1. Pendahuluan

Lereng merupakan permukaan tanah (material) terbuka yang membentuk sudut tertentu dengan bidang datar (horizontal). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau buatan yang direkayasa oleh manusia. Longsor merupakan keruntuhan dari massa tanah (material) yang berada di bagian bawah dan menunjukkan adanya ketidakstabilan dalam lereng. Potensi ketidakstabilan yang terjadi pada lereng tambang terbuka biasanya akan selalu membutuhkan penanganan khusus terutama atas dua hal, yaitu keselamatan pekerja dan keselamatan peralatan yang terdapat di dalam tambang. Disamping itu, akibat dari kondisi lemah pada badan bijih menyebabkan batuan samping berpotensi jatuh dan hal tersebut dapat mengakibatkan keuntungan dari operasi penambangan mungkin akan berkurang jika

terjadi *failure* pada batuan di sekitar *bench* pada hal ini. Analisis ini berfungsi untuk menganalisis kekuatan (*strength*) dari massa batuan sebagai saat proses penambangan. Untuk menjamin lereng tambang tetap dalam keadaan stabil, diperlukan suatu analisis yang dapat menangani bahan dasar dalam analisis kestabilan lereng selanjutnya.

Analisis kekuatan massa batuan *insitu* masih menjadi prioritas dalam proyek penggalian *open pit* pada skala besar, misalnya metode langsung dengan uji kuat tekan uniaksial dan uji geser langsung blok tetapi pada pengujian tersebut hanya untuk mendapatkan kekuatan puncaknya saja. Sebelum mencapai kekuatan puncak batuan akan melewati suatu tahap yang dikenal sebagai kekuatan luluh (*yield strength*) yaitu batas akhir kekuatan batuan dari perilaku elastik, kemudian berubah menjadi deformasi plastik dengan memulainya deformasi permanen dan akhirnya mencapai kekuatan puncak. Namun pada kekuatan sesungguhnya dilapangan sangat bervariasi dan runtuh diawali dari titik paling

\* Korespondensi Penulis: (Novandri Kusuma Wardana)  
Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik  
Universitas Bangka Belitung

kritis merambat secara bertahap hingga mencapai runtuh akhir.

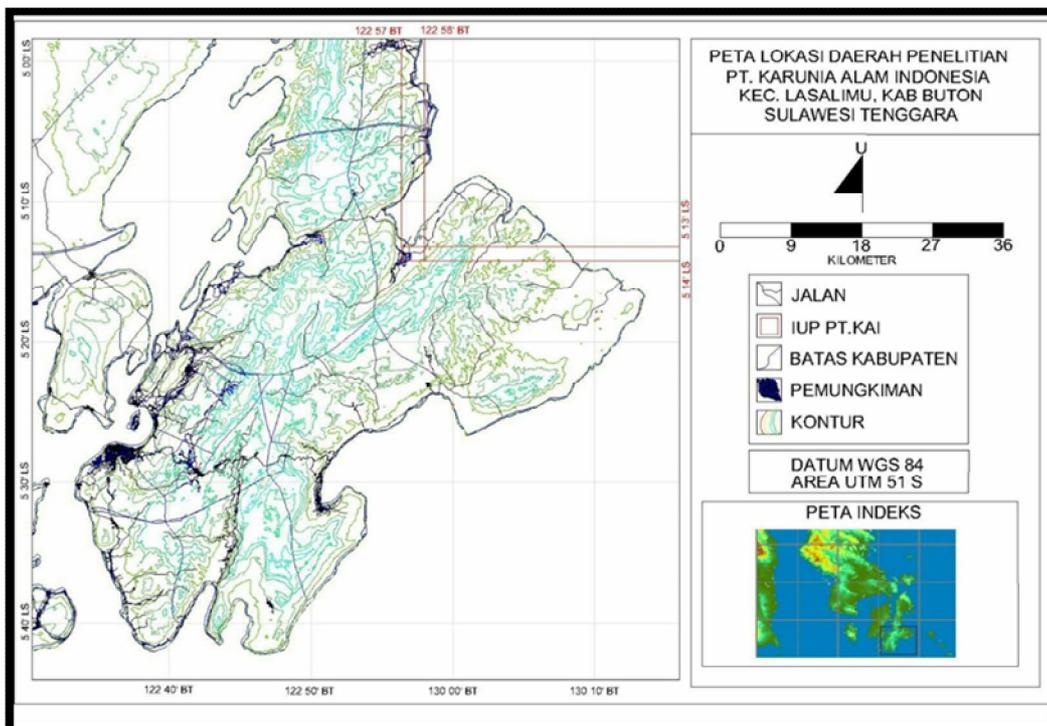
Pada penelitian ini akan menggunakan metode tidak langsung yang telah digunakan selama ini untuk menentukan kekuatan massa batuan serta mengetahui kekuatan puncak. Metode ini berdasarkan kekuatan estimasi dari kekuatan uji laboratorium dan *Geological Strength Index* (GSI) pada kriteria *Generalized Hoek–Brown* maupun klasifikasi massa batuan.

### Lokasi dan Kesampaian Daerah

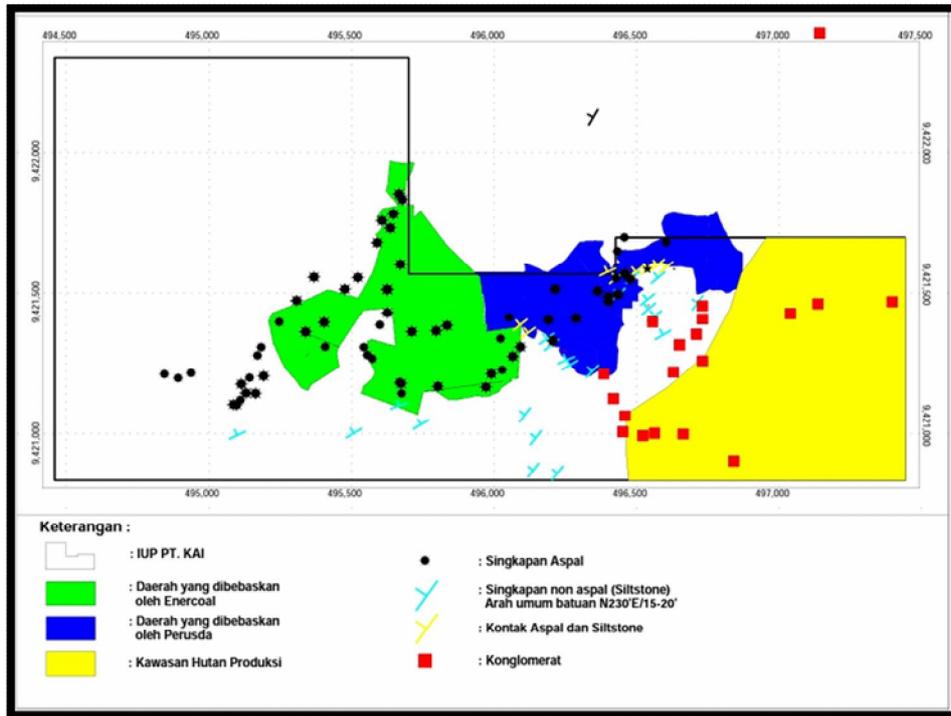
Lokasi PT. Karunia Alam Indonesia secara administratif termasuk dalam wilayah Kecamatan Lasalimu, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara (Gambar.1.1). PT. Karunia Alam Indonesia sebagai pemegang Izin Usaha Pertambangan Eksplorasi bahan galian Aspal seluas ±300 Ha di Kecamatan Lasalimu, Kabupaten Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara.

Lokasi Kuasa Pertambangan Eksplorasi PT. Karunia Alam Indonesia terletak di sebelah timur laut Pulau Buton berjarak sekitar 85 km dari kota Bau Bau, tepatnya di kecamatan Lasalimu, Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara (Sultra). Untuk mencapai daerah penelitian dapat ditempuh dari kota Bau Bau dengan menggunakan kendaraan roda empat hingga Desa Nambo yang memakan waktu sekitar 2 jam melalui jalan Trans Pulau Buton. Dari Desa

Nambo ke lokasi *sitedapat* ditempuh selama 15 menit sejauh 2 km dengan melewati *haul road* PT. Enercoal. Peta lokasi Daerah Penelitian PT Karunia Alam Indonesia dapat dilihat pada gambar 1.1. Keadaan topografi di daerah Pertambangan Eksplorasi PT. Karunia Alam Indonesia adalah mendatar dengan ketinggian 30 meter di atas muka air laut, sedangkan daerah perbukitannya setinggi 120 meter dan dialiri banyak sungai-sungai kecil. Pada daerah yang lebih rendah dipenuhi oleh sawah masyarakat, perkebunan jambu mete dan padang rumput. Sedangkan daerah perbukitannya dipenuhi dengan hutan. Geologi daerah penelitian merupakan daratan berbukit-bukit yang dibatasi oleh laut di bagian utara. Kemiringan lereng perbukitan berkisar antara 20° dan 50°, akan tetapi pada beberapa tempat mencapai lebih dari 70°. Kenampakan morfologi sebagian besar dibentuk oleh batugamping dan konglomerat yang terbentuk pada perbukitan bergelombang terjal. Pada beberapa tempat menunjukkan morfologi seperti *plateau* yang disusun oleh batugamping Wapulaka dengan kenampakan berupa undak undak yang menempati tepi pantai. Daerah penelitian mempunyai ketinggian antara 5 – 70 m, akan tetapi di beberapa tempat mencapai ketinggian 120 m di atas permukaan laut.



Gambar 1.1 Peta lokasi daerah penelitian PT. Karunia Alam Indonesia, Kec. Lasalimu, Buton, Sulawesi Tenggara.

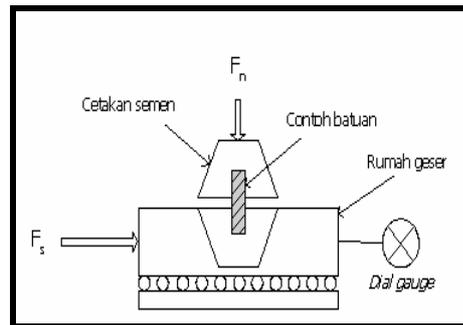


Gambar 1.2 Peta Singkapan Aspal Kec. Lasalimu, Buton.

### Tinjauan Pustaka

#### Kekuatan Geser Batuan

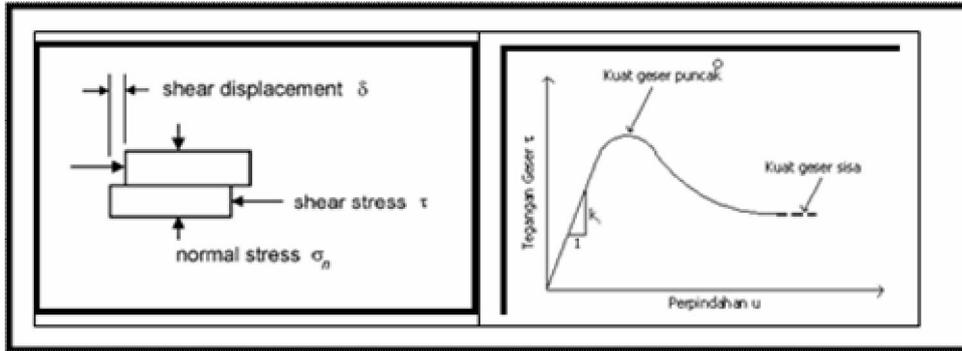
Semua massa batuan memiliki bidang-bidang diskontinu seperti kekar, bidang perlapisan, dan sesar. Pada kedalaman yang dangkal dimana tegangan-tegangan yang bekerja sangat rendah atau dapat diabaikan, runtuhannya yang terjadi pada massa batuan lebih banyak dikendalikan oleh luncuran pada bidang diskontinu. Salah satu contoh dari kasus ini yaitu pembuatan lereng-lereng pada kegiatan tambang terbuka. Dalam mendesain lereng tambang, perlu mengetahui parameter-parameter yang menunjukkan kekuatan geser batuan. Parameter-parameter tersebut adalah kohesi ( $c$ ) dan sudut geser dalam ( $\phi$ ) yang diperoleh dengan melakukan uji geser langsung di laboratorium (gambar 1.3 menunjukkan mekanisme uji geser langsung yang digunakan di laboratorium) dan perhitungan secara empiris dengan teori kriteria Hoek (*Generalized Hoek-Brown Criteria*).



Gambar 1.3 Mekanisme Uji Kuat geser

Pada perpindahan yang relatif kecil, batuan akan mengikuti perilaku elastis. Hal ini ditandai dengan hubungan linear antara tegangan geser dan perpindahan. Kemiringan garis linier tersebut, menurut Goodman (1976), adalah kekakuan geser (*shear stiffness*) batuan. Setelah melewati tahap elastis, pada umumnya batuan akan mengalami deformasi plastis dan kemudian runtuh (*failure*) ketika tegangan yang bekerja mencapai kekuatan geser puncak batuan. Setelah itu, tegangan geser yang digunakan untuk menggeser batuan akan turun hingga mencapai nilai yang konstan dan disebut dengan kekuatan sisa batuan.

Kemiringan garis kekuatan puncak merupakan sudut geser dalam puncak ( $\phi_p$ ) dan perpotongannya dengan sumbu tegangan geser adalah kohesi puncak ( $c_p$ ), demikian juga halnya dengan kekuatan geser sisa, yaitu sudut geser dalam sisa atau residual ( $\phi_r$ ) dan kohesi sisa ( $c_r$ ).



Gambar 1.4 Kurva Tegangan – Perpindahan geser pada Tegangan Normal Konstan

**Kriteria Hoek Brown**

Pada tahun 1980 Hoek dan Brown mengusulkan suatu hubungan antara tegangan utama maximum dan minimum untuk menentukan runtuh yang terjadi pada batuan utuh (*Intact rock*) dan batuan retak (*Broken rock*). Kriteria keruntuhan Hoek – Brown juga dikembangkan untuk dapat memperkirakan kekuatan geser dalam massa batuan yang terkekarkan (*Jointed rock mass*). Kriteria keruntuhan ini berawal dari hasil penelitian oleh Hoek dan Brown mengenai mekanisme pecahan batuan utuh dan perilaku massa batuan yang terkekarkan. Hoek-Brown membuat suatu persamaan yang menggambarkan hubungan antar tegangan utama yaitu (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left[ m \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right]^{0.5} \dots\dots\dots (1.1)$$

dimana :

- $\sigma_1$  dan  $\sigma_3$  adalah tegangan utama efektif mayor dan minor pada runtuh (*failure*).
- $\sigma_{ci}$  adalah kekuatan tekan uniaksial pada batuan utuh.
- $m$  dan  $s$  adalah nilai konstanta material dimana  $s = 1$  untuk batuan utuh.

Hoek memperkenalkan konsep kriteria *Generalized Hoek-Brown* dimana bentuk plot dari tegangan utama dalam lingkaran Mohr dapat disesuaikan dengan adanya nilai konstanta  $a$  yang dimasukkan dalam persamaan 2 sehingga persamaannya menjadi (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left[ m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right]^a \dots\dots\dots (1.2)$$

dimana  $m_b$  merupakan nilai reduksi dari konstanta material  $m_i$  dan didapat dari (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$m_b = m_i \exp \left[ \frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right] \dots\dots\dots (1.3)$$

$s$  dan  $a$  merupakan konstanta untuk massa batuan yang diberikan dari hubungan (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$s = \exp \left[ \frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right] \dots\dots\dots (1.4)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left[ e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right] \dots\dots\dots (1.5)$$

**Hubungan Mohr Coulomb Dan Hoek Brown**

Kebanyakan software geoteknik masih mengacu pada kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb, sehingga perlu menentukan sudut geser dalam dan kekuatan kohesi yang setara untuk masing-masing massa batuan. Proses penyesuaian membutuhkan keseimbangan antara daerah atas dan bawah pada plot Mohr-Coulomb, sehingga menghasilkan persamaan untuk mendapatkan nilai sudut geser dalam dan kohesi (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$\Phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b (s + m_b \sigma_{3n}')^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma_{3n}')^{a-1}} \right] \dots (1.6)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma_{3n}'] (s + m_b \sigma_{3n}')^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b (s + m_b \sigma_{3n}')^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}} \dots (1.7)$$

dimana  $\sigma_{3n} = \sigma_{3max} / \sigma_{ci}$

Penentuan nilai  $\sigma_{3max}$  pada lereng dan terowongan berbeda, untuk lereng nilai  $\sigma_{3max}$  didapat berdasarkan rumusan (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$\frac{\sigma_{3max}'}{\sigma_{cm}'} = 0.72 \left( \frac{\sigma_{cm}'}{\gamma H} \right)^{-0.91} \dots\dots\dots (1.8)$$

sedangkan pada terowongan nilai  $\sigma_{3max}$  didapat dengan rumusan (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$\frac{\sigma_{3max}'}{\sigma_{cm}'} = 0.47 \left( \frac{\sigma_{cm}'}{\gamma H} \right)^{-0.94} \dots\dots\dots (1.9)$$

Kekuatan geser Mohr-Coulomb  $\tau$  yang diberi tegangan normal dapat diketahui dengan mensubstitusi nilai  $c'$  dan  $\Phi'$  kedalam persamaan (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$\sigma\sigma = H\gamma \dots\dots\dots (1.10)$$

Alur tegangan utama mayor dan minor digambarkan dengan (Evert Hoek, *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002) :

$$\sigma_1' = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma_3' \dots\dots\dots (1.11)$$

**2. Metode Penelitian**

Analisis ini digunakan untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam dari sebuah batuan. Input untuk program ini adalah dari hasil pengukuran struktur dilapangan dan juga perhitungan secara manual dengan persamaan Hoek Brown-Mohr Coloumb

Batuan longsor banyak dipengaruhi oleh beberapa faktor, misal efek dari peledakan, aktivitas alat berat yang ada di area tambang, dll. Batuan yang sudah dalam keadaan longsor inilah yang dikatakan sudah dalam keadaan terganggu dan kekuatan batuan merupakan kekuatan sisa. Hasil dari kekuatan sisa dari batuan hasil penelitian diperlihatkan dalam tabel 1.

**Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam**

Nilai dari kohesi dan sudut geser dalam didapat dengan cara menggunakan program RocLab. Semua data yang dimasukkan dalam RocLab adalah bersatuan MPa.

**Nilai kekuatan Massa Batuan**

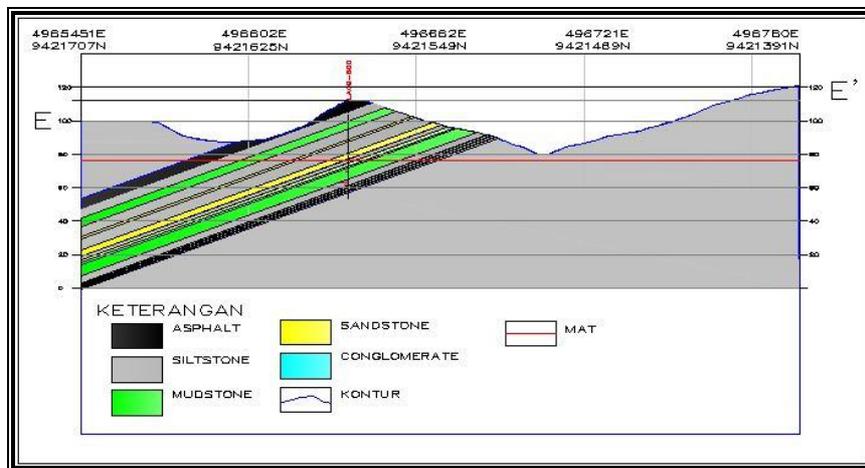
Tabel 2.1. Kekuatan Massa batuan

No	lithology	sci	GSI	mi	D	mb	s	a	c (MPa)	f(°)	Sc	St	Scm
1	Asphalt	0,57585	68,33	19	0,7	3,33452	0,010154	0,50154	0,080712	26,3176	0,057619	-0,00175	0,145453
2	Mudstone	3,25	50	4	0,7	0,25642	0,000713	0,505734	0,075424	17,4773	0,083236	-0,00903	0,220617
3	Siltstone	1,61688	70	9	0,7	1,7313	0,012935	0,501355	0,105107	28,2864	0,18281	-0,01208	0,311426
4	Sandstone	2,35244	75	19	0,7	4,81056	0,026697	0,500911	0,180389	38,9621	0,383106	-0,01306	0,739092
5	Siltstone	2,10915	75	9	0,7	2,27868	0,026697	0,500911	0,145602	31,5389	0,343486	-0,02471	0,491282
6	Mudstone	3,45999	64,17	4	0,7	0,55846	0,005554	0,5021	0,114428	23,6302	0,255059	-0,03441	0,388137

Tabel 2.2. Nilai Kohesi dan Sudut Geser Dalam

NO	Lithology	σci	GSI	mi	D	mb	s	a	c (MPa)	φ(°)
1	Asphalt	0,575847	68,33	19	0,7	3,33452	0,0101543	0,50154	0,080712	26,3176
2	Mudstone	3,25	50	4	0,7	0,256415	0,0007128	0,505734	0,075424	17,4773
3	Siltstone	1,61688	70	9	0,7	1,7313	0,0129349	0,501355	0,105107	28,2864
4	Sandstone	2,35244	75	19	0,7	4,81056	0,0266974	0,500911	0,180389	38,9621
5	Siltstone	2,10915	75	9	0,7	2,27868	0,0266974	0,500911	0,145602	31,5389
6	Mudstone	3,45999	64,167	4	0,7	0,558461	0,005554	0,5021	0,114428	23,6302

**3. Pembahasan**



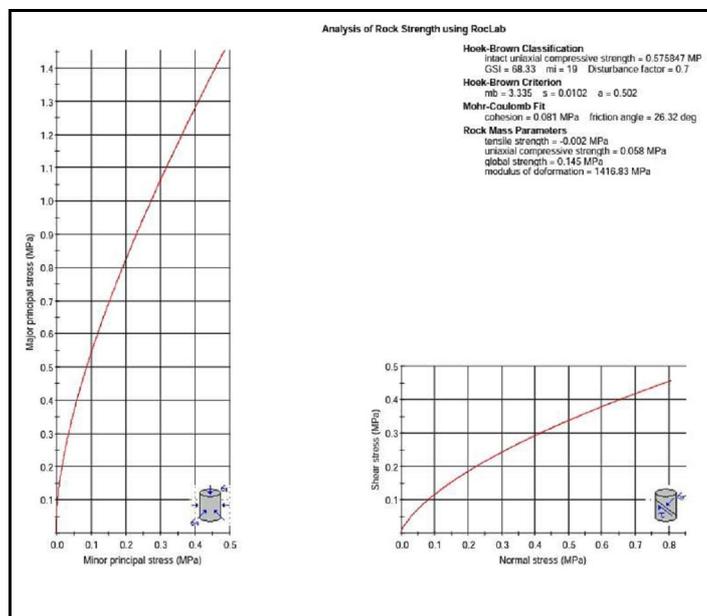
Gambar 3.1 Lokasi dan model endapan aspal di titik LA09 – 800

Deskripsi massa batuan dilakukan untuk mendapatkan parameter parameter dari massa batuan di daerah penelitian. Pendiskripsian dilakukan pada lapisan *Asphalt*, *Mudstone*, *Siltstone* dan *Sandstone* di PT. Karunia Alam Indonesia pada *section E-E'*. Pendiskripsian juga dilakukan secara urut dengan panduan dari ITSB *Stratigraphic Coloumn*.

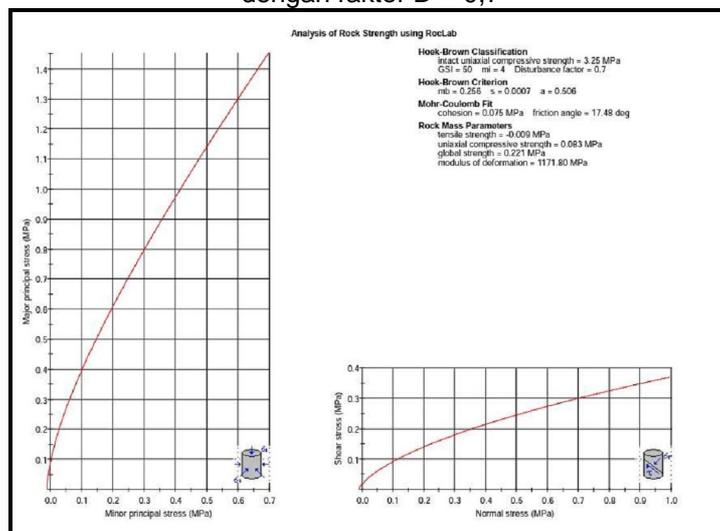
Namun dengan menggunakan deskripsi Geoteknik dalam menentukan estimasi kekuatan batuan masih terdapat beberapa kekurangan, antara lain :

a. Dalam penentuan kekuatan *intact* masih sebatas estimasi yaitu menduga – duga, dan dugaan setiap orang pastilah berbeda – beda.

- b. Dalam penentuan nilai GSI masih dengan bantuan tabel, setiap orang pendapatnya pasti berbeda – beda.
- c. Penentuan dalam pemakaian nilai D, yaitu suatu nilai yang menunjukkan apakah batuan dalam keadaan yang masih alami ataukah sudah terganggu. Banyak teori yang menjelaskan tentang nilai yang harus dipakai yaitu antara 0 – 1, tapi dalam penentuannya masih rancu karena banyak faktor yang berpengaruh dalam penentuannya selain peledakan dan juga pengerukan batuan.
- d. Keadaan batuan yang ada dilapangan adalah heterogen dan anisotrop sehingga tidak mudah untuk mendapatkan data yang akurat dalam hal pendeskripsiaanya.



Gambar 3.2 litologi asphalt pada kedalaman 0 – 7,15 m dengan faktor D = 0,7



Gambar 3.3 litologi *Mudstone* pada kedalaman 15,5 m – 24 m dengan faktor D = 0,7

Keadaan lereng menjadi pertimbangan teknis karena mengingat kelongsoran suatu lereng dalam tambang akan sangat mempengaruhi kegiatan produksi dan keselamatan para pekerja. Semakin tinggi lereng penambangan maka beban lereng akan bertambah besar sehingga masalah kestabilan lereng perlu diperhatikan. Untuk mencegah hal tersebut maka dalam merancang suatu tambang terbuka dilakukan suatu analisis terhadap kestabilan lereng agar dihasilkan rancangan lereng yang optimal dan stabil. Salah satu parameternya adalah kekuatan massa batuan, kekuatan massa batuan yang berpengaruh pada stabilitas lereng adalah kekuatan geser batuan.

Dalam penelitian ini akan membahas mengenai hasil identifikasi kondisi bidang diskontinu, hasil analisis menggunakan *Hoek – Brown Failure Criterion*, 2002 karena dalam penentuan kekuatan masaa batuan harus mempertimbangkan kondisi batuan (*disturb/undisturb*) adanya bidang diskontinyu atau tidak, dan lebih penting untuk mengetahui nilai massa batuannya bukan batuan utuh. Yang nantinya nilai kohesi dan sudut geser dalam akan diketahui.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Nilai kohesi dan sudut geser dalam *asphalt* adalah 0,080712 MPa dan 26,3176°
2. Nilai kekuatan massa batuan *asphalt* adalah 0,145453 MPa
3. Nilai kohesi dan sudut geser dalam *Mudstone* adalah 0,075424 MPa dan 17,4773°
4. Nilai kekuatan massa batuan *Mudstone* adalah 0,220617 MPa
5. Nilai kohesi dan sudut geser dalam *Siltstone* adalah 0,105107MPa dan 28,2864°
6. Nilai kekuatan massa batuan *siltstone* adalah 0,311426 MPa
7. Nilai kohesi dan sudut geser dalam *Sandstone* adalah 0,180389MPa dan 38,9621°
8. Nilai kekuatan massa batuan *sandstone* adalah 0,739092 MPa
9. Nilai kohesi dan sudut geser dalam *siltstone* adalah 0,145602 MPa dan 31,5389°
10. Nilai kekuatan massa batuan *sandstone* adalah 0,491282
11. Nilai kohesi dan sudut geser dalam *Mudstone* adalah 0,114428 MPa dan 23,6302°

12. Nilai kekuatan massa batuan *Mudstone* adalah 0,388137 MPa

#### Daftar Pustaka

- Barton, N.R., 1973, *Review of a New Strength Criterion for Rock Joint*, Engineering Geology, Elsevier.
- Barton, N.R., and Chobey, V., 1977, *The Shear of Rock Joint in Theory and Practice*, Rock Mechanic.
- Bieniawski, Z.T., 1989, *Engineering Slope Rock Mass Classifications*, John Wiley and Sons, Canada.
- Cunha, P.A., 1990, *Scale Effect in Rock Masses*, Proc. The 1 st intl. Workshop on Scale Effects in Rock Massees, Edited by cunha, Norway.
- Gabrielsen, R. H., 1990, *Characteristics of Joints and Faults. Proceedings of the International Symposium on Rock Joint*, Loen, Norway. N. Barton and O. Stephansson (eds). Balkema, Rotterdam.
- Goodman, R.E., and Bray, J.W., 1976, *Toppling of Rock Slope*, Proc. Specialty Conference on Rock Engineering for Foundation and Slope, Colorado.
- Hoek, E., 2000, *Practical Rock Engineering*, Rockscience, London.
- Hoek, E., and Bray, J.W., 1981, *Rock Slope Engineering*, 3<sup>th</sup> Edition, Civil And Mining 4<sup>th</sup> Edition, London.
- Hoek, E., and Brown, E.T., 2002, *A Brief History of The Development of The Hoek-Brown failure criterion*, Accessed Trought The Program Roclab.
- Hoek, E., Carranza, and Corkum, B. 2002, *Hoek Brown Failure Criterion.*, Accessed Trought The Program Roclab.
- Jaeger, J.C., and Cook, N.G.W., 1976, *Fundamentals of Rock Mechanics*, 2<sup>nd</sup> ed., Chapman and Hall, London.
- Kenney, T.C., 1967, *The Influence of Mineral Composition on The Residual Strength of Natural Soils.*, Procceding. Geotechnical Conference, Oslo, Norway.
- Palmstrom, A., 1995, *A Rock Mass Characterization System For Rock Engineering Purposes*, PhD Thesis, Oslo University, Norway.
- Patton, F.D., 1966, *Multiple Modes Of Shear Failure In Rock, Cong Rock Mech*, Lisbon..