

KINERJA KONSTRUKSI KISI BETON PADA LERENG BATU LUNAK (PERFORMANCE OF CONCRETE CRIB CONSTRUCTION ON SOFT ROCK SLOPE)

Rudy Febrijanto¹⁾, Riyadi Salim²⁾

^{1),2)}Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

^{1),2)}Jl. A.H. Nasution No. 264 Bandung 40294

e-mail: ¹⁾rudy.febrijanto@pusjatan.pu.go.id, ²⁾riyadi.salim@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 4 April 2019; direvisi: 10 Juni 2019; disetujui: 20 Juni 2019

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur khususnya bidang jalan yang melalui daerah pegunungan dan perbukitan, umumnya tidak terhindar dari pekerjaan galian dan timbunan. Lereng galian biasanya terdiri dari tiga jenis material pembentuk lereng, yaitu tanah, batu lunak, dan batu. Lereng-lereng dengan material batu lunak dapat dibentuk dengan kemiringan yang cukup tegak namun mudah mengalami degradasi ketika terekspos udara serta akibat gerusan aliran air permukaan. Lereng batu lunak yang permukaannya mudah terdegradasi sering mengakibatkan permasalahan di sekitar badan jalan, baik erosi permukaan, longsoran dangkal ataupun di beberapa lokasi dapat mengakibatkan runtuhnya batuan. Teknologi Kisi Beton merupakan teknologi alternatif yang dapat diterapkan pada lereng yang terbentuk dari material batu lunak. Teknologi ini sebagai proteksi lereng batu lunak yang erusif, dibangun dengan membuat Kisi Beton yang dicor di tempat. Bangunan Kisi Beton cor di tempat memiliki kuat tekuk yang tinggi, dikarenakan struktur baloknya menggunakan besi tulangan. Dimensi Kisi Beton memiliki tinggi 30 cm dan lebar 20 cm dengan jarak antar kisi 150 cm, ditambah batang angkur besi dengan kedalaman 100-150 cm untuk mencegah gilincir konstruksi Kisi Beton akibat beban sendiri. Teknologi Kisi Beton telah diterapkan di gunung Botak, Manokwari, Provinsi Papua Barat pada tahun 2017 dan dilakukan pemantauan kinerja pada tahun 2018. Berdasarkan hasil pemantauan kinerja teknologi Kisi Beton selama tahun 2018 menunjukkan kemiringan konstruksi Kisi Beton yang tetap dan permukaan lereng di bawahnya tidak mengalami degradasi. Dengan kata lain geometrik lereng tidak berubah, hal ini menunjukkan bahwa kinerja teknologi Kisi Beton cukup baik dan dapat diterapkan pada lereng dengan material batu lunak untuk menahan laju degradasi ketika terekspos udara atau gerusan aliran air permukaan.

Kata Kunci: lereng jalan, batu lunak, keruntuhan lereng, Kisi Beton, pemantauan kinerja.

ABSTRACT

Infrastructure development especially roads in mountainous and hilly areas is inseparable from cut and fill. The common slope excavation is composed of three types of slope forming materials, namely soil, soft rock, and rock. Slopes with soft rock material can be formed with a fairly upright slope but are easily degraded when exposed to air and due to surface water erosion. Soft rock slopes whose surfaces are easily degraded often cause problems around the road body, whether surface erosion, shallow landslides or collapsing rubble in some places. Concrete crib technology is an alternative technology that can be applied to slopes formed from soft rock material. This technology, as a protection measure for erosive soft rock slopes, is built by making concrete cribs that are cast on the spot. Cast in place concrete crib wall has a high bending strength, because the beam structure uses reinforced iron. The dimensions of the concrete crib are 30 cm high and 20 cm wide with a space 150 cm between crib, and iron anchor rods with a depth of 100-150 cm to prevent the collapse of the concrete crib construction due to the load itself. Concrete crib technology has been applied at Gunung Botak, Manokwari, West Papua Province in 2017 and performance monitoring was carried out in 2018. Based on the results of the monitoring performance of concrete-crib technology during 2018 showed the slope of the fixed concrete-crib construction and the surface of the slope below were not degraded, in other words geometric slope is fixed, this shows that performance of concrete crib technology can withstand the rate of degradation of soft rock slope surface when exposed to air or due to erosion of surface water flow.

Key words: road slope, soft rock, slope failure, concrete crib, performance monitoring

PENDAHULUAN

Pada umumnya pembangunan infrastruktur khususnya jalan raya yang melalui daerah perbukitan dan pegunungan, tidak terhindar dari pekerjaan galian dan timbunan. Material pembentuk lereng pada pekerjaan galian yaitu material tanah dan batuan. Material pembentuk lereng pada pekerjaan galian untuk jalan terbagi atas tiga macam yaitu galian biasa (tanah), galian batu lunak, dan galian batu.

Lereng-lereng pada batuan lunak umumnya dapat dibentuk dengan kemiringan tegak sekitar 1:0,8 (V:H). Keruntuhan pada lereng batuan lunak umumnya bersifat erosi permukaan (*surficial slope failure*). Erosi permukaan biasanya terjadi disebabkan oleh air permukaan (*runoff*) dan mata air (*spring water*) yang keluar pada lereng. Air permukaan dan mata air yang mengalir saat hujan akan mengikis permukaan lereng sehingga akan merubah geometrik lereng yang ada.

Berbagai jenis pekerjaan proteksi lereng menggunakan struktur, diterapkan pada lereng-lereng yang dapat digali dengan kemiringan tegak namun tidak stabil bila tidak diproteksi dan yang tidak cocok untuk vegetasi, lereng-lereng tersebut umumnya material pembentuknya dari batuan lunak. Permukaan lereng yang mudah tererosi dan lereng yang rawan terhadap runtuhnya batuan, dapat diproteksi menggunakan struktur. Penanganan lereng jenis tersebut, umumnya menggunakan konstruksi beton semprot (*shotcrete*), konstruksi dinding penahan tanah (jenis sandaran), Geosintetik komposit semen (Geokomen), Geosintetik bitumenous, dan Kisi beton (*concrete crib*).

Makalah ini membahas konstruksi penanganan lereng dengan fokus konstruksi Kisi Beton, yang diterapkan pada lereng batu lunak dengan kasus penerapannya di Gunung Botak, Manokwari, Provinsi Papua Barat. Penanganan dengan konstruksi Kisi Beton ini tujuan untuk mempertahankan stabilitas lereng akibat erosi air permukaan sekaligus memberikan ruang bagi vegetasi untuk tumbuhan.

KAJIAN PUSTAKA

Lereng Jalan

Ketidakstabilan lereng merupakan salah satu permasalahan yang paling sering terjadi di area perbukitan terutama pada daerah lereng alam yang digali untuk pembangunan jalan.

Umumnya, keruntuhan lereng disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor seperti geometri lereng, kekuatan material lereng, kondisi geohidrologi, diskontinuitas struktur material lereng, tingkat pelapukan, meluasnya zona lemah, terganggunya kondisi litologi dan curah hujan yang tinggi.

Keruntuhan lereng galian cenderung terjadi berangsur setelah pekerjaan galian selesai. Secara keseluruhan pertimbangan stabilitas dapat mengacu pada kemiringan lereng standar yang terdapat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kemiringan standar lereng galian

Klasifikasi Tanah		Tinggi Lereng Galian	Kemiringan (V:H)
Batuan keras			1:0,3 – 1:0,8
Batuan lunak			1:0,5 – 1:1,2
Pasir	Tidak padat dan gradasi buruk		1:1,5
Tanah pasiran	Padat	< 5 m	1:0,8 – 1:1,0
		5 – 10 m	1:1,0 – 1:1,2
	Tidak padat	< 5 m	1:1,0 – 1:1,2
		5 – 10 m	1:1,2 – 1:1,5
Tanah pasiran bercampur dg kerikil atau massa batuan	Padat atau bergradasi baik	< 10 m	1:0,8 – 1:1,0
		10 – 15 m	1:1,0 – 1:1,2
	Tidak padat atau bergradasi buruk	< 10 m	1:1,0 – 1:1,2
		10 – 15 m	1:1,2 – 1:1,5
Tanah lempungan		0 – 15 m	1:0,8 – 1:1,2
Tanah lempungan bercampur dengan massa batuan atau kerakal		< 5 m	1:1,0 – 1:1,2
		5 – 10 m	1:1,2 – 1:1,5

Sumber : Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah, Indonesia n.d)

Tabel 1 menunjukkan nilai standar kemiringan lereng dan secara empiris telah dibuktikan berdasarkan pekerjaan proteksi seperti penanaman rumput, jaringan kawat atau tanpa perlindungan. Kemiringan yang dimaksud di sini adalah kemiringan untuk lereng tunggal yang tidak memiliki bahu.

Perbedaan antara batuan lunak dan keras yang dimaksud di sini dinilai berdasarkan derajat kesulitan penggalian, dan terutama dipengaruhi oleh kuat geser batuan dan jumlah retakan pada batuan tersebut. Rentang nilai standar yang ditunjukkan dalam Tabel 1 lebih luas daripada nilai standar untuk timbunan,

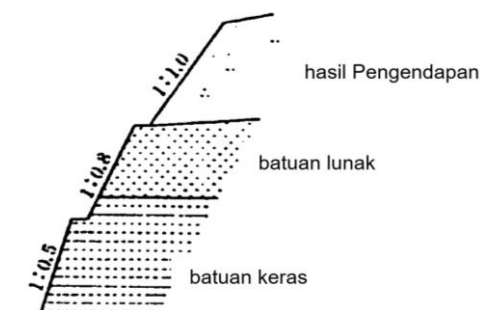
sehingga kemiringan lereng batuan yang didasarkan hanya pada nilai standar ini tampaknya sulit untuk ditetapkan karena banyaknya faktor yang harus dipertimbangkan.

Kemiringan lereng standar yang ditunjukkan dalam Tabel 1 tidak dapat digunakan pada kasus tertentu, seperti: (a) lereng galian granit yang melapuk dan serpentin, (b) tinggi galian yang lebih tinggi dari yang tertera dalam Tabel 1 dan (c) pada kasus dimana keruntuhan lereng galian dapat menimbulkan kerusakan pada struktur atau bangunan di sekitarnya atau membutuhkan waktu perbaikan yang lama, yang secara signifikan mengurangi fungsi jalan. Pada kasus-kasus tersebut, kemiringan lereng perlu diubah bersamaan dengan penggunaan tindakan yang sesuai, seperti pada pekerjaan proteksi dan drainase lereng, dll.

Pada kasus dimana lereng galian dengan kemiringan yang lebih curam dari kemiringan lereng standar, maka diperlukan pengurangan volume pekerjaan tanah, dan lereng galian perlu diperkuat dengan dinding penahan tanah dan atau dengan metode tanah bertulang

Bentuk lereng, seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 di bawah, kemiringan lereng bervariasi tergantung pada jenis tanah dan batuan, dan pada umumnya bahu dibuat pada titik berubahnya kemiringan.

Kemiringan lereng tunggal biasanya digunakan apabila kondisi geologi dan tanahnya hampir sama pada arah kedalaman dan arah longitudinal maupun arah melintang. Apabila kondisi geologi dan tanah berbeda jauh dan rumit, kemiringan lereng tunggal disesuaikan dengan tanah pada kemiringan paling landai walaupun cara ini tidak ekonomis.

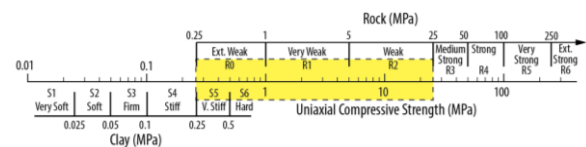


(Sumber : Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah, Puspjatan)

Gambar 1. Kemiringan dan material pembentuk lereng

Batu Lunak

Istilah batu lunak dalam *International Society for Rock Mechanics (ISRM)* diklasifikasikan pada rentang *extremely weak (R0)* hingga *weak (R2)*, atau dengan konversi nilai kuat tekan uniaksial (*uniaxial compressive strength, UCS*) dari rentang nilai 250 kPa hingga 25 MPa, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kisaran nilai UCS untuk tipikal batuan lunak (Brown 1981)

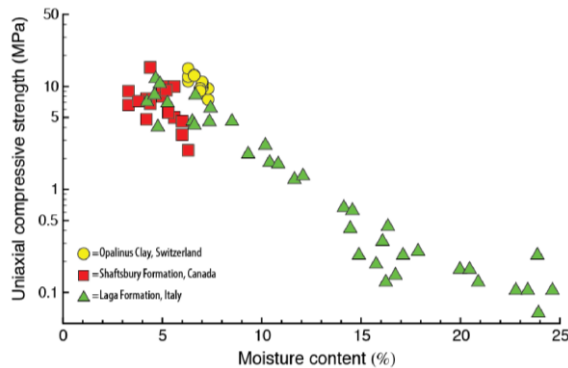
Batu lunak merupakan peralihan antara batu keras dan tanah. Karakteristik dan perilaku batu lunak (Grainger 1984 dan Santi 2006) dapat dirangkum sbb :

1. Porositas > 4%
2. Memiliki prosentasi mineral lempung yang tinggi
3. Kekuatan batuan fungsi dari kadar air
4. Kecenderungan mengembang setelah *unloading* dan ketika terkena air.
5. Ketahanannya rawan berkurang (perilaku sensitif terhadap air)
6. Sulit untuk memperoleh properti laboratorium yang tidak terganggu
7. Perbedaan lapisan batuan kaku dan batuan lunak dapat mengakibatkan keruntuhan progresif selama *unloading*
8. Sensitivitas terhadap air dan pelunakan (*softening*), dapat memperlambat proses keruntuhan.

Dalam komunitas *engineering*, Batuan Argillaceous berbutir-halus (*mudrocks*) umumnya disebut lempung serpih (*clay shale*). Tipikal perilaku lempung serpih akan mudah lepas dan hancur ketika terekspos udara atau terkena penjuanan oleh air. Pengaruh meningkatnya kadar air terhadap kuat tekan uniaxial batu lempung terlihat pada Gambar 3.

Batuan yang banyak terjadi rentan terhadap degradasi ketika terkena proses pelapukan seperti membasahi dan mengeringkan. Jenis batuan yang sangat rentan terhadap degradasi adalah serpih dan batu lumpur, yang biasanya memiliki kandungan lempung yang tinggi.

Degradasi dapat berupa pengembangan (*swelling*), dimana pelemahan dan disintegrasi dapat terjadi setelah terekspos dalam kurun waktu dari menit sampai tahun.



Gambar 3. Pengaruh kadar air vs UCS pada batu lempung (Grainger 1984)

Pengaruh degradasi pada stabilitas lereng dapat berupa pengelupasan dan retakan bertahap pada permukaan lereng sehingga menghasilkan hilangnya kekuatan terhadap waktu (Wu et al. 1981).

Uji indeks sederhana untuk mengukur kecenderungan batu terhadap cuaca dan menurunnya kekuatan adalah dengan uji *slake durability* (ISRM 1981a). Indeks *slake durability* yang rendah menunjukkan bahwa batu rentan terhadap degradasi ketika terekspos udara. Klasifikasi nilai *slake durability* menurut tabel Gumbles dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Gumbles' *slake durability* (Goodman 1980)

Group Name	% retained after one 10 min cycle (dry weight basis)	% retained after two 10 min cycle (dry weight basis)
Very high durability	>99	>98
Hight durability	98-99	95-98
Medium high durability	95-98	85-95
Medium durability	85-95	60-85
Low durability	60-85	30-60
Very high durability	<60	<30

Hasil penelitian di Ohio USA (Shakoor and Admassu 2016) menghasilkan usulan kemiringan sudut lereng galian untuk batuan lunak yang mengacu pada data lapangan

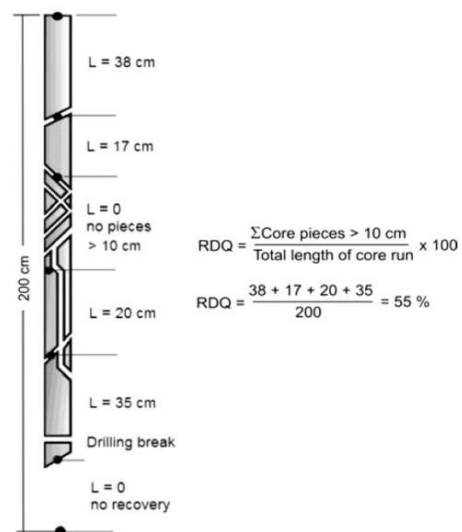
diantaranya tinggi lereng, sudut lereng alami dan lereng galian, stratigrafi lereng, dimensi saluran air, sedangkan data laboratorium meliputi uji *point load strength index*, *slake durability index*, indeks platisitas dan *geologic strength index*. Berdasarkan korelasi antara nilai *slake durability* siklus ke-2 (Id_2) dan sudut kemiringan lereng stabil, seperti yang ditunjukkan dalam *shale rating system*, maka kemiringan lereng galian untuk batuan lunak berdasarkan nilai *slake durability index*, seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kemiringan lereng galian berdasarkan nilai *Slake Durability Index*

Secon-Cycle Slake Durability Index Id_2 , %	Suggested Slope Angle
<20	flatter than 2H:1V(<27°)
20-60	2H:1V(27°)
60-85	1,5H:1V(34°)
85-95	1H:1V(45°)
>95	0,5H:1V(63°)

Sumber: *Environmental and Engineering Geoscience* (2016)

Penilaian kualitas massa batuan lunak dapat dinilai dari nilai *Rock Quality Designation (RQD)* (Deere dan Deere 1988), yaitu suatu pedoman secara kuantitatif berdasarkan pada perolehan inti yang mempunyai panjang 100 mm atau lebih tanpa rekahan. *RQD* dapat didefinisikan seperti pada Gambar 4. Nama lain dari *RQD* adalah suatu penilaian kualitas batuan secara kuantitatif berdasarkan kerapatan kekar.



Gambar 4. Prosedur pengukuran dan penghitungan *RQD* (Deere and Deere 1988)

Deskripsi kualitas batuan dari nilai *RQD* berdasarkan ASTM D 6032-96 mengenai *Standar Test Method for Determining RQD of Rock Core*, dijelaskan pada Tabel 4.

Pengukuran *RQD* dilakukan pada kualitas sample batuan hasil pengeboran (*borehole core*), namun pengambilan sample

Tabel 4. Kualitas Batuan berdasarkan nilai *RQD* (ASTM D 6032-96)

RQD	Description of Rock Quality
0-25%	Very Poor
25-50%	Poor
50-75%	Fair
75-90%	Good
90-100%	Excellent

pada batuan lunak sering kesulitan untuk mendapatkan hasil yang representatif untuk nilai *RQD* dikarenakan sample sering rusak akibat proses pemboran.

RQD dapat juga ditentukan dari frekuensi diskontinuitas batuan. Korelasi antara *RQD* dan frekuensi diskontinuitas linier diperoleh untuk bentuk distribusi spasi diskontinuitas yang berbeda (Priest and Hudson 1976; Sen and Kazi 1984; Sen 1993).

Perilaku lain dari batu lunak adalah sifat mengembang (*swelling*) ketika terkena air. Hasil analisis mineralogi terhadap fraksi lempung menunjukkan bahwa mineral lempung terdiri dari *smectite*, *illite* dan *chlorite* dengan mineral paling dominan adalah *smectite* (Ondrasik et al. 2002). Akibat *swelling*, deformasi pada lereng dan bukaan *joint* pada *tensile zone* akan terjadi. Akibat meningkatnya kadar air maka perubahan volume massa batuan akan meningkat. Di beberapa lokasi, dari proses tersebut dapat mengakibatkan konstruksi lining batuan dengan *shotcrete* mudah retak, seperti terlihat pada Gambar 5.

Parameter batuan dengan tingkat kekerasan rendah yaitu untuk kategori batu sangat lunak (*very soft rock*) hingga batu lunak sedang (*moderately soft rock*) menurut *National Engineering (GNE) Hand-book*, section 8 *Geology*, USDA (2012), secara umum seperti terlihat pada Tabel 5.



Gambar 5. Kerusakan *shotcrete* akibat *swelling* pada Batulempung (foto : A. Matejcek)

Tabel 5. Data parameter batu lunak

Material		Soft weathered rock
Weight, γ	(kN/m ³)	20,8
Young's Modulus, E_{ref}	(kN/m ²)	65.000
Poisson's Ratio, ν	-	0,33
Cohesion, C_{ref}	(kN/m ²)	42,0
Friction Angle, ϕ	($^{\circ}$)	65,0

Sumber : *GNE Hand-book*, USDA (2012)

Keruntuhan lereng

Keruntuhan lereng batuan lunak yang berdekatan dengan tepi jalan, umumnya sering terjadi selama atau sesaat setelah hujan lebat. Keruntuhan pada lereng batuan lunak umumnya berupa erosi permukaan dan lonsoran dangkal (Gambar 6).

Faktor-faktor yang mempengaruhi keruntuhan lereng umumnya disebabkan drainase yang tidak memadai terhadap limpasan air hujan, jenis batuan yang berbeda, vegetasi pada permukaan lereng, sudut kemiringan, dan ketinggian lereng.

Masalah stabilitas lereng batuan lunak yang digali, harus dipertimbangkan dari waktu ke waktu terutama apabila tidak ada perlindungan terhadap proses pelapukan. Selain disintegrasi material pada permukaan lereng, pelapukan juga akan mengakibatkan berkurangnya kekuatan geser pada material pembentuk lereng.



Gambar 6. Kondisi lereng batuan lunak akibat gerusan air permukaan

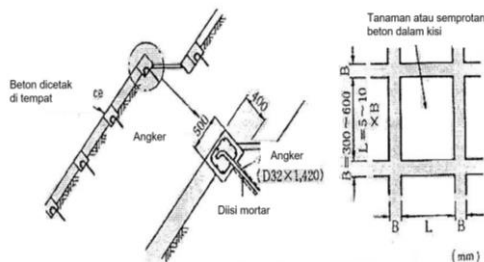
Kisi Beton

Konstruksi Kisi Beton dapat digunakan apabila kestabilan lereng jangka panjang diragukan atau apabila bangunan Kisi Beton pada lereng yang diterapkan pada lereng batuan lunak mungkin akan mengalami keruntuhan ditambah adanya mata air atau pada lereng.

Pekerjaan jenis ini juga memberikan fungsi pendukung apabila batu yang lepas tidak dapat diperbaiki dengan beton semprot karena berada di atas batuan dasar yang memiliki banyak retakan dan rekahan. Selanjutnya pekerjaan ini digabungkan dengan pekerjaan anker tanah untuk mencegah keruntuhan lereng.

Kerangka dibuat dari beton bertulang cor di tempat, dan ruang-ruang di dalam kerangka diisi dengan mortar semprot atau soding tergantung pada kondisinya. Lebar balok Kisi Beton 300 mm hingga 600 mm, dengan jarak sisi luar antar balok 5-10 kali lebar balok.

Konstruksi Kisi Beton cor di tempat memiliki kuat tekuk yang lebih tinggi daripada bangunan kisi blok beton *precast*, dikarenakan struktur baloknya menggunakan besi tulangan. Batang anker untuk menghentikan gelincir pada bangunan kisi dipasang pada titik nodal kerangka dan tergantung pada kondisi lereng tersebut (Gambar 7).



Gambar 7. Contoh bangunan Kisi Beton cor di tempat

Batang anker sebagai penopang Kisi Beton digunakan besi tulangan dengan diameter 32 mm dengan panjang 1,420 m (Gambar 8) yang mengacu pada Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah, Pusjatan (n.d)



Gambar 8. Pemasangan anker di lapangan

HIPOTESIS

Penerapan teknologi Kisi Beton pada lereng galian batuan lunak akan mereduksi proses degradasi permukaan lereng akibat gerusan air permukaan.

METODOLOGI

Konstruksi Kisi Beton telah diterapkan di Gunung Botak, Manokwari, Provinsi Papua Barat pada tahun 2017 dan dilakukan pemantauan kinerja konstruksinya pada tahun 2018. Konstruksi ini diterapkan pada lereng batuan lunak yang permukaan lerengnya sangat mudah terdegradasi akibat gerusan air permukaan. Kegiatan penelitian dan penerapan teknologi Kisi Beton pada lereng batuan lunak secara garis besar dilaksanakan dengan melakukan pemetaan situasi di lokasi penelitian, penentuan geometrik lereng, penggalian lereng, pengujian material pembentuk lereng di laboratorium, pembangunan konstruksi Kisi Beton, analisis, dan monitoring kinerja konstruksi.

HASIL DAN ANALISIS

Slake Durability

Pengujian *slake durability* dilakukan untuk 7 benda uji di laboratorium Pengujian Balai Geoteknik Jalan, Pusjatan. Berat awal dari benda uji dan variasi nilai *slake durability* seperti terlihat pada Tabel 6. Dari hasil pengujian *slake durability*, menunjukkan bahwa

pada siklus ke-2 menghasilkan nilai rentang antara 95.66% - 25.34%.

Tabel 6. Hasil uji *slake durability* pada *sample* batuan di Gunung Botak, Manokwari, Papua Barat.

Benda Uji	Berat Awal (gr)	Berat Setelah Siklus-1 (gr)	Berat Setelah Siklus-2 (gr)	Berat Setelah Siklus-3 (gr)	Slake Durability Siklus-1 (%)	Slake Durability Siklus-2 (%)	Slake Durability Siklus-3 (%)
A	500	486,3	478,3	470,3	97,26	95,66	94,06
B	500	435,6	405,0	375,0	87,12	81,00	75,00
C	500	443,7	409,0	375,0	88,74	81,80	75,00
D	500	161,0	126,7	98,8	32,20	25,34	19,76
E	500	441,4	407,5	378,4	88,28	81,50	75,68
F	500	440,3	412,5	390,5	88,06	82,50	78,10
G	500	481,0	463,5	451,5	96,20	92,70	90,30

RQD Batuan

Pengambilan *sample* untuk uji *RQD* pada batuan lunak sering mengalami kesulitan, dikarenakan *sample* mudah rusak atau patah (Martin and Stacey 1981) saat melakukan pemboran. Kondisi *sample* hasil pemboran seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Kondisi pengambilan *sample* untuk penentuan *RQD*

Penentuan nilai *RQD* selain dari hasil pemboran inti, juga dilakukan dengan metode pengukuran *volumetric discontinuity count* di lapangan. Pengambilan inti batuan dengan mesin bor dilakukan pada permukaan lereng. Hasil penentuan nilai *RQD* di lapangan terlihat seperti pada Tabel 7.

Tabel 7 - Penentuan nilai *RQD* hasil uji di lapangan

No. Contoh	<i>RQD</i> (%)
1	36
2	76
3	79
4	20
5	41
6	79
7	28

Kekuatan Batuan

Penentuan kekuatan batuan dilakukan berdasarkan pengujian kuat tekan *UCS* yang mengacu pada SNI 2825-2008.

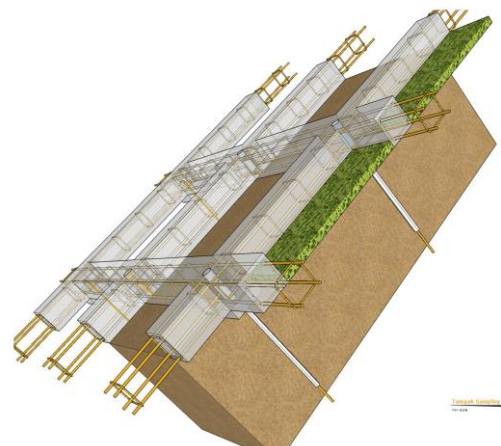
Tabel 8. Hasil pengujian *UCS*

σ_c kg/cm ² (Mpa)	E_{axial} Kg/cm ²
5.952 (0,595)	5,11E+02
6.613 (0,661)	8,86E+02

Contoh batuan diambil dari bagian permukaan lereng di sekitar lokasi penempatan konstruksi Kisi Beton, sedangkan hasil uji kuat tekan uniaksial batumannya sebagaimana terlihat pada Tabel 8.

Konstruksi Kisi Beton

Penerapan teknologi penanganan lereng galian di Gunung Botak, Ruas jalan Manokwari-Bintuni, Papua Barat, menggunakan Kisi beton dengan balok beton cor di tempat. Pemodelan konstruksi Kisi Beton seperti terlihat pada Gambar 13 (FHA 2011 dan KTC 1986).



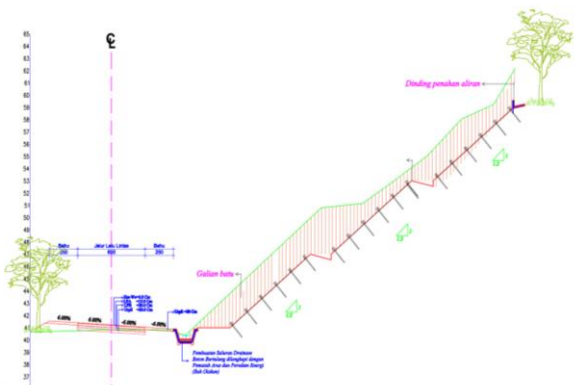
Gambar 13. Desain konstruksi Kisi Beton di gunung Botak, Manokwari, Papua Barat

Konstruksi Kisi Beton yang diterapkan di Manokwari memiliki dimensi balok dengan lebar 20 cm, tinggi 30 cm dan jarak sisi luar antar balok 150 cm. Balok Kisi Beton diberi kerangka tulangan memanjang berdiameter 13 mm (ulir) dengan tulangan sengkang berdiameter 8 mm dan jarak antar sengkang 15 cm, hal ini untuk meningkatkan kekuatan tekuk. Kekuatan tekan balok Kisi Beton diambil $f_c' = 20$ MPa. Pada setiap pertemuan balok pada Kisi Beton dipasang batang angkur untuk menopang Kisi Beton terhadap gelincir akibat berat sendiri. Penerapan konstruksi Kisi Beton di lapangan sebagaimana terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Penerapan konstruksi Kisi Beton di Gunung Botak, Manokwari, Papua Barat

Konstruksi Kisi Beton diterapkan pada lereng galian dengan kemiringan V:H=1:0,8 dengan ketinggian vertikal setiap trap sekitar 6,0 meter. Potongan melintang lereng untuk konstruksi Kisi Beton sebagaimana terlihat pada Gambar 15.



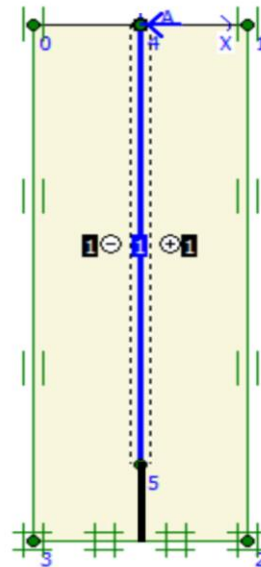
Gambar 15. Penampang potongan melintang lereng di gunung Botak

Angkur Kisi beton

Perhitungan deformasi angkur yang dipasang pada lereng batu lunak akibat beban konstruksi Kisi Beton, dianalisis menggunakan program Plaxis 2D versi 9 dengan memodelkan angkur tunggal yang diberi beban lateral (beban Kisi Beton) pada ujung angkur bagian atas yaitu pada permukaan lereng batu lunak. Panjang angkur 1,5 m dengan diameter 32 mm.

Untuk simulasi dipilih pendekatan *plane strain* dengan model 2D dimana *displacement* dan regangan pada arah tegak lurus bidang dianggap nol. Namun, tegangan normal σ_z yang diperhitungkan.

Angkur dimodelkan menggunakan *plate element* (Gambar 16), yang terdiri dari 5 *nodal beam elements* dengan 3 derajat kebebasan per nodal. *Beam element* didasarkan pada teori Mindlin's *beam*, dimana defleksi *beam* akibat geser dapat terjadi seperti halnya *bending*. *Beam elements* dapat menjadi plastis jika ditentukan defleksi maksimum atau beban maksimumnya tercapai.



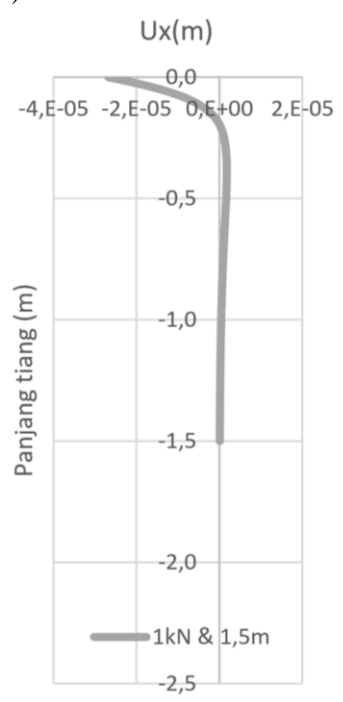
Gambar 16. Model dengan beban lateral pada angkur

Lapisan batu lunak dimodelkan menggunakan Mohr-Coulomb model. Model ini dapat dianggap mendekati perilaku batu lunak. Model *elastic perfectly plastic* ini terdiri dari 5 parameter input dasar yaitu *Young's Modulus* (E), *Poisson ratio* (ν), kohesi (c), sudut geser (ϕ), dan sudut *dilatancy* (Ψ).

Kondisi batas untuk batas bawah adalah rigid, *standard fixities* digunakan pada model

batas kiri dan batas kanan. Sedangkan interaksi *soil structure* dimodelkan menggunakan *elastic plastic model* untuk menggambarkan perilaku *interface*.

Dari hasil analisis pemodelan Plaxis 2D menunjukkan bahwa akibat beban lateral yang diberikan pada ujung angkur sebesar 10 kN akan menghasilkan *displacement* maksimum yang terjadi pada ujung angkur 0,03 mm, (lihat Gambar 17).



Gambar 17. Displacement pada angkur Kisi Beton

Pemantauan pergerakan

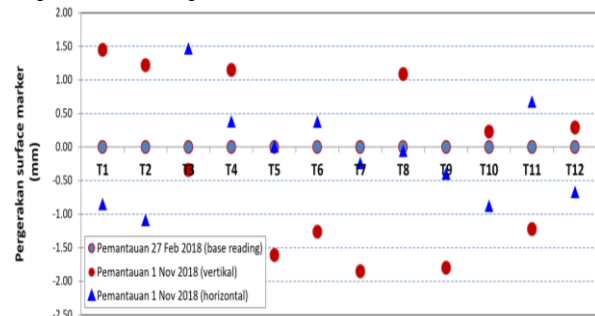
Pemantauan pergerakan konstruksi dilakukan dengan memasang titik *surface marker* di permukaan Kisi Beton, kemudian diukur menggunakan alat *Total Station*. Berdasarkan spesifikasi, alat *Total Station* yang digunakan memiliki *accuracy* 2 mm+1,5 ppm, dengan pengertian tingkat ketelitian pengukuran mutlak (perbedaan antara hasil pengukuran dengan sebenarnya) sebesar 2 mm dan standar kesalahan pengukuran 1,5 mm per jarak 1000 m.

Hasil pengukuran deformasi instrumen *surface marker* pada titik yang sama, dengan nilai kurang dari 2 mm merupakan nilai relatif akibat pengaruh faktor lingkungan, alat dan manusia.

Pemantauan dilakukan pada tanggal 27 Februari 2018 sebagai data pembacaan awal

dan dilakukan pembacaan kembali pada tanggal 1 November 2018. Pengukuran pergerakan dilakukan pada 12 titik *surface marker* (T-1 s.d. T-12) yang dipasang pada permukaan konstruksi Kisi Beton.

Hasil pengukuran pada 12 titik *surface marker* dalam kurun waktu sekitar 8 bulan, menunjukkan nilai pergerakan vertikal pada kisaran 0,23-1,85 mm, sedangkan nilai pergerakan horizontal berkisar 0,01-1,45 mm, seperti terlihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Hasil pemantauan pergerakan vertikal dan horizontal pada titik *surface marker* (T)

PEMBAHASAN

Material batu lunak pembentuk lereng galian umumnya memiliki karakteristik yang rentan terdegradasi akibat cuaca dan aliran air permukaan. Berdasarkan hasil uji kuat tekan batu uniaksial, batuan di sekitar permukaan lereng tempat konstruksi Kisi Beton dibangun, menunjukkan nilai kekuatan batuan berkisar antara 0,5-0,6 MPa, nilai tersebut bila mengacu pada klasifikasi ISRM termasuk batuan yang *extremely weak*.

Dari hasil pengujian *slake durability*, menunjukkan bahwa pada siklus ke-2 menghasilkan nilai rentang antara 95,66-25,34%. Bila mengacu pada kriteria *Gumbles' slake durability classification*, batuan yang diuji memiliki kriteria *Medium High Durability* hingga *Very Low Durability*. Untuk nilai indeks *slake durability* yang rendah ini menunjukkan bahwa batu yang diuji sangat rentan terhadap degradasi ketika terekspos udara dan gerusan air permukaan.

Kemiringan lereng galian untuk penerapan konstruksi Kisi Beton dengan material pembentuk lereng batu lunak yaitu V:H=1:0,8 sesuai dengan kisaran kemiringan

pada Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah (n.d).

Penilaian kualitas massa batuan secara kuantitatif kerapatan kekar berdasarkan nilai *RQD* yang mengacu pada Standar ASTM D 6032-96, nilai *RQD* hasil pengujian di lapangan menunjukkan nilai rentang antara 20-79%, nilai tersebut menunjukkan massa batuan memiliki kualitas yang buruk hingga baik.

Batang angkur yang dipasang hingga kedalaman 1,50 m dan diameter batang 32 mm, berdasarkan analisis Plaxis 2D menghasilkan nilai Shear force 10 kN/m dan nilai deformasi lateral sebesar 3E-05 m (0,03 mm) di ujung atas batang angkur. Dengan nilai deformasi 0,03 mm pada ujung atas batang angkur menunjukkan bahwa batang angkur dapat menahan gelincir pada konstruksi Kisi Beton. Kecenderungan deformasi sepanjang batang angkur akibat beban lateral di ujung batang angkur akibat berat sendiri Kisi Beton, berdeformasi hingga kedalaman 1,1 m sehingga pemasangan batang angkur sedalam 1,5 m cukup aman.

Hasil pemantauan pada 12 titik instrumen *surface marker* untuk mengamati pergerakan konstruksi Kisi Beton secara keseluruhan, menunjukan besar pergerakan titik *surface marker* arah vertikal berkisar antara 0,23-1,85 mm dan pergerakan arah horizontal berkisar antara 0,01-1,45 mm dalam kurun waktu 8 bulan, seluruh nilai pergerakan yang diamati masih di bawah nilai tingkat ketelitian multak (sesuai spesifikasi alat) yaitu <2 mm atau dengan kata lain, nilai yang dihasilkan merupakan nilai relatif akibat pengaruh faktor lingkungan, alat, dan manusia. Dengan demikian pergerakan instrumen *surface marker* dapat diabaikan atau dikategorikan tidak bergerak.

Pergerakan instrumen *surface marker* baik arah vertikal maupun horizontal serta deformasi angkur merupakan acuan pola degradasi permukaan lereng di bawah konstruksi Kisi Beton.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Lereng Galian dengan material pembentuk lerengnya *extremely weak rock*, sangat mudah terdegradasi ketika terekspos

udara, sehingga dalam kurun waktu tertentu dapat mengubah geometrik lereng yang ada. Perubahan geometrik lereng batu lunak dapat mengakibatkan keruntuhan lereng dan pada kondisi tertentu dapat mengakibatkan runtuhnya batuan.

Hasil pengamatan instrumen *surface marker* menunjukkan bahwa konstruksi Kisi Beton baik terhadap arah vertikal maupun arah horizontal dapat dianggap tidak bergerak, hal ini diperkuat dari hasil analisis pemodelan Plaxis 2D dengan nilai *displacement* maksimum pada ujung angkur yang sangat kecil.

Kinerja yang baik tersebut menunjukkan bahwa konstruksi Kisi Beton dapat dijadikan sebagai teknologi alternatif dalam menangani masalah lereng jalan yang terbentuk dari material batu lunak.

Saran

Untuk mengetahui durabilitas kinerja konstruksi Kisi Beton disarankan untuk memantau kinerja dalam kurun waktu lebih dari dua tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Kepala Pusat Litbang Jalan dan Jembatan serta Balai Pelaksana Jalan Nasional wilayah XVII Papua Barat dan juga segenap tim penelitian Penerapan terbatas Teknologi Kisi beton Balai Litbang Geoteknik Jalan yang telah mendukung sehingga makalah ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, E.T. 1981. *Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press, Oxford.
- Deere D.U. and D.W. Deere. 1988. *The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. Rock Classification Systems for Engineering Purposes, ASTM STP 984*, Louis Kirkaldie, Ed. Philadelphia: ASTM.
- Martin C.D. and P.F. Stacey. 2013. *Pit slopes in weathering and weak rocks*. University of Alberta, Canada and Stacey Mining Geotechnical Ltd., Canada.
- Federal Highway Administration (FHA). 2011. *Context Sensitive Rock Slope Design*

- Solutions*. Publication No. FHWA-CLF/TD-11-002. Lakewood: FHA.
- Grainger, P., 1984., *The classification of mudrocks for engineering purpose*, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, Geological Society of London, Vol. 17, No. 4, pp. 381–387
- Kentucky Transportation Center Research (KTC). 1986. *Design of Highway Embankment on Unstable Natural Slopes*. Kentucky: University of Kentucky.
- Indonesia, Pusat Litbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan). 2017. *Teknologi Kisi Beton dan Geokomen di Manok-wari, Papua Barat*. Laporan Internal.
- _____. 2018. *Laporan Advis Teknik : Penanganan Longsor Lereng Jalan di Papua Barat*. Laporan Internal.
- _____. n.d. *Pedoman Manajemen Pekerjaan Tanah*. Jakarta: Balitbang PUPR
- Santi, P., 2006, *Field methods for characterizing weak rock for engineering*, Environmental and Engineering Geoscience, The Geological Society of America, Vol. 12, No. 1, p. 1.
- Shakoor, A. and Admassu Y. 2016. *A Durability-based Approach For Designing Cut Slopes in Weak Rock Units in Ohio*. Environmental and Engineering Geoscience.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) 2825:2008., *Cara uji kuat tekan batu uniaxial*.
- Durmekova T. & R. Holzer., P. Wagner. 2014. *Weak rocks in engineering practice*. Comenius University Bratislava, Slovak Republic and Geological Survey of Slovak Republic.
- United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service. 2012. *Geology National Engineering Handbook. Engineering Classification of Rock Materials*.