

REKAYASA HIDRAULIKA KESTABILAN LERENG DENGAN SISTEM SIPHON: STUDI KASUS DI DAERAH KARANGSAMBUNG, JAWA TENGAH

HYDRAULIC SLOPE STABILITY S ENGINEERING USING SIPHON SYSTEM.CASE STUDY UPT BIKK KARANGSAMBUNG, KEBUMEN, JAWA TENGAH

Arifan Jaya Syahbana¹, Adrin Tohari¹, Khori Sugianti¹, Nugroho Aji Satrio¹, Sunarya Wibowo¹, dan Sueno Winduhutomo²

¹Pusat Penelitian Geoteknologi –LIPI

² UPT BIKK Karangsambung

ABSTRAK Perencanaan kestabilan lereng dengan karakteristik muka airtanah dangkal telah banyak dikembangkan, walaupun cenderung memerlukan nilai operasional yang tinggi. Salah satu metode metode perencanaan drainase bawah permukaan yang telah dikembangkan negara maju di Eropa namun belum diaplikasikan di Indonesia adalah metode siphon. Metode ini merupakan sistem rekayasa hidraulika yang bertujuan untuk menurunkan muka airtanah sehingga kestabilan lereng meningkat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui parameter/faktor apa yang berubah sehingga mempengaruhi nilai debit Siphon, dengan menggunakan pendekatan matematis. Pemasangan sistem Siphon telah dilakukan dengan cara membuat lubang bor sedalam 4 m sebanyak 3 titik dan sumur pemantauan pada tiap titik yang berfungsi sebagai pengecekan muka air tanah. Sistem siphon dipasang sampai pada kaki lereng yang berujung pada outlet. Perbandingan debit hitungan matematis dan debit terukur dilakukan sehingga didapatkan verifikasi parameter yang digunakan. Pada penelitian ini diperoleh kesimpulan dengan pendekatan matematis bisa

dilakukan analisis balik mengenai parameter apa yang mengubah nilai debit. Parameter yang berubah pada penelitian ini ialah nilai kekasaran dan koefisien debit. Perubahan nilai kekasaran Siphon 1, Siphon 2, dan Siphon 3 menjadi masing-masing 0,018, 0,017, dan 0,018 dan koefisien debitnya masing-masing 0,0589, 0,0193, dan 0,0348. Perubahan nilai kekasaran yang lebih besar mengindikasikan adanya material sumbatan yaitu tanah butiran halus yang berada pada sumur Siphon dan masuk ke sistem Siphon. Untuk mengatasinya, filter yang ada dan sumur Siphon perlu dibersihkan sehingga material sumbatan tidak masuk ke dalam sistem dan menempel pada dinding selang.

Kata kunci: muka airtanah, Siphon, stabilitas lereng, Karangsambung

ABSTRACT Engineering measures to stabilize slopes with low water tables have been widely developed but mostly required high operating costs. This research conveys a subsurface drainage engineering method widely used in European countries but not yet applied in Indonesia: Siphon. This method aims to lower groundwater level, hence increases slope stability. Siphon installation was carried out by boring 3 holes to 4 m depth and constructing monitoring wells at each hole to check the groundwater level. Siphon system was fitted up to the toe slope leading to an outlet. Comparison of measured discharge and calculated discharge was made to verify siphon parameters. It is

Naskah masuk : 15 April 2014
Naskah direvisi : 15 Oktober 2014
Naskah diterima : 19 November 2014

Arifan Jaya Syahbana
Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI
Komplek LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135
E-mail : arifanjaya@yahoo.co.id

conclude that mathematical approach could provide back analysis of parameters changing the discharge values. The changing parameters are roughness and coefficient of discharge. The siphon roughness changed to 0.018, 0.017 and 0.018 and coefficient of discharge changed to 0.0589, 0.0193, and 0.0348 for siphon 1, 2 and 3 respectively. The changing roughness values indicated a blockage in the siphon system due to the trapped fine grained soils. To overcome this problem the filter and siphon wells must be regularly cleaned to prevent fine materials to enter the system and being attached to the rubber tube wall.

Keywords: groundwater level, siphon, slope stability,

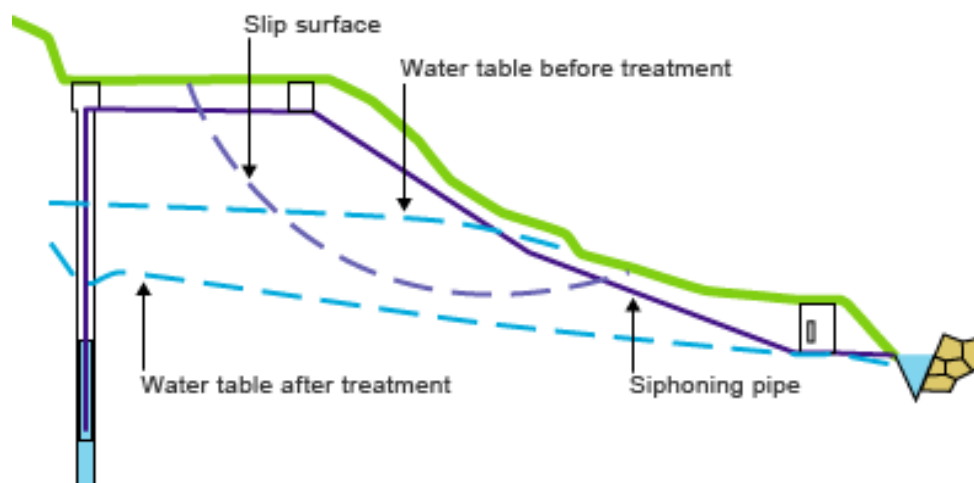
PENDAHULUAN

Kestabilan lereng terutama di daerah yang mempunyai karakteristik morfologi perbukitan dan tanah residual merupakan hal penting untuk diperhatikan. Lokasi yang mempunyai ciri seperti tersebut banyak terdapat di Pulau Jawa. Sebagian besar masalah ketidakstabilan lereng dipicu oleh adanya peningkatan tekanan air pori dalam sistem lereng. Hal ini dapat diakibatkan karena curah hujan terus menerus baik yang sampai menyebabkan kenaikan muka airtanah atau hanya sampai tingkatan penjumlahan tanah sebagian di

permukaan (Tohari dan Sarah, 2006; Tohari dan Sarah, 2007; Tohari, 2008b).

Teknologi rekayasa hidraulika bawah permukaan melalui metode drainase telah dilakukan untuk mengurangi gerakan tanah aktif di beberapa negara. Salah satu metode drainase bawah permukaan adalah metode drainase siphon (Gambar 1). Sistem drainase siphon itu digunakan untuk memindahkan air dari satu elevasi ke elevasi yang lebih rendah hanya dengan gaya gravitasi dan kohesi air itu sendiri. Berdasarkan pengalaman praktis, penggunaan sistem drainase ini untuk kestabilan lereng perlu memperhatikan beberapa persyaratan, yaitu: (1) perbedaan elevasi antara hulu pipa Siphon dan titik tertinggi tidak dapat lebih dari 9 m, hal ini didasarkan pada persamaan Bernoulli dengan batasan kecepatan dan tekanan di titik tertinggi siphon adalah 0 bar, (2) Saluran siphon harus selalu jenuh air (bebas dari gelembung udara), agar sistem drainase selalu berfungsi dengan baik, dan (3) drainase ini cocok untuk menjaga kestabilan lereng dengan pemicu ketidakstabilan berupa kenaikan muka air tanah, bukan karena penjumlahan permukaan lereng.

Contoh penerapan sistem drainase ini telah dilakukan di Castlehaven, Pulau Wight, Inggris. Tujuan saat itu adalah untuk mengurangi resiko kegagalan lereng akibat kenaikan muka airtanah akibat musim dingin. Diharapkan dengan



Gambar 1. Contoh sistem drainase Siphon untuk menjaga kestabilan lereng (sumber: <http://www.wjgl.com/service-stability>)

instalasi peralatan ini maka elevasi muka airtanah menjadi sama dengan elevasi saat musim panas (Gillarduzzi, 2008). Perbedaan penelitian kali ini dengan yang telah dilakukan sebelumnya adalah tidak digunakannya pompa sebagai *trigger* pada saat elevasi muka airtanah melebihi ambang batas penyebab kegagalan lereng. Dalam penelitian ini energi yang digunakan untuk memompa air adalah murni gaya gravitasi dan kohesi air. Dengan demikian upaya agar udara tidak masuk saluran siphon sangat mutlak diperlukan. Selain itu, aplikasi sumur siphon juga telah dilakukan di beberapa negara lainnya (Botu dan Carastoian, 2003; Bomont, 2004).

LOKASI PENELITIAN

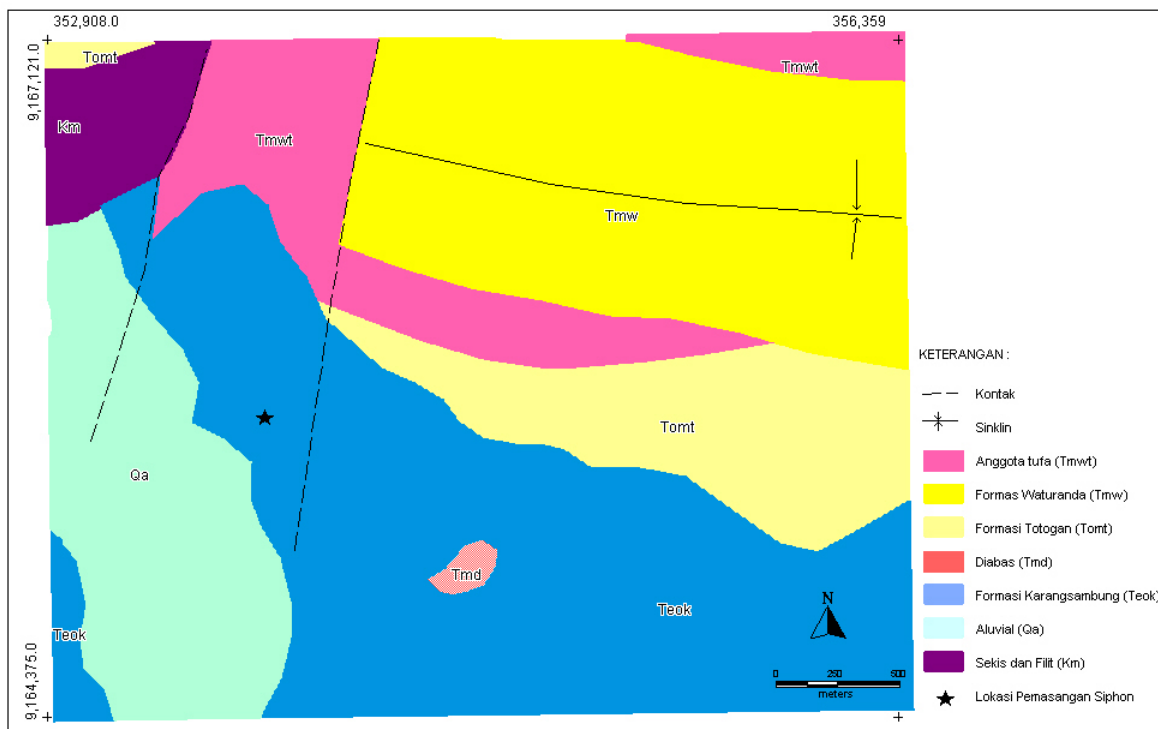
Secara geografis daerah penelitian ini terletak di Kantor UPT BIKK-LIPI, Karangsembung, Kabupaten Kebumen, Propinsi Jawa Tengah (Gambar 2). Lokasi penelitian termasuk dalam

Cagar Alam Geologi Nasional yang dikelola oleh Balai Informasi dan Konservasi Kebumihan Karangsembung-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Desa Karangsembung yang berada di daerah Luk Ulo merupakan salah satu daerah yang berharga dalam bidang geologi. Hal ini dikarenakan singkapan di daerah ini merupakan yang terlengkap di Pulau Jawa, yaitu berupa singkapan batuan beku, sedimen dan metamorfosa berumur Pra Tersier, serta pola struktur khas yang merupakan komponen hasil tumbukan. Batuan tertua berumur Pra-Tersier, terkelompok dalam Kompleks Bancuh Luk Ulo yang terdiri dari fragmen-fragmen batuan-batuan metamorf, beku basa-ultrabasa dan sedimen laut dalam, dengan massa-dasar batu-lempung terkristalisasi. Kontak batuan berupa struktur gerusan merupakan salah satu ciri kompleks ini. Komplek ini ditutupi oleh batuan sedimen.

Berdasarkan peta geologi lembar Kebumen



Gambar 2. Lokasi penelitian di UPT BIKK- Karangsembung, Kebumen LIPI.



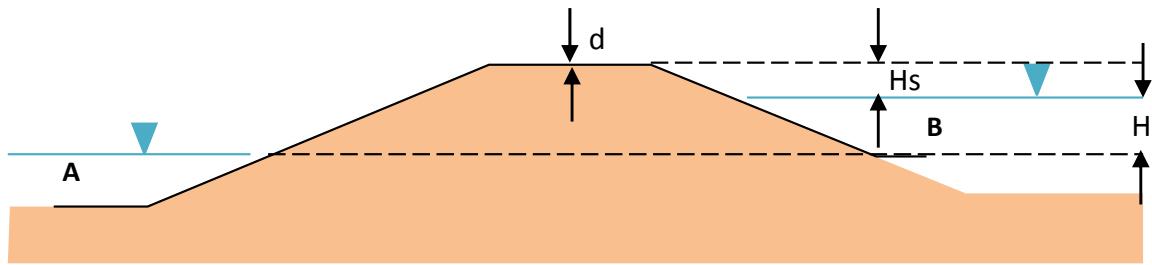
Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian (Asikin, et.al., 1992).

(Asikin, *et al*, 1992) batuan di lokasi penelitian merupakan bagian dari Formasi Karangsembung (Gambar 3) yang terdiri atas batulempung berstruktur sisik dengan bongkah batugamping, konglomerat, batupasir, batugamping dan basal. Batulempung gampingan hingga napal berwarna abu-abu gelap kehijauan. Sering ditemui oksida besi yang berkonkresi dengan batulempung. Lempung yang ditemui pada umumnya merupakan lempung bersisik (*scaly clay*). Ditemukan pula sisipan batulanau dan batupasir gampingan yang berlapis buruk, memperlihatkan struktur mirip hasil pelengseran (*slump structure*) dan struktur aliran (*flowage structure*) dan perlapisan yang tak menerus (*disrupted bedding*). Beberapa di antaranya dijumpai struktur perlapisan bersusun dan laminasi sejajar. Sifat perlapisan juga ditunjukkan dengan adanya laminasi serpih diantara sifat lempung yang bersisik. Pada beberapa lapisan yang tak teratur atau pada bidang penyerpihan dijumpai batugamping. Batugamping, konglomerat dan batupasir dengan masa dasar lempung. Batugamping formasi ini mengandung fosil *Nummulites cf. pengaronensis*, *Nummulites jogjakartae*, *Discocyclusina cf. omphala*, dan

Discocyclusina sp. menunjukkan umur Eosen Atas (Kapid dan Harsolumakso, 1996). Singkapan yang baik terdapat disekitar Kampus Karangsembung yaitu singkapan batugamping *nummulites* dengan konglomerat polimik dan konkresi-konkresi besi. Umur Formasi Karangsembung lebih jelasnya diperkirakan berada pada Eosen Tengah hingga Eosen Atas berdasarkan umur fosil yang ditemukan, di antaranya adalah *Nummulites* dalam batugamping dan *Hantkenina Alabamensis* dalam napal.

Berdasarkan data bor tangan (*hand auger*) yang diambil di lokasi penelitian, susunan lapisan tanah yang ada dapat dibedakan untuk kedalaman tertentu, yaitu:

1. Kedalaman 0-1.50 m : lanau lempungan, coklat kekuningan, agak padat, lapukan batu gamping
2. Kedalaman 1.50-2.40 m : lempung lanauan, abu-abu kekuningan, padat, lapukan batu gamping
3. Kedalaman 2.40-4.00 m : lempung, abu-abu gelap, padat, mengkilap, batu lempung



Gambar 4. Sketsa sederhana mengenai detail Siphon (adaptasi dari <http://www.fao.org/docrep/x5744e/x5744e09.htm>)

Tinjauan Pustaka

Teori mengenai siphon yang berfungsi mengalirkan air dari elevasi yang lebih tinggi dijelaskan pada Gambar 4. Pada Gambar 4 tersebut diilustrasikan terdapat badan bendung yang kemudian dipasang pipa dengan ukuran diameter tertentu yang berfungsi sebagai saluran tertutup untuk mengalirkan air dari hulu ke hilir. Perbedaan elevasi hulu dan hilir disebut parameter beda *head* (H) dan beda tinggi antara puncak saluran dengan hulu disebut dengan H_s . Persamaan matematis diperoleh dengan pendekatan hitungan pada saluran hidraulika tertutup.

Dasar persamaan yang digunakan ialah menggunakan persamaan Kontinuitas (persamaan 1) dan Hukum Bernoulli (persamaan 2) yang menyatakan adanya kesamaan debit dan energi total pada sistem air tertutup.

$$A_a \times v_a = A_b \times v_b \quad \dots\dots(1)$$

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{v_a^2}{2g} + z_a = \frac{P_b}{\gamma} + \frac{v_b^2}{2g} + z_b \quad \dots\dots(2)$$

Rumus yang dipakai dalam perhitungan debit menggunakan pendekatan rumus debit Chezy dapat dilihat pada Persamaan 3 sampai dengan Persamaan 5 (Shieh, 2007).

$$Q = CA\sqrt{2gH} \quad \dots\dots(3)$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{l}{d} + \sum k_i}} \quad \dots\dots(4)$$

$$\frac{P}{\gamma} = 0,9 \frac{P_0}{\gamma} - \frac{P_v}{\gamma} - 1 \quad \dots\dots (5)$$

$$H_s \leq \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \sum h_i \quad \dots\dots (6)$$

dengan:

- Q = debit (m³/s)
- C = koefisien debit
- A = luas penampang saluran (m²)
- g = percepatan gravitasi (m/s²)
- H = perbedaan elevasi hulu dan hilir (m)
- λ = faktor gesekan
- l = panjang selang (m)
- d = diameter selang (m)
- k_i = faktor kehilangan energi
- P = tekanan air pada selang Siphon (kN/m²)
- P_0 = tekanan air pada keadaan atmosfer (kN/m²)
- P_v = tekanan air evaporasi (kN/m²)
- γ = berat isi air (kN/m³)
- H_s = beda elevasi hulu dan puncak selang siphon (m)
- v = kecepatan aliran air (m/s)



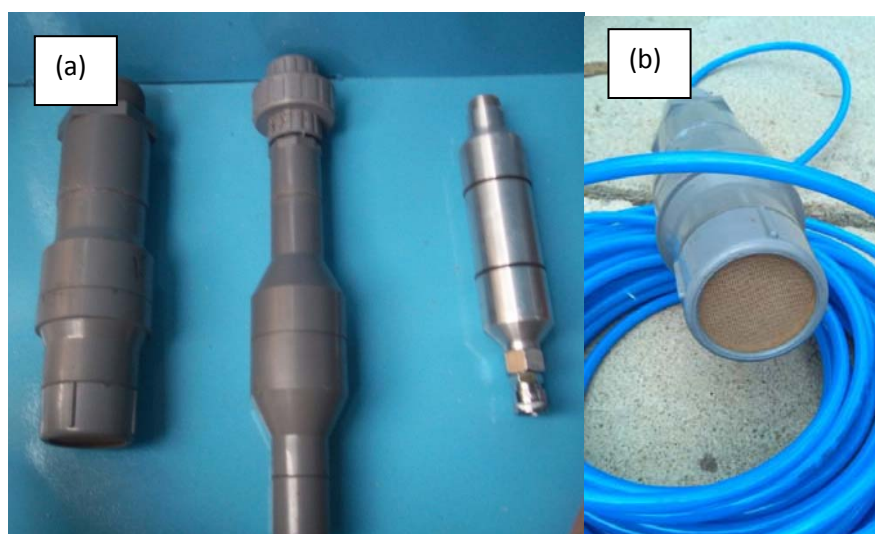
Gambar 4.(a) Pembuatan lubang sumur Siphon menggunakan bor tangan, (b) Casing sumur Siphon yang terbuat dari paralon yang telah diberi *screen* dan kawat ram nyamuk.

h_{1i} = kehilangansetempat(m)

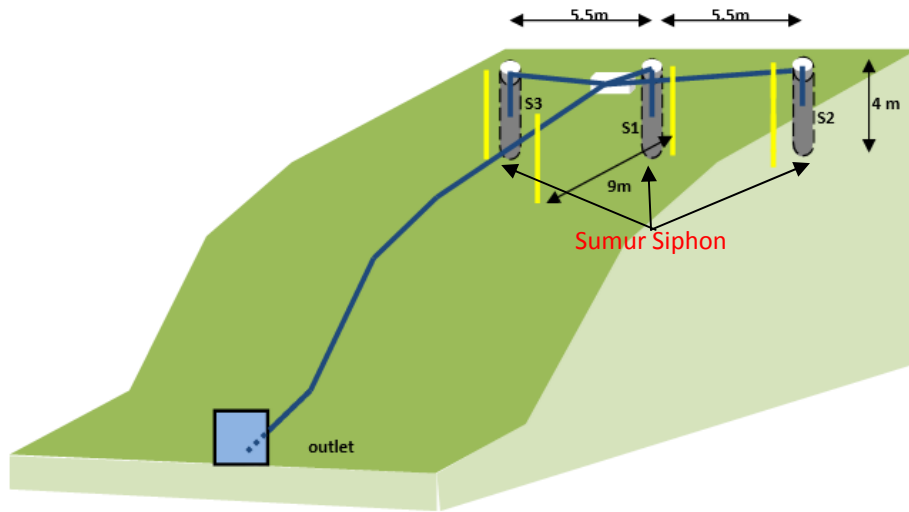
z = elevasi dari titik datum tertentu (m)

Pada persamaan 3 dan persamaan 4 dapat diamati faktor yang mempengaruhi debit Siphon adalah beda ketinggian air hulu dan hilir, diameter selang dan faktor kehilangan energi akibat geometri selang Siphon. Sementara pada persamaan 5 dan persamaan 6 merupakan rumus

yang berfungsi untuk memeriksa apakah Siphon tersebut berada pada kondisi bisa beroperasi. Apabila tidak memenuhi kondisi tersebut maka dapat dipastikan siphon tidak akan berfungsi. Untuk menghindari hal tersebut maka diperlukan pemeriksaan sistem kinerja siphon agar usaha meningkatkan kestabilan lereng dengan menurunkan air tanah berhasil.



Gambar 5. (a) Filter yang terbuat dari paralon diameter 2” dan 1” serta yang terbuat dari logam diameter 1/2”, (b) pemasangan filter 2” pada selang pneumatik diameter 6 mm.



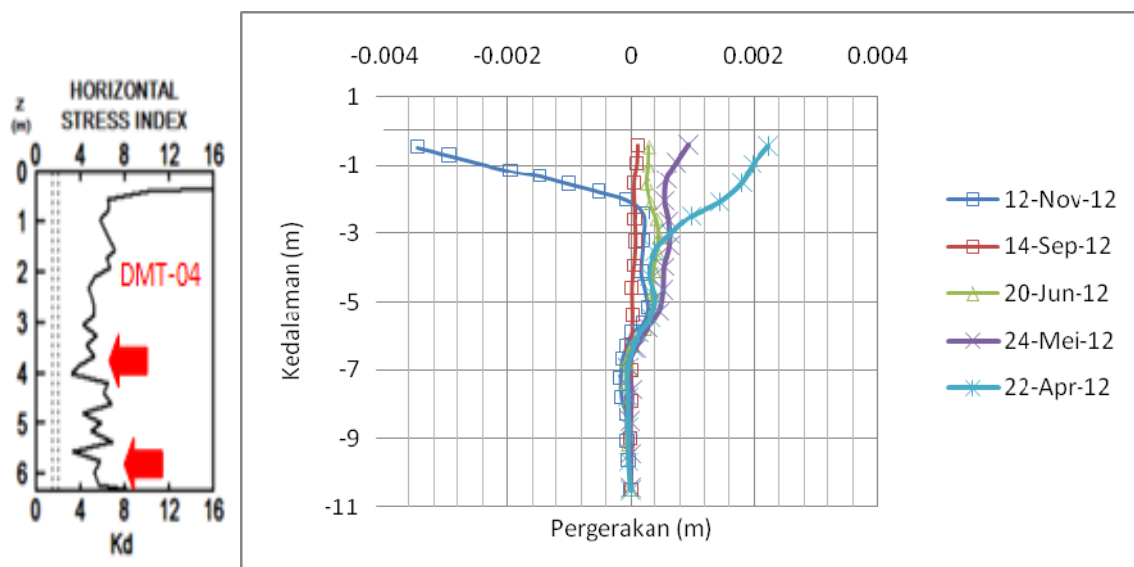
Gambar 6. Sketsa pemasangan siphon di lokasi penelitian sebanyak 3 buah (S1, S2 dan S3).

METODE

Pemasangan sumur siphon di lapangan menggunakan bor tangan sedalam 4 m sebanyak 3 titik. Sumur ini selanjutnya dibersihkan terlebih dahulu dengan cara dipompa keluar airnya menggunakan paralon yang dimodifikasi untuk kemudian didiamkan dulu setidaknya 1 hari agar butiran halus tanah mengendap. Tahap berikutnya adalah pemasangan casing sumur siphon yang terbuat dari paralon diameter 3” yang telah dibuat screen tempat air masuk dan diselubungi dengan kawat ram nyamuk yang berfungsi sebagai penyaring tanah atau kotoran

berukuran halus (Gambar 5). Selang siphon yang digunakan berdiameter masing-masing 4 mm, 8 mm dan 6 mm untuk siphon 1, 2 dan 3 berturut-turut.

Setelah sumur siphon siap, selanjutnya filter dipasang pada kedalaman 3,5m pada masing-masing lubang. Filter yang dimaksudkan di sini adalah inlet dari sistem siphon. Filter terbuat dari paralon atau logam yang prinsip kerjanya adalah memperbolehkan air masuk akan tetapi tidak memperbolehkan air balik keluar. Dengan demikian pada filter tersebut bisa dibuat dengan metode klep satu arah atau dengan metode

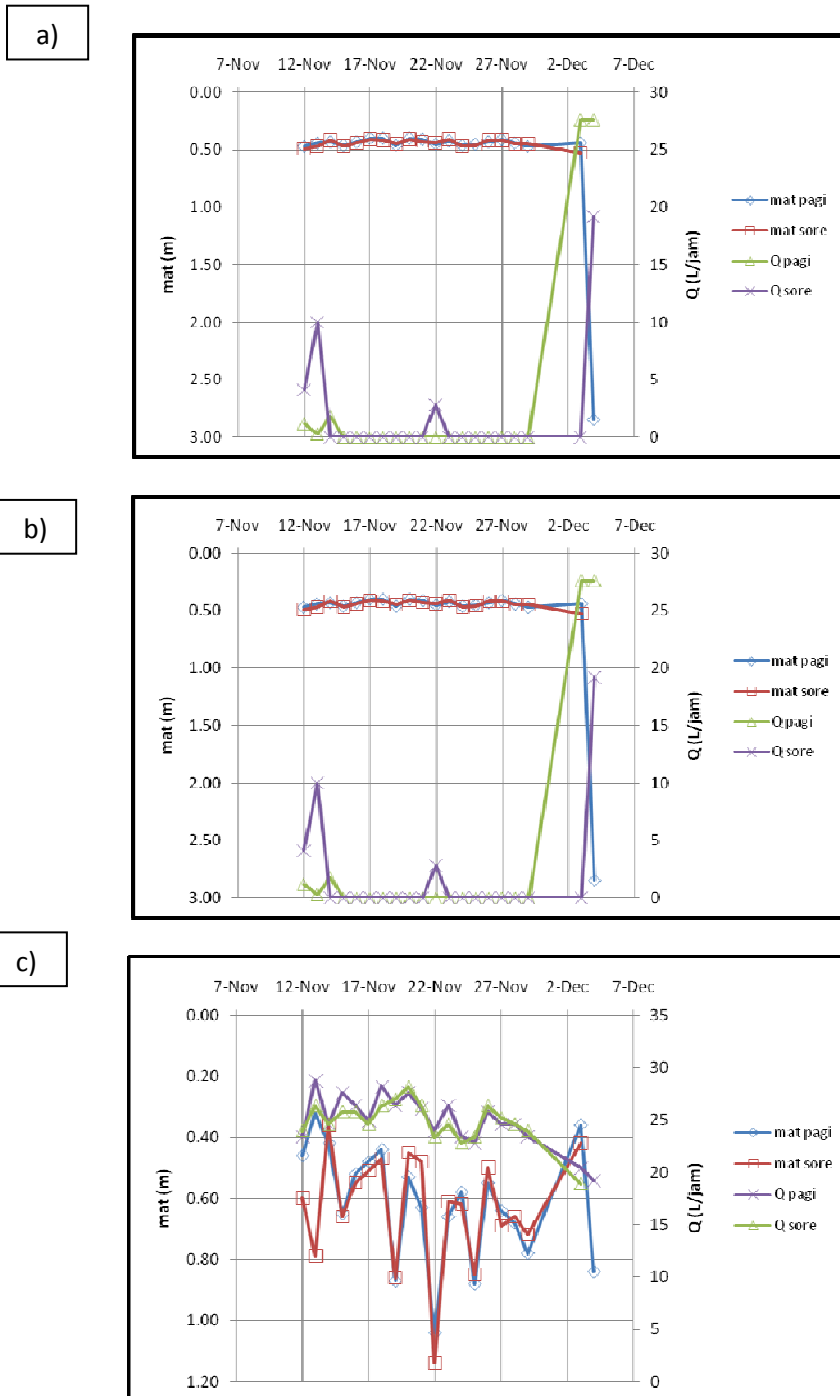


Gambar 7. Data DMT dan inclinometer yang menunjukkan adanya pergerakan lapisan tanah pada kedalaman kisaran 3,00-4,00 m yang dapat ditangani dengan siphon.

lainnya (Gambar 6). Sebagai pengamanan maka dipasang juga saringan dibawah yang berfungsi mencegah kotoran atau tanah butir halus masuk ke sistem siphon.

Pemilihan kedalaman tersebut ialah pada kedalaman tersebut diharapkan menjadi titik maksimal airtanah dapat turun sehingga cukup untuk menjaga kestabilan lereng. Ilustrasi pemasangan dapat diamati pada Gambar 7.

Kedalaman pemasangan siphon didasarkan pada data DMT (*Dilatometer Test*) yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya (Tohari *et al.*, 2012). Data DMT yang menunjukkan nilai K_d mendekati angka 2 mengindikasikan adanya zona gelincir. Hal ini diperkuat juga dengan data inklinometer yang menunjukkan adanya pergerakan pada kedalaman kisaran 3,00 - 4,00 m (Gambar 8).



Gambar 8. Pengamatan pada sumur pengamatan dan outlet siphon (a) siphon 1, (b) Siphon 2, (c) Siphon 3

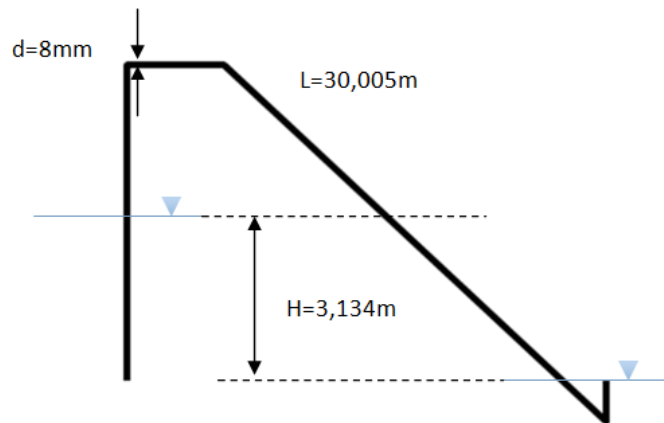
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan dilakukan pada ketiga *outlet* mulai tanggal 11 November - 4 Desember 2013 (Gambar 9). Untuk keperluan perbandingan dalam penelitian ini, maka data yang dianalisis diambil pada rentang tanggal ketiga Siphon tersebut berfungsi. Perbandingan dilakukan berdasarkan pengambilan debit maksimal dan minimal. Pengambilan debit maksimal digunakan untuk menentukan faktor kehilangan setempat yang mempengaruhi koefisien debit, sementara debit minimal digunakan untuk melihat perubahan parameter apa yang berubah sehingga debit terukur berkurang.

Berdasarkan data di atas, debit minimal pada *outlet* Siphon 1 ialah 18,6 L/jam dan maksimal 23,4 L/jam. *Outlet* Siphon 2, diperoleh angka sebesar 27,6 L/jam pada pagi hari dan 19,2 L/jam

pada sore hari. Terakhir *outlet* siphon 3 menghasilkan debit 28,8 dan 18,9 L/jam untuk nilai minimal dan maksimalnya. Hal tersebut mengindikasikan adanya faktor yang berubah pada sistem siphon sehingga debit terukur berubah. Grafik *outlet* Siphon 2 yang tampak berbeda dengan yang lain disebabkan ketidakberoperasiannya siphon tersebut akibat adanya udara yang masuk pada sistem.

Hal tersebut diketahui saat kunjungan ke lapangan setelah pemasangan siphon. Analisis perhitungan dengan menggunakan Persamaan 1-6 dan model Gambar 10 maka diperoleh tabulasi seperti yang disajikan pada Tabel 1.



Gambar 9. Contoh model perhitungan siphon 2 (S2) lapangan untuk debit maksimal.

Tabel 1. Hasil perhitungan ketiga siphon.

Keterangan	Debit (m ³ /s)	Parameter				
		kekasaran	panjang saluran (m)	Local loss	diameter selang (m)	beda head (m)
Siphon 1	2,34 x 10 ⁻⁵	0,018	24,485	174,77	0,004	3,064
	6,50 x 10 ⁻⁶	0,009		174,77	0,004	3,144
Siphon 2	5,33 x 10 ⁻⁶	0,017	30,005	2599,94	0,007	3,004
	7,68 x 10 ⁻⁶	0,009		2599,94	0,008	3,134
Siphon 3	5,25 x 10 ⁻⁶	0,018	30,145	716,94	0,005	3,014
	8,00 x 10 ⁻⁶	0,009		716,94	0,006	3,114

Pada Persamaan 3-4 dapat dipahami dengan mengubah parameter yang ada, maka debit, nilai kekasaran saluran, panjang saluran, koefisien debit dapat diperoleh. Sementara validasi debit dan beda tinggi tekan diperoleh dari data yang diambil periodik di lapangan.

Pada Persamaan 4 terlihat bahwa faktor koefisien debit merupakan parameter fungsi kekasaran material saluran, diameter, panjang saluran dan kehilangan setempat. Dengan memverifikasi nilai debit yang dihasilkan dengan debit pengukuran, maka faktor yang berubah dapat diketahui dengan mengetahui beberapa parameter yang nilainya pasti.

Pada perhitungan awal, yaitu dengan menghitung debit maksimum pada ketiga siphon dengan asumsi kondisi siphon paling optimal, serta menganggap kekasaran selang plastik pneumatik sebesar 0,009 (Giles, 1984) didapatkan parameter kehilangan setempat. Parameter inilah yang akan konstan digunakan untuk memperoleh koefisien debit saat terjadi debit minimum. Untuk dapat memverifikasi debit perhitungan, maka dilakukan perubahan pada parameter yang ada. Dari pengamatan lapangan, diperoleh beberapa parameter yang berubah dan mempengaruhi debit hitungan, parameter tersebut ialah nilai kekasaran dan diameter selang Siphon.

Sebagai contoh perhitungan untuk siphon 3 di saat debit maksimal ($8,00 \times 10^{-6}$ L/jam)

Dengan menganggap kekasaran selang siphon awal sebesar 0,009; maka diperoleh parameter kehilangan setempat sebagai berikut:

$$8,00 \times 10^{-6} = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,009 \frac{1}{0,06} + \sum k_t}} \times \frac{22}{7} \times \frac{0,6^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,114}$$

$$\sum k_t = 716,94$$

Selanjutnya dengan nilai kehilangan setempat tersebut dicari kekasaran selang siphon yang kotor pada debit minimal,

$$5,25 \times 10^{-6} = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{1}{0,05} + 716,94}} \times \frac{22}{7} \times \frac{0,5^2}{4} \times \sqrt{2 \times 9,81 \times 3,114}$$

$$\lambda = 0,018$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,018 \frac{1}{0,05} + 716,94}}$$

$$C = 0,0348$$

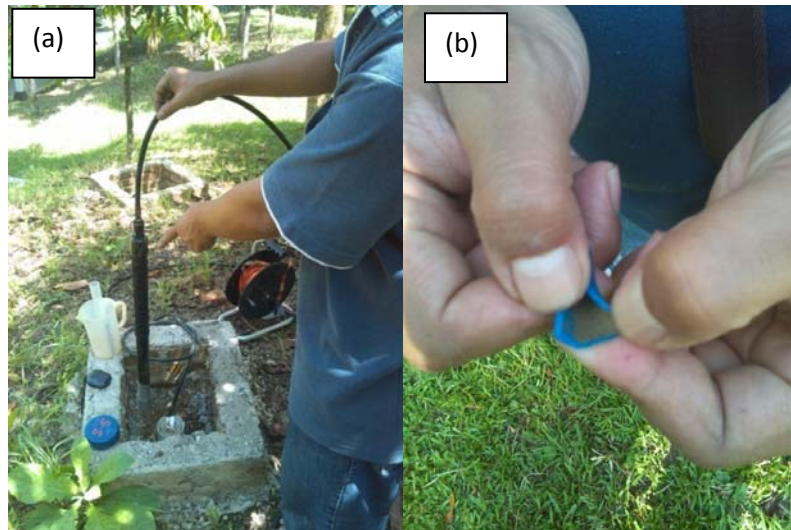
Nilai kekasaran ini masih berada pada kisaran nilai kekasaran plastik, yaitu 0,009-0,025 (Giles, 1984), hanya saja besarnya meningkat karena adanya kotoran yang menempel pada dinding selang siphon. Dengan perhitungan yang sama untuk siphon 1 dan 2 diperoleh nilai koefisien debit (C) berturut-turut sebesar 0,0589 dan 0,0193.

Air yang terdapat di lapangan merupakan air yang mempunyai kandungan besi dan mangan, hal ini tampak dengan adanya kotoran hitam yang menempel pada filter dan selang serta warna kuning pada bekas aliran pembuangan di *outlet* (Said, 2010). Akibat kandungan mangan terhadap selang dan filter dapat diamati pada Gambar 11.

Gambar 8(b) juga memperlihatkan Siphon 2 sempat tidak berfungsi dikarenakan adanya lumpur yang menyumbat filter (ditunjukkan dengan relatif konstannya muka airtanah dan debit keluar sama dengan nol). Saat proses awal penyumbatan bisa jadi terdapat butiran tanah halus yang sempat masuk ke saluran siphon.

Butiran halus inilah yang menyebabkan adanya perubahan nilai kekasaran yang seharusnya sekitar 0,009 menjadi lebih besar, yaitu Siphon 2 pada angka 0,017 serta Siphon 1 dan Siphon 3 pada nilai 0,018. Butiran halus ini berasal dari runtuhnya dinding pada lubang pada saat pemboran dan pemasangan *casing* (pipa paralon). Butiran berasal dari lapisan tanah lempung berwarna abu-abu yang bersifat membentuk gumpalan keras saat kering dan lengket apabila basah terkena air. Butiran ini jika masuk ke dalam lubang siphon maka saluran siphon jadi tersumbat.

Korelasi antara nilai kekasaran dan kejadian di lapangan adalah semakin besar nilai kekasaran artinya sistem siphon mengalami degradasi



Gambar 10. a) Kotoran yang menempel pada filter dan selang siphon akibat kualitas air yang berkadar mangan b) Kotoran pada selang siphon yang mengakibatkan perubahan diameter

kinerja yang disebabkan pada sumur siphon tersebut banyak dijumpai adanya butiran tanah halus yang ikut masuk ke sistem siphon sehingga masuk dan menempel pada dinding saluran, yaitu selang pneumatik.

Untuk mengatasinya, filter yang ada dan sumur siphon perlu dibersihkan sehingga butiran halus tidak masuk ke dalam sistem dan menempel pada dinding saluran. Selain hal tersebut, perlu juga adanya usaha perawatan dengan mengganti selang siphon ketika debit yang terukur tidak optimal. Hal itu ditandai dengan tidak menurunnya muka air tanah secara signifikan.

KESIMPULAN

Pendekatan matematis dapat dilakukan untuk analisis balik mengenai parameter/faktor apa yang berubah sehingga mempengaruhi nilai debit siphon. Parameter yang berubah pada penelitian ini ialah nilai koefisien debit. Selang siphon yang awalnya mempunyai nilai kekasaran 0,009 menjadi 0,018 pada Siphon 1 sehingga koefisien debitnya menjadi 0,0589, Siphon 2 menjadi 0,017 sehingga koefisien debitnya 0,0193 dan Siphon 3 menjadi 0,018 yang mengakibatkan koefisien debitnya menjadi 0,0348. Perubahan nilai kekasaran yang membesar mengindikasikan adanya tanah butiran halus yang masuk ke sistem

siphon dan menempel pada dinding selang siphon sehingga menyebabkan diameter berkurang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan untuk melakukan penelitian ini. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada seluruh redaksi Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan serta rekan-rekan yang telah membantu sehingga tulisan ini dapat diselesaikan. Penulis berterima kasih kepada reviewer yang telah memberikan masukan dalam perbaikan naskah tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bomont, S., 2004. Back experience for four landslides stabilized through lines of Siphon drain in Normandy (France). Proceedings of The Tenth International Symposium on Landslides and Engineered Slopes (Volume 2).
- Boțu, N., and Carastoian, D., 2003. Slope stabilization with Siphon drains, International Consortium of Landslides. Second Annual General Meeting, Vancouver.

- Giles, R.V., 1984. *Mekanika Fluida dan Hidraulika* (edisi kedua SI Metrik). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Gillarduzzi, A., 2008. Sustainable landslide stabilisation using deep wells installed with Siphon drains and electro-pneumatic pumps. *Proceedings of The Tenth International Symposium on Landslides and Engineered Slopes (Volume 2)*.
- <http://www.fao.org/docrep/x5744e/x5744e09.htm> diakses tanggal 8 Januari 2014.
- <http://www.wjgl.com/service-stability> diakses tanggal 8 Januari 2014.
- Kapid, R. dan A.H. Harsolumakso, 1996. Studi nannoplankton pada Formasi Karangsembung dan Totogan di daerah Luk Ulo, Kebumen, Jawa Tengah. *Bul. Geol.* 26, 1, p. 13-43.
- Said, N.I., 2010. Metode praktis Penghilangan Zat Besi dan Mangan di dalam Air Minum. Kelair BPPT, <http://www.kelair.bppt.go.id/Publikasi/BukuAirMinum/BAB7FILTER.pdf> diakses tanggal 25 Agustus 2014
- Shieh, J.C., 2007. *Fundamental of Fluid Mechanics Chapter 10 Flow in Open Channels*. Modul Kuliah, Departement of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taiwan.
- S. Asikin, A. Handoyo, H. Busono, dan S. Gafoer, 1992. *Peta Geologi Indonesia Lembar Kebumen Jawa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi dengan Institu Teknologi dan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran", Bandung.
- Tohari, A., dan Sarah D., 2006. Assessment of the Stability of Steep Volcanic Residual Soil Slopes under Rainfall infiltration. *Jurnal Media Teknik Sipil*, Edisi Juli 2006, Tahun ke-6, No.2, Hal. 95-102, ISSN: 1412-0976.
- Tohari, A., dan Sarah, D., 2007. Kestabilan Lereng Kupasan Terhadap Pengaruh Infiltrasi Air Hujan. *Prosiding Konferensi Nasional Transportasi dan Geoteknik Dalam Rekayasa Teknik Sipil*, Hal. 121-124, ISBN 979-498-326-8
- Tohari, A., 2008b. Effect of Rainfall on the Failure of Volcanic Residual Soil Slopes. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-12, Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI hal: X-41 s/d X-45, ISBN: 978-979-96668-6-4.)*, Bandung.
- Tohari, A., 2012. *Pengembangan Teknologi Mitigasi Bahaya Gerakan Tanah Aktif: Penentuan Karakteristik Geoteknik Tanah Ekspansif dan Model Pergerakan dari Gerakan Tanah dan Aliran Airtanah*. Laporan Penelitian Sub Kegiatan, No. 1469/IPK.1/KU.03.07/XII/2012, Hal. 34-39.