

ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN SISTEM DRAINASE BAWAH PERMUKAAN DI KABUPATEN BANJARNEGARA

Aldi Radyanto

Magister Teknik Pengelolaan
Bencana Alam, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta
aldiradyanto@gmail.com

Ahmad Rifa'i

Departemen Teknik Sipil dan
Lingkungan, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta
ahmad.rifai@ugm.ac.id

Fikri Faris

Departemen Teknik Sipil dan
Lingkungan, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta
Fikri.faris@ugm.ac.id

Abstract

Landslide is a mass movement of a very large number and volume of soil which is influenced by the presence of surface and subsurface water content that occurs in a certain slip surface area. This condition was happen in Bendawuluh Village Banjarnegara Regency. This research was conducted to determine the effect of occurrence of groundwater level on landslide in Bendawuluh Village, as well as provide information on safety factor when the condition of slope are in stable or not. The study of subsurface water condition is carried out with countermeasures trough the subsurface drainage system of the siphon well method. Modelling of slope stability is done through SLOPE/W program with inputting the soil properties which are obtained by laboratory tests, as well as depicting geometry profile data, soil layer and groundwater condition based on field data observation. The result of this research of groundwater level with experiments with several wells in certain capacities as input slope modelling obtained a safety factor of 1.135 and 1.189 at groundwater depths are 50 cm and 200 cm from the land surface.

Keywords: SLOPE/W, safety factor, groundwater drainage, Bendawuluh Village

Abstrak

Tanah longsor merupakan gerakan masa tanah yang dipengaruhi oleh kehadiran air permukaan maupun bawah permukaan yang terjadi pada bidang tertentu dengan jumlah dan volum yang sangat besar. Kondisi ini terjadi di Dusun Bendawuluh, Kabupaten Banjarnegara. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh ketinggian muka air tanah terhadap longsor yang terjadi di Dusun Bendawuluh, serta memberikan informasi nilai faktor aman saat kondisi stabil atau tidak. Kajian kondisi air bawah permukaan dilakukan dengan tindakan penanggulangan melalui sistem drainase bawah permukaan metode sumur siphon. Pemodelan dilakukan melalui program SLOPE/W dengan input sifat teknis dan mekanis tanah yang didapatkan melalui uji laboratorium, serta penggambaran data profil geometri, perlapisan tanah, dan kondisi muka air tanah berdasarkan data yang didapat di lapangan. Hasil kajian ketinggian muka air tanah dengan percobaan beberapa sumur dengan kapasitas tertentu sebagai input pemodelan lereng didapatkan nilai faktor aman 1,135 dan 1,189 pada kedalaman muka air tanah 50 cm dan 200 cm dari permukaan.

Kata Kunci: SLOPE/W, faktor aman, drainase bawah permukaan, Dusun Bendawuluh

PENDAHULUAN

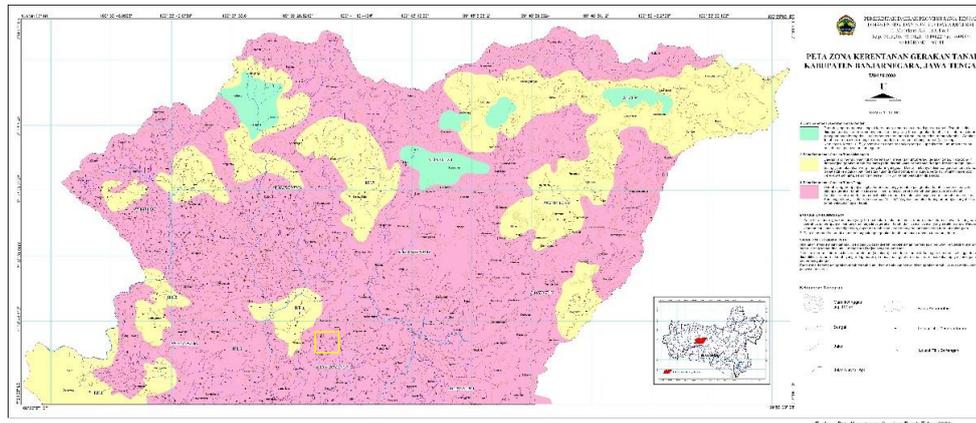
Latar Belakang

Indonesia merupakan negara tropis dengan kondisi geografis terletak pada pertemuan 2 (dua) lempeng yaitu Eurasia dan Indo-Australia yang menyebabkan Indonesia sangat rawan terjadi bencana geologi, diantaranya gempa bumi, tsunami, banjir, dan tanah longsor. Bencana yang disebutkan terakhir yaitu tanah longsor hampir melanda disebagian besar Pulau Jawa terutama yang berada di wilayah dengan morfologi perbukitan.

Kejadian tanah longsor di Pulau Jawa dengan jumlah penduduk mencapai 136 juta jiwa dianggap perlu menjadi perhatian mengingat salah satu kategori bencana adalah jumlah korban jiwa, maka diperlukan tindakan penanggulangan khususnya di wilayah yang rentan dan rawan mengalami pergerakan tanah. Tanah longsor dipengaruhi oleh kondisi geografis, dan Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki dua musim, yaitu penghujan dan

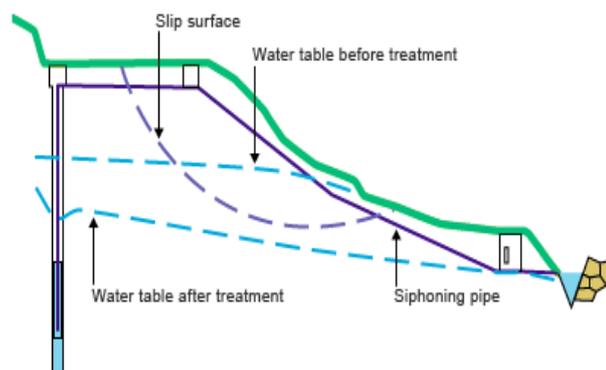
kemarau. Kedua aspek geografis tersebut dianggap berperan penting sebagai faktor terjadinya bencana longsor di Indonesia.

Peta zona kerentanan tanah Kabupaten Banjarnegara menunjukkan hampir diseluruh wilayah utara kabupaten termasuk dalam zona rentan gerakan tanah yang tinggi. Kondisi morfologi perbukitan dengan kemiringan lebih dari 30° dan tingkat pelapukan batuan yang tinggi dengan ketebalan tanah hasil pelapukan yang tinggi pula, menjadikan salah satu faktor pemicu terjadinya tanah longsor.



Gambar 20. Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Kab. Banjarnegara bagian Utara

Kondisi tersebut menjadikan dasar pemilihan lokasi di Desa Beji Kecamatan Banjarnegara Kabupaten Banjarnegara sebagai fokus penelitian analisis stabilitas lereng, terutama terkait keberadaan muka air tanah sehingga dapat dilakukan penanggulangan menggunakan sistem drainase bawah permukaan. Sistem yang selanjutnya disebut Siphon ini merupakan salah satu cara penanggulangan gerakan tanah melalui *control work* dengan mengendalikan ketinggian muka air tanah. Air yang diambil dari muka air tanah ketinggian tertentu, dialirkan dengan memanfaatkan gravitasi dan daya hisap yang mengacu pada hukum bernouli menuju satu titik pada bagian kaki lereng yang diharapkan tidak berpengaruh pada kestabilan lereng yang akan ditingkatkan.



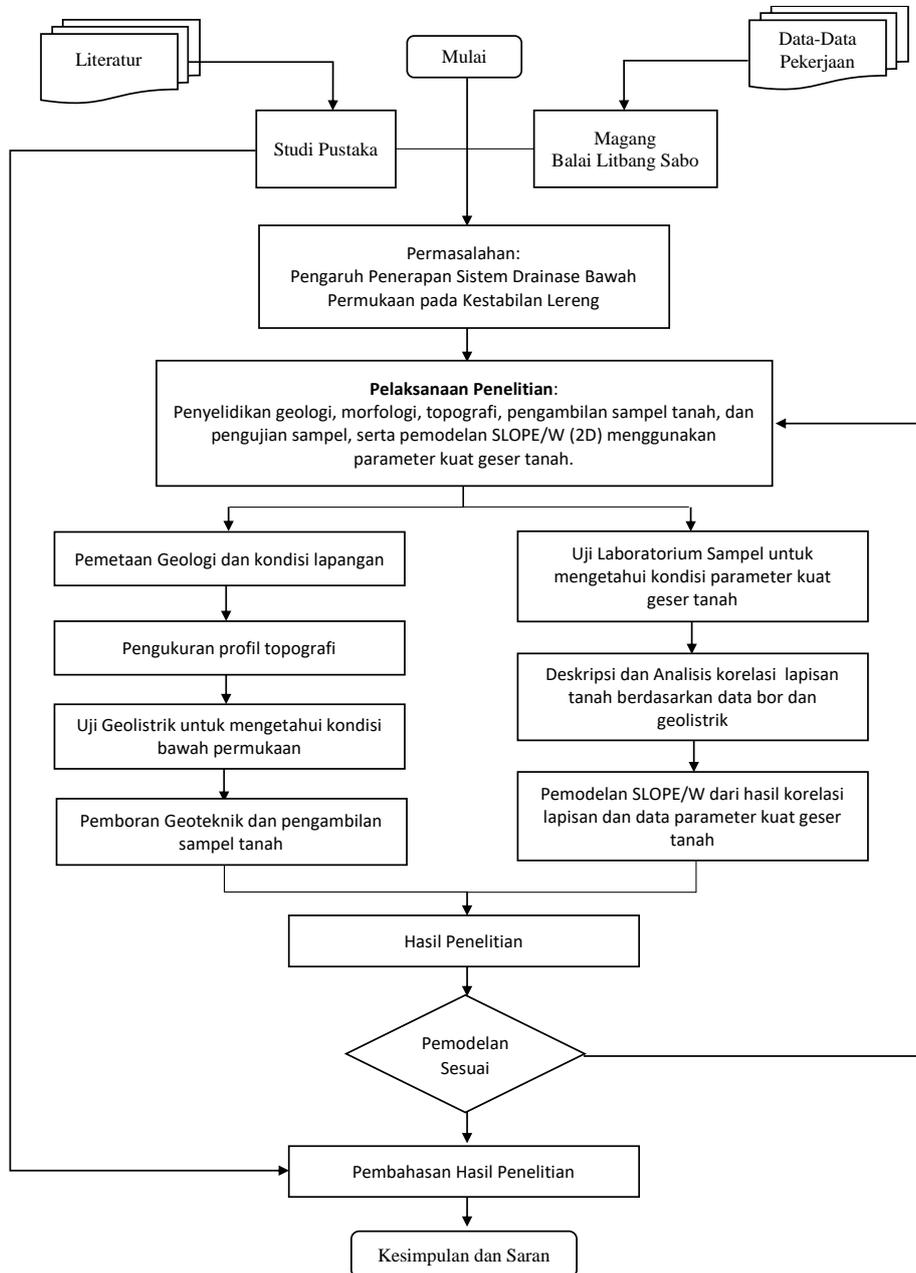
Gambar 21. Ilustrasi Sistem Drainase Bawah Permukaan Siphon ((Syahbana, et al. 2014)

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisis kondisi stabilitas lereng di wilayah penelitian melalui nilai faktor aman saat kondisi stabil dan tidak dengan mempertimbangkan pengaruh ketinggian muka air tanah. Kemudian dari hasil simulasi dapat diinterpretasikan letak bidang longsor melalui pemodelan program SLOPE/W, serta dapat

merancang dan merencanakan sistem drainase bawah permukaan yang efektif untuk dapat menurunkan ketinggian muka air tanah sampai kondisi stabil berdasarkan hasil pemodelan.

METODE PENELITIAN

Secara umum, metode penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 22. Bagan alir Penelitian

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penyelidikan dan Investigasi Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Desa Beji, Kecamatan Banjarmasinu, Kabupaten Banjarnegara. Secara administratif Desa Beji berada pada koordinat lintang $07^{\circ}18'33''$ LS dan bujur $109^{\circ}40'28''$ BT pada elevasi 600 mdpl. Dalam penentuan lokasi untuk menerapkan drainase bawah permukaan, dibutuhkan beberapa persyaratan, antara lain:

1. Kondisi ketinggian air bawah permukaan tidak terlalu dalam (kurang dari 9 meter dari permukaan tanah), hal ini dapat dilihat melalui sumur gali warga sekitar;
2. Kemiringan lereng yang tidak terjal (kurang dari 45°), dengan asumsi muka air tanah berada dekat dengan lereng;
3. Terindikasi atau telah terjadi pergerakan tanah melalui tanda-tanda yang ada di lapangan.

Hasil dari investigasi, diketahui bahwa kerusakan pada trase jalan terjadi karena beberapa faktor, yaitu tingkat kemiringan lereng setempat yang cukup curam pada sisi timur, litologi batuan penyusun dan jenis tanah yang lunak, serta kondisi drainase yang tidak baik sehingga aliran air permukaan tidak terarah.

Analisis Geologi

Berdasarkan hasil pemetaan geologi, satuan batuan (litologi) penyusun di wilayah penelitian terdiri dari:

1. Breksi Vulkanik, yang tersusun dari fragmental batuan beku andesit.
2. Intrusi Diorit
3. Tanah Koluvial yang merupakan tanah rombakan yang disebabkan oleh tingginya tingkat pelapukan batuan dasar (breksi), sehingga mengakibatkan jatuhnya (longsor).
4. Batulanau-batulempung, dengan material sedimen berukuran butir lanau-lempung.

Hasil penyelidikan didapatkan beberapa titik keluarnya mata air yang terjadi akibat longsoran yang memotong lapisan akuifer aliran air bawah permukaan. Kondisi saat musim kemarau (Juni-Oktober) terlihat bahwa mata air tidak berhenti mengalir bahkan dengan debit yang cukup besar, sehingga lokasi sekitarnya tetap dalam keadaan basah (jenuh air), dan aliran air dari mata air tersebut tidak tertampung pada saluran drainase menjadikan alirannya liar. Aliran inilah yang kemudian dibendung oleh masyarakat untuk membasahi kebun salak disekitarnya, dan konsekuensi dari hal tersebut tanah menjadi selalu basah dan rentan terjadi pergerakan tanah.

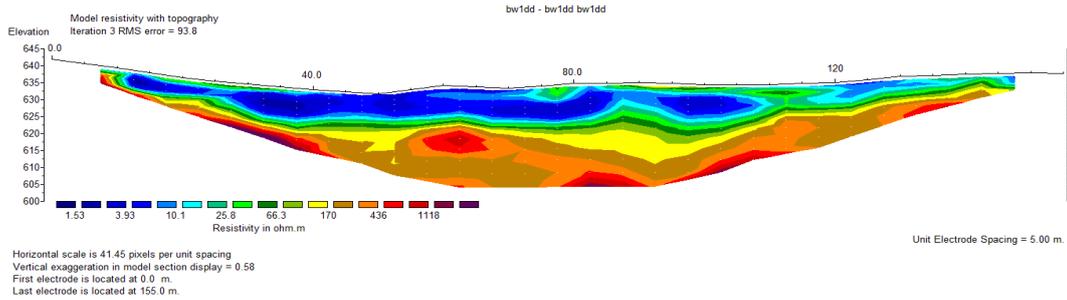
Analisis Data Geolistrik dan Geoteknik

Data rekaman geolistrik dan hasil bor geoteknik yang digunakan dalam analisis di penelitian ini diambil dari penelitian yang dilakukan oleh Balai Litbang Sabo. Selanjutnya dari kedua data tersebut dilakukan interpretasi dan deskripsi berdasarkan literatur yang ada.

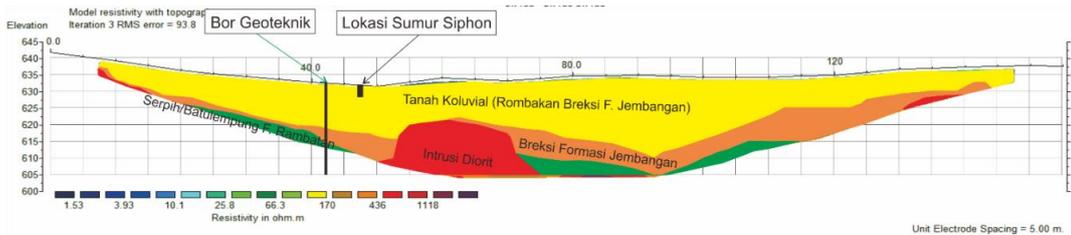
Data geolistrik dan bor geoteknik merupakan data pendukung untuk menentukan kondisi batuan atau tanah penyusun di bawah permukaan dimana tempat pembuatan drainase bawah permukaan dilakukan.

Tabel 29. Nilai Tahanan Jenis Berdasarkan Jenis Material (Balai Litbang Sabo 2018)

No.	Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Batuan (material)
1	1-10	Soil (jenuh)
2	10-15	Lempung Kepasiran
3	15-20	Pasir Kelempungan
4	20-80	Batu Pasir
5	80-150	Batu Pasir Kasar
6	150-250	Batu Pasir Breksi/Pasir Gamping
7	250-1000	Breksi/Gamping
8	1000-8000	Batuan Beku



Gambar 23. Rekaman Geolistrik berarah utara-selatan (Balai Litbang Sabo 2018)



Gambar 24. Hasil Interpretasi Geolistrik berarah utara-selatan (sejajar lereng)

Berdasarkan hasil interpretasi geolistrik melalui ekstrapolasi batas nilai resistivitas/tahanan jenis berdasarkan Tabel 29, batuan/tanah penyusun lokasi penelitian tersusun dari 4 (empat) lapisan, yaitu (dari dasar ke permukaan):

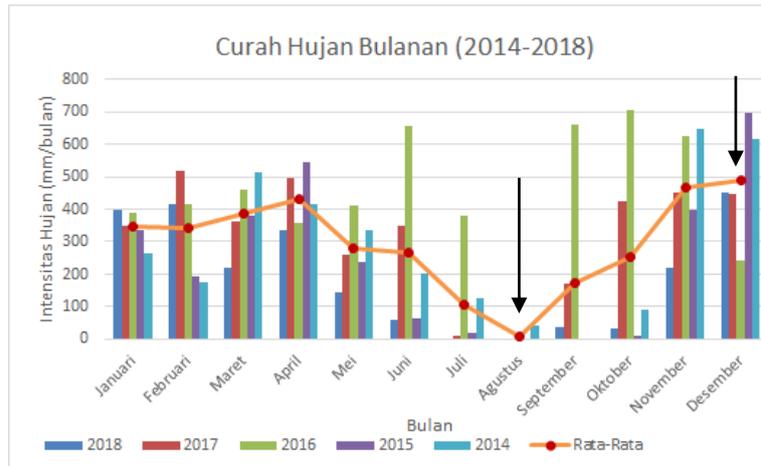
1. Intrusi Diorit (setempat-tidak menerus)
2. Lapisan Batulempung-Serpilh;
3. Lapisan Breksi;
4. Lapisan Endapan koluial.

Pada dasarnya untuk melakukan korelasi antara rekaman geolistrik dan log bor geoteknik yang diinterpretasikan sebagai lapisan tanah/batuan penyusun lokasi penelitian masih membutuhkan data lainnya yang lebih komprehensif sehingga hasil ekstrapolasi lapisan dapat mendekati kondisi sebenarnya di lapangan.

Data hujan Lokasi Penelitian

Data hujan diperoleh dari Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) Balai PSDA Serayu-Citanduy dengan mengambil lokasi Stasiun Hujan Wanadadi, Banjarnegara. Data hujan ini digunakan untuk melihat fluktuasi muka air tanah terukur pada sumur siphon saat musim penghujan dan kemarau.

Rekaman curah hujan yang tercatat pada Stasiun Wanadadi dalam 5 (lima) tahun terakhir (2014-2018) menunjukkan bahwa musim kering (kemarau) terjadi pada Juni sampai Oktober, sementara musim basah (penghujan) terjadi pada November sampai Mei.



Gambar 25. Diagram Curah Hujan Bulanan pada Stasiun Wanadadi (2014-2018)

Perhitungan kedalaman muka air tanah dihitung dengan ketinggian 1 (satu) buis beton yaitu 50 cm dan air tanah keluar pada buis beton keempat dari permukaan tanah, maka diinterpretasikan bahwa kondisi saat pengamatan pada bulan September (musim kemarau) kedalaman muka air tanah adalah 2 (dua) meter dari permukaan (Gambar 26-kiri). Sementara saat pemantauan pada bulan Oktober (awal musim hujan) sampai dengan Januari ketinggian muka air dapat mencapai 0,5 (setengah) meter dari permukaan tanah seperti yang terlihat pada Gambar 26 (kanan).



Gambar 26. Ketinggian Muka Air Tanah saat Pengamatan Bulan September (kiri); Bulan Januari (Kanan)

Analisis Parameter Teknis Tanah

Uji permeabilitas tanah dilakukan dengan 2 (dua) cara, yaitu perhitungan dengan menggunakan rumus persamaan permeabilitas untuk lapisan tanah permukaan yang menjadi batas ketinggian sumur siphon (sampai dengan 5 meter dari permukaan), dan uji permeabilitas di laboratorium dengan metode constant head pada sampel 8-10 dan 20-23 meter. Untuk menghitung nilai permeabilitas tanah pada lokasi sumur siphon digunakan persamaan *Dupuit-Thiem* (Sunjoto 2016) dibawah ini:

$$K = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right) \quad (1)$$

Dimana,

k = Nilai Permeabilitas Lapisan Tanah

Q = Debit dalam sumur siphon (cm³/detik)

h_2, h_1 = ketinggian muka air tanah dari dasar sumur (cm)

r_2, r_1 = Jarak sumur dengan titik tengah pengamatan (cm)

Nilai Permeabilitas yang didapatkan dari hasil uji laboratorium dan perhitungan dapat dilihat pada tabel

Tabel 30. Nilai Permeabilitas Tanah di Lokasi Penelitian

Kedalaman Sampel Tanah	Nilai Permeabilitas	Keterangan
0-5 meter	$7,33 \times 10^{-4}$	Perhitungan
8-10 meter	$2,14 \times 10^{-8}$	Uji Laboratorium
20-23 meter	$6,01 \times 10^{-10}$	Uji Laboratorium

Sementara hasil uji triaxial terhadap sampel tanah yang didapat dari pemboran geoteknik pada kedalaman 8-10 meter (material koluvial) dan 20-23 meter (batulempung/serpilh), serta data teknis tanah pada kedalaman 16-18 meter (breksi) yang didapat dari Balai Litbang Sabo, yaitu:

Tabel 31. Hasil Pengujian Parameter Teknis Tanah

Kedalaman Sampel (m)	Jenis Batuan/Tanah	Berat Jenis Tanah (kN/m ³)	Kohesi (c) (kPa)	Sudut Gesek Dalam (Internal Friction/Phi) (°)
8-10	Rombakan/Koluvial	18,2	22,3	5
16-18	Breksi	18,3	22	30
20-23	Batulempung	21,2	23	17

Data parameter teknis tanah tersebut digunakan untuk melakukan simulasi pemodelan dengan program SLOPE/W, dengan tambahan parameter ketinggian muka air tanah dari hasil pengamatan pada sumur siphon di lapangan

Analisis Pemodelan Drainase Bawah Permukaan

Analisis model drainase bawah permukaan dilakukan dengan perhitungan jarak pengaruh penurunan muka air tanah menggunakan rumus persamaan yang dikemukakan oleh w. Sichardt, dengan rumus persamaan (Sunjoto 2016):

$$R_i = 3000(H - h_w)\sqrt{K} \quad (2)$$

Dimana,

R_i = Radius of Depletion (Pengaruh Penurunan m.a.t) (m)

H = Ketinggian m.a.t awal

h_w = Ketinggian m.a.t yang diinginkan

$H-h_w$ = drawdown (m)

k = Permeabilitas (m/detik)

Setelah mengetahui jarak tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk mengetahui jarak ketinggian penurunan muka air tanah (h_D) yang berada diantara dua atau lebih sumur gali/siphon yang dilakukan pengambilan air dengan kapasitas debit tertentu (q_p) berdasarkan rumus persamaan (Reddi 2003):

$$q_p = \left(0,73 + 0,27 \frac{H-h_0}{H}\right) \frac{k}{2L} (H^2 - h_0^2); \left(\frac{L}{H} \geq 3\right) \quad (3)$$

Dimana,

q_p = laju penurunan muka air tanah (cm/detik)

H = Ketinggian muka air tanah awal (m)

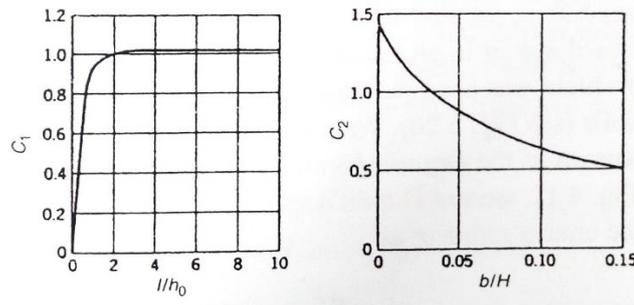
- h_0 = Ketinggian muka air tanah target (m)
- L = Jarak pengaruh penurunan muka air tanah (m)
- k = Permeabilitas lapisan tanah (cm/dtk)

$$h_D = h_0 \left[\frac{C_1 C_2}{L} (H - h_0) + 1 \right] \tag{4}$$

Dimana,

h_D = ketinggian muka air tanah tertinggi diantara 2 sumur

$C_1 C_2$ = koefisien sumur lebih dari 1 berdasarkan grafik

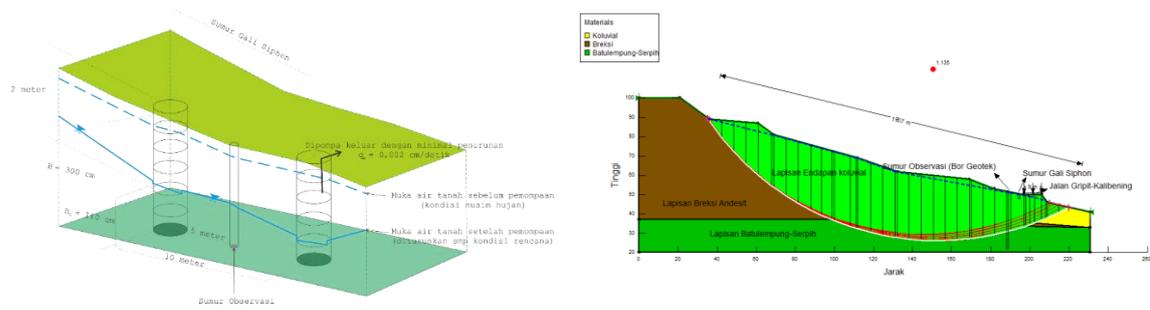


Gambar 27. Grafik Penentuan C_1 dan C_2 untuk Sumur > 1

Tabel 32. Perhitungan Jarak Pengaruh Penurunan Muka Air Tanah dengan Parameter Permeabilitas

Parameter	Satuan	Percobaan				Keterangan
		1	2	3	4	
Q	cm ³ /dtk	41	41	41	41	
r_1	cm	38.5	38.5	38.5	38.5	
r_2	cm	1005	505	255	15405	Kolom 4 untuk pembuktian perhitungan radius of depletion W. Sichardt
h_1	cm	110	110	110	110	
h_2	cm	265	240.75	213.98	344.77	Semakin jauh, ketinggian muka air tanah akan kembali normal
K	cm/dtk	0.000733	0.000733	0.000733	0.000733	
$(h_2^2 - h_1^2)$	cm ²		45862.68	33687.49	106763.9	

Berdasarkan perhitungan penurunan muka air tanah dengan pemompaan air menggunakan sistem siphon pada beberapa sumur yang diatur jaraknya, dihasilkan nilai dari ketinggian muka air tanah tertinggi diantara dua sumur (h_D) hanya naik tidak lebih dari 2 (dua) cm dari batas muka air tanah rencana yang berada dalam sumur (h_0), dan kapasitas kemampuan siphon untuk menurunkan muka air lebih besar 3 (tiga) kali daripada nilai perhitungan yaitu 0,006 : 0,002. Sehingga bisa dipastikan sistem drainase bawah permukaan dapat berjalan dengan baik untuk menurunkan dan mempertahankan muka air tanah pada batas ketinggian yang direncanakan.



Gambar 28. Pemodelan sumur drainase bawah permukaan hasil perhitungan (kiri); Pemodelan Stabilitas Lereng SLOPE/W Kondisi Awal (kanan)

Pemodelan Numerik Stabilitas Lereng

Pemodelan numerik stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan data teknis tanah dan parameter ketinggian muka air tanah hasil pengukuran saat musim kemarau (kering) yang terjadi pada bulan Agustus dengan ketinggian 200 cm dihitung dari permukaan, dan musim hujan (basah) pada bulan Desember dengan ketinggian muka air tanah sampai pada 50 (limapuluh) cm dihitung dari permukaan tanah. Selain melakukan simulasi dengan mengubah ketinggian muka air tanah, untuk mendapatkan nilai faktor aman pada lereng yang sesuai pada SNI 03-1962-1990 yaitu sebesar 1,2 (satu koma dua) dilakukan pula simulasi dengan menurunkan muka air tanah lebih dalam serta mencoba membuat *countermeasure* disisi lembah dari bidang longsor. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.** dibawah ini.

Tabel 33. Rekapitulasi Simulasi Pemodelan SLOPE/W pada Lereng Bendawuluh

No.	Ketinggian Muka Air Tanah (dari permukaan) (cm)	Countermeasure	Nilai Faktor Aman
1.	50	-	1,135
2.	200	-	1,189
3.	200	Nailing	1,218
4.	300	-	1,255
5.	300	Nailing	1,270
6.	500	-	1,343

Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa menurunkan ketinggian muka air tanah cukup berdampak pada kestabilan lereng dengan naiknya nilai faktor aman. Dengan rencana ketinggian muka air tanah yang berada di kedalaman 200 cm dari permukaan menghasilkan nilai faktor aman yang masih belum memenuhi kriteria aman dalam tingkatan resiko rendah dengan tingkat ketelitian maksimum (1,25), dan untuk mencapai target tersebut masih perlu untuk menurunkan rencana ketinggian muka air tanah sampai pada kedalaman 300 cm dari permukaan.

KESIMPULAN

Kesimpulan Penelitian

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan hasil dari penelitian ini antara lain:

1. Dusun Bendawuluh memiliki kondisi geologi yang beragam dengan kemiringan lereng curam hingga landai dan kondisi batuan yang telah mengalami pelapukan yang intensif, serta ditambah dengan kehadiran mata air yang mengalir setiap saat dan tanpa drainase yang baik sehingga menaikkan gaya geser dari lereng di lokasi tersebut.
2. Hasil sinkronisasi data geolistrik, data bor geoteknik, dan kondisi geologi, didapatkan satuan batuan penyusun lokasi penelitian tersusun dari 4 (empat) litologi (muda-tua),

- yaitu satuan endapan kolumial, satuan breksi andesit, satuan batulempung-serpih, dan satuan intrusi diorit.
3. Data curah hujan bulanan (2014-2018) diketahui bahwa musim basah terjadi antara November sampai Mei, sementara musim kering terjadi antara Juni sampai Oktober, hal ini berpengaruh terhadap pengamatan ketinggian muka air tanah pada sumur gali maupun observasi yaitu 50 cm dari permukaan (bulan basah) dan 200 cm dari permukaan (bulan kering).
 4. Dengan jarak antar sumur siphon 10 meter dan target penurunan muka air tanah sampai dengan 2 meter dari kondisi awal, maka ketinggian muka air tertinggi diantara kedua sumur hanya akan naik tidak lebih dari 2 (dua) cm. Oleh karena itu perencanaan sumur siphon dengan jarak tiap 10 meter dapat dilakukan dengan satu sumur observasi dibagian tengahnya.
 5. Hasil simulasi pemodelan menggunakan program SLOPE/W dengan beberapa alternatif ketinggian muka air tanah, dihasilkan bahwa untuk mendapatkan nilai faktor aman minimal (1,25), dibutuhkan penurunan muka air tanah rencana sedalam 300 cm dari permukaan sehingga mendapatkan nilai faktor aman 1,255, dan penambahan *countermeasure* disisi bawah lereng (*toe*) dengan menggunakan *nailing* hanya dapat menaikkan nilai faktor aman sebesar 0,02-0,03.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, Lee W., Thomas S. Lee, Glenn M. Boyce, dan Sunil Sharma. 2002. *Slope Stability and Stabilization Methods 2nd Edition*. New York: John Willey & Sons.
- Balai Litbang Sabo. 2018. *Drainase Bawah Permukaan untuk Pengendalian Stabilitas Lereng*. Yogyakarta: Balai Litbang Sabo, Pusat Litbang Sumber Daya Air (Tidak Dipublikasikan).
- BSNi. 1990. SNI 03-1962-1990 Tata Cara Perencanaan Penanggulangan Longsor. Jakarta Paten SNI 03-1962-1990.
- Reddi, Lakshmi N. 2003. *Seepage in Soils: Principles and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Sunjoto. 2016. *Groundwater Engineering*. Yogyakarta: Post Graduate Program UGM.
- Syahbana, Arifan J., Adrin Tohari, Khoru Sugianti, Nugroho Aji, Sunarya Wibowo, dan Sueno Winduhutomo. 2014. "Rekayasa Hidraulika Kestabilan Lereng Dengan Sistem Siphon: Studi Kasus Di Daerah Karangsembung, Jawa Tengah." *RISSET Geologi dan Pertambangan* 103-114.