

Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsor dengan Menurunkan Muka Air Tanah: Studi Kasus Longsor Kalitlaga, Banjarnegara, Jawa Tengah

Aminudin Syah^{1,*}, Teuku Faisal Fathani²

¹ Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

² Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta 55281

E-mail korespondensi: lubis.aminudinsyah@gmail.com

Abstrak. Longsor adalah bencana alam yang sering terjadi di Indonesia dan telah menimbulkan banyak korban jiwa serta kerugian material yang besar. Oleh karena itu, upaya mitigasi untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan sangat dibutuhkan. Penelitian ini diawali dengan survei lapangan, pengumpulan data pemantauan longsor serta pengujian tanah di laboratorium. Program Plaxis 8.6 dan Slope/W digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Kondisi pembebanan, muka air tanah dan geometri longsor disimulasikan dengan Plaxis dan Slope/W sesuai dengan kondisi di lapangan. Hasil investigasi lapangan dan pemantauan longsor menunjukkan bahwa gerakan tanah yang terjadi berupa creep dengan laju kecepatan sedang sampai lambat. Pergerakan tanah mulai terjadi pada musim hujan dan berhenti saat musim hujan berakhir. Hasil simulasi numeris menggunakan Plaxis menunjukkan bahwa, setelah muka air tanah turun nilai faktor aman naik dari 1,1891 menjadi 1,3498 sedangkan menggunakan Slope/W nilai faktor aman naik dari 1,232 menjadi 1,457. Hal itu berarti bahwa lereng sudah aman dari kemungkinan terjadinya longsor.

Kata kunci: pemantauan longsor, stabilitas lereng, plaxis, slope/W, muka air tanah

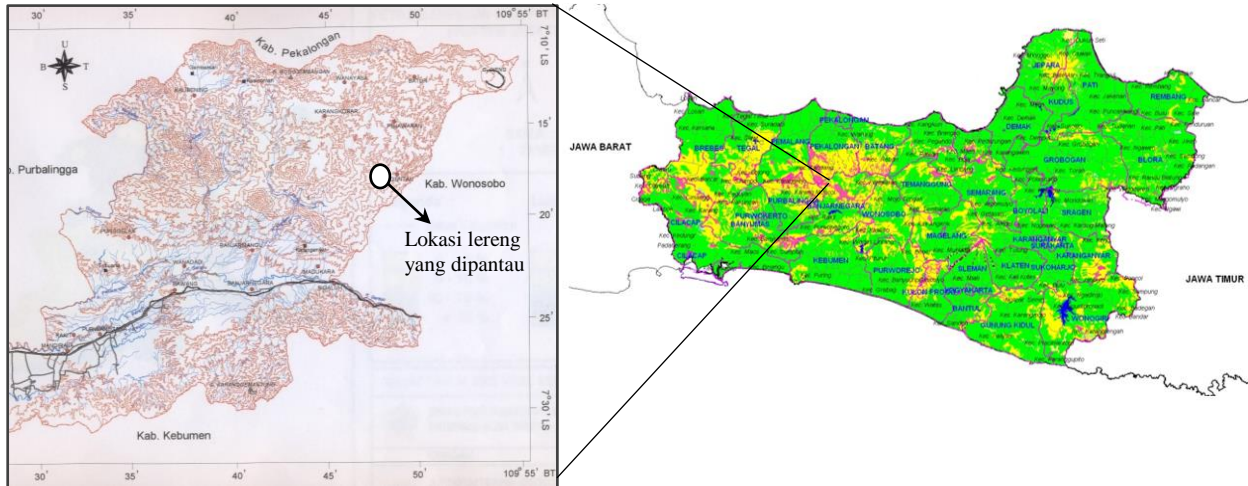
1. Pendahuluan

Bencana longsor adalah bencana alam yang paling banyak menimbulkan korban jiwa sepanjang tahun 2017. Tercatat 156 orang tewas, 168 jiwa luka-luka, 52.930 jiwa mengungsi dan menderita, dan 7.000 lebih rumah rusak. Sejak tahun 2014 hingga 2017, bencana longsor adalah bencana yang paling banyak menimbulkan korban jiwa. Seringkali longsor yang terjadi adalah kecil namun menyebabkan satu keluarga meninggal dunia. Hal ini disebabkan jutaan masyarakat tinggal di daerah-daerah rawan longsor sedang hingga tinggi dengan kemampuan mitigasi yang belum memadai. Implementasi penataan ruang harus benar-benar ditegakkan untuk mencegah daerah-daerah rawan longsor berkembang menjadi permukiman (BNPB, 2018).

Kecamatan Pagentan merupakan daerah dengan potensi gerakan tanah tinggi. Gerakan tanah yang sering terjadi di Pagentan telah mengakibatkan kerusakan dan kerugian material yang besar. Seringkali pergerakan tanah terjadi secara kontinu dan mengakibatkan kerusakan pada sejumlah rumah warga, jalan desa dan prasarana fisik lainnya. Gerakan tanah ini lebih dikenal sebagai rayapan (*creep*). Rayapan dibedakan menjadi tiga jenis yaitu: rayapan musiman yang dipengaruhi iklim, rayapan berkesinambungan yang dipengaruhi kuat geser dari material, dan rayapan melaju yang berhubungan dengan keruntuhan lereng atau perpindahan massa lainnya (Hansen, 1984; dalam Ortigao, 2004).

Untuk memfasilitasi pengembangan sistem peringatan dini, investigasi awal dan peralatan pemantauan lapangan real-time telah dipasang di Desa Kalitlaga, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah Indonesia sebagai proyek percontohan (Fathani dkk. 2008). Sistem peringatan dini ini telah dilengkapi

dengan alat pemantau lapangan *real-time* berupa alat pengukur curah hujan (*rain-gauges*), sensor ketinggian air tanah, dan ekstensometer yang dapat mencatat data curah hujan, ketinggian air tanah, dan perpindahan massa tanah. Data ini sangat penting untuk penilaian longsor, prediksi, dan pengembangan sistem peringatan dini (Faris dan Fathani, 2010). Lokasi lereng yang dipantau ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi pemantauan lereng di Kalitlaga

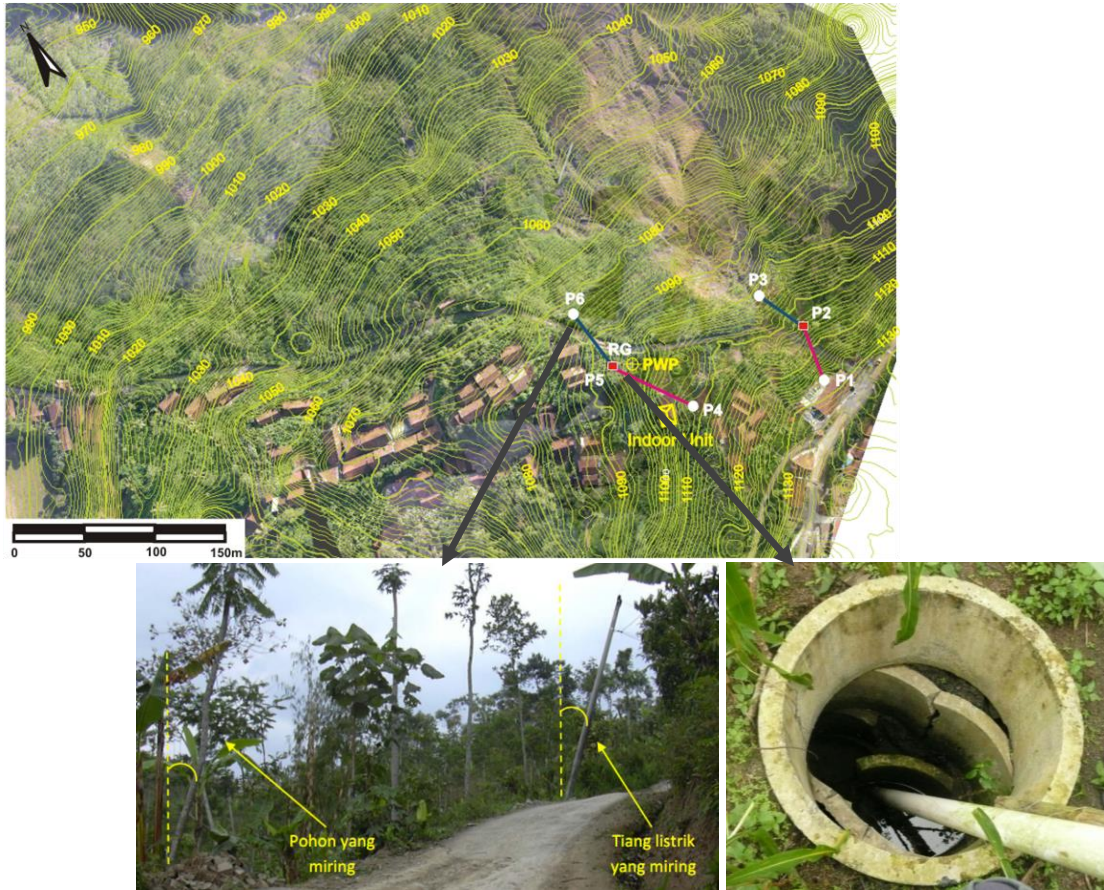
2. Gambaran Umum Longsor Kalitlaga

2.1. Hasil Survei Geologi dan Geoteknik

Desa Kalitlaga didominasi oleh lembah dan bukit, yang membujur di daerah Pegunungan Serayu dengan relief bergelombang dan curam. Berdasarkan peta topografi dan investigasi lapangan, daerah ini memiliki kemiringan lereng 11° - 16° . Batuan utama penyusun lereng di daerah tersebut berupa batu lempung yang mengandung sisipan-sisipan tipis batupasir (Parlindungan, 2008). Lereng yang ditinjau pada penelitian ini adalah lereng yang telah dipasang alat pemantau gerakan tanah. Pada lereng sudah terpasang ekstensometer P4-P5-P6 dan P4-P5-P6, sebuah sumur uji yang dilengkapi sensor tekanan air pori (PWP) dan ketinggian muka air tanah dan rain gauge (RG). Lereng yang dikaji dalam penelitian ini berada pada pemasangan alat ekstensometer P4-P5-P6 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada beberapa titik di lokasi longsor telah terjadi pergerakan tanah berupa *creep* (rayapan). Rayapan ini mengakibatkan kerusakan pada beberapa rumah warga dan bangunan lainnya. Pergerakan tanah tersebut terjadi secara perlahan dan kontinu. Kondisi sumur uji juga telah mengalami kerusakan akibat pergerakan tanah. Hal ini mengindikasikan adanya bahaya longsor di masa yang akan datang.

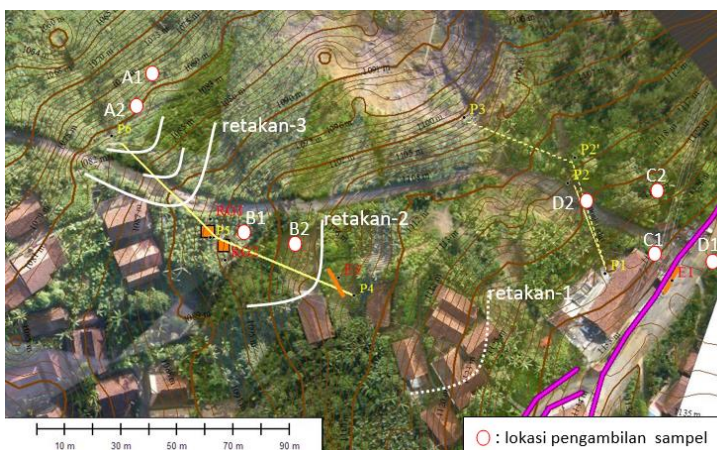
Struktur geologi yang dijumpai di daerah penelitian berupa kekar-kekar pada batuan yang mempunyai arah relative "Utara - Selatan" dengan arah umum $N 350^{\circ}E - N 355^{\circ}E$ (Kamarullah, 2010). Dari hasil investigasi lapangan diketahui bahwa, massa yang bergerak terdiri dari lempung berpasir yang terletak di atas bidang gelincir yaitu batu lempung. Secara umum, kondisi geologi pada lereng tersebut adalah berupa lapisan sedimen yang terdiri dari lempung monmorilonit yang ditutupi oleh *colluvial deposit* (Karnawati dkk., 2008). Material yang bergerak dalam penelitian ini diasumsikan jenis litologi yang terdiri dari *colluvial soil*, lempung kelanauan dan batupasir.



Gambar 2. Foto udara dan topografi daerah longsor

2.2. Data pengujian tanah dan pemantauan longsor

Ada beberapa jenis uji laboratorium yang dilakukan untuk mengetahui parameter fisik dan mekanik tanah. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada 8 (delapan) titik seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Pengujian yang dilakukan berupa: distribusi ukuran butir (ASTM D6913-04), batas-batas Atterberg (ASTM D4318-10), geser langsung (ASTM D3080-98), permeabilitas (ASTM D2435-04) dan triaksial CU (ASTM D4767-95). Rangkuman hasil pengujian tanah di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1. Hasil penyelidikan tanah dikombinasikan dengan data geologi untuk membentuk perlapisan tanah yang sesuai dengan kondisi di lapangan.



Gambar 3. Foto udara dan topografi daerah longsor

Tabel 1. Rangkuman hasil pengujian tanah di laboratorium

No.	No. Sampel	Moisture content $W_N, \%$	Specific gravity G_s	Liquid Limit $LL, \%$	Plastic Limit $PL, \%$	Plasticity Index $PI, \%$	Finer #200 $\%$	Unified Soil Classification	Koefisien Permeabilitas m/s	Geser Langsung		Triaksial CU	
										φ°	c kg/cm ²	φ°	c kg/cm ²
1	A1	20.29	2.69	41.77	23.42	18.35	39.79	SC	-	31.80	0.00	22.23	0.08
2	A2	22.79	2.68	39.64	20.02	19.62	51.32	CL	5.25E-07	32.00	0.00	-	-
3	B1	16.29	2.68	46.00	19.71	26.29	83.22	CL	-	-	-	-	-
4	B2	18.16	2.65	40.18	22.76	17.42	37.54	SC	5.71E-09	-	-	15.40	0.10
5	C1	26.17	2.69	38.94	22.15	16.79	77.80	CL	-	-	-	7.04	0.92
6	C2	22.15	2.67	36.82	17.83	18.99	58.29	CL	1.26E-08	-	-	-	-
7	D1	17.21	2.68	37.25	18.77	18.49	44.56	SC	6.55E-08	-	-	15.33	0.06
8	D2	41.43	2.44	51.61	24.77	26.83	81.47	CH	-	-	-	-	-

Ekstensometer yang terpasang pada lereng mencatat pergerakan tanah yang terjadi dalam mm setiap jam. Ekstensometer ditempatkan pada dua posisi yang dihubungkan oleh kabel yang bisa mengukur tarikan (+) dan tekanan (-). Apabila terjadi gerakan maka kabel yang diikat akan tertarik atau tertekan dan akan direkam oleh ekstensometer. Ekstensometer akan merekam dengan nilai positif ketika kabel memanjang dan merekam dengan nilai negatif ketika kabel memendek. Selain data pergerakan tanah, sistem peringatan dini ini juga mencatat data ketinggian muka air di sumur uji. Data pemantauan longsor berupa data pergerakan tanah dan ketinggian muka air tanah sangat penting dalam penilaian longsor dan simulasi numeris yang akan dilakukan.

3. Pembahasan

3.1. Penyebab dan mekanisme longsor

Pemicu terjadinya longsor dapat diketahui dengan memperhatikan data hasil pemantauan longsor berupa data pergerakan tanah dan muka air tanah. Data ekstensometer menunjukkan bahwa pergerakan tanah mulai terjadi pada musim hujan dan pergerakan tersebut tidak terjadi (berhenti) pada musim kemarau. Data kedalaman muka air tanah juga menunjukkan bahwa pergerakan tanah terjadi saat muka air tanah naik (musim hujan). Pada saat muka air tanah naik tekanan air pori meningkat dan mengurangi parameter kuat geser tanah. Oleh karena itu, diperkirakan bahwa hujan merupakan salah satu faktor pemicu terjadinya gerakan tanah.

Faktor lainnya yang menyebabkan terjadinya longsor adalah kondisi topografi dan geologi. Topografi Desa Kalitlaga yang berada di daerah pegunungan dan memiliki lereng yang curam rentan untuk bergerak. Selain itu, kondisi geologi berupa lapisan sedimen yang terdiri dari lempung monmorilonit yang ditutupi oleh *colluvial deposit* sangat rentan menimbulkan gerakan tanah bila dipicu oleh air.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, tipe longsor yang terjadi di Desa Kalitlaga merupakan jenis rayapan (*creep*). Hal itu terlihat dari adanya penurunan tanah pada badan jalan, beberapa bangunan warga yang mengalami retak serta pohon-pohon dan tiang listrik yang miring. Berdasarkan laju kecepatan pergerakan tanah, longsoran ini diklasifikasikan sebagai *creep* dengan laju kecepatan sedang sampai sangat lambat. Dari segi bentuk gerakan yang terjadi tipe longsoran ini juga diklasifikasikan sebagai gabungan dari longsoran rotasi dan translasi.

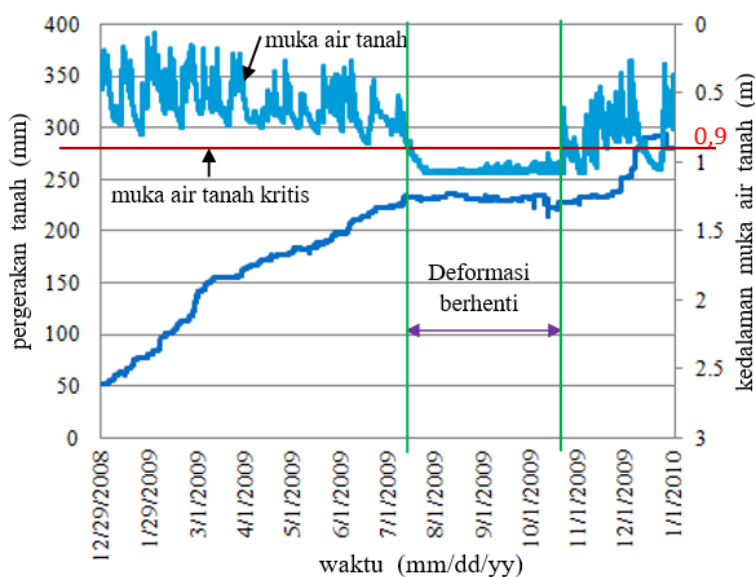
Pergerakan tanah di Desa Kalitlaga terjadi karena kondisi geomorfologi berupa pegunungan dengan struktur geologi yang labil dan rawan bergerak dipicu oleh curah hujan yang tinggi. Gaya pendorong bertambah besar akibat naiknya muka air tanah dan kondisi tanah yang menjadi jenuh air, disisi lain gaya

penahan berupa tahanan gesek berkurang akibat naiknya tekanan air pori pada bidang longsor. Kenaikan tekanan air pori tersebut mengurangi tahanan gesek, karena gaya normal pada longsor menjadi berkurang.

3.2. Analisis Kestabilan Lereng

Berdasarkan hasil investigasi geoteknik, diketahui bahwa massa tanah yang bergerak adalah berupa lempung berpasir yang terletak di atas bidang gelincir berupa batulempung. Lapisan-lapisan tanah yang bergerak cenderung seragam. Hanya ada jenis lempung dengan sisipan tipis batupasir yang berulang sampai kedalaman tertentu. Hal itu bisa dilihat pada retakan yang terjadi di lokasi. Oleh karena itu, pemodelan lereng diasumsikan menjadi dua jenis lapisan yaitu, lempung berpasir dan batulempung. Kedalaman bidang gelincir longsor dianalisis menggunakan teori analisis stabilitas lereng tak hingga, karena dari segi bentuk longsor tersebut merupakan gabungan dari longsor translasi dan rotasi dengan bidang longsor yang sangat panjang. Hasil investigasi lapangan dan *back analysis* pada lereng tak hingga diketahui bahwa kedalaman bidang gelincir lereng adalah 4,14 m (Faris, 2010).

Suatu lereng akan bergerak jika tahanan geser maksimum yang dimiliki tanah terlampaui oleh tegangan geser yang terjadi. Pada saat tahanan geser maksimum sama dengan tegangan geser yang terjadi berarti lereng tersebut dalam kondisi kritis. Kondisi kritis tersebut dinyatakan dengan nilai faktor aman (SF) = 1. Data ekstensometer menunjukkan bahwa pergerakan tanah mulai terjadi sekitar akhir Oktober dan mulai berhenti pada pertengahan Juli. Diperkirakan pergerakan tanah mulai terjadi saat musim hujan dan berhenti ketika musim hujan berakhir. Data tersebut kemudian diilustrasikan dalam bentuk grafik (Gambar 4).



Gambar 4. Kondisi kritis lereng pada grafik pergerakan tanah dan kedalaman muka air tanah

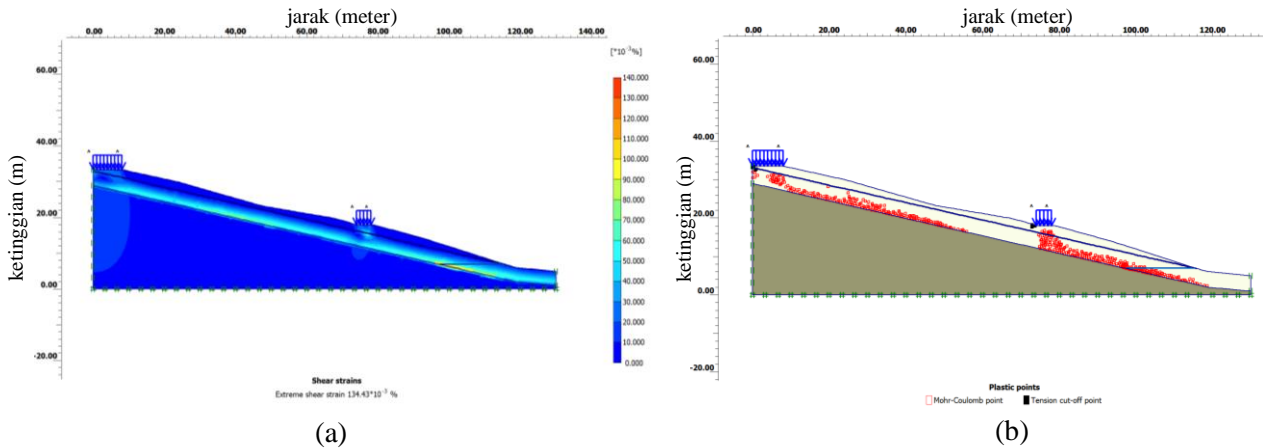
Dari grafik di atas terlihat bahwa, pada pertengahan Juli sampai akhir Oktober pergerakan tanah cenderung membentuk garis lurus. Hal itu berarti, pada interval tersebut pergerakan tanah tidak terjadi dan nilai faktor aman (SF) adalah 1 atau lebih. Titik dimana pergerakan tanah mulai berhenti dan mulai bergerak kembali merupakan titik kritis dengan nilai faktor aman (SF) adalah 1. Dari grafik tersebut juga dapat diketahui bahwa kedalaman muka air tanah saat lereng dalam kondisi kritis adalah 0,9 meter.

3.2.1. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program Plaxis 8.6

Dalam penelitian ini, Plaxis 8.6 (*finite element*) digunakan untuk memodelkan lereng di Desa Kalitlaga. Ada dua kondisi lereng yang dimodelkan yaitu, kondisi lereng pada saat muka air tanah kritis dan kondisi lereng setelah muka air tanah turun. Gambar 5a dan Gambar 5b merupakan pemodelan lereng pada kondisi

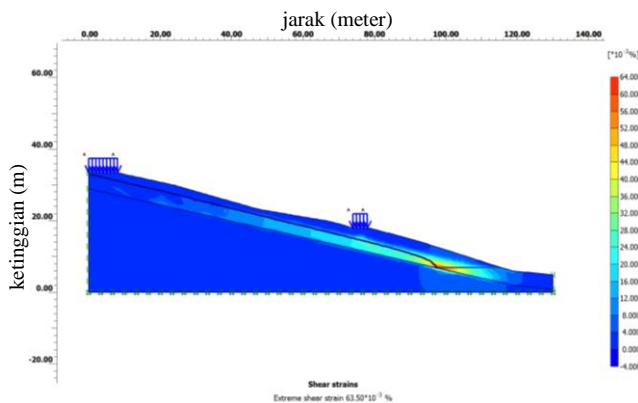
muka air tanah kritis. Nilai faktor aman yang dihasilkan adalah 1,1891. Pada Gambar 5a, nilai regangan diurutkan dari yang paling besar sampai paling kecil menggunakan legenda dengan urutan warna merah sampai biru. Dari hasil output tersebut diketahui bahwa regangan paling tinggi terjadi pada bagian bawah lereng dengan nilai *extreme shear strains* sebesar $134,43 \cdot 10^{-3} \%$. Hal itu bisa dijadikan sebagai bahan pertimbangan posisi pemasangan drainase horizontal pada bagian bawah lereng.

Gambar 5b merupakan tampilan output hasil simulasi berupa *plastic point*. Warna merah pada gambar menunjukkan bahwa batas plastis tanahnya terlewati dan pada titik-titik tersebutlah kemungkinan besar yang akan terjadi pergerakan. Berdasarkan hasil investigasi geoteknik, terdapat dua buah retakan utama pada lereng yaitu bagian atas (P4-P5) dan bagian bawah (P5-P6).



Gambar 5. Hasil simulasi kondisi kritis lereng menggunakan Plaxis 8.6: (a) *shear strains*, (b) *plastic point*

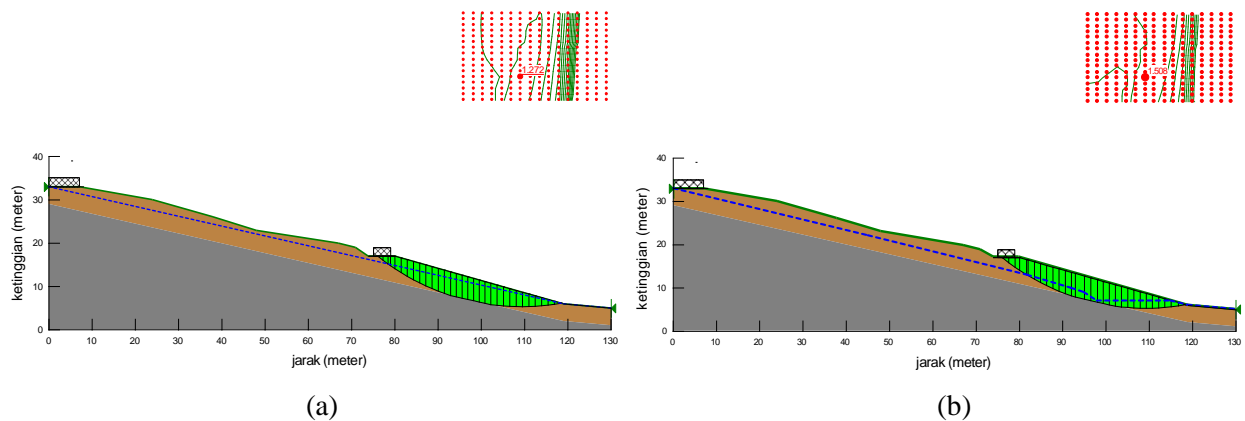
Gambar 6 merupakan tampilan *shear strains* hasil pemodelan lereng menggunakan Plaxis 8.6 setelah pemasangan drainase horisontal pada bagian bawah lereng. Nilai faktor aman yang dihasilkan sebesar 1,3498. Pada gambar tersebut juga diketahui bahwa nilai *extreme shear strains* sebesar $63,50 \cdot 10^{-3} \%$, turun dari $134,43 \cdot 10^{-3} \%$ pada kondisi kritis.



Gambar 6. Hasil simulasi kondisi penanganan lereng menggunakan Plaxis 8.6

Pemasangan drainase pada lereng bagian bawah untuk menurunkan muka air tanah mengakibatkan nilai faktor aman naik dari 1,1891 menjadi 1,3498. Dari hasil simulasi juga diketahui bahwa, turunnya muka air tanah pada lereng dapat menghentikan pergerakan tanah. Hal itu sesuai dengan kategori kejadian longsor oleh Bowles (1984), bahwa $SF > 1,25$ kemungkinan longsor hampir tidak pernah terjadi.

Selain menggunakan program plaxis (*finite element*) analisis stabilitas lereng juga dilakukan dengan program Slope/W (*limit equilibrium*). Pemasangan drainase pada lereng bagian bawah untuk menurunkan muka air tanah mengakibatkan nilai faktor aman naik dari 1,272 menjadi 1,508. Salah satu output hasil simulasi dengan Slope/W sebelum dan setelah muka air tanah turun ditunjukkan pada Gambar 7a dan Gambar 7b.



Gambar 7. Hasil simulasi lereng menggunakan Slope/W: (a) kondisi kritis, (b) kondisi setelah penanganan

4. Kesimpulan

Gerakan tanah yang terjadi di Kalitlaga merupakan jenis rayapan (*creep*) dengan laju kecepatan sedang sampai sangat lambat. Pada lereng ini, pemasangan drainase untuk menurunkan muka air tanah dapat dilakukan sebagai upaya mitigasi. Posisi drainase berada pada bagian bawah lereng karena berdasarkan simulasi menggunakan Plaxis regangan paling besar terjadi pada bagian bawah lereng. Analisis stabilitas menggunakan Plaxis 8.6 dan Slope/W menunjukkan bahwa turunya muka air tanah pada lereng dapat meningkatkan nilai faktor aman dari kondisi kritis menjadi aman terhadap kemungkinan terjadinya longsor ($SF > 1,25$).

Daftar Pustaka

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2017) 2.341 Kejadian Bencana, 377 Tewas dan 3,5 Juta Jiwa Mengungsi dan Menderita Akibat Bencana Tahun 2017,
- Bowles, J. E. (1984) *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Edisi 2, Erlangga, Jakarta.
- Fathani, T.F., Karnawati, D., Sassa, K., Fukuoka, H., dan Honda, K. (2008) Landslide Monitoring, Prediction and Early Warning in Banjarnegara, Indonesia, *Star*, 4-6.
- Faris, F and Fatani, T.F. (2010) A Coupled Hydrology/Slope Kinematics Model for Developing Early Warning Criteria in the Kalitlaga Landslide, Banjarnegara, Indonesia, *Progress of Geo-Disaster Mitigation Technology in Asia*, 453-467.
- Faris, F. (2010) Dynamic Simulation of Rainfall Triggered Landslide Movement by Visco-Plastic Model, *Master Tesis*, Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Hansen, M.J. (1984) *Strategies for Classification of Landslides*, (ed. : Brunsden, D, & Prior, D.B., 1984, Slope Instability, John Wiley & Sons, p.1-25
- Kamarullah, B.B. (2010) Kajian Geologi Teknik dan Kestabilan Lereng, Desa Kalitlaga, Kecamatan Pagentan, Kabupaten Banjarnegara, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Karnawati D, Fathani T.F., Sudarno I, Andayani B. (2008) Development of community-based landslide early warning system in Indonesia. In: *Proceeding of the first world landslide forum*, Tokyo, 18–21 Sept 2008, pp 305–308
- Ortigao, J.A.R. dan Sayao, A.S.F.J, (2004) *Handbook of Slope Stabilization*, Springer-Verlag, Berlin.