

MEKANISME LONGSORAN LERENG PADA RUAS JALAN RAYA SEKARAN GUNUNGPATI SEMARANG

Untoro Nugroho, Hanggoro Tri Cahyo A., dan Mego Purnomo

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang (UNNES)
Gedung E4, Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229, Telp. (024) 8508102

Abstract: Countermeasures avalanche slopes on roads Sekaran Gunungpati Semarang actually partially been done of each year, but in every rainy season the same indication that the fracture in asphalt road surface indicating the direction of movement of the soil mass always appears. This suggests that the slope retrofitting existing systems also move along avalanche material for the field of avalanche slopes are under cultivation. Therefore, in order to support the effectiveness of the slope reinforcement design selection, required an understanding of the mechanisms of avalanches in the study area through a series of ground tests and slope stability analysis by finite element method (FEM-SSR). Based on the results of soil testing in the field with sondir test on two (2) locations Trangkil studies and Deliksari Gunungpati, hard soil depth reaches 12.00 to 26.00 meters. Field of curved planar landslides and mass movements in the form of translational ground at a depth of 10.00 to 13.00 meters. In the study area Trangkil Gunungpati, slope stability analysis indicates when the soil shear strength in the field of landslide zone is reduced by 20% from its original state, the slope begins to move to the value of safety factor (SF) 1.06 slope stability. Initial conditions before the shear strength of the soil is reduced, the slope was still safe $SF > 1.20$ (= 1,23). This suggests that the study area is still a moor land is susceptible to mass movement of land in the year when the soil shear strength in the field of landslide zone continued reduced during the rainy season.

Keywords: mass movement of soil, landslide areas, avalanche mechanism

Abstrak: Penanggulangan longsor lereng di ruas jalan Sekaran Gunungpati Semarang sebenarnya secara parsial sudah dilakukan dari setiap tahunnya, namun di setiap musim penghujan indikasi yang sama yakni rekahan pada permukaan jalan aspal yang menunjukkan arah gerakan massa tanah selalu saja muncul. Hal ini menunjukkan bahwa sistem perkuatan lereng yang ada ikut bergerak bersama material longsor karena bidang longsor berada di bawah perkuatan lerengnya. Untuk itu, guna menunjang efektivitas pemilihan desain perkuatan lereng, diperlukan pemahaman tentang mekanisme longsor pada lokasi studi melalui serangkaian pengujian tanah dan analisis stabilitas lereng dengan metode elemen hingga (SSR-FEM). Berdasarkan hasil pengujian tanah di lapangan dengan uji sondir pada 2 (dua) lokasi studi Trangkil dan Deliksari Gunungpati, kedalaman tanah keras mencapai 12,00 – 26,00 meter. Bidang longsor berbentuk kurva planar dan gerakan massa tanah berupa translasi pada kedalaman 10,00-13,00 meter. Pada lokasi studi Trangkil Gunungpati, analisis stabilitas lereng menunjukkan pada saat kekuatan geser tanah di zona bidang longsor direduksi sebesar 20% dari kondisi semula, lereng mulai bergerak dengan nilai faktor aman (SF) stabilitas lereng 1,06. Kondisi awal sebelum kekuatan geser tanah direduksi, lereng masih dalam kondisi aman $SF > 1,20$ (= 1,23). Hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi studi yang lahannya masih berupa tegalan ini rentan terjadi gerakan massa tanah pada saat nilai kekuatan geser tanah pada zona bidang longsor terus tereduksi selama musim penghujan.

Kata kunci: gerakan massa tanah, bidang longsor, mekanisme longsor

Pada bulan Januari 2011, peristiwa longsor lereng yang dipicu oleh terjadinya hujan di ruas Jalan Raya Sekaran Gunungpati Semarang telah membuat separuh badan jalan terputus. Ruas jalan utama tersebut menjadi hanya satu jalur dan mengalami kemacetan yang panjang pada saat jam puncak kepadatan lalu lintas di daerah Trangkil. Penanggulangan

longsor lereng di ruas jalan Sekaran Gunungpati Semarang sebenarnya secara parsial sudah dilakukan dari setiap tahunnya, namun di setiap musim penghujan indikasi yang sama yakni rekahan pada permukaan jalan aspal yang menunjukkan arah gerakan massa tanah selalu saja muncul. Hal ini menunjukkan bahwa sistem perkuatan lereng yang ada ikut

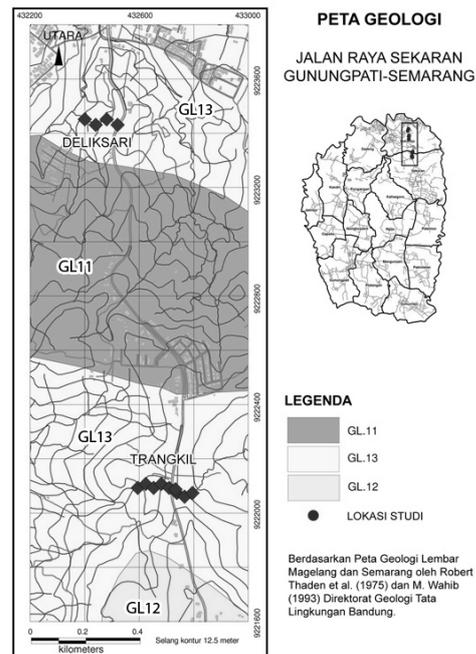
bergerak bersama material longsor karena bidang longsor berada di bawah perkuatan lerengnya. Kondisi ini akan terus menjadi lebih buruk ketika nantinya terjadi perubahan tata guna lahan dari tanah tegalan menjadi pemukiman. Lereng akan terbebani oleh berat bangunan dan sistem drainase yang buruk dari pemukiman akan menyebabkan faktor aman (SF) stabilitas lereng menjadi berkurang. Untuk itu, guna menunjang efektivitas pemilihan desain perkuatan lereng, diperlukan pemahaman tentang mekanisme longsor pada lokasi studi melalui serangkaian pengujian tanah dan analisis stabilitas lereng dengan metode elemen hingga (SSR-FEM).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh informasi kedalaman lapisan tanah keras dan memprediksi kedalaman serta bentuk bidang longsor pada daerah yang teridentifikasi mengalami gerakan massa tanah. Sehingga dari penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman kepada masyarakat dan pemerintah melalui dinas terkait tentang mekanisme terjadinya longsor di lokasi studi.

Kondisi Geologi

Menurut Wahib (1993), kondisi geologi di ruas Jalan Raya Sekaran Gunungpati Semarang memiliki satuan geologi lingkungan GL11, GL12 dan GL13 seperti pada Gambar 1 dan Tabel 1. Dalam Sugalang dan Siagian (1991), kerentanan gerakan massa tanah pada ruas Jalan Raya Sekaran Gunungpati Semarang termasuk pada kategori menengah hingga tinggi. Daerah yang mempunyai derajat kerentanan tinggi merupakan daerah yang sering terjadi gerakan massa tanah, gerakan massa tanah lama dan baru masih ada dan aktif akibat curah hujan yang tinggi dan proses erosi

yang kuat. Daerah yang mempunyai derajat kerentanan menengah merupakan daerah yang gerakan massa tanah dapat terjadi terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir, tebing pemotongan jalan dan pada lereng yang mengalami gangguan. Gerakan massa tanah lama masih mungkin aktif kembali terutama akibat curah hujan yang tinggi dan proses erosi yang kuat.



Gambar 1. Kondisi geologi pada lokasi studi

Secara umum keadaan tanah di Pulau Jawa menurut Wesley (2010), dapat dibagi menjadi 3 (tiga) golongan utama yaitu: (a) Formasi lama bukan bahan vulkanis, umumnya formasi ini terdiri atas lapisan endapan, namun di daerah lain mungkin juga mengandung batuan beku seperti *andesitic intrusions*. Tanah yang berasal dari pelapukan formasi ini umumnya tidak mempunyai sifat teknik yang baik akibat mineral lempung yang dikandungnya. Tanah ini berplastisitas tinggi sehingga kekuatan gesernya rendah dan mungkin ada sifat mengembang/menyusut.

Tanah golongan ini juga sering mengakibatkan longsoran besar-besaran yang sukar dikendalikan. Longsoran ini tidak hanya terjadi di dalam formasi endapan, tetapi lebih sering merupakan longsoran bahan vulkanis di atas lapisan endapan. Ini terjadi pertama-tama karena kekuatan geser tanah pada permukaan lapisan endapan ini agak rendah dan kedua karena tekanan air pori dapat bernilai tinggi pada perbatasan antara kedua lapisan. Kiranya masih perlu dipersoalkan apakah tanah yang berasal dari formasi batuan endapan lama ini benar termasuk golongan tanah endapan atau golongan tanah residual.; (b) *Formasi muda*, yaitu tanah lempung yang terletak dekat pantai, khususnya pantai utara pulau Jawa. Lapisan tanah endapan ini bisa sangat dalam, kadang melebihi 40 meter. ; (c) *Formasi Vulkanis*, tanah yang berasal dari pelapukan bahan ini adalah tanah residual. Jenis tanah ini mempunyai sifat

teknik yang umumnya jauh lebih baik daripada tanah endapan.

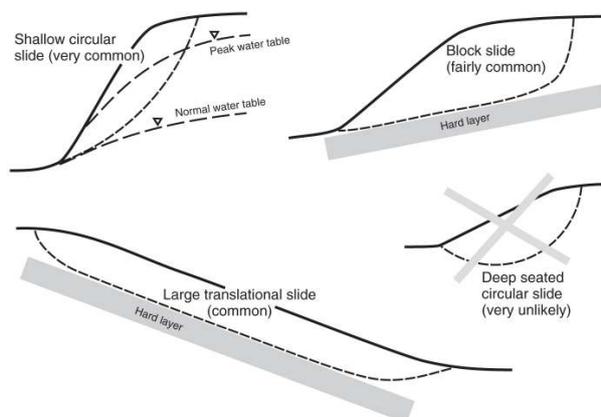
Di pulau Jawa, bahan vulkanis berupa breksi, batu pasir vulkanis, aliran lahar, lapisan abu, dan kadang-kadang aliran lava. Bahan vulkanis ini mengalami pelapukan sampai menghasilkan tanah yang berbutir halus dan berkoheisi. Pelapukan ini bisa terjadi sampai sangat dalam di bawah permukaan bumi. Tanah yang dihasilkan dapat dibagi secara garis besar menjadi 2 (dua) jenis utama yaitu lempung merah tropis dan lempung abu vulkanis. Pada lempung merah tropis, terdapat pada bagian lereng-lereng gunung api yang tidak tinggi. Tanah ini terkenal dengan nama tanah merah (atau merah kecoklatan). Sedangkan lempung abu vulkanis, merupakan lempung berwarna coklat kekuningan yang terdapat pada bagian lereng gunung api yang tinggi.

Tabel 1. Kondisi Geologi pada satuan geologi lingkungan GL11, GL12 dan GL13

Satuan Geologi Lingkungan	Morfologi	Litologi	Sifat Fisik dan Mekanik Tanah dan batuan	Air tanah	Erosi
GL 11	Daerah perbukitan bergelombang lereng 3-10%	Batu pasir, breksi, tufa, batu lempung, dan aliran lava.	Merupakan batuan sedimen, kompak dan keras, komponen mudah lepas, penggalian sukar dan daya dukung tinggi. Tanah residual lunak, plastisitas sedang, kelulusan sedang, mudah luruh, dan ketebalan 2-4 meter.	Kedalaman muka air tanah dalam 4-10 meter.	Erosi permukaan dan erosi parit pada lahan terbuka
GL 12	Lereng <15%	Breksi vulkanik, aliran lava, tufa	Merupakan batuan sedimen, kompak dan keras, penggalian sukar dan daya dukung tanah tinggi. Tanah residual lunak, plastisitas sedang-tinggi, kelulusan rendah-sedang dan ketebalan > 4 meter.	Kedalaman muka air tanah dalam 3-6 meter.	Erosi permukaan dan parit pada lahan terbuka
GL 13	Daerah perbukitan berelief sedang, lereng 15-30%	Selang seling batu lempung, napal, batu pasir.	Batuan sedimen agak keras dan berlapis, penggalian mudah hingga agak sukar, daya dukung tanah rendah hingga sedang. Tanah residual sangat lunak hingga lunak, plastisitas tinggi, kelulusan rendah dan mudah luruh, ketebalan < 2 meter.	Langka	Erosivitas tinggi, erosi permukaan dan erosi parit

Mekanisme longsor lereng yang dipicu hujan

Dalam Wesley (2010), longsor lereng pada tanah residual terutama pada lereng yang curam, bidang longsornya tidak seperti tipe longsor dalam yang berbentuk lingkaran. Pada lereng tanah residual kedalaman bidang longsornya relatif dangkal, seringkali dengan agak membentuk kurva atau hampir planar. Meskipun demikian, volume dari material yang longsor masih sangat besar.



Gambar 2. Model longsor pada tanah residual

Mekanisme terjadinya longsor tanah melalui kenaikan muka air tanah sering terjadi pada lereng-lereng tanah residual dan kolumial. Lapisan tanah residual atau kolumial tersebut berfungsi sebagai akuifer bebas dan akuifer yang menggantung (*perched aquifer*) dengan kondisi muka air tanah sangat fluktuatif tergantung besarnya infiltrasi air hujan. (Karnawati, 2005)..

Prediksi letak bidang longsor dengan pengujian sondir

Tujuan mencari letak dan bentuk bidang longsor adalah untuk menentukan metode penanggulangan longsor lereng yang sesuai. Dalam Suryolelono (1993;1999), penentuan letak bidang longsor di lapangan tidak dilakukan

secara langsung, namun dikaitkan dengan menentukan besarnya tegangan geser tak terdrainase dalam tanah berdasarkan hasil korelasi nilai konus (q_c) dari pengujian sondir (CPT) yang nilainya berbanding lurus. Keruntuhan lereng dapat disebabkan oleh adanya gangguan terhadap stabilitas, bilamana tegangan geser tanah lebih besar dari tegangan geser yang diijinkan dalam tanah maka proses gerakan massa tanah akan terjadi. Berdasarkan hasil pengujian sondir di beberapa titik sejajar arah longsor, didapatkan potongan lereng dengan posisi titik-titik nilai konus terendah. Bilamana titik-titik ini dihubungkan akan terlihat suatu bidang yang merupakan kumpulan titik-titik lemah atau disebut bidang longsor.

Analisis stabilitas longsor

Longsor lereng terjadi karena kekuatan geser material pada bidang longsor tidak cukup untuk menahan tegangan geser yang terjadi. Saat ini ada dua pendekatan dalam analisis stabilitas lereng yakni metode irisan keseimbangan batas (*limit equilibrium*) dan analisis numeris *elasto-plastic* menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Menurut Wong (1984) dalam Griffiths and Lane (1999), keunggulan utama dari pendekatan *finite element* pada analisis stabilitas lereng dibandingkan dengan metode *limit equilibrium* adalah tidak diperlukannya asumsi perkiraan sebelumnya tentang gaya yang bekerja pada irisan, lokasi atau bentuk dari bidang longsor. Keruntuhan yang terjadi secara alami melalui zone lereng dimana kekuatan geser tanah tidak mampu menahan gaya geser yang terjadi. Dalam teknik reduksi kekuatan geser (*shear strength reduction technique*) metode elemen hingga (SSR-FEM), lereng di modelkan sebagai

plain-strain 2 dimensi dengan model material tanah digunakan Mohr-Coulomb. Pada model material tanah Mohr-Coulomb material ada 6 parameter tanah yang diperlukan yakni sudut geser dalam tanah (ϕ), kohesi tanah (c), sudut dilatasi (ψ), modulus Young's (E), poisson rasio (ν) and berat volume tanah (γ). Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga longsor terjadi. Sehingga faktor aman (SF) stabilitas lereng menjadi :

$$\Sigma M_{sf} = \frac{\tan \phi_{input}}{\tan \phi_{reduksi}}$$

$$= \frac{C_{input}}{C_{reduksi}}$$

$$SF = \frac{\text{Kekuatan geser yang tersedia}}{\text{Kekuatan geser saat runtuh}}$$

$$= \text{Nilai } \Sigma M_{sf} \text{ pada saat longsor.}$$

dengan,

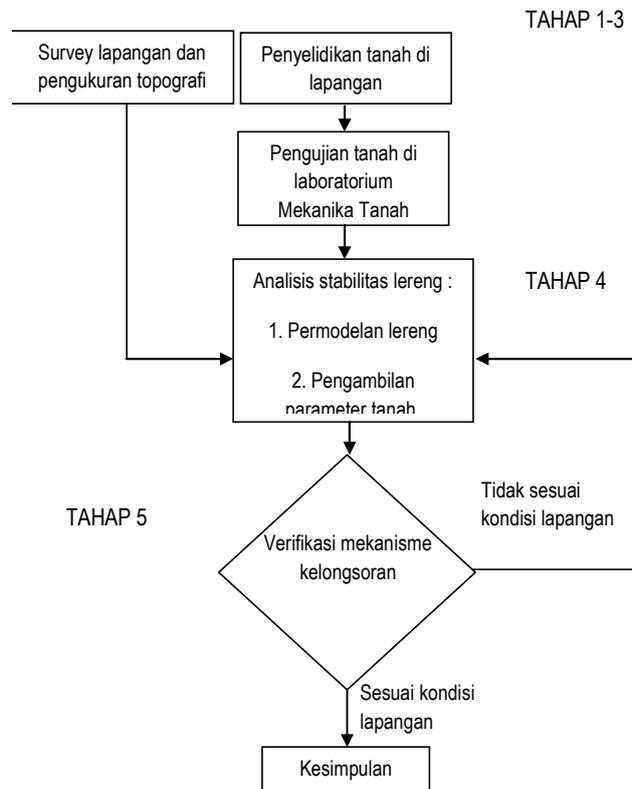
- C_{input} = kohesi tanah (kN/m^2)
- ϕ_{input} = sudut geser dalam tanah ($^\circ$)
- $C_{reduksi}$ = kohesi tanah tereduksi (kN/m^2)
- $\phi_{reduksi}$ = sudut geser dalam tereduksi ($^\circ$)

METODOLOGI

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah yang diambil dari lokasi studi dalam bentuk sampel terganggu (*disturbed sample*) dan tidak terganggu (*undisturbed sample*) untuk kemudian di uji di laboratorium mekanika tanah. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : (a) peralatan survey topografi; (b) peralatan penyelidikan tanah di lapangan ; (c) peralatan penyelidikan tanah di laboratorium mekanika tanah. Lokasi penelitian dipilih pada dua lokasi yang penanganannya telah dilakukan namun gerakan massa tanah masih saja terjadi.

Penelitian dilakukan melalui 5 (lima) tahapan penelitian yaitu : (a) Tahap 1: survey rekahan tanah dan arah longsor; (b) Tahap 2: penyelidikan tanah untuk mengetahui kemampuan penetrasi tanah untuk kemudian diuji di laboratorium; (c) Tahap 3, pengujian

sampel tanah di laboratorium mekanika tanah untuk mendapatkan parameter yang berkaitan dengan input parameter dalam analisis stabilitas lereng; (d) Tahap 4: analisis stabilitas lereng untuk mendapatkan nilai faktor aman (SF) stabilitas lereng, lokasi bidang gelincir dan mekanisme longsor; (e) Tahap 5: memverifikasi hasil analisis stabilitas lereng berdasarkan hasil analisis numerik dengan metode elemen hingga dengan kondisi real di lapangan. Verifikasi ini meliputi retakan-retakan yang terjadi pada permukaan jalan aspal, dan tanda-tanda arah longsor dari tiang listrik/pohon



Gambar 3. Tahap Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Rekahan pada Jalan Aspal

Survey rekahan pada jalan ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi pola rekahan yang ada di

sepanjang Jalan Raya Sekaran Gunungpati Semarang. Informasi pola rekahan ini sangat bermanfaat untuk menentukan arah gerakan massa tanah. Secara umum ada 2 (dua) pola rekahan yakni pola rekahan tapal kuda dan pola rekahan diagonal yang memotong bidang jalan. Pola rekahan tapal kuda ini banyak terjadi pada jalan relatif datar yang berdiri di atas lereng dengan arah gerakan massa tanah tegak lurus dengan bidang jalannya. Sedangkan pola rekahan diagonal banyak terjadi pada tikungan jalan yang menanjak dengan arah gerakan massa tanah memotong diagonal bidang jalannya. Secara visual, kedua jenis rekahan jalan ini diikuti dengan kondisi tiang lampu jalan yang miring dan talud batu kali yang bergeser menuju ke arah longsorannya.

Berdasarkan hasil survey rekahan pada jalan, lokasi penelitian dipilih pada dua lokasi yang penanganannya telah dilakukan namun gerakan massa tanah masih saja terjadi. Kriteria pemilihan ini dimaksudkan agar pada lereng yang terus bergerak ini dapat diidentifikasi bidang longsorannya melalui pengujian tanah dengan sondir. Lokasi yang dipilih dalam studi ini adalah daerah Trangkil dan Deliksari.



Gambar 4. Kondisi lereng Trangkil



Gambar 5. Kondisi lereng Deliksari

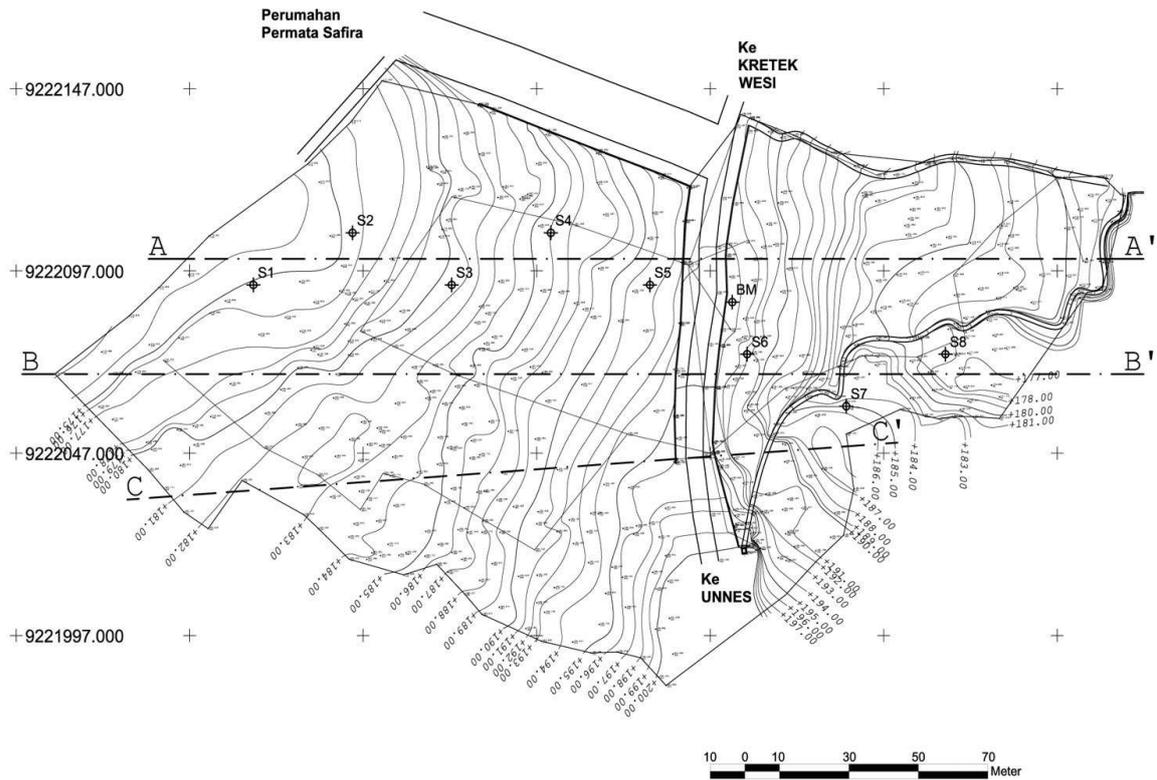
Hasil Penyelidikan Tanah di Lapangan

Penyelidikan tanah di lapangan dilaksanakan dua tahap yakni untuk lokasi studi Trangkil Gunungpati pada bulan Juli 2012 dan untuk lokasi studi Deliksari Gunungpati dilaksanakan pada bulan Setember 2012. Kondisi musim saat pelaksanaan penyelidikan tanah di lapangan adalah musim kemarau. Alat yang digunakan dalam pengujian tanah di lapangan adalah alat sondir (*cone penetration test*) kapasitas 2,5-5,0 ton. Kriteria penghentian pengujian adalah jika penetrasi tanah telah mencapai tanah keras dengan nilai konus (q_c) > 250 kg/cm². Penentuan titik pengujian berdasarkan kondisi lereng hasil pengukuran pada lokasi studi. Titik uji sondir pada lokasi studi Trangkil pada Gambar 6 diletakkan pada suatu potongan A-A' dan B-B' dengan konfigurasi titik uji adalah zigzag.

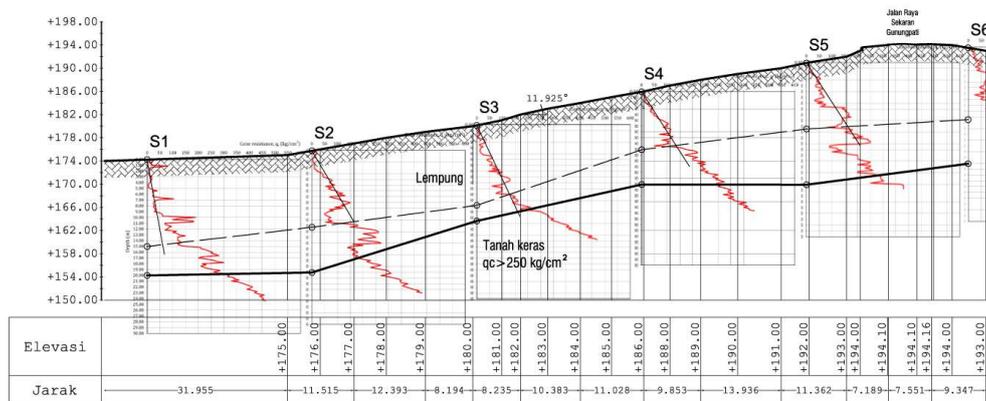
Hasil pengujian sondir pada lokasi studi Trangkil Gunungpati disajikan pada Gambar 7. Berdasarkan hasil potongan melintang dari peta pengukuran topografi yang ditumpangsusunkan dengan hasil pengujian sondir, didapatkan stratifikasi lapisan tanah dengan lapisan tanah keras bervariasi pada kedalaman 15,00-20,00 meter untuk uji sondir S1-S7. Untuk uji sondir

S8, tanah keras dapat mencapai kedalaman 26,00 meter. Berdasarkan metode Suryolelono (1993,1999), prediksi kedalaman bidang longsor ada pada kedalaman 10,00-13,00 meter yang digambarkan sebagai garis putus-putus pada Gambar 7.

Pada lokasi studi Deliksari Gunungpati pada Gambar 8, titik uji sondir diletakkan pada suatu potongan B-B' dengan konfigurasi titik uji adalah zigzag. Hasil pengujian sondir pada lokasi studi Deliksari Gunungpati disajikan pada Gambar 9.



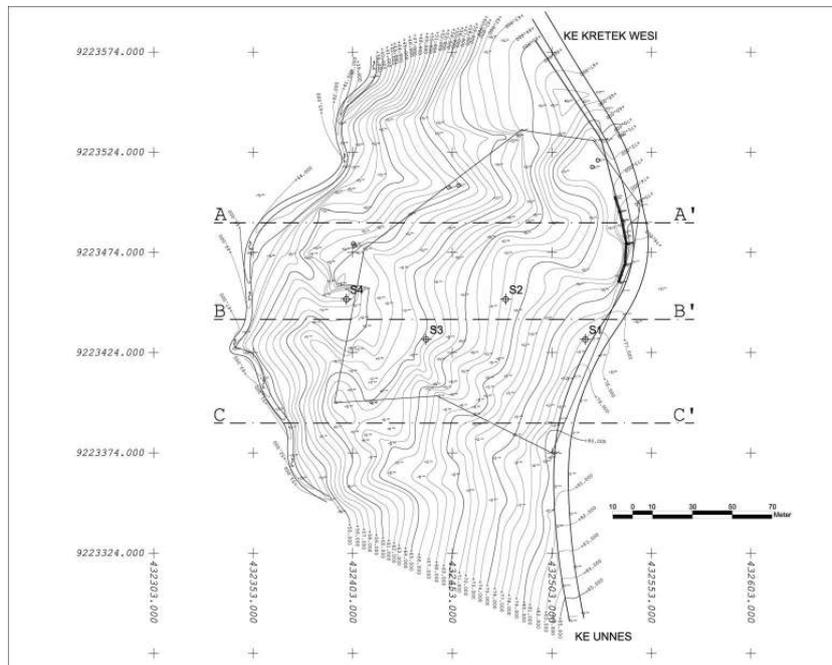
Gambar 6. Hasil pemetaan lokasi studi Trangkil - Gunungpati.



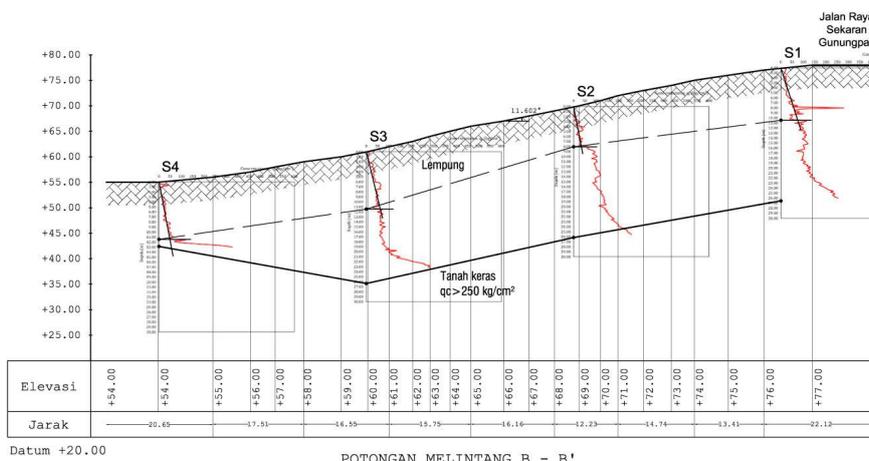
Potongan melintang A -A'
 Gambar 7. Kondisi lapisan tanah pada lokasi studi Trangkil Gunungpati.

Berdasarkan hasil potongan melintang dari peta pengukuran topografi yang ditumpangsusunkan dengan hasil pengujian sondir, didapatkan stratifikasi lapisan tanah dengan lapisan tanah keras bervariasi pada kedalaman 12,00-26,00 meter untuk uji sondir S1-S4. Berdasarkan metode Suryolelono (1993,1999), prediksi kedalaman bidang longsor ada pada kedalaman 10,00-11,00 meter yang digambarkan sebagai garis putus-putus pada Gambar 9. Berdasarkan hasil pengujian tanah di

lapangan dengan uji sondir pada 2 (dua) lokasi studi, kedalaman tanah keras mencapai 12,00 – 26,00 meter. Bidang longsor berbentuk kurva planar dan gerakan massa tanah berupa translasi pada kedalaman 10,00-13,00 meter. Kedalaman bidang longsor yang mencapai 10,00-13,00 meter ini menyebabkan semua bentuk perkuatan lereng yang berdiri di atas bidang longsor akan terus bergerak pada saat musim penghujan.



Gambar 8. Hasil pemetaan lokasi studi Deliksari - Gunungpati.



Gambar 9. Kondisi lapisan tanah pada lokasi studi Deliksari Gunungpati.

Hasil Penyelidikan Tanah di Laboratorium Mekanika Tanah

Berdasarkan hasil pengeboran tanah di titik BM pada lokasi studi Trangkil Gunungpati (Gambar 6) pada tanggal 5 Oktober 2012 dapat diperoleh stratifikasi lapisan tanah dari kedalaman ±0,00 hingga 10,00 meter berupa tanah lempung coklat muda keabuan dan abu-abu dengan plastisitas tinggi. Walaupun telah memasuki awal musim penghujan, muka air tanah pada lokasi pengeboran belum ditemukan. Adapun hasil selengkapnya dari hasil pengujian tanah *undisturbed sample* disajikan pada Tabel 2.

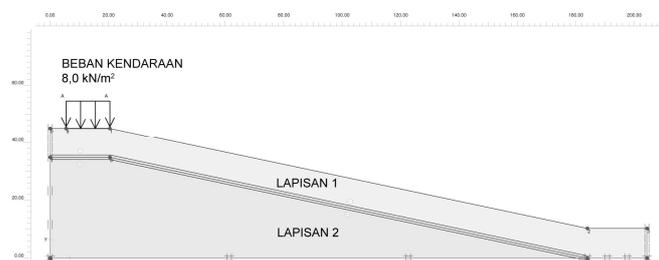
Analisis Stabilitas Lereng

Berdasarkan hasil pengujian sondir di beberapa titik sejajar arah longsor, didapatkan potongan lereng dengan posisi titik-titik nilai konus (q_c) terendah. Bilamana titik-titik ini

dihubungkan akan terlihat sesuatu bidang yang merupakan kumpulan titik-titik lemah atau disebut bidang longsor. Bidang longsor yang kedalamannya diprediksi berdasarkan hasil uji sondir di lokasi studi menurut metode Suryolelono (1993,1999) dimodelkan sebagai *interface element*. Nilai konus sondir (q_c) yang cenderung meningkat sesuai dengan kedalaman tanah akan dimodelkan dalam input nilai parameter kohesi (c_u) yang secara linear akan meningkat sesuai dengan kedalaman tanahnya. Untuk kondisi lempung jenuh, nilai sudut geser dalam (ϕ) = 0. Untuk menggambarkan nilai konus sondir (q_c) yang menurun secara drastis sebanding dengan peningkatan kejenuhan tanah lempung pada zona bidang longsor, maka *interface strength* awal ($R_{inter}=1,0$) akan direduksi hingga lapisan tanah lempung mulai bergerak ($SF \approx 1,00$).

Tabel 2. Hasil pengujian undisturbed sample tanah di laboratorium

Kedalaman (m)	Butiran Silt dan Clay (%)	Berat volume tanah jenuh air (γ_{sat})	Berat volume tanah basah (γ_{unsat})	Derajat kejenuhan (S_r)	Kohesi (c_u)	Sudut geser dalam (ϕ)
m	%	kN/m ³	kN/m ³	%	kN/m ²	°
2,00	96,80	19,20	14,70	99,49	146,56	1,55
4,00	93,69	19,30	14,90	99,28	133,75	5,32
6,00	95,08	19,50	14,80	100	62,16	10,13
8,00	97,14	18,80	14,20	98,91	123,99	2,68
10,00	98,12	18,10	13,10	98,93	24,19	13,57



ID	Name	Type	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	ν [-]	E_{ref} [kN/m ²]	c_{ref} [kN/m ²]	ϕ [°]	c_{incr} [kN/m ³]	y_{ref} [m]
1	Stiff Clay	Drained	19.0	19.0	0.25	50000.0	40.0	0.0	6.0	10.0
2	Very Stiff Clay	Drained	17.0	21.0	0.20	1E5	200.0	0.0	0.0	0.0

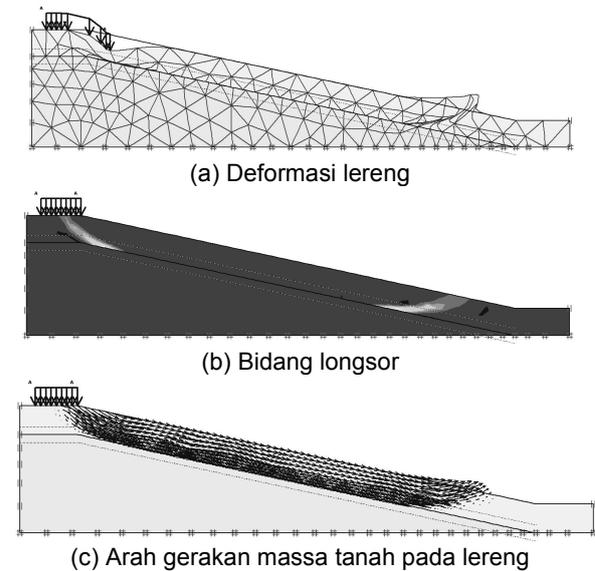
Gambar 10. Model lereng Trangkil (II)

Untuk memodelkan peningkatan nilai berat volume tanah (γ) pada saat terjadinya infiltrasi air hujan maka nilai parameter yang digunakan adalah berat volume tanah jenuh air (γ_{sat}). Model lereng dan parameter tanah yang digunakan untuk lokasi studi Trangkil Gunungpati disajikan pada Gambar 10. Dalam model, sudut lereng diambil 12° dengan ketebalan lapisan tanah lempung adalah 10 meter.

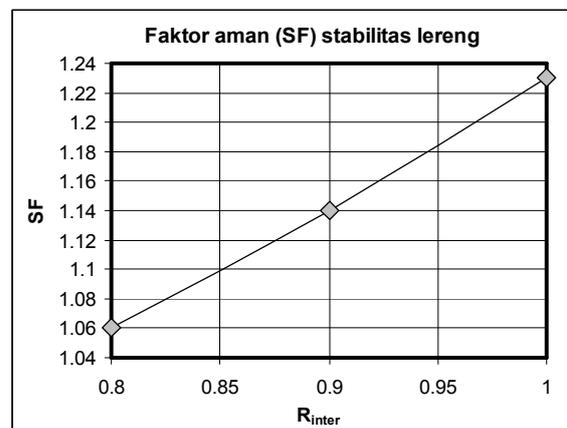
Beban yang bekerja pada lereng hanya beban lalu lintas sebesar $8,0 \text{ kN/m}^2$ untuk beban lain diasumsikan nol karena pada lokasi studi hanya berupa tegalan. Muka air tanah (m.a.t) pada lokasi studi Trangkil Gunungpati selama penelitian dilakukan belum ditemui, namun pada musim kemarau kondisi tanah masih dalam keadaan basah. Setelah disingkap beberapa saat, kondisi tanah dalam keadaan kering udara. Sehingga dalam penelitian ini elevasi muka air tanah diasumsikan berada pada kedalaman tanah kerasnya.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dengan teknik reduksi kekuatan geser (*shear strength reduction technique*) metode elemen hingga / SSR-FEM) dihasilkan deformasi lereng dan arah longsoran untuk lokasi studi Trangkil Gunungpati seperti pada Gambar 12. Gerakan massa tanah pada Lapisan 1 Lempung kaku dimulai dari badan jalan dan diakhiri di daerah peralihan kemiringan lereng dari sudut lereng 12° menjadi 0° . Pada saat kekuatan geser tanah di zona bidang longsor direduksi sebesar 20% dari kondisi semula, lereng mulai bergerak dengan nilai faktor aman (SF) stabilitas lereng 1,06 (Gambar 13). Kondisi awal sebelum kekuatan geser tanah direduksi, lereng masih dalam kondisi

aman $SF > 1,20$ ($= 1,23$). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada lokasi studi yang lahanya berupa tegalan ini rentan terjadinya gerakan massa tanah pada saat nilai kekuatan geser tanah pada zona bidang longsor terus tereduksi selama musim penghujan.



Gambar 12. Deformasi lereng dan arah gerakan massa tanah



Gambar 13. Hubungan R_{inter} dan Faktor aman (SF) stabilitas lereng

Verifikasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng

Untuk memverifikasi hasil analisis stabilitas lereng dilakukan survey kondisi lereng

di lapangan. Untuk lokasi studi Trangkil Gunungpati, secara visual gerakan massa tanah dapat dilihat dari rekahan yang terjadi pada lapisan aspal jalan (Gambar 14). Gerakan massa tanah sesuai dengan hasil analisis stabilitas lereng dimana separuh badan jalan mengalami deformasi ke arah tegak lurus bidang jalan. Hal ini menyebabkan jalan menjadi bergelombang dan tiang listrik miring mengikuti arah longsoran tanah. Gerakan massa tanah yang terjadi di setiap musim penghujan ini terjadi secara perlahan dan kontinyu dalam arah tertentu. Setelah jalan kembali di aspal untuk menutupi rekahan, rekahan yang sama akan muncul kembali di lokasi tersebut.



Gambar 14. Kondisi gerakan massa tanah di Trangkil

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat dihasilkan dari penelitian Mekanisme Longsoran Lereng pada Ruas Jalan Raya Sekaran Gunungpati Semarang adalah sebagai berikut :

Pertama, secara umum ada 2 (dua) pola rekahan yakni pola rekahan tapal kuda dan pola rekahan diagonal yang memotong bidang jalan. Pola rekahan tapal kuda ini banyak terjadi pada jalan relatif datar yang berdiri di atas lereng dengan arah gerakan massa tanah tegak lurus dengan bidang jalannya. Sedangkan pola rekahan diagonal banyak terjadi pada tikungan jalan yang menanjak dengan arah gerakan

massa tanah memotong diagonal bidang jalannya.

Kedua, berdasarkan hasil pengujian tanah di lapangan dengan uji sondir pada 2 (dua) lokasi studi Trangkil dan Deliksari Gunungpati, kedalaman tanah keras mencapai 12,00 – 26,00 meter dengan bidang longsor berbentuk kurva planar dan gerakan massa tanah berupa translasi pada kedalaman 10,00-13,00 meter. Kedalaman bidang longsor yang mencapai 10,00-13,00 meter ini menyebabkan semua bentuk perkuatan lereng yang berdiri di atas bidang longsor akan terus bergerak pada saat musim penghujan.

Ketiga, berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng dengan teknik reduksi kekuatan geser metode elemen hingga (SSR-FEM), pada saat kekuatan geser tanah di zona bidang longsor direduksi sebesar 20% dari kondisi semula, lereng mulai bergerak dengan nilai faktor aman (SF) stabilitas lereng 1,06. Kondisi awal sebelum kekuatan geser tanah direduksi, lereng masih dalam kondisi aman $SF > 1,20$ (= 1,23). Hasil analisis menunjukkan bahwa pada lokasi studi yang lahannya masih berupa tegalan ini rentan terjadinya gerakan massa tanah pada saat nilai kekuatan geser tanah pada zona bidang longsor terus tereduksi selama musim penghujan.

DAFTAR PUSTAKA

- Griffiths, D.V., Lane, P.A., 1999, Slope stability analysis by finite elements, Geotechnique 49, No.3.
- Karnawati, D., 2005, Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penaggulangannya, Penerbit Jurusan Teknik Geologi FT Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.
- Sugalang, Siagian, Y.O.P, 1991, Peta Zona Kerentanan Gerakan massa tanah, Jawa

Lembar Semarang dan Magelang Skala 1:100.000, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.

Suryolelono, K.B., 1993, Letak bidang longsor dan penanggulangan keruntuhan lereng utara stadion Mulawarman PT. Pupuk Kaltim Bontang, Forum Teknik Sipil No. 11/ 1 Agustus 1993, Jurusan Teknik Sipil UGM, Jogjakarta.

Suryolelono, K.B., 1999, Letak bidang longsor lereng Candi Selogriyo Kab. Magelang, Forum Teknik Jilid 23, No. 3 / 3 November 1999, Fakultas Teknik UGM, Jogjakarta.

Wahib, M., 1993, Peta Geologi Tata Lingkungan Bersistem, Jawa Lembar Semarang dan Magelang Skala 1:100.000, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung

Wesley, L.D.,2010, Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu, Penerbit Andi Yogyakarta.