

PERKUATAN TALUD BATU KALI DENGAN METODE GROUTING SEMEN PADA TANAH TIMBUNAN

Hanggoro Tri Cahyo A¹, Dwiyanto Joko Suprpto², Himawan Indarto³

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Email : hangg.geotek@gmail.com

²Jurusan Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email : himawan.indarto@gmail.com

Abstrak

Pekerjaan grouting semen pada tanah urugan gedung diklat salah satu rumah sakit di Salatiga – Jawa Tengah bertujuan memperbaiki sifat mekanis tanah urugan yang tidak dikontrol kepadatannya. Upaya ini dilakukan untuk meminimalkan deformasi yang terjadi pada talud penahan tanah selama musim penghujan di awal tahun 2013. Terus bergeraknya talud batu kali ini dikhawatirkan akan menyebabkan kegagalan struktur pondasi kanopi yang dasar pondasinya masih menumpang pada tanah urugan. Grouting semen merupakan salah satu metode perbaikan tanah dengan cara menyuntikan pasta semen ke dalam tanah dengan tekanan tertentu melewati lubang bor. Pasta semen tersebut akan mengisi pori-pori tanah ataupun rekahan-rekahan pada tanah atau batuan (permeation grouting) sehingga akan meningkatkan kekuatan geser tanah. Keadaan tanah di lokasi studi dapat digolongkan sebagai Formasi Vulkanis, yakni tanah yang berasal dari pelapukan bahan ini adalah tanah residual. Tanah timbunan yang digunakan di lokasi studi berasal dari tanah setempat dengan jenis tanah berupa lempung kelanauan berbutir kasar. Berdasarkan hasil pengujian sondir, pada kondisi sebelum digrouting rata-rata $q_c = 6 \text{ kg/cm}^2$ dan menjadi rata-rata $q_c = 10 \text{ kg/cm}^2$ pada kondisi sesudah digrouting. Terjadi penambahan nilai geseran total (T_f) pada kedalaman dasar sumuran pondasi pelat -3,40 meter sebesar 35 kg/cm . Bertambahnya nilai q_c signifikan terjadi pada kondisi kepadatan tanah yang buruk dengan $q_c = 4 \text{ kg/cm}^2$. Untuk perhitungan stabilitas eksternal talud, nilai kohesi (c) tanah timbunan diasumsikan nol. Stabilitas talud terhadap geser terjadi peningkatan nilai faktor aman dari $SF = 0,83$ menjadi $1,53$. Sedangkan stabilitas terhadap guling dan kapasitas dukung tanah tidak terjadi peningkatan yang signifikan karena lebar dasar talud tidak memenuhi persyaratan kestabilan.

Kata kunci: *grouting semen; stabilitas talud; perbaikan tanah urugan*

Pendahuluan

Pekerjaan grouting semen pada tanah urugan gedung diklat salah satu rumah sakit di Salatiga – Jawa Tengah bertujuan memperbaiki sifat mekanis tanah urugan yang tidak dikontrol kepadatannya. Dipilihnya metode ini salah satunya karena selama musim penghujan di bulan Desember - Januari 2013 talud penahan tanah urugan dikhawatirkan mengalami kegagalan dan pergerakan struktur pondasi pada kanopi terus bertambah (Gambar 1). Struktur pondasi pada kanopi yang berdiri di atas tanah urugan dengan nilai konus sondir yang rendah (q_c rata-rata = 6 kg/cm^2) dan sangat beresiko mengalami kegagalan jika talud mengalami kegagalan. Untuk itu diperlukan upaya pengendalian pergerakan tanah urugan yang bersifat sementara hingga pembangunan tahap berikutnya yakni penataan sistem drainase lingkungan gedung diklat dan pekerjaan penutup permukaan tanah dengan pelat beton bertulang dapat dilaksanakan.

Keadaan tanah di lokasi studi dapat digolongkan sebagai Formasi Vulkanis, yakni 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 berkohesi. 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 (Wesley, 2010). Jenis tanah timbunan yang digunakan di lokasi studi berasal dari tanah setempat dengan jenis tanah lempung kelanauan berbutir kasar. Kekuatan geser tanah tersusun oleh parameter kohesi (c') dan sudut geser dalam (ϕ') dengan persamaan kekuatan geser (τ) = $c' + (\sigma - u) \tan \phi'$. Parameter σ = tegangan normal total pada bidang geser, dan u = tekanan air pori pada bidang geser. Parameter c' dan ϕ' merupakan parameter kekuatan geser tanah menurut tegangan efektif. Persamaan kekuatan geser tanah ini juga dinamakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb. Jika tegangan geser pada suatu bidang di dalam tanah melampaui nilai yang diberikan pada persamaan kekuatan geser tanah di atas maka akan terjadi gerakan geser pada bidang tersebut. Menurut Kutara dan Ishizuka (1982) dalam Ling et al (2009), selama pengujian curah hujan, perilaku tanggul (*embankment*) dengan jenis tanah lempung kelanauan menunjukkan bahwa nilai konus sondir (q_c) menurun secara drastis mengikuti peningkatan kejenuhan tanah. Pengujian triaksial dalam kondisi tidak jenuh menunjukkan nilai sudut geser dalam (ϕ) tidak dipengaruhi oleh derajat kejenuhan, tetapi besarnya kohesi (c) berkurang sesuai derajat kejenuhannya dan mendekati nol ketika tanah dalam kondisi jenuh ($S_r=100\%$). Untuk itu, diperlukan sistem drainase yang baik agar tanah urugan agar dapat dipertahankan kekuatan geser tanahnya.

Pada Gambar 2, terjadinya pergerakan talud yang kemudian diikuti oleh pergerakan pondasi kanopi (AS A dan B) Gedung Diklat dipicu oleh intensitas hujan di bulan Desember-Januari 2013. Ikut Bergeraknya pondasi kanopi searah pergerakan talud disebabkan dasar pondasi pelat setempat yang dikombinasi oleh sumuran tidak mencapai tanah pendukung yang stabil. Pada saat terjadinya hujan, proses infiltrasi air hujan sangat mudah melalui tanah urugan yang tidak dikontrol kepadatannya. Sehingga kondisi yang tadinya cukup stabil (secara visual tidak ada retakan) menjadi tidak stabil pada saat tanah urugan meningkat derajat kejenuhan tanahnya (S_r). Berkurangnya kekuatan geser tanah urugan dan tanah pendukung talud, berkurangnya stabilitas talud, terjadi pergerakan pada talud yang ditandai oleh adanya retakan pada talud dan akhirnya diikuti pergerakan pondasi kanopi adalah mekanisme terjadinya pergerakan pondasi.

Upaya yang dilakukan agar kondisi tidak menjadi parah hingga tiba musim kemarau adalah dengan menutup tanah urugan dengan terpal untuk mengurangi infiltrasi air, menutup rekahan-rekahan di dalam tanah yang terjadi akibat pergeseran talud, dan meningkatkan kapasitas dukung tanah pada pondasi kanopi. Setelah kondisi talud dan pondasi kanopi stabil maka dilanjutkan dengan perkuatan struktur gedung yang mengalami retakan. Grouting semen merupakan salah satu metode perbaikan tanah dengan cara menyuntikkan pasta semen ke dalam tanah dengan tekanan tertentu melewati lubang bor. Pasta semen tersebut akan mengisi pori-pori tanah ataupun rekahan-rekahan pada tanah atau batuan (*permeation grouting*) sehingga akan meningkatkan kekuatan geser tanah. Besarnya peningkatan kekuatan geser tanah ini tergantung dari jenis tanahnya. Untuk jenis tanah berbutir kasar terjadi peningkatan kekuatan geser tanah yang signifikan (Upomo, 2011), namun untuk jenis tanah berbutir halus peningkatannya tidak terlalu signifikan (Dwiyanto et. al., 2009 dan Dwiyanto, 2010). Peningkatan kekuatan geser tanah ini di lapangan diukur melalui alat uji sondir dan *standard penetration test* (SPT) dengan membandingkan dengan kondisi tanah sebelum dilakukan penggrouting.

Hasil Pekerjaan Grouting Semen

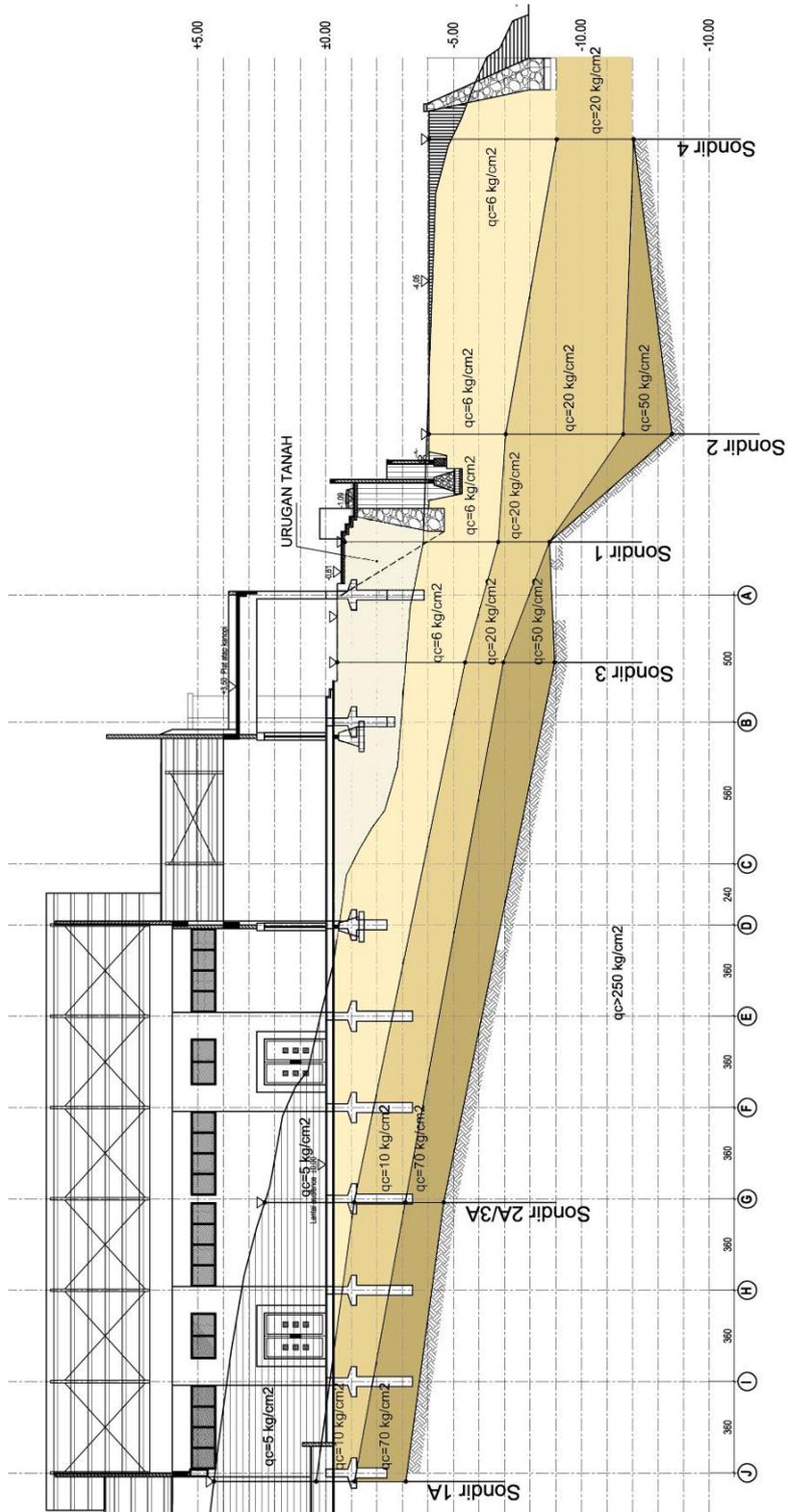
Pekerjaan grouting semen dilakukan sub kon pekerjaan grouting PT. Selimut Bumi Adhi Cipta Semarang sesuai titik rencana dan kedalaman grouting semen hasil diskusi antara konsultan perencana dan sub kon pekerjaan grouting. Pekerjaan grouting dilakukan selama bulan Februari 2013 (Gambar 3), dan pengujian sondir dilakukan tanggal 9 Maret 2013 saat umur pasta semen pada titik grouting terakhir mencapai 15 hari.



Gambar 1. Pondasi kanopi mengalami pergerakan lateral searah pergeseran talud dan pergerakan vertikal searah gravitasi dapat dilihat secara visual dari dalam maupun luar gedung.

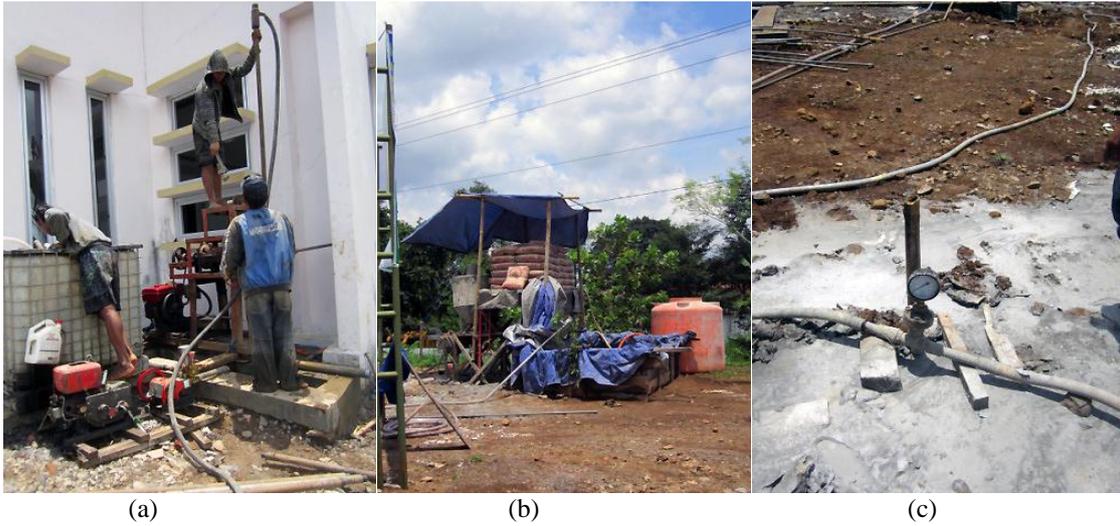
Berdasarkan hasil laporan pekerjaan grouting semen oleh Dwiyanto (2013), dapat diambil kesimpulan bahwa

- 1) Kedalaman grouting 7,0-9,0 meter, kebutuhan semen 3 zak/meter (1 zak = 40 kg semen), 1 titik grouting membutuhkan waktu 1-2 hari dan jadwal pelaksanaan pekerjaan 21 hari telah sesuai dengan rencana pekerjaan perbaikan pondasi dan talud dengan metode grouting semen.
- 2) Berdasarkan hasil pengujian sondir di daerah dekat talud yakni titik S1 (pra grouting) dan S1G (pasca grouting) yang disajikan pada Gambar 4, nilai konus (q_c) terjadi peningkatan. Pada kondisi sebelum digrouting rata-rata $q_c = 6 \text{ kg/cm}^2$ dan menjadi rata-rata $q_c = 10 \text{ kg/cm}^2$ pada kondisi sesudah digrouting. Terjadi penambahan nilai geseran total (T_f) pada kedalaman dasar sumuran pondasi pelat -3,40 meter sebesar 35 kg/cm.
- 3) Berdasarkan hasil pengujian sondir di daerah pondasi as B yakni titik S3 (pra grouting) dan S4G (pasca grouting) yang disajikan pada Gambar 5, tidak terjadi peningkatan nilai rata-rata q_c yang signifikan. Pasta semen hanya mengisi pori-pori tanah ataupun rekahan-rekahan pada tanah saja, hal ini bisa dilihat dari bertambahnya nilai q_c pada kedalaman -3,40 meter. Begitu juga nilai geseran total (T_f) tidak terjadi peningkatan yang berarti hingga kedalaman dasar sumuran pondasi pelat -2,70 meter.
- 4) Ploting hasil sondir pada grafik jenis perilaku tanah oleh Robertson et al (1986) pada Gambar 6 menunjukkan terjadi pergeseran jenis perilaku tanah untuk kondisi pra dan pasca grouting semen yakni dari yang awalnya pada daerah lempung (*clay*) menjadi ke mendekati lempung kelanauan (*silty clay*).

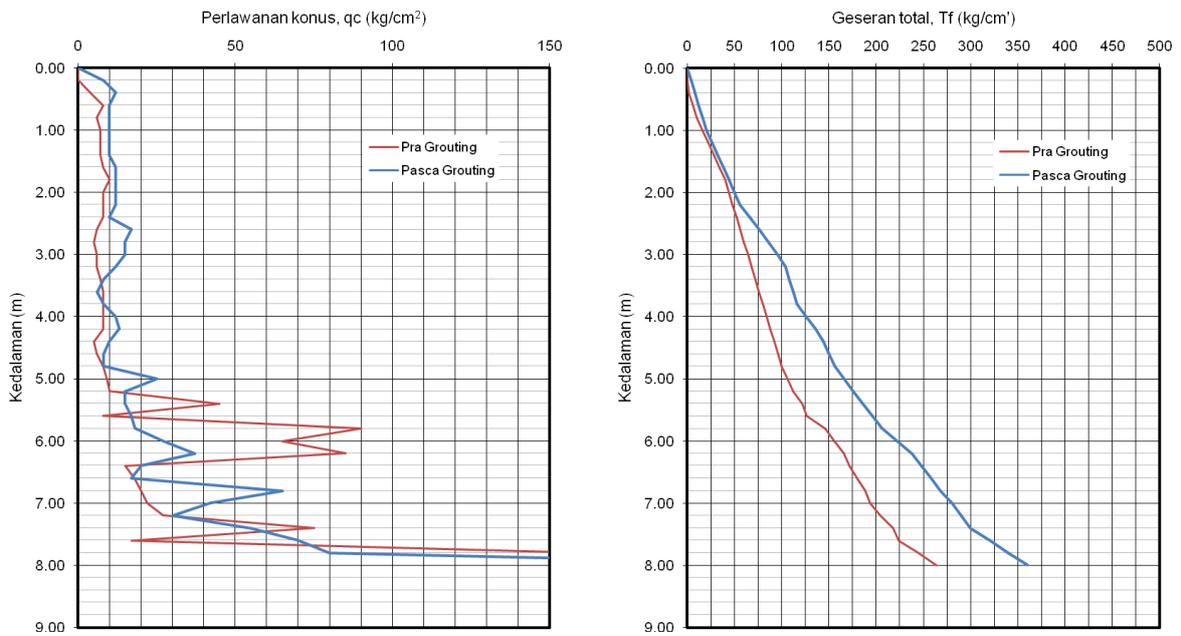


POTONGAN MEMANJANG
skala 1 : 200

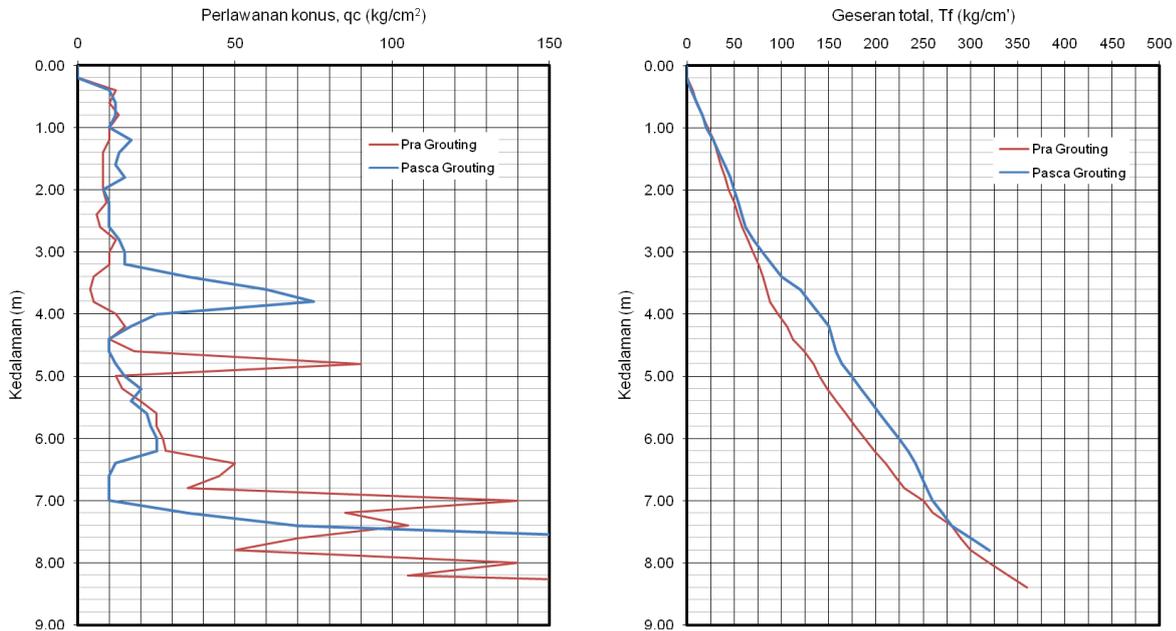
Gambar 2. Potongan memanjang lapisan tanah berdasarkan hasil sondir.



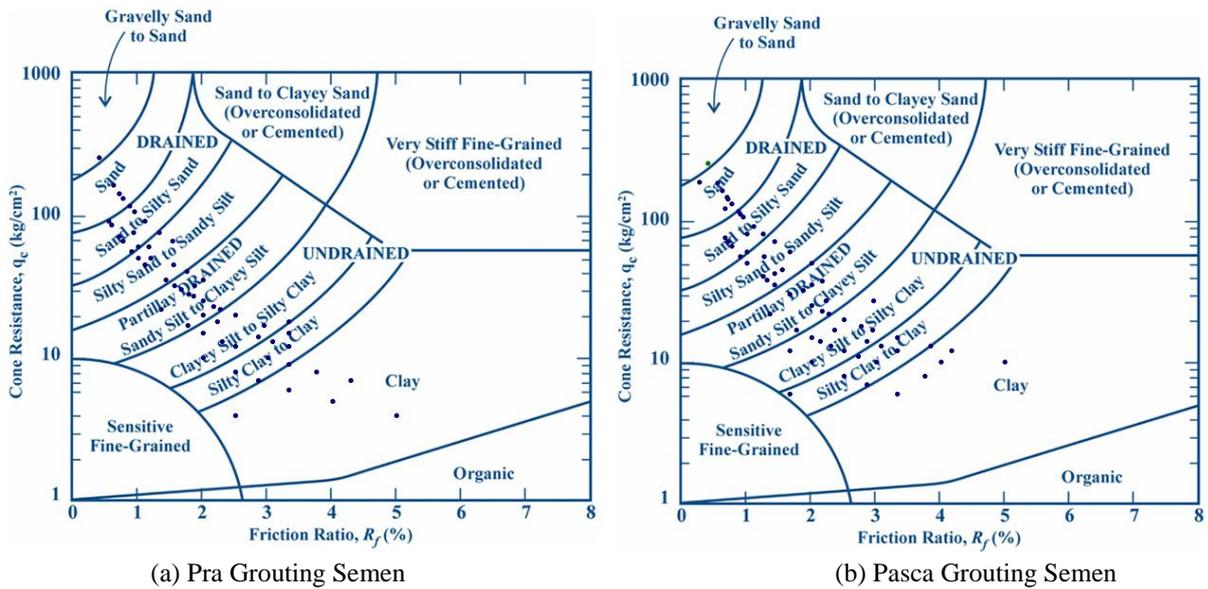
Gambar 3. Proses pengROUTINGAN (a) Pengeboran (b) Mixing Semen dan Air (c) Grouting.



Gambar 4. Perbandingan nilai perlawanan konus (qc) dan nilai geseran total (Tf) untuk titik S1 (pra grouting) dan SIG (pasca grouting).



Gambar 5. Perbandingan nilai perlawanan konus (q_c) dan nilai geseran total (T_f) untuk titik S3 (pra grouting) dan S4G (pasca grouting).



Gambar 6. Ploting hasil sondir untuk kondisi pra dan pasca grouting semen pada grafik jenis perilaku tanah oleh Robertson et al (1986).

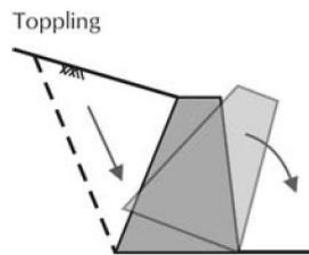
Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Umumnya analisis stabilitas dinding penahan tanah ditinjau berdasarkan pada stabilitas terhadap gaya eksternal antara lain, stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser, dan stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah. Sedangkan untuk stabilitas terhadap gaya internal ditinjau terhadap kekuatan material. Selain itu talud juga ditinjau terhadap stabilitas secara keseluruhan (*overall stability*). Dalam analisis ini struktur talud dianggap sebagai satu

kesatuan, seolah-olah merupakan suatu struktur yang kaku dengan gaya yang bekerja pada talud akan dilawan oleh berat sendiri talud. Dalam hal ini jenis batu kali dan mutu spesi akan sangat berpengaruh terhadap stabilitasnya.

1) Pada stabilitas terhadap guling

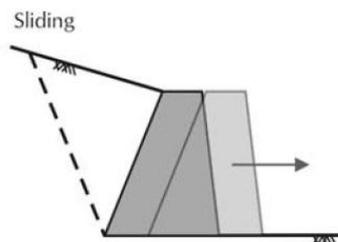
Struktur talud dikatakan stabil apabila besarnya momen guling (momen yang menyebabkan talud terguling) sama besarnya dengan momen yang menahan yang ditinjau dari titik putar struktur talud (Gambar 7). Umumnya digunakan faktor aman (SF) sehingga diperoleh $SF = \sum M_p / \sum M_a$ dengan $\sum M_p$ = Momen penahan (kN.m) dan $\sum M_a$ = momen guling (kN.m). Struktur talud dinyatakan aman terhadap guling jika nilai faktor aman (SF) minimum adalah 1,50.



Gambar 7. Talud mengalami guling

2) Stabilitas terhadap geser

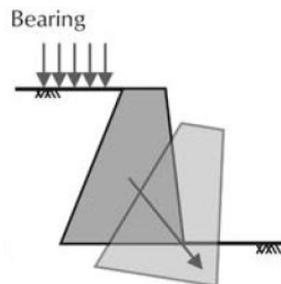
Stabilitas terhadap geser struktur talud diperhitungkan terhadap perlawanan gesek yang terjadi di dasar talud (Gambar 8). Pada tanah granular atau pasir, perlawanan geser yang terjadi di bawah dasar talud adalah $F_g = W \cdot f$ dengan W = berat talud (kN) dan f = koefisien gesek antara dasar talud dengan butiran tanah. Besarnya koefisien gesek (f) = $2/3 \cdot \tan \phi$ dengan ϕ = sudut geser dalam tanah ($^\circ$). Sedangkan pada tanah kohesif, umumnya perlawanan geser terdiri dari lekatan yang terjadi antara butiran-butiran tanah dengan dasar struktur talud. Besarnya perlawanan lekatan (F_l) = $A \cdot 2/3 \cdot c_u$ dengan A = luas dasar talud yang ditinjau (m^2) dan c_u = kohesi tanah di dasar talud (kN/m^2). Struktur talud dinyatakan aman terhadap geser bila gaya yang menggeser (P_a) sama dengan gaya yang melawan (F_g atau F_l), dan dapat ditulis $SF = (F_g \text{ atau } F_l) / P_a$ dengan nilai faktor aman (SF) minimum adalah 1,50.



Gambar 8. Talud mengalami geser

3) Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah

Stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah diperhitungkan terhadap gaya-gaya yang bekerja pada struktur talud dan berat sendiri talud (Gambar 9). Tegangan yang terjadi di dasar talud (q) = $W/A \pm \sum M/Wx$ dengan W = berat talud (kN), A = luas dasar talud yang ditinjau (m^2), $\sum M$ = total momen yang bekerja pada talud (kN.m) dan Wx = tahanan momen pada dasar talud. Tegangan yang terjadi di dasar talud dinyatakan aman jika dibawah tegangan ijin tanah (q_{all}) dan tegangan tanah yang terjadi tidak boleh negatif atau terjadi tegangan tarik pada tanah.



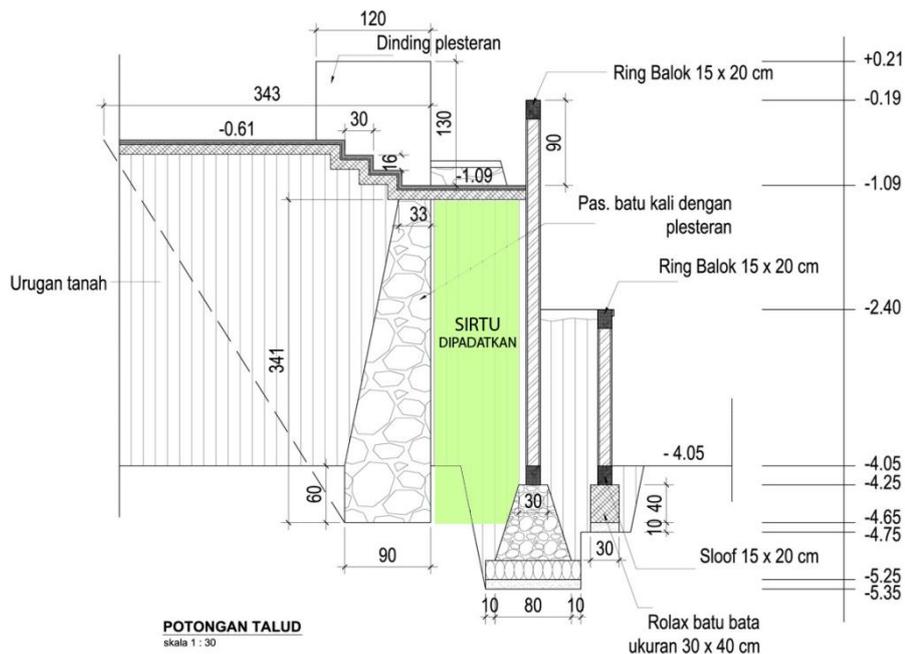
Gambar 9. Talud mengalami kegagalan kapasitas dukung tanah

- 4) Stabilitas keseluruhan (*overall stability*)
 Stabilitas keseluruhan (*overall stability*), merupakan stabilitas yang ditinjau dari analisis stabilitas lereng dengan bidang gelincir atau longsor ditinjau di luar dari bidang longsor baji dari teori klasik dari Rankine dan Coulomb.
- 5) Stabilitas terhadap gaya internal
 Sedangkan untuk stabilitas terhadap gaya internal ditinjau terhadap kekuatan material. Analisis gaya-gaya yang bekerja untuk stabilitas terhadap gaya-gaya internal digunakan metode analisis tegangan pada material talud seperti pada perhitungan stabilitas terhadap kapasitas dukung tanah.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas eksternal talud pasangan batu kali dihasilkan nilai faktor aman (SF) seperti pada Tabel 1. Nilai faktor aman stabilitas talud ini adalah nilai minimum karena tanah urugan diasumsikan tidak memiliki nilai kohesi (c') dengan sudut geser dalam hasil korelasi adalah $\phi=37^\circ$. Kondisi stabilitas talud terhadap geser sudah dapat ditingkatkan melalui metode grouting semen. Terjadi peningkatan nilai kohesi (s_u) = $q_c/15$ (S_u dan q_c dalam satuan kg/cm^2) pada dasar talud, dari yang sebelum grouting rata-rata $q_c=6 \text{ kg/cm}^2$ menjadi setelah grouting rata-rata $q_c=10 \text{ kg/cm}^2$. Namun untuk stabilitas terhadap guling dan kapasitas dukung tidak ada perubahan yang signifikan setelah penggrouting semen. Untuk mengantisipasi stabilitas terhadap guling yang tidak aman maka tanah urugan di bawah tangga yakni antara talud dan dinding pada Gambar 10 diganti dengan sirtu dipadatkan dalam bentuk *sand bagging* (karung pasir geotekstil). Penggantian jenis tanah urugan ini harus dilakukan di musim kemarau dengan galian tidak melebihi kedalaman maksimum -2,80 meter.

Tabel 1. Hasil analisis stabilitas eksternal talud.

Kondisi	Stabilitas Terhadap Guling	Stabilitas Terhadap Geser	Stabilitas Kapasitas Dukung Tanah
Sebelum digrouting	$0,72 < 1,5$ (tidak aman)	$0,83 < 1,5$ (tidak aman)	$\sigma_{maks} > q_{all}$ $\sigma_{min} < 0$ (tidak aman)
Setelah digrouting	$0,75 < 1,5$ (tidak aman)	$1,53 > 1,5$ (aman)	$\sigma_{maks} > q_{all}$ $\sigma_{min} < 0$ (tidak aman)



Gambar 10. Penggantian tanah urugan di bawah tangga dengan sirtu dipadatkan dalam bentuk *sand baging*.

Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil evaluasi perbaikan talud dan pondasi dengan metode grouting semen pada gedung diklat salah satu rumah sakit di Salatiga – Jawa Tengah adalah sebagai berikut :

- 1) Kedalaman grouting, kebutuhan semen dan jadwal pelaksanaan pekerjaan telah sesuai dengan rencana pekerjaan perbaikan pondasi dan talud dengan metode grouting semen.
- 2) Berdasarkan hasil pengujian sondir di daerah dekat talud, nilai konus (q_c) terjadi peningkatan. Pada kondisi sebelum digrouting rata-rata $q_c = 6 \text{ kg/cm}^2$ dan menjadi rata-rata $q_c = 10 \text{ kg/cm}^2$ pada kondisi sesudah digrouting. Terjadi penambahan nilai geseran total (T_f) pada kedalaman dasar sumuran pondasi pelat -3,40 meter sebesar 35 kg/cm.
- 3) Berdasarkan hasil pengujian sondir di daerah pondasi as B, tidak terjadi peningkatan nilai rata-rata q_c yang signifikan. Pasta semen hanya mengisi pori-pori tanah ataupun rekahan-rekahan pada tanah saja, hal ini bisa dilihat dari bertambahnya nilai q_c pada kedalaman -3,40 meter. Begitu juga nilai geseran total (T_f) tidak terjadi peningkatan yang berarti hingga kedalaman dasar sumuran pondasi pelat -2,70 meter.
- 4) Plotting hasil sondir pada grafik jenis perilaku tanah oleh Robertson et al (1986) menunjukkan terjadi pergeseran jenis perilaku tanah untuk kondisi pra dan pasca grouting semen yakni dari yang awalnya pada daerah lempung (*clay*) menjadi ke mendekati lempung kelanauan (*silty clay*).
- 5) Kondisi stabilitas talud terhadap geser sudah dapat ditingkatkan melalui metode grouting semen. Namun untuk stabilitas terhadap guling dan kapasitas dukung tidak ada perubahan yang signifikan setelah penggrouting semen. Untuk mengantisipasi stabilitas terhadap guling yang tidak aman maka tanah urugan di bawah tangga yakni antara talud dan dinding depan diganti dengan sirtu dipadatkan dalam bentuk *sand baging* (karung pasir geotekstil). Penggantian jenis tanah urugan ini harus dilakukan di musim kemarau dengan galian tidak melebihi kedalaman maksimum -2,80 meter.

Daftar Pustaka

- Dwiyanto, J.S, (2010), "*Laporan Akhir Grouting pada Kantor PT. BNI Cabang Karangayu Semarang*", PT. Selimut Bumi Adhi Cipta, Semarang.
- Dwiyanto, J.S, (2013), "*Laporan Akhir Perbaikan Pondasi dan Talud dengan Metode Grouting Semen pada Gedung Diklat RS Paru Ario Wirawan Salatiga*", PT Selimut Bumi Adhi Cipta, Semarang.
- Dwiyanto, J.S, Upomo, T.C, Junaidi, D., (2009), "Perbaikan Tanah Menggunakan Grouting Semen untuk Meningkatkan Kapasitas Tiang Studi Kasus RS. Roemani Semarang", *Prosiding HATTI PIT XIII*, Denpasar, Bali.

- Ling, H.I, Wu, M.H, Leshchinsky, D., Leshchinsky, B., (2009), "Centrifuge modeling of slope instability, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*", ASCE, June 2009.
- Upomo, T.C, (2011), "*Laporan Evaluasi Hasil Grouting - Gedung Bank Tabungan Negara (Persero) Tbk Kantor Cabang Palangkaraya*", PT. Selimut Bumi Adhi Cipta, Semarang.
- Wesley, L.D.,(2010),"*Geotechnical engineering in residual soils*", John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.