

PENGARUH SIFAT KETEKNIKAN TANAH RESIDUAL DI DAERAH KEBUMEN TERHADAP POTENSI BENCANA GEOLOGI

Y.S. Wibowo¹, Sudaryanto¹, Achmad Subardja. D¹, dan Nyoman.S¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jalan Sangkuriang Bandung 40135

Telpon: +62 022 2503654, Fax: +62 022 2504593

Email : yswibowo@geotek.lipi.go.id

Sari

Daerah beriklim tropis dengan intensitas curah hujan tinggi, pelapukan berlangsung intensif dan menghasilkan tubuh tanah (tanah residual). Tanah residual berada dipermukaan lahan dan permasalahan geologi teknik terjadi pada lapisan ini, terutama kekuatan dan daya dukung tanah. Disamping itu tanah residual mempunyai tingkat kembang tinggi apabila jenuh air, menyebabkan penurunan parameter ketahanan tanah (strength parameters). Perubahan sifat fisik dan keteknikan massa tanah menyebabkan ketidakstabilan lereng terutama pada lereng yang dibentuk oleh tanah residual. Penelitian dilakukan di daerah kebumen dengan menggunakan metode survey lapangan dan analisis tanah di laboratorium. Kegiatan lapangan melakukan pengukuran ketebalan tanah residual, kemiringan lereng, klasifikasi derajat pelapukan, tataguna lahan dan potensi longsor. Pengambilan conto tanah tak terganggu (undisturb) dan terganggu (disturb) menggunakan alat bor tangan, pembuatan sumuran dan tabung conto, selanjutnya dilakukan analisis sifat fisik dan mekanik di laboratorium. Hasil pengujian conto tanah diperoleh distribusi fraksi lempung berkisar antara 14% – 42%, indeks plastis 23,18% – 65,94 % dan nilai aktivitas 1,69 - 3,07 (sedang - tinggi), berdasarkan analisis data penurunan kuat geser tanah disebabkan oleh perubahan kadar air, kadar lempung dari tanah residual. Hasil XR-day menunjukkan jenis lempung monmorilonit sangat dominan, menyebabkan tanah bersifat ekspansif dengan tingkat pengembangan tinggi dan aktivitas sedang hingga sangat tinggi.

Kata kunci: Pelapukan, tanah residual, sifat fisik, sifat keteknikan

Abstract

The region which is affected by tropical climate is usually characterized by high rainfall intensity and highly weathered processes, so that the condition creates layer formation of residual soils. The residual soil be positioned on the land surface and create some engineering geological problem within this layer, especially conducting with low bearing capacity of land. Besides, the residual soil indicates high expansiveness related to degree of saturation and causes the decreasing of soil strength parameter. The changes of index preoperties and engineering properties of soil mass impacts an instability of slope, especially for slope formed by residual soils. The research was carried out at District of Kebumen, West Java province. The reserch method consits of field survey and laboratory activities. The field survey is focused on measuring the thickness of residual soil layer, angle of slope, degree of weathering, as well as the investigation of land use and potential landslide area. The soil sample were undisturb and disturb samples that taken by hand boring (using sample tubes) and testpiting. Soil physical and mechanical properties was tested at Geomechanics Laboratory. The Results of laboratory test shows that the distribution of clay fraction is about 14% – 42%, plasticity index is between 23.18% – 65.94% and degree of expansiveness is 1.69 – 3.07 (classified as medium to high). Based on the laboratory test, it can be interpreted that the decrease of soil shear strength is caused by the change of water content, the clay content of residual soil. The X-Ray diffraction test showed that the clay is dominated by monmorillonite that results the soil to be expansive soil with classified as high expansive and soil activity of medium to high.

Keywords: Weathering, residula soil, physical properties, engineering properties.

PENDAHULUAN

Daerah perbukitan di bagian utara Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah, termasuk daerah yang mempunyai tingkat kerentanan sedang – tinggi, berdasarkan tatanan geologi yang sangat kompleks. Dalam hal ini menjadi salah satu kendala dalam perencanaan tataruang, sehingga perlu dilakukan kajian untuk mengurangi resiko bencana. Semakin meningkatnya penggunaan lahan untuk pemukiman, peladangan, dan persawahan pada lereng perbukitan mengakibatkan terjadinya degradasi lingkungan (erosi dan banjir) sehingga terjadi perubahan karakteristik keteknikan tanah, khususnya tanah residual (Nitihardjo dan Suranta, 1999).

Berawal dari fenomena tersebut rangkaian bencana alam mulai dari banjir, longsor di musim penghujan hingga kekeringan di musim kemarau sering terjadi. Oleh karena itu pemahaman karakteristik keteknikan tanah residual perlu dilakukan sebagai langkah awal dalam mitigasi bencana geologi. Wesley (2001) menyatakan bahwa tanah residu mempunyai banyak perbedaan dengan tanah sedimen, struktur batuan induk seperti kekar, perlapisan terkadang masih tersisa dan berpengaruh pada stabilitas lereng. Sudut geser dalam tanah residu terutama tanah tufa lebih tajam dibandingkan dengan tanah sedimen dan terjadi perubahan tekanan air pori yang signifikan selama perubahan musim. Pada saat ini mitigasi bencana masih bersifat pemahaman mekanisme, penyebab dan pemetaan kerawanan potensi bencana, belum sampai memprediksi terjadinya bencana. Untuk itu diperlukan kajian yang komprehensif sehinggaantisipasi terjadinya bencana dapat diketahui lebih awal.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh sifat fisik dan keteknikan tanah terhadap longsor yang terjadi pada massa tanah residual, akibat perubahan karakteristik ketahanannya. Longsor yang terjadi pada tanah residual disebabkan oleh berkurangnya parameter kekuatan geser tanah. Sebagai contoh, kekuatan geser tanah berubah apabila kondisi lapisannya telah terbuka terhadap udara, sehingga terjadi gangguan secara fisik (Fatal, dkk., 2006). Untuk itu diperlukan data tentang karakteristik batuan yang terdapat didaerah berpotensi longsor, terutama daerah pemukiman yang rentan terhadap bencana geologi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan sifat fisik dan keteknikan tanah residual batuan terhadap potensi longsor di daerah Kebumen, Jawa Tengah. Data hasil analisis berupa tingkat pelapukan, sifat fisik dan mekanik tanah digunakan sebagai dasar oleh perencana dan pemerintah daerah dalam pengembangan wilayah, khususnya di daerah yang mempunyai kerentanan tinggi, bencana sehingga ancaman bahaya longsor dapat dikurangi.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode diskriptif survei lapangan dan analisis conto tanah di laboratorium. Survei di lapangan meliputi kajian geologi (batuan, struktur), diskripsi visual derajat pelapukan batuan, morfologi, tipe dan sebaran tanah longsor. Pengumpulan data dilakukan dalam 2 (dua) tahapan, yaitu: (i) data morfologi diinterpretasi dari peta topografi dan peta geologi, dan (ii) data karakteristik tanah residual diperoleh berdasarkan pengamatan secara visual di lapangan, serta pengambilan conto tanah residual berdasarkan derajat pelapukan secara *systematic sampling* untuk dianalisis sifat fisik dan keteknikan tanah di Laboratorium.

Analisis di Laboratorium untuk mendapatkan data sifat fisik (kadar air, berat jenis, batas konsistensi/batas-batas *Atterberg*, dan distribusi besar butir), dan uji sifat mekanik tanah dengan triaksial test untuk mengetahui nilai parameter kuat geser tanah (*strenght parameter*). Analisis mineral dilakukan untuk mengetahui jenis lempung dengan melakukan uji *X-Ray*

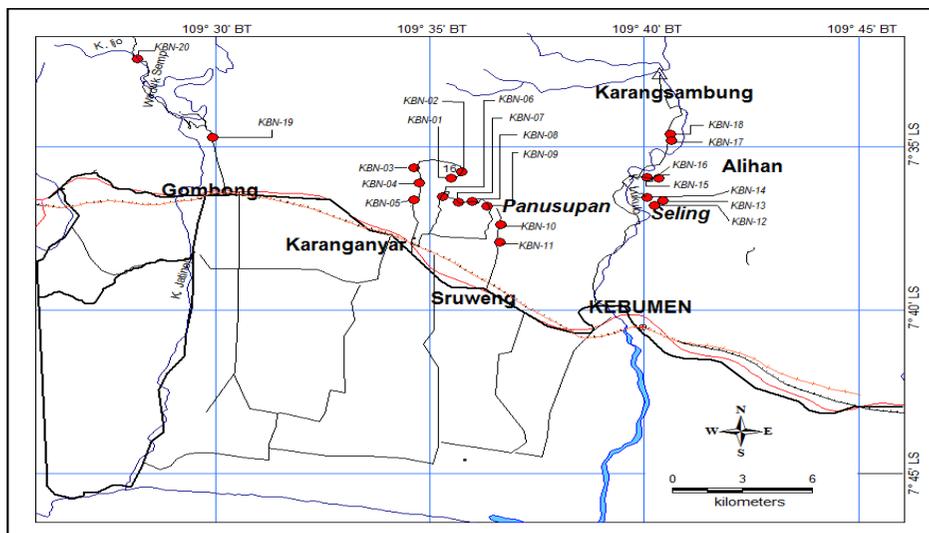
Diffraction. Berdasarkan sifat fisik, mekanik dan jenis mineral dilakukan analisis pengaruh lempung, konsistensi tanah, dan kadar air terhadap turun-naiknya kuat geser tanah.

HASIL PENELITIAN

Tanah Residual

Pengamatan visual tingkat pelapukan batuan untuk rekayasa geoteknik dilakukan berdasarkan klasifikasi dari IAEG (*International Assosiation Engineering Geology*), terhadap tanah residual derajat pelapukan V dan VI (Aminoto, 2005; Wessley & Irfan, 1997; Dearman, 1991). Lokasi pengamatan dilakukan di daerah Sempor, Karanggayam, Pejagoan, Seling dan Kaligending (Gambar 1), lokasi ini dipilih dengan pertimbangan bahwa secara tatanan geologi terdapat batuan yang bervariasi (Asikin, dkk. 1992). Ketebalan tanah hasil pelapukan berkisar antara 20 – 80 cm, kemiringan lereng antara 10° – 45° , lereng perbukitan bagian atas ketebalan tanah residu lebih tipis dibanding lereng bagian bawah. Secara umum tutupan lahan berupa hutan industri, pemukiman, tegalan, dan persawahan. Lokasi rawan longsor pada batuan breksi umumnya lebih tebal dibanding pada batuan sedimen (batupasir, tufa). Tanah berwarna coklat kemerahan, lunak, mudah di remas, berukuran lempung – lanau. Sedangkan lapukan tufa, lempung pasir secara umum berwarna abu-abu kehitaman hingga kecoklatan, agak padat, berukuran lempung-lanau, Gambar 2.

Analisis conto tanah sebanyak 20 tabung diambil berdasarkan derajat pelapukan, menggunakan bor tangan, dan sumur uji dalam kondisi tidak terganggu (*undisturbed*), yaitu kondisi tanah dipertahankan sama dengan kondisi asli di lapangan. Hal ini bertujuan agar tanah tidak mengalami perubahan fisik, sehingga hasil pengujian di laboratorium mendekati kenyataan di alam.



Gambar 1. Peta Lokasi Pengambilan Conto Tanah Residual



Gambar 2. Kondisi Tanah Residual a). Lapukan Lempung Pasiran, b) Lapukan tufa, di Daerah Penelitian

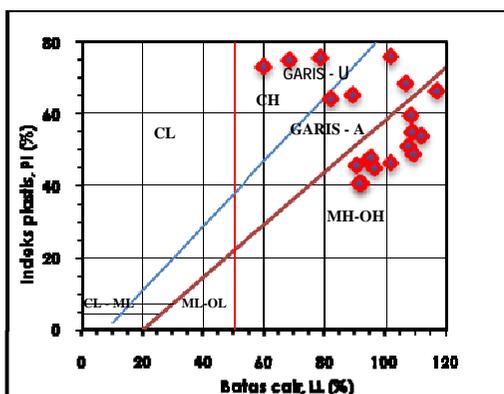
Sifat Fisik Tanah Residual

Batuan dasar tanah residual di daerah penelitian sangat bervariasi dan tidak homogen sehingga menghasilkan tanah residu dengan karakteristik yang berbeda. Beberapa sifat fisik tanah yang diuji di Laboratorium adalah kadar air, distribusi besar butir dan batas-batas Atterberg (*Atterberg limits*), aktivitas tanah dan jenis mineral (Das,1998).

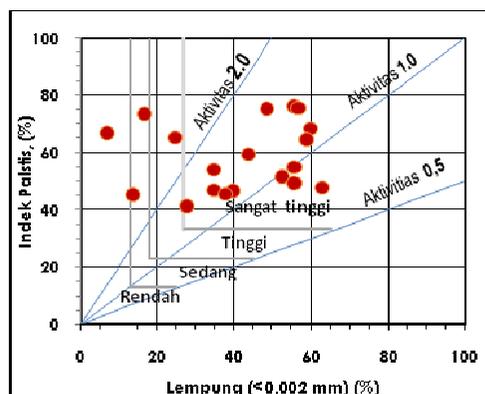
Hasil analisis kadar air asli tanah residual berkisar antara 43,7%-73,6%, batas plastis 36,48% - 70,15%, batas cair 14% - 47%, Indeks plastisitas adalah 23,18 - 65,94 %, dengan indeks aktivitas tanah 1,69 - 3,07. Pada daerah yang batuan induknya breksi vulkanik memperlihatkan kadar air yang berbeda dengan lokasi yang ditempati batuan sedimen Tersier. Material tanah yang berasal dari batuan keras dan kompak cenderung memiliki kadar air asli yang rendah, (Holtz dan Kovacs,1981).

Analisis distribusi besar butir berdasarkan material yang lolos saringan nomor 200 (diameter butir tanah lebih kecil dari 0,075 mm), adalah > 50 % (termasuk tanah berbutir halus). Dari jumlah tersebut, 5,3 - 5,9 % adalah tanah lempung (diameter butir lebih kecil dari 2 μ m atau 0.002 mm) dan sisanya adalah lanau. Berdasarkan plotting data pada *Diagram Casagrande* untuk klasifikasi tanah sistem USCS, tanah diklasifikasikan berdasarkan indeks plastisitas dan batas cairnya. Klasifikasi tersebut terdiri dari lempung plastisitas tinggi (CH), lempung plastisitas rendah (CL), lanau plastisitas tinggi (MH), lanau plastisitas rendah (ML), lanau organik plastisitas tinggi (OH), dan lanau organik plastisitas rendah (OL), seperti terlihat dalam Gambar 3.

Plotting data indek plastis terhadap kadar lempung ($\varnothing < 0,002$ mm), conto tanah residual untuk mendapatkan pendugaan potensi mengembang mineral lempung, didapatkan tanah daerah penelitian mempunyai potensi mengembang rendah (1,5%) serta sedang hingga sangat tinggi (5% - 25%), lihat Gambar 4.



Gambar 3. Klasifikasi Contoh Tanah Berdasarkan diagram plastisitas (Casagrande, 1948)



Gambar 4. Plotting Data Indeks Plastisitas (%) dengan Kadar Lempung (< 0,002 mm) Contoh tanah Residual daerah Kebumen

Sifat Mekanik Tanah

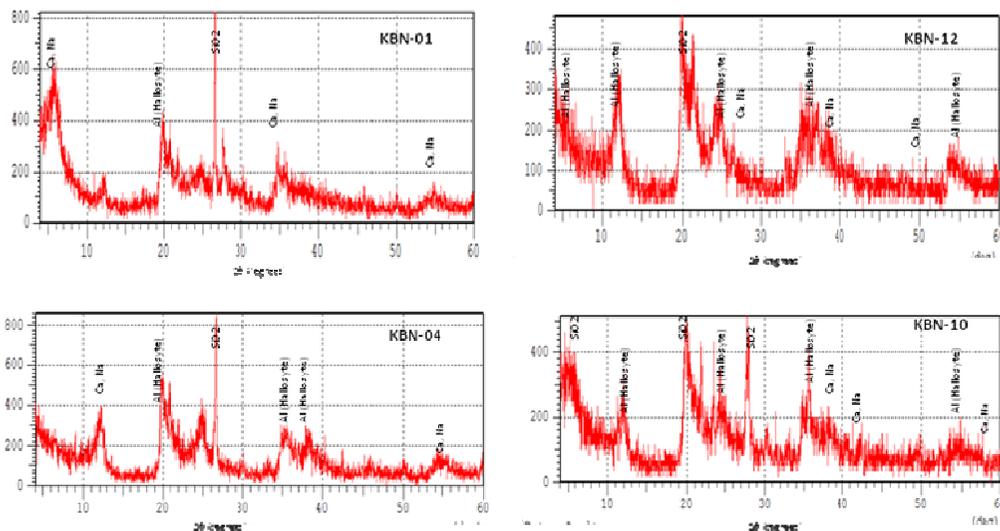
Ketahanan massa tanah sangat dipengaruhi oleh material tanah dan kandungan mineraloginya. Pada massa tanah dengan distribusi besar butir yang seragam akan memperlihatkan nilai kuat geser yang besar, dibandingkan dengan material yang tidak seragam. Disamping itu kandungan mineral juga menentukan nilai sudut geser dalam dan kohesi tanah, kekuatan massa tanah ini digunakan untuk menentukan kemampuan tanah menahan tekanan tanpa mengalami keruntuhan. Hasil uji triaxial pelapukan lempung mempunyai sudut geser dalam antara 9.35° - 11.41° dan kohesi 0.0154 kg/cm^2 - 0.2678 kg/cm^2 , sedangkan lapukan tufa nilai sudut geser dalam (ϕ) antara 29.21° - 30.57° dan nilai kohesi 0.2678 kg/cm^2 - 0.2678 kg/cm^2 . Berdasarkan data analisis terlihat bahwa lapukan lempung mempunyai nilai sudut geser lebih kecil di bandingkan dari lapukan tufa, dalam hal ini pengaruh dari batuan induk sangat besar.

Analisis Jenis Mineral

Mineralogi tanah diperlukan untuk mengetahui tingkat keaktifan tanah (kembang susut) tanah yang berpengaruh terhadap kestabilan lereng, khususnya apabila jenuh air dan pada kondisi kering terjadi retak-retak (Karnawati, 2000). Sifat fisik tanah banyak dipengaruhi kadar lempung dan jenis mineral seperti montmorillonite, illite, dll-nya. Penggerusan tanah merupakan gerakan-gerakan plastis yang berlangsung lambat dengan bidang peluncuran yang jelas, bahkan dapat terjadi pada lereng yang landai, pada gejala ini mineral lempung yang mengembang memegang peranan penting. Ikatan yang lemah antara lembar-lembar satuan struktur mineral lempung, menyebabkan air dan molekul-molekul polar dapat memasuki ruang antara, sehingga terjadi pengembangan (Grim, 1968). Kadar lempung juga berhubungan erat dengan sifat plastisitas tanah, dimana batas cair menunjukkan keadaan tanah yang mulai bergerak, oleh karena mineral lempung yang mengembang (monmorilonite) sebagai penyebab terpenting dalam gerakan-gerakan plastis tanah (Hirnawan, 1994).

Mineral lempung sebagian besar terdiri dari partikel mikroskopik dan submikroskopik yang berbentuk lempengan-lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika mineral-mineral lempung dan mineral-mineral yang sangat halus lainnya. Tanah lempung ialah tanah yang mempunyai partikel-partikel mineral tertentu yang menyebabkan timbulnya sifat plastis dari tanah apabila tanah tersebut dicampur dengan air.

Hasil analisis *X-Ray Diffraction* menunjukkan kandungan mineral tanah lapukan di daerah penelitian terdiri dari: *Montmorilonit*, *Halloysite*, *Cristobalite*, *Quart*, *Magnetite*, *Hematite*, dan *Gibbsite*. Mineral paling dominan adalah kelompok *Smectite* termasuk *Montmorilonit*, *Illite* dan *kaolinite* sebesar 54% sedangkan mineral-mineral yang lainnya lebih kecil. Mineral jenis ini menyebabkan perubahan kembang susut adalah *Monmorilonite*. Sebagai gambaran kandungan mineralogi terlihat pada grafik Gambar 5, tampak bahwa mineral lempung jenis *Montmorilonit* menunjukkan *peak* yang besar/tinggi dibandingkan dengan jenis mineral lain. Hal ini berarti hasil lapukan batuan dari daerah penelitian banyak mengandung mineral lempung jenis *Montmorilonit* yang sangat besar menyerap air.



Gambar 5. Grafik hasil analisis X-Rd, beberapa contoh tanah residual dari daerah Karanggayam, Kebumen.

PEMBAHASAN

Tanah residual di daerah penelitian memiliki ketebalan berkisar 20 - 80 cm, berasal dari pelapukan batuan breksi, tufa dan batupasir, sedangkan batulempung mempunyai ketebalan lebih dari 2,5 meter. Dalam hal ini menunjukkan bahwa pelapukan yang terjadi tidak seragam dan akan memberikan nilai dayadukung tanah yang berbeda. Hasil analisis besar butir dan indeks properties tanah yang dilakukan pada 20 conto dengan hasil sebagai berikut: LL = 14 – 42%, PL = 45% dan PI = 23,18 – 65,94 %. Menurut Chen (1975), hubungan antara potensi pengembangan dengan indeks plastisitas tanah sebagai berikut: potensi pengembangan rendah (0<PI<15), sedang (16<PI<35), tinggi (36<PI<55), dan sangat tinggi jika (PI>55). Contoh tanah di daerah penelitian mempunyai indeks plastis antara 23,18 – 65,94 %, sehingga dapat diklasifikasikan sebagai tanah lempung yang memiliki potensi pengembangan tinggi hingga sangat tinggi, serta merupakan tanah yang bersifat ekspansif.

Berdasarkan data *X-Ray Diffraction*, menunjukkan bahwa difraksi sinar-X berturut-turut 14,190, 11,570m, dan 16,770. Jika diambil rerata dari tiga puncak tersebut menghasilkan sudut defraksi sebesar 14.180. Disamping itu, mineral alpha kuarsa juga mendominasi mineral-mineral pada tanah conto. Puncak alpha kuarsa jika diambil reratanya adalah sebesar

3,34. Dengan sudut defraksi tersebut, kadar *montmorilonite* sebesar 74,15%, sehingga dari hasil pengujian tersebut tanah contoh dapat dikategorikan sebagai tanah lempung *montmorilonite*. Dari hasil penelitian mengenai hubungan antara mineral *montmorilonite* dengan pengembangan dan batas-batas konsistensi, semakin besar kadar *montmorilonite* dalam tanah potensi pengembangan semakin naik. Demikian halnya, jika kandungan *montmorilonite* semakin tinggi batas cair dan indeks plastisitas tanah tersebut akan meningkat, sedangkan batas plastis dan batas susut akan menurun.

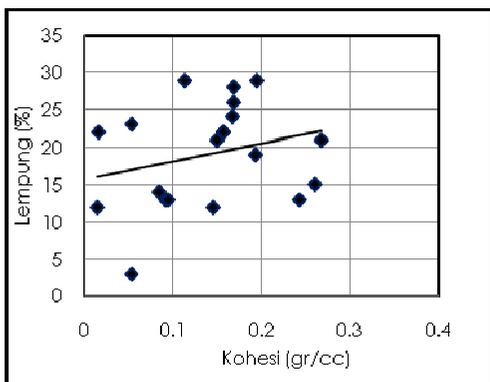
Kehadiran lempung jenis *montmorillonite* menyebabkan terjadinya kembang susut tanah di daerah penelitian, berdasarkan hasil analisis *XR-defraction* berasal dari pelapukan batuan yang banyak mengandung mineral feldspar, feromagnesium dan mika yang membentuk sifat plastis tanah. Selain itu nilai batas cair yang tinggi dapat dikategorikan tingkat ketidakstabilan tanah tinggi, (Anwar, dkk. 2006). Dalam hal ini pengaruh mineral *montmorillonite* yang dominan menyebabkan tanah mempunyai sifat ekspansif (kembang susut) yang tinggi, dengan tingkat aktivitas tanah rendah (1,5%) serta sedang hingga sangat tinggi (5% - 25%)

Kuat Geser Tanah

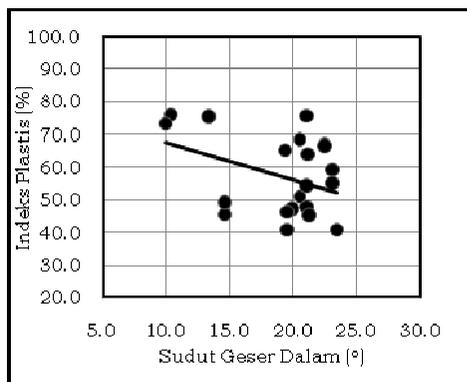
Perilaku massa tanah merupakan gambaran dari massa tanah tersebut dalam memberi respon terhadap sesuatu aktifitas, respon massa tanah sesuai dengan sifat fisik yang dipengaruhi oleh kondisi geologi. Sifat fisik paling berperan terjadinya ketidakstabilan lereng adalah gradasi besar butir, porositas dan permeabilitas, sedangkan pada aspek geologi yang berperan adalah jenis tanah/batuan, arah dan kemiringan perlapisan, kondisi hidrologi dan morfologi.

Hubungan antara sudut geser dalam (φ) dengan persentase lempung ($\emptyset < 200$ mm) diperlihatkan pada Gambar 8, menunjukkan fraksi lempung mempunyai pengaruh yang rendah terhadap sudut geser dalam tanah (φ). Dalam hal ini terlihat dari nilai determinasi $r^2 = -0,316$ dan nilai korelasi $r = 0,562$. Artinya tidak ada hubungan yang cukup signifikan dari kedua variabel dan kedua variabel tersebut tidak saling mempengaruhi, hal ini terlihat makin tinggi prosentase lempung tidak menyebabkan penurunan sudut geser dalam. Namun demikian apabila terdapat hubungan dari dua variabel tersebut yang secara linier adalah $y = -0,491x + 18,20$, ini menunjukkan bahwa y (sudut geser dalam, φ) besarnya ditentukan oleh besaran dari x . Dapat dilihat bahwa koefisien regresi presentasi lempung (b) besarnya adalah $-0,491$ artinya bahwa untuk kenaikan sebesar 1 % presentasi lempung, nilai sudut geser dalam akan naik sebesar $0,491$.

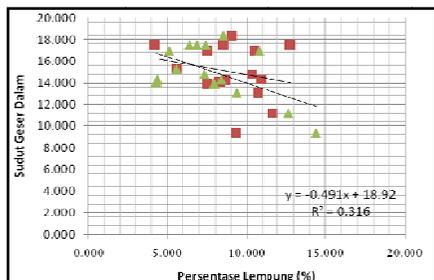
Dari Gambar 9 tampak bahwa hubungan antara sudut geser dalam (φ) dengan kadar air memperlihatkan hubungan yang negatif, hal ini terlihat dari nilai determinasi $r^2 = 0,831$ dan nilai korelasi $r = 0,911$ dengan garis regresi negatif. Artinya terdapat hubungan signifikan dari kedua variabel tersebut, besar kecilnya kadar air akan menyebabkan naik-turunnya nilai sudut geser dalam (φ), hal ini terlihat makin tinggi prosentase kadar air (%) menyebabkan atau diikuti oleh penurunan sudut geser dalam. Dengan demikian hubungan dari dua variabel tersebut secara linier adalah $y = -0,506x + 56,93$, menunjukkan variabel y (sudut geser dalam) besarnya ditentukan oleh besaran dari x . Dapat dilihat bahwa koefisien regresi presentasi kadar air (b) besarnya adalah $-0,506$ artinya bahwa untuk kenaikan sebesar 1% kadar air, nilai sudut geser dalam akan naik sebesar $0,506$.



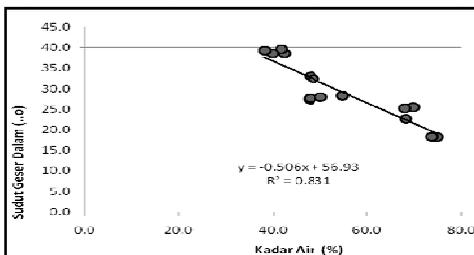
Gambar 6. Korelasi antara kadar lempung dengan kohesi tanah residual



Gambar 7. Korelasi antara Indeks plastisitas dengan sudut geser dalam (φ) tanah residual



Gambar 8. Grafik hubungan sudut geser dalam (φ) dengan kadar lempung



Gambar 9. Grafik hubungan sudut geser dalam (φ) dengan kadar air

KESIMPULAN

Mineral lempung dari tanah residual di daerah penelitian didominasi jenis *montmorilonit* yang menyebabkan sifat kembang susut tinggi (*swelling*) dan menyerap air. Kehadiran lempung jenis ini seperti ditunjukkan dengan nilai batas cair tinggi sehingga daerah penelitian termasuk mempunyai tingkat ketidakstabilan tanah tinggi.

Analisis sudut geser dalam tanah (φ) rata-rata berubah naik jika plastisitas naik. Hal ini mengindikasikan tipe tanah tidak seperti tanah umum yang proporsional, parameter kekuatan tanah akan melemah apabila kadar air dan plastisitasnya meningkat.

Hubungan yang signifikan dari variabel kadar lempung dengan sudut geser dalam, hal ini terlihat makin tinggi prosentase lempung tidak secara langsung diikuti penurunan sudut geser dalam. Sedangkan pada variabel kadar air dengan sudut geser dalam terdapat korelasi signifikan, dimana variabel kadar air mempengaruhi naik-turunnya sudut geser dalam.

Berdasarkan hasil analisis tersebut menggambarkan bahwa pada daerah penelitian mempunyai tingkat ketidakstabilan yang tinggi, untuk itu data penelitian dapat digunakan sebagai acuan

dalam perencanaan tataruang wilayah dan dasar dalam untuk pembangunan infrastruktur khususnya di daerah rentan bencana. Dalam hal ini ancaman bahaya longsor dapat dikurangi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian, rekan-rekan peneliti dan teknisi Geologi Teknik dan kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dan selesainya penelitian sampai penulisan laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, H.Z., dkk., 2006, *Karakterisasi bencana gerakan tanah rayapan di Dusun Sambeng, Desa Seling, Kec. Sadang, Kab. Kebumen dalam rangka penyusunan metoda mitigasi gerakan tanah*, Laporan Penelitian Puslit Geoteknologi – LIPI.
- Aminoto, 2005. *Characterisation of Malaysian Residual Soil For Geotechnical and Construction Engineering*, Universitas Kebangsaan Malaysia.
- Asikin, S, Handoyo, A, Prastistho, B and Gafoer, S, 1992, *Peta geologi lembar Kebumen, Jawa Tengah*, Departemen Pertambangan and Energi, Bandung.
- Das, B.M. (1998). *Principles of Geotechnical Engineering*, 4th edition, PWS Publishing Company. (Chapter 2).
- Dearman, W.R., 1991, *Engineering Geological Mapping*, Butterworth–Heinemann, p. 315 – 337.
- Fatal. A., Suratman, I., dan Nasution, S., 2006. *Studi Karakteristik Parameter Kuat Geser Tanah Lempung Pasir Honje – Tol Cipularang, Jawa Barat*. Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan.
- Grim, R.E., 1968, *Clay mineralogy*, 2nd.ed. Mc Graw Hill Book Co, New York.
- Holtz, R.D. and Kovacs, W.D., 1981, *An Intruduction to Geotecnical Engineering*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Ifran, T. Y. (1996). *Mineralogy, Fabric Properties and Classification of Weathered Granites in Hong Kong*, Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 29, pp. 5-35.
- Karnawati, D, 2000, *The importance of low intensity rainfall on landslide occurrence*, Forum Teknik, Vol.20, No.1. March 2000.
- Nitihardjo, S dan Suranta, 1999, *Peta zona kerentanan gerakan tanah daerah Kebumen dan sekitarnya, Propinsi Jawa Tengah, No. 61/12.03/MBA/1999, Maret*, Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Dep. Pertambangan dan Energi, Bandung.
- Hirawan, F. 1994. *Kurva-kurva Regresi Hubungan Kadar Air dengan Daya Dukung Perlapisan Batuan Menurut Pertambahan Kedalaman Pada Musim Hujan dan Musim Kemarau (Studi Kasus Satuan Batulempung Dari Formasi Halang di Wangon, Cilacap, Jawa Tengah)*, Makalah PIT – IAGI, ke 23, Desember 1994.
- Sadisun, I.A., 2001. *Pengaruh pelapukan batulempung Formasi Subang terhadap beberapa sifat keteknikannya guna menunjang efektivitas pemilihan desain perkuatan lereng*, Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral Institut Teknologi Bandung.
- Wesley L.D., 2001; *An Overview of Residu Soils in Java Indonesia and Implications for the Interpretation of In-Situ Test*, Hystories Bali, Indonesia.

