



BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6. 1 Kesimpulan

1. Material batuan di daerah Bukit Sentul yang diteliti berdasarkan klasifikasi geologi (Wentworth, 1922; Ingram, 1953; Folk, 1968; Underwood, 1967) dan klasifikasi geoteknis (Gamble, 1971; Deo, 1972; Morgenstern & Eigenbrod, 1974; Franklin, 1981) dikategorikan sebagai *clayshale* dengan durabilitas bervariasi dari rendah hingga tinggi (sample unweathered), dan perilaku batuan ini masuk dalam *soil-like clayshale*. Terdapat kecenderungan bahwa makin jauh dari permukaan, slake durability lebih tinggi (gambar 5.9).
2. Berdasarkan kekuatan *clayshale* Bukit Sentul, diklasifikasikan sebagai batuan sangat lunak dengan kekakuan sangat rendah (Deere & Miller, 1966). Dari segi geologi, *clayshale* Bukit Sentul merupakan batuan yang mudah lapuk (standar Jepang, 1989).
3. Proses weathering berpengaruh signifikan terhadap reduksi durabilitas *clayshale* (gambar 5.11). Reduksi durabilitas yang terjadi dapat mencapai 50 %. Untuk weathered sample berdasarkan klasifikasi Gamble (1971) masuk dalam kategori *clayshale* dengan durabilitas sangat rendah ($I_{d2} < 30\%$).
4. Sampel pada uji uniaksial untuk *clayshale* Bukit Sentul dengan durabilitas sangat rendah ($I_{d2} < 30\%$) tidak dapat diperoleh. Untuk uji point load test, tidak dapat diperoleh informasi I_{s50} karena sampel langsung rusak pada saat uji baru dilakukan. Slaking sangat berpengaruh terhadap durabilitas dan kekuatan *clayshale*. Peningkatan kadar air sangat berpengaruh terhadap penurunan durabilitas yang ditandai dengan meningkatnya volume rongga dan penurunan kekuatan *clayshale*.
5. Diukur dari potensi kemudahruntuhannya, *clayshale* Bukit Sentul masuk dalam kategori *non-collapsible material* (USDA, 1990). Hal ini mengindikasikan bahwa material *clayshale* pada prinsipnya adalah tidak mudah runtuh selama tidak terjadi perubahan/gangguan padanya.

6. *Clayshale* Bukit Sentul memiliki kadar air alami (w) antara 4 – 10%. Harga ini berada di bawah batas plastis (PL) yang berada dalam rentang 18 – 25 %. Batas cair (LL) berada 25 – 49.5 % dengan indeks plastisitas (IP) antara 5 – 42 % dengan absorpsi sebesar 20.3 – 28.9 %. Kadar air dan absorpsi yang rendah tersebut mengindikasikan bahwa *clayshale* Bukit Sentul perilakunya lebih ditentukan oleh ikatan diagenetik yang relatif kuat dan plastisitasnya yang rendah.
7. Kadar lempung bervariasi antara 39 – 61 % dengan aktivitas (Skempton, 1953) rendah yaitu 0.11 – 0.54. Mineral utama penyusun *clayshale* Bukit Sentul ini adalah kuarsa, kaolinite, illite, dan chlorite. Dapat dikatakan bahwa potensi pengembangan *clayshale* Bukit Sentul relatif rendah.
8. Kadar lempung *clayshale* yang tinggi dapat mengindikasikan terjadinya pelapukan dalam tingkat tertentu yang sulit dikuantifikasi (gambar 5.12).
9. Menurut USCS dan Casagrande Plasticity Chart, perilaku lempung pada *clayshale* Bukit Sentul masuk dalam klasifikasi CL (lempung dengan plastisitas rendah).
10. Korelasi antara indeks plastisitas dan batas cair (gambar 5.7) untuk *clayshale* Bukit Sentul adalah $IP = 0.79 (LL-16)$. Apabila terjadi peningkatan batas cair maka durabilitas berkurang (gambar 5.12).
11. Permeabilitas (k) *clayshale* Bukit Sentul berdasarkan uji Packer memberikan hasil dalam rentang 1.4×10^{-5} hingga 3.5×10^{-4} cm/det pada pemberian tegangan antara 1.2 – 6.4 kg/cm². Hubungan empirik antara nilai Lugeon dan k adalah $k = 1.17 \times 10^{-5} L_u$ cm/det. Harga permeabilitas ini mencerminkan apabila *clayshale* dikenakan peningkatan tekanan air maka permeabilitasnya semakin bertambah besar. Beberapa studi (Brace, 1978; Davis & De Wiest, 1966; Serafim, 1968; Waltham, 1994) dalam kondisi alaminya *clayshale* cenderung bersifat kedap air.
12. Untuk menentukan kekerasan dan durabilitas batuan dalam aplikasi untuk survei geofisis berupa uji seismic refraction (cross hole/down hole test) pada *clayshale* Bukit Sentul, peningkatan harga Vs menunjukkan peningkatan durabilitas *clayshale* (gambar 5.25).
13. Koefisien tekanan tanah at rest (K_0) pada *clayshale* Bukit Sentul menunjukkan kecenderungan berkurang terhadap kedalaman. Harga K_0 pada *clayshale* ini bervariasi antara 1.4 – 2.1 (gambar 5.28). Tegangan horisontal *clayshale* dalam hal ini lebih besar dibandingkan dengan tegangan vertikal.

14. *Clayshale* Bukit Sentul bersifat anisotropi apabila ditinjau dari perbandingan modulus aksial dan modulus diametral dari uji uniaksial dengan harga E_a/E_d berkisar antara 0.31 – 0.44.
15. Korelasi antara point load index dan kuat tekan uniaksial pada *clayshale* Bukit Sentul adalah $q_u = 23 I_{s(50)}$ (gambar 5.19). Hasil ini sedikit lebih rendah bila dibandingkan dengan penelitian Bieniawski (1984) dengan $q_u = 24 I_{s(50)}$.
16. Modulus aksial dari uji uniaksial lebih kecil 1/7 kali modulus aksial pada uji ultrasonik laboratorium (gambar 5.20). Hal ini bersesuaian dengan studi dari Deere et al (1967) di mana perbandingan modulus tersebut berada dalam interval 1/11 – 1. Perbandingan modulus pressuremeter (E_p) terhadap modulus aksial (E_a) uniaksial adalah 1.2 – 1.8. Mekanisme tegangan-regangan dan metode pengujian sangat menentukan nilai modulus.

6. 2 Saran

1. Diperlukan investigasi geologi dan geoteknik serta penelitian lebih lanjut agar karakteristik *clayshale* pada lokasi Bukit Sentul dapat lebih detail sehingga kelak dapat dipetakan kondisi durabilitas batuan *clayshale*.
2. Terdapat kesulitan dalam menentukan derajat slaking yang telah terjadi selama coring. Gangguan ini dapat direduksi dan sangat tergantung atas keahlian operator pemboran. Sangat disarankan dalam pengambilan sampel menggunakan tenaga ahli yang berpengalaman.
3. Perlu dilakukan studi lebih lanjut karakteristik teknis *clayshale* Bukit Sentul dengan berbagai tingkat pelapukan.
4. Dalam memasukkan parameter kuat geser untuk analisis stabilitas lereng pada *clayshale* sebaiknya digunakan parameter residual strength (c_r, ϕ_r) selain parameter efektifnya (c', ϕ') yang dapat diperoleh dari uji triaksial dan uji geser langsung CD (Moh, 1980; Laguros & Komar, 1980)
5. Perlu direncanakan sistem drainase air yang baik pada lereng agar terhindar penyusutan air melalui rekahan dan mereduksi tegangan air yang terjadi. Hal ini mengingat curah hujan di Bukit Sentul adalah sangat tinggi.
6. Untuk mengetahui tingkat pelapukan yang terjadi dari waktu ke waktu, berdasarkan rekomendasi Henkel (1982), dilakukan pengamatan kadar lempung terhadap kedalaman. Apabila kadar lempung menunjukkan peningkatan terhadap kadar lempung sebelumnya, hal ini untuk mengindikasikan terjadi pelapukan pada lapisan *clayshale*. Peningkatan

kadar lempung menyebabkan permeabilitas menurun dan tekanan air pori dapat meningkat sehingga lereng lebih berpotensi mengalami kelongsoran (Laguros & Kumar, 1980).

7. Dalam pengklasifikasian geoteknik dari Morgenstern & Eigenbrod (1974) perlu dilakukan pengujian untuk memperoleh parameter t_{50} berupa waktu yang diperlukan pada saat terjadi reduksi kekuatan sebesar 50 %, khususnya untuk material dengan harga $S_u < 18 \text{ kg/cm}^2$ (bersifat tanah). Selain itu, untuk mengetahui kecepatan slaking, dianjurkan mengamati perubahan liquidity index (LI). Jumlah sampel yang diperlukan relatif lebih banyak.
8. Perlu dilakukan pengamatan pengaruh pelapukan terhadap durabilitas dan kekuatan *clayshale* terhadap waktu. Hal ini untuk memberikan informasi sejauh mana *clayshale* durabel terhadap ekpos udara luar apabila dilakukan penggalian.
9. Perlu dilakukan pengujian lapangan yang bersifat non destruktif berupa uji seismic refraction (downhole/crosshole test). Selain itu, data tersebut dapat dipakai untuk membandingkan dengan kecepatan rambat gelombang primer (V_p) dan gelombang rambat gelombang sekunder (V_s), sehubungan dengan uji ultrasonik laboratorium seperti studi dari Deere (1967).



Referensi

- Abramson, Lee W., Thomas S. Lee, and Sunil Sharma, Glenn M. Boyce. *Slope Stability and Stabilization Method*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- Al-Hkafaji, A.W., Orlando B. Andersland. *Geotechnical Engineering and Soil Testing*. Forth Worth: Saunders College Pub., 1992.
- Attewell, P.B., and I.W. Farmer. *Principles of Engineering Geology*. London: Chapman and Hall, 1976.
- Bardet, Jean-Pierre. *Experimental Soil Mechanics*. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- Bieniawski, Z.T.. *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*. Rainbow Bridge Book Co., Ltd, 1984.
- Bjerrum, Lauriys. *Mechanism of Progressive Failure in Slopes of Overconsolidated Plastic Clays and Clay Shales*. Oslo : Norwegian Geotechnical Institute, 1966.
- Botts, Michael Edward. *The Effects of Slaking on The Engineering Behavior of Clay Shale*. Colorado: University of Colorado, 1986.
- Bowles, J.E.. *Foundation Analysis and Design*. New York: McGraw Hill Companies, Inc., 1996.
- Briaud, Jean-Loius. *The Pressuremeter*. Texas: Texas A&M University, 1987.
- Broch, E. and Franklin, J.A.. "The point load-strength test." *Int. J. Rock Mech. Mining Sci* Vol. 9. 1972. 669 - 697.
- Brotodihardjo, Wisjnu Y. *Teori Analisis Uji Kembang Karet*. Jurnal Teknik Sipil Vol. I No. 1. Bandung : Unpar, 1 Juni 2000. 47 - 72.
- Carter, M., S.P. Bentley. *Correlations of Soil Properties*. London: Pentech Press, 1991.
- Cernica, John N.. *Geotechnical Engineering : Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- CGS. *Foundation Engineering Manual 2nd ed.*. Montreal: Canadian Geotechnical Engineering, 1985.
- CGS. *Canadian Foundation—Engineering Manual*. Montreal: Canadian Geotechnical Society, 1978.
- Chen, Y.J.. F.H. Kulhawy. "Undrained strength interr. among CIUC, UU, and UC tests." *J. Geotech. Eng ASCE* Vol. 119, No. 11. 1993. 1732 - 1750.
- Clayton, C.R.I., M.C. Matthews, and N.E. Simons. *Site Investigation*. Germany: Blackwell Science, 1995.

- Coduto, Donald P.. *Foundation Design : Principles and Practices*. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1994.
- Deere, D.U.. *Geological Considerations*. Ed. Stagg dan Zienkiewics. New York: John Wiley & Sons, 1968.
- Deen, R.C.. "The need for Schema for the Classification of Transitional (Shale) Materials." *ASTM Geotechnical Testing Journal* Vol. 4, 1981. 3 - 10.
- Fetter, C.W.. *Applied Hydrogeology*. New York: Macmillan College Publishing Company, Inc., 1994.
- Fetter, C.W.. *Applied Hydrogeology*. New York: Macmillan College Publishing Company, 1994.
- Ghafoori, M. et al. "Engineering properties of Ashfield Shale, Australia." *Bulletin of the Int'l Ass of Eng Geology* No. 48. October 1993. 43 - 58.
- Goodman, Richard E.. *Introduction to Rock Mechanics*. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- Hassan, Khaled M., et al. "Design method for drilled shafts in soft argillaceous rock." *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.* Vol. 123, No. 3. March 1997. 272 - 280.
- Henkel, D.J.. "Geology, Geomorfology and Geotechnics." *Geotechnique* 32 No. 3. 1982. 175-194.
- Holtz, Robert D., and William D. Kovacs. *An Introduction to Geotechnical Engineering*. New Jersey: Prentice Hall, Inc., 1981.
- Houlsby, A.C.. "Routine interpretation of the Lugeon Water test." *Journal of Engineering Geology* Vol. 9. 1976. 303 - 313.
- Hughes, John M.O. et al. "The Pressuremeter - An In Situ Test Instrument which Provides Useful Data for Geotechnical Design." *In Situ '86 - How To Session on Pressuremeter Testing* . 1986.
- Hunt, Roy E.. *Geotechnical Engineering Analysis and Evaluation*. New York: McGraw Hill Book Co., 1986.
- Irsyam, Masyhur et al. "Penanggulangan Kelongsoran pada Galian di Batuan Shale di Lokasi Valve Chamber-PLAT - Tulis." *Geoteknik di Indonesia Menjelang Milenium 3* Prosiding. 14 - 15 Januari 1998. 43 - 55.
- ISRM. "Suggested Method for Determining Point Load Strength." *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech* Vol. 22, No. 2. 1985. 51 - 60.
- Keller, Edward A.. *Environmental Geology*. Columbus: A Bell & Howell Company, 1976.
- Krizek, Raymond J., J.N. Kay. "Material Properties-Affecting Soil-Structure Interaction of Underground Conduits." *Soil Structure Interaction : A Symposium*. Highway Research Record No. 413. 1972. 13 - 29.
- Jata Nurman, PT.. *Laporan Faktual Penyelidikan Tanah di Areal Bukit Indosemen Bukit Sentul, Bogor Jawa Barat*. Report. 2000.

- Knight, K, et al. "Stability of Shale Slopes in the Natal Coastal Belt." *5th Southeast Asian Conference on Soil Engineering*. 2 - 4 July 1977. 201 - 212.
- Laguros, J.G., S. Kumar. "Failure of Slopes Cut into Clay Shales." *6th Southeast Asian Conference on Soil Engineering*. 19 - 23 May 1980. 407 - 413.
- Margono, M.. *Sifat Teknis dan Identifikasi Slake Durability dari Batuan Shale di Bukit Sentul*. Universitas Katolik Parahyangan, Skripsi, 2000.
- Mesri, G.. M.E.M. Abdel-Gaffar. "Cohesion intercept in effective stress-stability analysis." *J. Geotech. Eng. ASCE* Vol. 119, No. 8. 1993. 1229 - 1249.
- MPA Williams & Ass. Pty. Ltd. *Report on Utilization of Claystone as Eng. Fill*. Australia: MPAW, October 1994.
- NAVFAC. *Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures*. Design Manual DM-7. Va.: Naval Facilities Engineering Command, 1971.
- Oakland, M.W., C.W. Lovell. "Standardized Tests for Compacted Shale Highway Embankments." *Transportation Research Record* 873. TRB, 1982. 15 - 22
- Peck, Ralph B., Walter E. Hanson, and Thomas H. Thornburn. *Foundation Engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1974.
- Rahardjo, P.P., Mariana Margono, Budijanto-Widjaja. "Penelitian Clayshale di Bukit Sentul, Bogor." Pustlibang Jalan. Bandung, 2000.
- Richardson, David N., Timothy T. Wiles. "Shale durability rating system based on loss on shear strenght." *J.Geotech.Eng.* Vol. 116, No.12. 1990. 1864 - 1880.
- Skinner, Brian J., and Stephen C. Peter. *The Dynamic Earth*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- Spangler, Merlin G., and Richard L. Handy. *Soil Engineering*. New York: Harper & Row, Publishers, 1982.
- Stark, T.D., Duncan, J.M.. "Mechanism of Strength Loss in Stiff Clays." *Journal of Geotechnical Eng.* Vol. 117, No.1. January 1991.
- Szechy, K., and L. Varga. *Foundation Engineering - Soil Exploration and Spread Found..* Budapest: Akademiai Kiado, 1978.
- Transportation Research Board. *Overconsolidated Clays : Shales*. Washington : Transportation Research Record 873, 1982.
- U.S. Department of Agriculture. "SML Evaluation of Collapse Potential." *Materials Testing Report* 1990.
- Underwood, L.B.. "Classification and identification of shales." *Journal of Soil Mechanics and Foundations Div.* Proc. ASCE 93, No. SM6. 1967. 97 - 116.
- US Army Corps of Engineers. *EM 1110-1-1906*. New York: US Army Corps of Engineers, 30 September 1996.

US Army Corps of Engineers. *EM 1110-1-1904*. New York: US Army Corps of Engineers, 30 September 1990.

Velde, B.. *Introduction to Clay Minerals*. London: Chapman & Hall, 1992.

Waltham, A.C.. *Foundations of Engineering Geology*. London: Blackie-Academic & Profesional, 1994.

Widjaja, Budijanto. "Karakteristik Clayshale." *Buletin GEC* Vol. 3, No. 1. Februari 2000. 3 - 8.

Winterkorn, H.F., and Hsai-Yang Fang. *Soil Technology and Engineering Properties of Soils*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1975.

Woodward-Clyde. *Feasibility Study for New Dam at Bukit Sentul, Bogor*. Report. 12 March 1998.

Bibliografi



- Banks, D.C.. "Study on clayshale slopes ." *Rock Mechanics*, 1971, 303-328
- Binger, W.V.. "Analytical studies of Panama Canal Slides ." *Proc. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng.*. 1948. Vol. 2. 54 -60
- Casagrande, A.. "Classification and identification of soils ." *Trans. ASCE*, Vol. 113. 901 - 930
- Deere, D.U., et al.. "Design of Surface and Near Surface Construction in Rock." *Proc. 8th Symp. Rock Mechs.* University of Minnesota, 1967.
- Ervin, M.C., et al.. "The Use of a High Capacity Pressuremeter for the Design of Foundation in Medium Strength Rock ." *Proc. Int. Conf. On Structural Foundation on Rock.* Sydney, 1980.
- Ladanyi, B.. "Quasi Static Expansion of Cylindrical Cavity in Rock." *Proc. Of the 3rd Symposium on Eng. Application of Solid Mechanics.* Canada : University of Toronto, 1976.
- Franklin, J.A.. "A Shale Rating System and Tentative Applications to Shale Performance." *Transportation Research Record 790.* TRB, 1981. 2 - 12
- Gamble, J.C.. "Durability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks." Ph.D thesis in geology, University of Illinois, Urbana. 1971
- Hendron, A.J., et al.. "Compressibility Characteristics of Shales Measured by Laboratory and In Situ Tests." *ASTM STP 477*, 1970. 137 - 153
- Ingram, R.L.. "Fissility of Mudrocks." *Bulletin of Geological Society of America.* Vol. 64, No.8. August 1953. 869 - 878.
- Lade, P.V., K.L. Lee. *Engineering Properties of Soils.* LA, USA: UCLA, May 1976.
- Leet, L.D.. *Physical Geology.* New Jersey : Prentice-Hall, Inc., 1971
- Lugeon, M. *Barrages et Geologie.* Paris: Dunod, 1933.
- Mitchell, J.K.. *Fundamental of Soil Behavior.* New York: John Wiley & Sons, Inc., 1976.
- Mitchell, J.K., W.S. Gardner. "In Situ measurement of volume change characteristics." *ASCE Geotechnical Engineering Division Specialty Conf. On In Situ Measurement of Soil Properties.* Raleigh : North Carolina State University : 1975.
- Morgenstern, N.R., K.D. Eigenbrod. "Classification of Argillaceous Soils and Rocks." *J.Geotech.Eng.* Vol. 100, GT10. October-1974. 1137 - 1156.
- Peterson, R.. "Studies of Bearpaw shale at a dam-site on Saskatchewan." *Proceeding ASCE.* New York. 1954. Vol. 80. No. 476.

Richard, F.E., Hall J.R., dan R.D. Woods. "Vibrations of Soils and Foundations." New Jersey : Prentice Hall, Inc., 1970.

Skempton, A.W.. "The colloidal activity of clays." *Proceeding of 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Zurich. 1953. 57 - 61.

Skempton, A.W.. "Horizontal stresses on an overconsolidated Eucone clay ." *Proceeding of 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1961. Vol. 1. 351.

US Bureau of Reclamation. *Earth Manual*. Denver, Colorado, USA: US Dept. of the Interior, 1963.

Varga, L.. "Reliability of our computation assuming elastic subgrade ." *EKME Tud. Kozlemenyek* Vol. XII, No.4 and Vol. XIII, No. 5. 1967.

Wenworth, C.K.. *Geology*. New York : Oxford University Press Inc., 1922

Won, G.W.. "Engineering properties of Wianamatta group rocks from laboratory and in-situ tests." *Engineering Geology of the Sidney Region* Pells P.J.N. (editor) ol. 1985. 143 - 161.