

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

5.1 Kesimpulan

- 1) Penentuan parameter kuat geser untuk tanah campuran pasir, kerikil dan batu atau material *bouldery soils* dapat dilakukan dengan mengandalkan uji di laboratorium menggunakan alat *calibration chamber*. Dengan menggunakan sampel yang terganggu dengan cara menyusun kembali sampel (*reconstituted sampel*) kedalam alat *calibration chamber* dapat dilakukan uji triaxial dan PMT di laboratorium dengan berbagai variasi uji untuk mendapatkan parameter kuat geser *bouldery soils*
- 2) Hasil uji Triaxial UU menunjukkan bahwa kuat geser tanah *bouldery soils* sangat dipengaruhi oleh komposisi dan persentasi batuan di dalamnya. Perilaku tegangan-regangan tanah berbatu cukup berbeda dengan sampel tanah murni terutama pada persentasi batu yang besar (lebih dari 10% *boulder*).
- 3) Karakteristik keruntuhan pada tanah *bouldery soils* pada penelitian ini secara umum berperilaku *strain-hardening*.
- 4) Pada hasil uji triaxial UU yang dianalisis menggunakan model Mohr-Coulomb dalam *calibration chamber* menunjukkan pengaruh penambahan persentase batu terhadap kuat geser *bouldery soils*. Dimana penambahan jumlah *boulder* dalam material *bouldery soils* dengan komposisi/persentase 0% *boulder* sampai dengan 60% *boulder*, menghasilkan nilai sudut geser dalam, ϕ berkisar 19° sampai dengan 45.10° . Demikian pula hasil yang didapat pada nilai kohesi. Semakin besar

komposisi/persentase *boulder*, nilai kohesinya menurun dari 0,37 kg/cm² sampai mencapai 0 (nol) pada komposisi 60% *boulder*.

- 5) Analisis data uji triaxial material *bouldery soils* menggunakan kriteria Mohr Coulomb menunjukkan adanya penambahan persentase batu dalam material *bouldery soil* menghasilkan nilai sudut gesek dalam (ϕ) semakin tinggi dan kohesi (c) semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi ukuran butiran tanah, jumlah batu (penambahan persentase batu) menjadi penentu dalam mendapatkan parameter kuat geser material *bouldery soils*.
- 6) Analisis data uji triaxial material *bouldery soils* menggunakan model hiperbolik, untuk menentukan satu nilai sudut geser dalam (ϕ) material *bouldery soil* dari beberapa diagram lingkaran Mohr adalah unik. Hal ini disebabkan karena nilai kohesi (c) yang diperoleh sangat kecil sehingga diasumsikan nilai kohesinya adalah nol. Penentuan parameter sudut geser dalam (ϕ) *bouldery soils* dengan model non linear hiperbolik telah diperoleh berkisar 25° sampai dengan 50°. Hal ini berbanding terbalik dengan pengaruh tegangan keliling terhadap (ϕ), semakin besar nilai tegangan keliling maka (ϕ) semakin kecil tergantung pada perubahan tegangan keliling ($\sigma_3 \approx P_0$).
- 7) Pada analisis menggunakan model hiperbolik, pada material *bouldery soils* kondisi tegangan awal $\sigma_3 = P_0$ berperan cukup besar dalam memperoleh nilai modulus kekakuan, E dan nilai sudut geser dalam, ϕ . Tegangan awal semakin meningkat, memperoleh nilai modulus kekakuan semakin tinggi, dikarenakan pada 0% *boulder* dalam material *bouldery soils* (tergolong material granular), pasir yang bergaradasi baik dan tidak padat. Dengan ditambahkan jumlah batu melalui penambahan persentase 10% *boulder* sampai dengan 60% *boulder*, terjadi

penguncian antar butiran pasir, kerikil, dan *boulder*. Sehingga terjadi kenaikan tegangan geser secara berangsur-angsur sampai menuju nilai tegangan batas. Kenaikan tegangan geser akan mempengaruhi bertambah pula nilai sudut geser dalam (ϕ).

- 8) Hasil uji triaxial *bouldery soils* dianalisis menggunakan model hiperbolik, menunjukkan semakin bertambah jumlah batu (persentase 50% sampai dengan 60% *boulder*) menunjukkan tegangan keliling (σ_3) pengaruhnya tidak begitu besar. Hal ini dapat dilihat pada grafik tegangan normal vs tegangan geser, pada 50% *boulder* dan 60% *boulder* menunjukkan garis keruntuhan semakin rapat dan memperoleh parameter sudut gesek dalam, ϕ yang berbeda namun dengan perbedaan nilai yang cukup kecil. Hal ini sesuai dengan konsep state parameter yaitu nilai sudut geser dalam berubah tergantung pada tegangan keliling. Atau dengan kata lain tegangan keliling berperan besar dalam mendapatkan parameter sudut geser dalam.
- 9) Hasil uji Pressuremeter (PMT) *bouldery soils* didalam *calibration chamber* di laboratorium, menghasilkan nilai kekakuan atau modulus deformasi tanah, E_{PMT} bervariasi. Ukuran butiran tanah, jumlah batu (penambahan persentase batu) dan perubahan tegangan keliling (σ_3) menjadi penentu meningkatnya nilai kekakuan atau modulus deformasi tanah, E_{PMT} .
- 10) Dari hasil uji PMT *bouldery soil* dapat dianalisis untuk mencari nilai Modulus Deformasi atau Modulus Kekakuan (E_M) dan parameter kuat geser *bouldery soil*. Dan terdapat hubungan antara tekanan keliling dengan kuat geser, τ . Penambahan persentase batu dalam material *bouldery soil* menunjukkan nilai kuat geser, τ

semakin besar seiring penambahan persentase batu. Nilai kuat geser, τ bervariasi dan digunakan dalam menurunkan parameter sudut geser dalam, ϕ pada material *bouldery soils*.

- 11) Untuk dapat menurunkan parameter sudut geser dalam material *bouldery soils*, dapat diperoleh dari nilai kuat geser, τ PMT dengan menggunakan formula berikut;
$$\tau_{\max} = \sigma_3 \tan \phi.$$
 Semakin besar tekanan keliling, nilai sudut geser dalam (ϕ) semakin kecil.
- 12) Pada uji triaxial maupun uji PMT pada tanah *bouldery soils* pada penelitian ini secara umum berperilaku *strain-hardening*, sehingga titik puncak keruntuhan geser ditentukan pada titik puncak atau tegangan maksimum dari kurva tegangan-regangan dengan mengambil pada nilai regangan tertentu.
- 13) Untuk mendapatkan nilai modulus kekakuan, baik hasil uji PMT di lapangan (on site) maupun hasil uji PMT di laboratorium sangat ditentukan oleh kurva kemiringan yang ditunjukkan oleh titik (V_0, P_0) dan titik (V_f, P_y). Semakin bertambah *boulder* dalam material *bouldery soils*, dengan menambah tegangan keliling, kurva PMT laboratorium semakin tegak. Hasil modulus kekakuan semakin meningkat dengan menambah tegangan keliling, σ_3 . Hal ini dikarenakan pada saat probe dikembangkan secara radial, *boulder* dalam material *bouldery soil* mengalami desakan sehingga sampel semakin padat, mengisi rongga. Dan bertambah tegangan keliling secara berlawanan, sehingga menambah kekakuan. Sehingga semakin bertambah tekanan keliling modulus kekakuan PMT semakin besar.
- 14) Ada kemiripan / kesamaan konsep pada uji triaxial yang dianalisis menggunakan Model Hiperpolik dan hasil uji PMT, pada saat dilakukan uji triaksial maupun uji

PMT menggunakan sistem *multi stage*. Semakin bertambah tegangan keliling, maka sudut geser dalam semakin kecil.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa hal yang dapat disarankan untuk diteliti lebih lanjut adalah sebagai berikut;

- 1) Perlu dilakukan modernisasi alat *calibration chamber* dilengkapi dengan pengukur tegangan air pori agar bisa dilakukan uji *Triaxial Consolidated Undrained (CU)* untuk mendapatkan parameter kuat geser *bouldery soils*.
- 2) Perlu dilakukan pemberian tegangan aksial pada sampel uji dengan menggunakan satu sampel, untuk satu penerapan tegangan sel (*single stage*) sampai runtuh.
- 3) Coba dilakukan variasi uji triaxial dengan dimensi sampel yang berbeda, dengan perbandingan 2:1. Dan melakukan persiapan sampel *bouldery soils* menggunakan block sample agar sampel *bouldery soils* dapat lebih representatif mewakili keadaan di lapangan.
- 4) Lakukan uji triaxial dan PMT untuk material *bouldery soils* pada material campuran lempung berbatu untuk mendapatkan parameter kuat geser *bouldery soils* (lempung-kerikil-batu). Pada penelitian ini sudah menggunakan material *bouldery soils* atau campuran pasir-kerikil-batu.
- 5) Perlu dilakukan simulasi uji triaxial dan uji pressuremeter *bouldery soils* untuk memverifikasi hasil uji laboratorium dan untuk mengetahui pola keruntuhan yang terjadi.

- 6) Untuk metode pengujian triaxial dan PMT *multistage bouldery soils* dicoba menggunakan dua tahap (two stage) dan empat tahap (empat stage) dengan menerapkan tegangan cell yang berbeda, untuk mengetahui hubungan tegangan dan regangannya dan melihat lebih jauh pengaruh penambah tegangan cell terhadap parameter kuat gesernya.
- 7) Lakukan pengujian triaxial untuk mengukur kuat geser *bouldery soil* dengan kerapatan relative (*relative density, Dr*) yang bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA



- A.Aghaei Araei, et al. (2010), *Large-scale Triaxial Testing and Numerical Modeling of Rounded and Angular Rockfill Materials*, © Sharif University of Technology, archive of SID, transaction A: civil engineering, vol.17, No.3, pp 169-183.
- Baguelin, F., Jezequel, J.F., & Shields, D.H. (1978) *The Pressuremeter and Foundation Engineering*, Trans, Tech. Publications, Clausthall, Germany.
- Balachowski, L. (2006) *Use of Calibration Chamber as a Large Triaxial Apparatus*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol.VI, No.4.
- Balachowski, L. (2006) *Penetration Resistance of Lubiatowo Sand In Calibration Chamber Test*, Archives of Hydro-Engineering and environmental Mechanics, Vol.53 (2006), No.4, pp. 311-329. C IBW PAN, ISSN 1231-3726.
- Briaud, J.L. (2013), *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA
- Biarez, J, Gambin, M., Gomes-Correia, A., Flavigny, E., Branque, D. (1998) *Using Pressuremeter to Obtain Parameters to Elastic-Plastic Models For Sand*, Geotechnical Site Characterization, Robertson & Mayne (eds) c 1998 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054109394.
- Bellotti, R et al. (1989) *Interpretation of Moduli From Self-Boring Pressuremeter Test In Sand*, Géotechnique 39, No. 2, 269-292.
- Belkacemi, S. & Kauschinger, J., L. (1998) *Laboratory pressuremeter test on reconstituted silt samples*, Geotechnical Site Characterization, Robertson & Mayne (eds) ©1998 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054109394.
- Bowles J.E., (1993) *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah (Mekanika tanah)* Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, hal. 25-26.
- Broto C.A. (2008), Uji Triaksial Multistage Untuk Tanah Kaolin, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Indonesia.
- Clarke, B.G. (1995), *Pressuremeters in Geotechnical Design*, Blackie Academic and Professional, London.
- Clarke, B. G. & Gambin, M.P., (1998) *Pressuremeter Testing In Onshore Ground Investigations: A Report by The ISSMGE Committee TC16*, Geotechnical Site Characterization, Robertson & Mayne (eds) c 1998 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054109394.
- Craig, R.F., (1989), *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat, Penerbit Erlangga, hal. 5-6 & 10-11.

- Duncan, J.M, and Chang, C.Y. (1970), "*Non-Linear Analysis of Stress and Strain in Soils*", Jour. Soil Mech. And Foundations Division, Proc. ASCE.
- Duncan, J.M., Byrne, P., and Wong, K.S. (1980), "*Strength, Stress-Strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Soil Masses*", Report No. UCB/GT/80-01, College of Engineering, Office of Research Services, University of California, Berkeley, California.
- Das, B.M. (1985), *Mekanika Tanah Jilid 1*, terj. (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis), Penerbit Erlangga, hal. 1.
- Dearman WR (1995) *Description and classification of weathered rocks for engineering purposes: the Background to the BS5930: 1981*. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28: 267-276.
- Fukagawa, R., Muro, T., Hata, K., Hino, N., (1998) *A New Method to Estimates The Angle of Internal Friction of Sand*, Geotechnical Site Characterization, Robertson & Mayne (eds) c 1998 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054109394.
- Gibson, R.F. and Anderson, W.F. (1961), "*In Situ Measurement of Soil Properties with the Pressuremeter*", Civil Engineering and Public Works Review, Vol 56, p615-618.
- Ghionna, V.N., and Jamiolkowski, M. (1991), *Influence of Time on the Behaviour of Granular Soils*, Panel Discussion – Session 1b, Proc.X ECSMFE, Florence.
- Gouw, T.-L., (2014), *Dasar Teori & Aplikasi Analisa 3 Dimensi Dalam Plaxis 3D*, Manual Kursus Plaxis 3D, Jakarta.
- Gouw, T.-L., (2017), *Interpretasi Kuat Geser Tanah Lempung Teguh Jakarta Dari Data Pressuremeter Berdasarkan Pengembangan Teori Cavity Expansion*, Disertasi, Doktor Ilmu Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Hughes, J.M.O, Worth, C.P., and Windler, D., 1977, "*Pressuremeter tests in Sands*", Geotechnique, Vol 27 (4): p. 455-477.
- Hardiyatmo, H.C., (2006), *Mekanika Tanah 1* Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, hal. 2.
- Handoko, S.G., (2003) *Studi Eksperimental Perilaku Tanah Lempung Pada Berbagai Lintasan Tegangan Dengan Menggunakan Uji Triaksial Stress-Controlled*, Tesis, UNPAR.
- Huang, An-Bin, (1992) *Calibration Chamber Testing*, National Chiao Tung University, <https://www.researchgate.net/publication/235197318>.
- Holden, J.C., (1991). *Calibration Chamber Testing, Proceedings Of The First International Symposium On Calibration Chamber Testing/Isocctl*, Potsdam, New York /28-29 June 1991.
- Houslsby, G.T. & Hitchman, R (1988), *Calibration Chamber Test of A Cone Penetrometer in Sand*, Géotechnique 38. No. 1, 39-44.

- Hencher, S. (2012) *Practical Engineering Geology*. Applied Geotechnics Vol.4, Spon Press pp 226-228.
- Hencher S.R., Martin RP (1982) *The description and classification of Weathered rocks in Hong Kong for engineering purposes*. Proceedings of the 7th South East Asian Geotechnical Conference: Vol.1 125-142.
- Hsu,H.H. & Huang, A.B. (1999) *Calibration of Cone Penetration Test in Sand*, Proc.Natl.Sci.Counc.ROC(A), Vol.23, No.5, 1999, pp.579-590.
- Iannacchione, A. and Vallejo, L. (2000) *Shear Strength Evaluation of Clay-Rock Mixtures*, Conference Paper · July 2000, DOI: 10.1061/40512(289)16 Conference: Geo-Denver2000.https://www.researchgate.net/publication/269131090_Shear_Strength_Evaluation_of_Clay-Rock_Mixtures).
- Irfan, T.Y. and Tang, K.Y. (1995), *Effect Of The Coarse Fractions On The Shear Strength Of Colluvium*, GEO Report No.23, Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, Hongkong.
- Janbu, Nilmar, *Soil Compressibility as Determined by Oedometer and Triaxial Test*, European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Wiesbaden, Germany, Vol. 1, pp. 19-25, 1963.
- Jefferies, M.G. (1988), "Determination of Horizontal Geostatic Stress in Clay with Self Bored Pressuremeter", Canadian Geotechnical Journal, Vol 25, p. 559-573.
- J. Biarez, (1988), *Using pressuremeter to obtain parameters to elastic-plastic models for sands*, Geotechnical Site Characterization, Robertson & Mayne (eds) © 1998 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054109394.
- K.H. Head, (1986), *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 2*, New York: Wiley.
- K.H. Head, (1986), *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 3*, New York: Wiley.
- Kondner, R. L., Zelasko, J. S., (1963) *A Hyperbolic Stress-Strain Formulation Of Sands*", Proceeding of the 2nd Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, Brazil.
- Yayong, I., dkk. (2014) *Shear Strength and Failure Characteristics Identification of Soil-Rock Mixture*, EJGE Vol. 19 [2014], Bund. W.
- Lindquist, E.S. (1994), *The Strength and Deformation Properties of Melange*; Ph.D. dissertation, University of California, Berkeley, (Dept.Civil Engineering); Distributed from Medley, E.W. with the permission of Dr.Eric S. Lindquist, P.E.
- Lindquist, R.S. & Goodman,R.E. (1994), *Strength and deformation properties of a physical model mélange*, Proceedings 1st North American Rock Mechanics Symposium, Austin, Texas, 843-858.

- Luis E. Vallejo, L. E., (2001) *Interpretation of the limits in shear strength in binary granular mixtures*, Canadian Geotechnical Journal · January 2011 Can. Geotech. J. 38: 1097–1104 DOI: 10.1139/cgj-38-5-1097.
- Medley, E.W., (1994), *The engineering characterization of melanges and similar block-in matrix rocks (bimrocks)*; Ph.D. dissertation, University of California at Berkeley; publ. University Microfilms International, UMI Dissertations Service, Ann Arbor, Michigan.
- Mecsi, J. (2013), *Geotechnical Engineering Examples and Solutions Using the Cavity Expanding Theory*, Hungarian Geotechnical Society, Hungary.
- Neumann, D.(1987) *Hyperbolic Soil Parameters For Granular Soils Driven From Pressuremeter Test For Finite Element Program*, Tesis Master of Arts in Civil Engineering, Portland State University.
- Putra, S. (2015) *Kajian Efek Boulder Pada Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Elemen Hingga Tiga Dimensi*, Skripsi UNPAR.
- Post, M.L., Smits, M.T.J.H., & Kolk, H.J. *Comparison of Cone Pressuremeter Data With Result From Other In-Situ And Laboratory Test*, Fugro engineering BV, Leidchendam, Netherlands.
- Rahardjo, P.P. (1989), *Evaluation of Liquefaction Potential of Silty Sand Based on Cone Penetration Test*, Ph.D. Dissertation, Virginia Polytechnics Institute and State University, U.S.A.
- Rahardjo, P.P., (2014) *Laporan Penyelidikan Tanah Proyek Jalan Tol Cikopo Palimanan (CIPALI)*; PT. Lintas Marga Sedaya, PT. Maratama Citra Mandiri dalam Final Report PT. GEC.
- R. Salgado, J. K. Mitchell and M. Jamiolkowski, (1998), *Calibration Chamber Size Effects On Penetration Resistance In Sand*, Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering / September 1998.
- R.P.Cunha (1988), *Quantification of the soil disturbance generated by self-boring pressuremeter*, Geotechnical Site Characterization, Robertson & Mayne (eds) ©1998 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054109394.
- Sugianto, A. (2016) *Analisis Kestabilan Lereng Pada Tanah Berbatu (Boulderly Soil)*, Tesis UNPAR.
- Sun Shaorui, Xu Penglei, (2014) *Strength parameter identification and application of soil-rock mixture for steep-walled talus slopes in southwestern China*. Bull Eng Geol Environ 73:123-140.
- Schnaid, F. (2009), *In Situ Testing in Geomechanics*, Taylor and Francis, London.

- Schnaid, F & Mantaras, F.M., *Assesment of Soil Properties in Cohesive-Frictional Material With Pressuremeter Test*, Geotechnical Site Characterization, Robertson & Mayne (eds) c 1998 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054109394.
- Tan, N.K. & Miller, G.A. *Pressuremeter Testing in a Calibration Chamber With Unsaturated Minco Silt*. Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, c 2005-2006 Millpres Science Publishers/IOS Press. Published with Open Access Under The Creative Commons BY-NC Licence by IOS Press. Doi: 10.3233/978-1-61499-656-9-755.
- Wang, J.-Y, Cao, W-G., Zhang, C. dan Wng,H.-P, (2013) *Large-scale direct shear tests on soil-rock aggregate mixture under complicated environment based on orthogonal design*. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 35(10):1849-1856.
- J.-Y. Wang ; W.-G. Cao ; Z.-M. Jiang ; Z.-P. Zhao (2016) *Large-scale triaxial tests on deformation and mechanical behavior of soil-rock aggregate mixture under different stress paths*.https://www.researchgate.net/publication/302196192_Large_scale_triaxial_test_study_on_deformation_and_intensity_characteristics_of_soil-rock_aggregate_mixture.
- Wen-Jie Xu, dkk., (2011), *Study on the shear strength of soil-rock mixture by large-scale direct shear test*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 48 (2011) 1235–1247.
- West, L.J., Hancher,S.R. & Cousens, T.C. (1992) *Assessing the stability of slopes in heterogeneously graded soils*, Proceedings 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, 1, 591-595.
- Xinhua, Y., (2001) *Stochastic Structure Model of the Earth-Rock Aggregate and Its Application* [Abstrak]. Beijing: Beijing Jiaotong University. (In Chinese).