

ANALISIS STABILITAS MENGGUNAKAN MODEL MATERIAL PERALIHAN TANAH-BATUAN

Putera Agung, M.A¹, Ardianto, A²

^{1,2}State Polytechnic of Jakarta, Civil Engineering Department, Jalan Prof. Dr.G.A. Siwabessy, 16424,
putera.agungmagung@sipil.pnj.ac.id

ABSTRACT

An analysis of stability needs to predict stress-strain values of soil, rock, and/or intermediate material (soil-rock) layers around the gate shaft during excavation works. Selection of stress-strain of intermediate material focussed on this paper will affect to the analysis result. This analysis concerned on some consideration to the selection the stress-strain parameters in determination of c' and ϕ' parameters. In excavation works, the parameters were applied to the stability analysis of gate shaft construction of dam construction. The stability analysis used a 2 D software of PLAXIS. Each condition of gate shaft was reinforcement and un-reinforcement wall types. From several analyses, the parameters of c' and ϕ' from stress-strain of soil was smaller than intermediate material.

Keywords: Cohesion; angle of internal friction, stress, strain, gate shaft.

ABSTRAK

Suatu analisis stabilitas perlu untuk memperkirakan besarnya tegangan-regangan tanah, batuan, dan atau lapisan material peralihan tanah-batuan (intermediate material) di sekitar lubang galian vertikal. Pemilihan tegangan-regangan dari material peralihan tanah-batuan yang difokuskan pada paper ini akan berpengaruh terhadap hasil analisis. Analisis ini memusatkan perhatian pada beberapa pertimbangan pemilihan parameter tegangan-regangan dalam analisis stabilitas saluran pengalihan vertikal pada konstruksi dam. Analisis stabilitas ini menggunakan software Plaxis 2 D (dimensi). Masing-masing tipe dinding saluran vertikal ini adalah dengan dan tanpa perkuatan tulangan. Dari beberapa analisis, parameter c' dan ϕ' dari tanah adalah lebih kecil dari material peralihan.

Kata kunci: Kohesi, sudut geser dalam, tegangan, regangan, saluran pengalihan vertikal.

PENDAHULUAN

Sistem perkuatan dinding lapisan tanah pada dinding saluran pengalihan vertikal (*gate shaft*) bergantung kepada model tegangan-regangan. Umumnya, desain sistem perkuatan adalah sangat bergantung kepada parameter c' and ϕ' dalam suatu analisis stabilitas dinding saluran pengalihan vertikal. Model tegangan-regangan tanah adalah sangat berbeda dengan batuan, sehingga sangat diperlukan usaha-usaha signifikan untuk mengadakan pendekatan terhadap pemilihan model tegangan-regangan yang merefleksikan dengan kondisi asli

lapisan tanah di lapangan (Atkinson & Bransby, 1978; Hoek-Brown, 1980).

Saat proses penggalian suatu struktur tanah dan atau batuan, dan material peralihan tanah-batuan (*intermediate material*) secara vertikal (*gate shaft*) diperlukan suatu sistem perkuatan agar lapisan tanah tidak runtuh atau longsor.

Paper ini khusus membahas pemilihan model *intermediate material* sebagai kriteria keruntuhan material peralihan tanah-batuan untuk menentukan stabilitas dinding *gate shaft* di lokasi pekerjaan penggalian Bendungan Jatigede. Adapun semua profil lapisan

intermediate material di lokasi studi Jatigede merupakan lapisan breksi (*breccia*) dan batulempung (*claystone*) yang terbungkus oleh lapisan pasir (*sand*) dan lempung (*clay*). Jenis lapisan tanah di lokasi penggalian vertikal merupakan lapisan-lapisan *intermediate material* yang mudah sekali rontok dan lapuk, sekalipun kelihatannya kokoh dan kaku saat proses penggalian. Ada beberapa teori yang digunakan untuk memprediksi tegangan-regangan pada lapisan tanah; batuan, dan peralihan material tanah-batuan. Model tegangan-regangan pada lapisan tanah umumnya adalah model Mohr-Coulomb untuk kondisi dengan pengaliran (*drained*), dan model Tresca untuk kondisi tanpa pengaliran (*undrained*). Namun, terdapat 2 (dua) teori yang penting di dalam menilai tegangan-regangan tanah pada saat keruntuhan tanah adalah teori batas kritis (*critical state*) dan keseimbangan batas (*steady state*). Model tegangan-regangan pada saat keruntuhan untuk lapisan batuan berperilaku daktal atau getas umumnya menggunakan Model Hoek-Brown kondisi elastis (perubahan volume) dan plastis (tanpa perubahan volume). Perbandingan tegangan-regangan saat keruntuhan antara model tanah dan pada model batuan terlihat dalam Gambar 1.

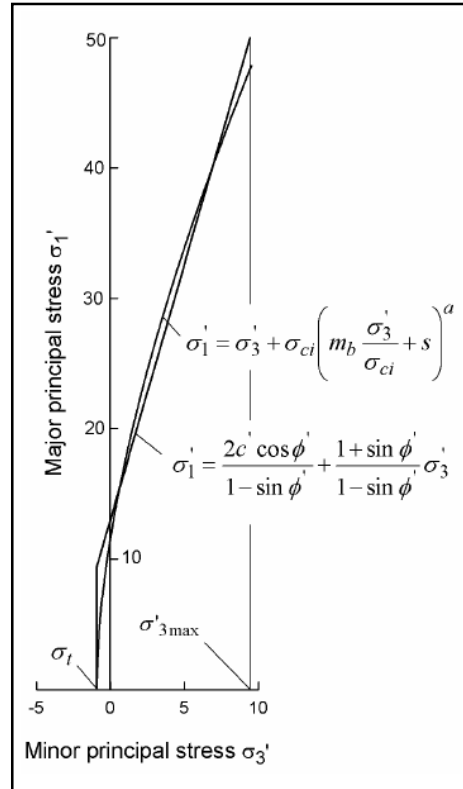
METODE PENELITIAN

Dari Gambar 1, parameter c' dan ϕ' dapat ditentukan untuk model *intermediate material* (tanah-batuan), dengan cara menyamakan parameter c' dan ϕ' menurut Kriteria Persamaan Hoek-Brown (batuan) dan Persamaan Mohr-Coulomb (tanah), sehingga diperoleh (Hoek, 1980):

$$c' = \frac{\sigma_{ci} [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma_{3n}'] (s+m_b\sigma_{3n}')} {(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{(6am_b(s+m_b\sigma_{3n}'))^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}} \tag{1}$$

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s+m_b\sigma_{3n}')^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s+m_b\sigma_{3n}')^{a-1}} \right] \tag{2}$$

dimana, $\sigma_{3n}' = \frac{\sigma_{3max}'}{\sigma_{ci}}$ (3)



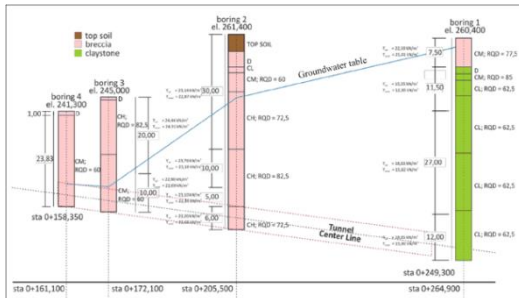
Gambar 1. Hubungan secara prinsipal antara tegangan mayor dan minor dalam model keruntuhan Mohr-Coulomb dan model Hoek-Brown (1980).

σ_{3max} adalah batas atas tegangan terkekang (*confining stress*) yang ditentukan oleh hubungan Mohr-Coulomb dan Hoek-Brown. Dengan demikian jelas, bahwa σ_{3max} dari Hoek-Brown dan Mohr-Coulomb merupakan lapisan dasar galian. Selanjutnya dari Gambar 1, nilai-nilai c' and ϕ' diperoleh dapat ditentukan berdasarkan interval $\sigma_t < \sigma_3 < \sigma_{ci} / 4$:

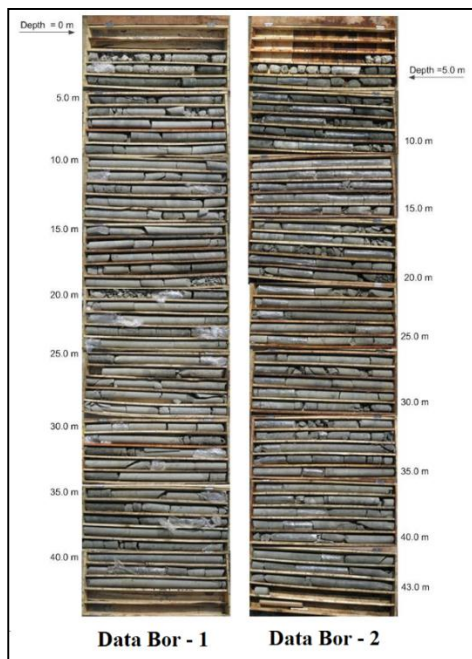
$$\sigma_{cm}' = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)} \tag{4}$$

Dari laporan geologi gate shaft dan terowongan power waterway, profil lapisan *intermediate material* diperlihatkan Gambar 2.

Lapisan breksi berasal dari lapisan bawah formasi geologi Halang. Sedangkan untuk lapisan batulempung adalah berasal dari lapisan atas formasi geologi Halang dan Cinambo (SMEC, 1974). Batuan dasar terdiri dari lapisan batulempung, breksi vulkanik dan breksi lokal tufaan atau lapisan tufaan lapilli. Lapisan-lapisan *intermediate material* ini telah diklasifikasikan berdasarkan beberapa referensi, seperti: Terzaghi (1946), Lauffer (1958), Deere et al., 1967); Bieniawski (1974, 1989); Singh & Goel (1999), Barton (1974), dan Carter (1992). Data hasil bor untuk lapisan *intermediate material* ini diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 2. Profil lapisan *intermediate material* (lapisan breksi, batulempung terbungkus lapisan pasir dan lempung)



Gambar 3. Data bor tipikal

Parameter input untuk *intermediate material* pada Software PLAXIS 2 D (2007) ditentukan berdasarkan nilai-nilai RQD (*rock quality designation*) berdasarkan sistem klasifikasi Deere (1967), diperlihatkan dalam Tabel 1. Tabel 2 menunjukkan perkiraan nilai sifat kekuatan mekanik lapisan *intermediate material* di lokasi Jatigede. Sebagai pembanding, digunakan standar SMEC – Australia (2011) untuk menentukan parameter yang mendekati dengan *intermediate material* kondisi eksisting sebagaimana terlihat Tabel 3.

Table 1. Nilai RQD

BH – 1		BH – 3	
D (m)	RQD %	D (m)	RQD %
3.7 – 43	40 – 80 (buruk)	3.7 – 43	40 – 80 (buruk)

Table 2. Sifat mekanik dan kekuatan geser dari *intermediate material*

Kelas	E_m (kgf/cm ²)	E (kgf/cm ²)	V_s (km/sec)
CH	$2.0 \cdot 10^4$	$6.0 \cdot 10^4$	2.5
CM	$8.0 \cdot 10^3$	$2.4 \cdot 10^4$	1.8
CL	$4.0 \cdot 10^3$	$1.2 \cdot 10^4$	1.5
D	$2.0 \cdot 10^3$	$6.0 \cdot 10^3$	1.2

Kelas	Kuat geser		qu (kgf/cm ²)
	c'	ϕ' (°)	
CH	20	45	> 500
CM	10	35	100 – 500
CL	8	30	40 – 100
D	5	28	20 – 40

Table 3. Karakteristik *intermediate material* (SMEC-Australia, 2011)

Tipe Struktur	Tipe material	Tebal (m)	W (kN/m ²)	K_s	ϕ' (deg)	c' (kPa)	E (Mpa)	ν
Dinding galian stasion tenaga listrik	Batulempung buruk	25	20	2.0	26	50	20	0.33
	Batulempung lebih baik	55	21	2.0	30	150	200	0.33

Koefisien permeabilitas untuk lapisan *intermediate material* di lokasi diambil

berdasarkan data hasil uji permeabilitas lapangan yaitu (k) $\approx 1.574.10^{-5}$ m/day.

Selanjutnya, data input software PLAXIS 2 D untuk sistem perkuatan tanah (*ground improvement*) pada breksi vulkanik dan batulempung menggunakan pendekatan (sistem-Q) dari Grimstad & Barton (1993). Untuk sistem perbaikan tanah lainnya adalah menggunakan beton tembak (*shotcrete*); baut batuan (*rockbolt*); pelapisan beton (*concrete collar*); dan sistem injeksi (*grouting*). Geometris dalam analisis software PLAXIS 2 D adalah model sumbu simetris sama dengan jumlah nodal dalam 1 (satu) elemen. Lapisan atas breksi vulkanik adalah 5 hingga 7 m, diikuti lapisan batulempung 47 m. Lebar penampang penggalian secara adalah 61 m dengan ketinggian 55 m.

HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil analisis PLAXIS 2 D terdiri dari metode dengan proses penggalian tanpa dan dengan sistem perkuatan (*ground improvement*), yaitu:

1. Tanpa perkuatan hingga proses penggalian 45 m

Tabel 4 menunjukkan data hasil pergerakan (*displacement*) total, arah vertikal, dan arah horizontal. Tabel 5 dan 6 menunjukkan tegangan total (*total stress*) dan efektif (*effective stress*).

Tabel 4. Pergerakan dinding galian

Pergerakan	Sisi kiri	Sisi kanan
Total (mm)	440,44	187,53
Vertikal (mm)	440,35	152,51
Horizontal (mm)	209,65	182,10

Tabel 5. Tegangan total

Tegangan total	Sisi kiri	Sisi kanan
σ_{\max} (kN/m ²)	974,36	895,89

F_{eq} kN/rad)	340,24.10 ³	501,07.10 ³
Posisi _(max) (m)	24,87/14,66	36,23/14,98

Tabel 6. Tegangan efektif

Tegangan total	Sisi kiri	Sisi kanan
σ_{\max} (kN/m ²)	356,58	373,69
F_{eq} kN/rad)	278,24.10 ³	333,96.10 ³
Posisi _(max) (m)	24,83/19,45	36,24/18,77

2. Dengan perkuatan hingga proses penggalian 45 m

Tabel 7 menunjukkan data hasil pergerakan (*displacement*) total, arah vertikal, dan horizontal. Tabel 8 dan 9 menunjukkan tegangan total (*total stress*) dan efektif (*effective stress*).

Tabel 7. Pergerakan dinding galian

Pergerakan	Sisi kiri	Sisi kanan
Total (mm)	249,98	165,91
Vertikal (mm)	249,98	165,90
Horizontal (mm)	77,71	106,46

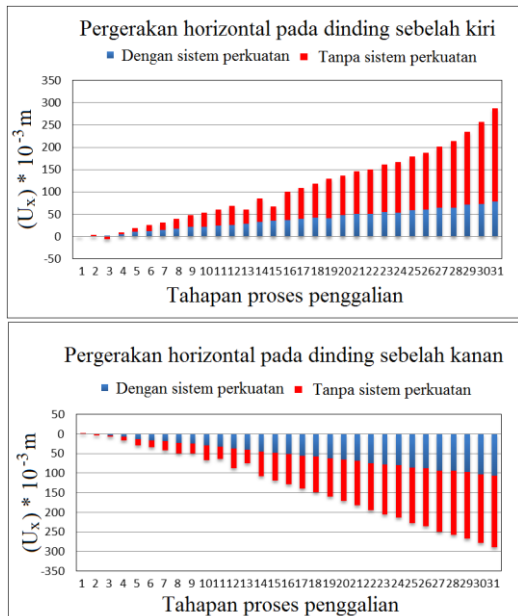
Tabel 8. Tegangan total

Tegangan total	Sisi kiri	Sisi kanan
σ_{\max} (kN/m ²)	872,42	979,61
F_{eq} (kN/rad)	586,36.10 ³	693,66.10 ³
Posisi _(max) (m)	24,87/14,66	36,23/14,98

Tabel 9. Tegangan efektif

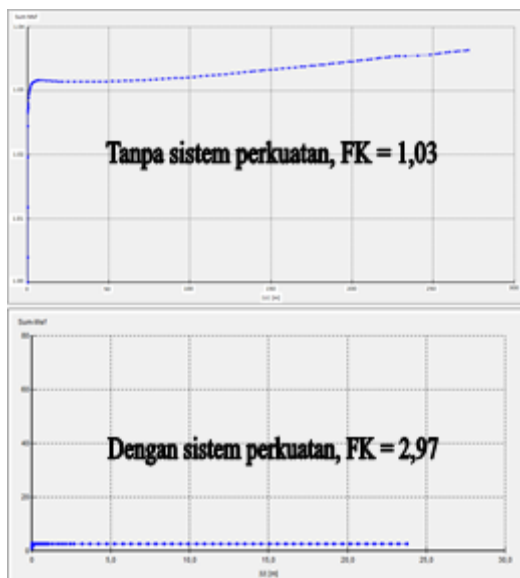
Tegangan total	Sisi kiri	Sisi kanan
σ_{\max} (kN/m ²)	401,08	379,96
F_{eq} (kN/rad)	305,48.10 ³	244,0.10 ³
Posisi _(max) (m)	36,17/19,56	24,68/20,28

Perbandingan antara pergerakan horizontal tanpa dan dengan perkuatan selama proses penggalian berlangsung diperlihatkan di dalam Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan pergerakan horizontal

Gambar 5 menunjukkan besarnya faktor keamanan selama proses penggalian.



Gambar 5. Perbandingan angka/faktor keamanan (FK) antara tanpa dan dengan sistem perkuatan selama proses penggalian berlangsung

Dari aplikasi software PLAXIS 2 D pergerakan horizontal sebelah kiri jauh lebih besar daripada sebelah kanan selama proses penggalian berlangsung dengan menggunakan model tegangan-regangan untuk *intermediate material*. Umumnya, pergerakan horizontal yang

besar disebabkan oleh lapisan batulempung. Untuk lapisan-lapisan breksi vulkanik, pergerakan yang terjadi umumnya lebih kecil dari batulempung.

Beberapa sistem perkuatan yang digunakan di dalam analisis stabilitas menghasilkan angka keamanan yang jauh lebih besar dari tanpa sistem perkuatan. Pemilihan model analisis stabilitas Agar lebih ekonomis bisa dipilih sistem injeksi (*grouting*), dimana menghasilkan angka keamanan (FK) antara 1,20 hingga 1,30.

KESIMPULAN

Dari analisis stabilitas dengan menggunakan model *intermediate material*, ternyata hasil-hasil deformasi dan tegangan efektif maksimum berada dalam rentang antara tanah (Mohr-Coulomb) dan batuan (Hoek-Brown). Deformasi yang terjadi pada model tanah adalah lebih kecil daripada model *intermediate material*, demikian sebaliknya deformasi yang terjadi pada model *intermediate material* adalah jauh lebih kecil daripada model untuk batuan. Hal ini disebabkan oleh tekanan air pori pada model Mohr-Coulomb tidak terjadi sama sekali saat kondisi pembebanan tanpa pembebanan. Selain itu, analisis plastis dalam PLAXIS 2 D tidak mempertimbangkan perubahan volume dan disipasi tekanan air pori. Sebagaimana diketahui bahwa proses konsolidasi dan atau rembesan air tanah sesuai dengan tekanan air pori yang terjadi akan berubah seiring dengan waktu. Selanjutnya, dengan adanya perubahan volume akibat konsolidasi atau efek mengembang lapisan tanah akan mempengaruhi besarnya tegangan efektif pada tanah. Dengan demikian, model Mohr-Coulomb dan Hoek-Brown tidak dapat digunakan sepenuhnya, kecuali model *intermediate material*.

DAFTAR PUSTAKA

- York: Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs.
- [1] Atkinson, J.H., Bransby, P.L. 1978, *The Mechanics of Soil, An Introduction to Critical State Soil Mechanics*, McGraw-Hill, London.
- [2] Brinkgreve, R. B. 2007. *Manual Plaxis (Indonesia)*. Belanda: Plaxis B.V.
- [3] Brady, B. H., & Brown, E. T. 2004. *Rock Mechanics*. New York: Springer.
- [4] Bieniawski, Z.T. 1976. *Rock mass classification in rock engineering*. In Exploration for rock engineering, proc. of the symp., (ed. Z.T. Bieniawski) 1, 97-106. Cape Town: Balkema.
- [5] Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley.
- [6] Barton, N. R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. *Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support*. *Rock Mech.* 6(4), 189-239
- [7] Carter, T. G. 1992. *A new approach to surface crown pillar design*. Proc. 16th. Canadian Rock Mechanics Symposium, Sudbury, 75-83.
- [8] Carter, T. G. 1992. *Prediction and uncertainties in geological engineering and rock mass characterization assessments*. Proc. 4th. int. rock mechanics and rock engineering conf., Torino. Paper 1.
- [9] Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D. and Cording, E.J. 1967. *Design of surface and near surface construction in rock*. In *Failure and breakage of rock*, proc. 8th U.S. symp. rock mech., (ed. C. Fairhurst), 237-302. New
- [10] Grimstad, E. and Barton, N. 1993. *Updating the Q-System for NMT*. Proc. int. symp. on sprayed concrete -modern use of wet mix sprayed concrete for underground support, Fagernes. 46-66. Oslo: Norwegian Concrete Assn.
- [11] Hoek, E. and Brown, E.T. 1980. Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Engng Div., ASCE 106 (GT9)*, 1013-1035.
- [12] Lauffer, H. 1958. Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau. *Geol. Bauwesen 24(1)*, 46-51.
- [13] SMEC, 1974. *Geological Map of Jatigede Dam and Surround*, Kementerian Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Balai Besar Wilayah Sungai Cimanuk-Cisanggarung, Sumedang.
- [14] SMEC, 2011. *Manual for Geotechnical and Preliminary Environmental Site Assessment* (Special Report), Australia.
- [15] Singh, B. and Goel, R.K. 1999. *Rock mass classification*, Elsevier Science Ltd., pp. 34-39.
- [16] Terzaghi, K. 1946. *Rock defects and loads in tunnel supports. Rock tunneling with steel supports*. R.V. Proctor and T.L. White, eds., The Commercial Shearing and Stamping Co., Youngstown, Ohio, 17-99.