

SIFAT-SIFAT GEOTEKNIK BAHAN TIMBUNAN INTI KEDAP AIR BENDUNGAN BATUTEGI

Didiek Djarwadi

PT. Pamapersada Nusantara, Jakarta

Abstract

Soil was already widely used as watertight materials in the embankment dam engineering, whereas, the selection and treatment (compaction) will influenced the geotechnical properties. As a watertight material the soil used should be impermeable for controlling seepage and have sufficient shear strength for controlling stability

The aim of this research was to analyze the soil laboratory test results of core embankment materials obtained during the soil investigation and the construction stages of the Batutege dam, a 125 meter in height of earth-rockfill dam in Lampung, Indonesia. The research analyzed the geotechnical parameters and the interrelations of the geotechnical parameters in order to indicate the geotechnical properties of the core embankment materials. The evaluation of the geotechnical parameters from the soil laboratory tests indicated that in term of density, permeability, swelling characteristic, compressibility as well as the strength, the core materials used at Batutege dam meets the requirement as watertight materials in the embankment dam engineering.

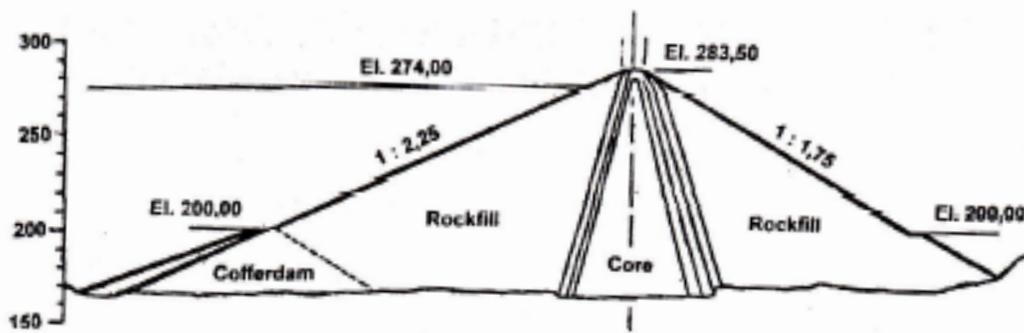
Keywords: *geotechnical properties, embankment dam, watertight materials.*

Pengantar

Bendungan Batutege adalah bendungan tipe urugan batu (*rockfill dam*) yang dilaksanakan pada hulu sungai Way Sekampung di Lampung. Tinggi maksimum bendungan adalah 125 meter diatas fondasi terdalam. Timbunan bendungan terdiri dari 3 jenis bahan timbunan, yaitu: inti kedap air (*core*), *filter* dan timbunan batu (*rockfill*). Volume timbunan inti kedap air (*core*) dan *filter* adalah 2.089.100 m³, sedangkan volume *rockfill* dan zona transisi dan rip-rap adalah 7.462.100 m³. Bahan timbunan *core* adalah *sandy clay with low to high plasticity*, Potongan melintang tipikal bendungan Batutege dapat dilihat pada gambar 1.

Penelitian pada bahan timbunan *core* bendungan Batutege akan dilakukan pada tanah ϕ -c, yaitu tanah yang mengandung lempung dan butiran kasar, pada kondisi tidak jenuh (*unsaturated*), dan pada kondisi dipadatkan. Selain parameter geoteknik yang dihasilkan langsung dari pengujian di laboratorium tanah, beberapa parameter geoteknik akan diperoleh dari hubungan antar parameter tersebut (*interrelation of the geotechnical parameters*).

Penelitian dalam bidang ini antara lain telah dilakukan oleh: Djarwadi (1990) yang meneliti sifat-sifat geoteknik tanah tropis di pulau Batam untuk bahan timbunan bendungan. Vargas dan Hsu (1976) meneliti beberapa bahan timbunan untuk bendungan tipe urugan tanah (*earthfill dams*) di Brazil. Vargas (1990) meneliti hubungan antara aktivitas tanah dengan klasifikasi tanah-tanah tropis. Vijayvergriya dan Gassaley (1973) memprediksi nilai *swelling pressure* berdasarkan hubungan antara *swell index* dengan batas cairnya (*LL*). Djoenaidi (1985) meneliti hubungan antara indeks kompresi (*C_v*) dengan batas cair (*LL*), angka pori awal (*e₀*), dan kadar air asli beberapa jenis lempung. Mesri dan Abdul Gaffar (1993) meneliti hubungan antara sudut gesek dalam tanah (ϕ') dengan dengan indeks plastisitas (*PI*). Lambe dan Whitman (1979) meneliti hubungan antara angka pori dengan sudut gesek dalam (ϕ) beberapa jenis tanah dan memperoleh suatu kecenderungan bahwa apabila angka pori suatu tanah naik, maka sudut gesek dalamnya akan turun. Rowe (1969) dan Kulhawy dan Mayne (1990) meneliti hubungan antara sudut gesek dalam yang diperoleh dari pengujian-pengujian *direct shear* dan *triaxial*.



Gambar 1. Potongan melintang tipikal bendungan Batutege

Cara Penelitian

Semua pengujian di laboratorium tanah dilaksanakan dengan mengacu pada metoda dan prosedur ASTM (*American Society for Testing Materials*). Penelitian terhadap hubungan antar parameter geoteknik yang dihasilkan dari pengujian di laboratorium akan dilaksanakan untuk mendapatkan sifat-sifat geoteknik dari bahan timbunan *core* bendungan Batutege, dan kecenderungan dari hubungan antar parameter geoteknik tersebut untuk dapat mengetahui pengaruh naik-turunnya nilai parameter geoteknik terhadap bahan timbunan *core*. Uji kimiawi dan difraksi sinar-x (*x-ray diffraction*) dari bahan timbunan *core* bendungan Batutege dilakukan untuk mengetahui mineral yang terdapat dalam bahan timbunan tersebut.

Penelitian terhadap gradasi bahan timbunan dan parameter kepadatan bahan timbunan *core* dilakukan untuk mengetahui batas-batas gradasi dan berat volume kering maksimum ($\gamma_{d,max}$) serta kadar air optimum (w_{opt}) untuk memilih tanah yang layak dipergunakan sebagai bahan timbunan *core*.

Penelitian terhadap hubungan antar parameter geoteknik (*interrelation of the geotechnical parameters*) bahan timbunan *core* bendungan batutege akan dilakukan antara lain pada:

a) hubungan antara aktivitas tanah (A) dengan batas-batas Atterberg untuk mengetahui tingkat kemampuan tanah menyerap air, dan klasifikasinya sebagai tanah tropis, dan prediksi kandungan mineral lempungnya (Vargas 1990).

- b) Hubungan antara *swell index* dengan batas cair untuk mengetahui tingkat *swell pressure*nya (Vijayvergiya dan Gassaley, 1973).
- c) Hubungan antara indeks kompresi (C_c) kadar air maksimum (w_{opt}) dan angka pori awalnya (e_a).
- d) Hubungan antara permeabilitas tanah (k) dengan angka pori dan kadar lempungnya.
- e) Hubungan antara sudut gesek dalam efektif (ϕ') dengan angka pori dan kadar lempungnya.
- f) Hubungan antara sudut gesek dalam efektif (ϕ') yang diperoleh dari pengujian *direct shear* dan *triaxial*.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil analisa kimiawi bahan timbunan *core* bendungan Batutege menunjukkan bahwa unsur silia (*silica oxide* = SiO_2) mendominasi komposisi kimiawi bahan timbunan bendungan Batutege dengan persentase sebesar 68,35%, sedangkan persentase yang hilang akibat pemijaran (*loss on ignition*) adalah sebesar 8,07%.

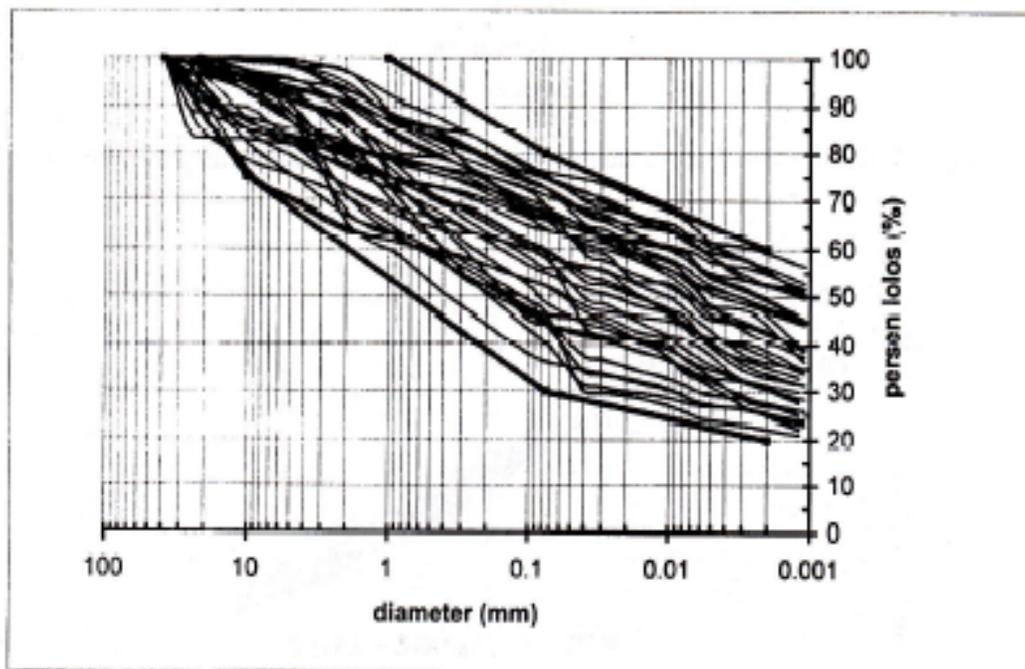
Pada pengujian difraksi sinar-x, contoh bahan timbunan *core* bendungan Batutege yang di uji adalah partikel/butiran tanah yang lolos saringan no:200 (diameter < 0,075 mm) dengan tidak mendapatkan *treatment*, baik berupa pemanasan atau *reagent* kimia. Dari hasil pengujian diperoleh informasi bahwa mineral lempung yang dominan pada bahan timbunan *core* bendungan Batutege adalah *quartz* (SiO_2) dan *kaolinite* ($Al_2SiO_5(OH)_4$). Hasil tes difraksi sinar-X menunjukkan adanya kesesuaian dengan hasil pengujian komposisi kimiawi yang menyatakan bahwa unsur SiO_2 adalah unsur yang dominan dalam komposisi kimiawi bahan timbunan *core* bendungan Batutege.

Pengujian gradasi tanah dilakukan dengan referensi ASTM D 422-90. Dari hasil pengujian gradasi yang dilakukan terhadap bahan timbunan *core* bendungan Batutegi dapat digambarkan hubungan antara butiran tanah dengan persentase tanah yang lolos dari saringan tertentu, seperti terlihat pada gambar 2. Batas-batas atas dan bawah dari bahan inti kedap air yang disyaratkan dapat pula digambarkan untuk mengontrol gradasi bahan timbunan tersebut.

Dari hasil penelitian tentang gradasi bahan timbunan *core* bendungan Batutegi seperti

terlihat pada gambar 2, beberapa hal dapat disampaikan antara lain:

- diameter maksimum bahan timbunan *core* bendungan Batutegi yang diperoleh dari *borrow area* adalah 38,1 mm.
- kadar lempung (*clay content*) bahan timbunan *core* bendungan Batutegi berkisar antara 20% sampai 60%
- persentase butiran yang lolos saringan no:200 (diameter < 0,075 mm) berkisar antara 35% sampai 75%. Hal ini kisaran yang disarankan oleh Fell dkk (1992).



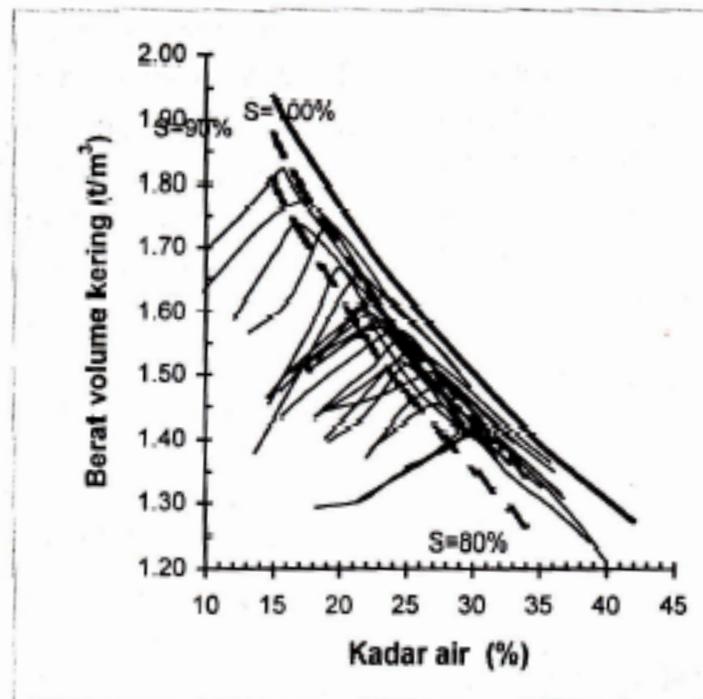
Gambar 2. Gradasi bahan timbunan *core* bendungan Batutegi

Sesuai dengan persyaratan, uji pemadatan di laboratorium dilaksanakan dengan *compaction energy* 1 Standard Proctor Compaction (ASTM D698-91, procedure B), dimana <20% berat tanah tertinggal pada saringan 3/8", dan >20% berat tanah lolos saringan no: 4 (diameter = 4,75 mm). Kisaran kadar air optimum (w_{opt}) dan berat volume kering maksimumnya ($\gamma_{d,max}$) yang disyaratkan untuk bahan timbunan *core* bendungan Batutegi adalah 19% sampai dengan 29%, dan antara 1,40 ton/m³ sampai dengan 1,75 ton/m³. Gambar 3 menunjukkan beberapa hasil uji pemadatan bahan timbunan *core* bendungan Batutegi yang gradasi tanahnya sesuai dengan persyaratan dan masuk di dalam batas-batas yang terdapat pada gambar 2, dan letak garis 80%, 90% dan 100% *degree of saturation* untuk

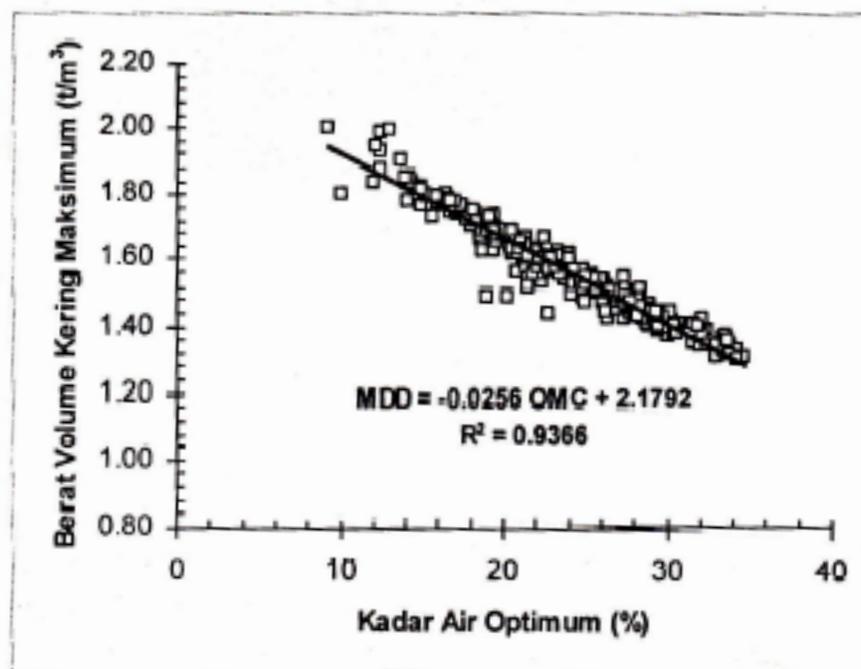
bahan timbunan *core* bendungan Batutegi dengan berat spesifik rata-rata 2,667. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kepadatan maksimum hasil uji pemadatan bahan timbunan *core* bendungan Batutegi mempunyai derajat kejenuhan (*degree of saturation*) antara 80% dan 90%.

Apabila hubungan antara kadar air optimum (w_{opt}) dan berat volume kering maksimum ($\gamma_{d,max}$) dari hasil uji pemadatan dibuat dalam suatu grafik, maka akan diperoleh suatu hubungan seperti terlihat pada gambar 4. Pada gambar tersebut, terlihat bahwa hubungan antara berat volume kering maksimum ($\gamma_{d,max}$) dengan kadar air optimumnya (w_{opt}) membentuk suatu kelompok yang rapat, yang dapat diwakili dengan persamaan garis lurus sebagai berikut:

$$MDD = -0,0256 OMC + 2,1792 \quad (1)$$



Gambar 3. Hasil pengujian pemadatan bahan timbunan *core* bendungan Batutege.



Gambar 4. Hubungan berat kering maksimum dengan kadar air optimum bahan timbunan *core* bendungan Batutege

Hal ini mencerminkan bahwa bahan timbunan *core* bendungan Batutege, adalah suatu jenis tanah yang berasal dari suatu proses pembentukan (dalam hal ini proses pelapukan) dan batuan induk yang sama.

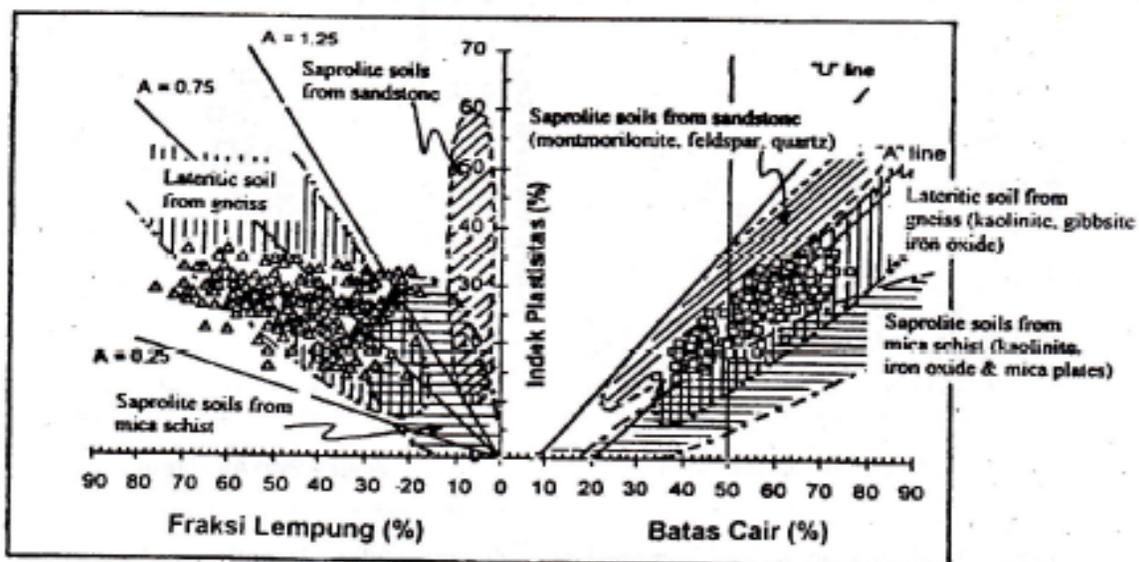
Aktivitas tanah dapat diperoleh dari hubungan antara persentase lempung (*clay content*) dalam massa tanah dengan indeks plastisitasnya. Gambar 5 menunjukkan aktivitas

bahan timbunan *core* bendungan Batutege dihubungkan dengan grafik Casagrande, seperti yang dilakukan oleh Vargas (1990). Dari gambar tersebut terlihat bahwa sebagian besar bahan timbunan *core* bendungan Batutege mempunyai aktivitas antara 0,25 sampai dengan 0,75, sebagian kecil mempunyai aktivitas antara 0,75 sampai dengan 1,25, dan beberapa hasil pengujian menunjukkan aktivitas >1,25.

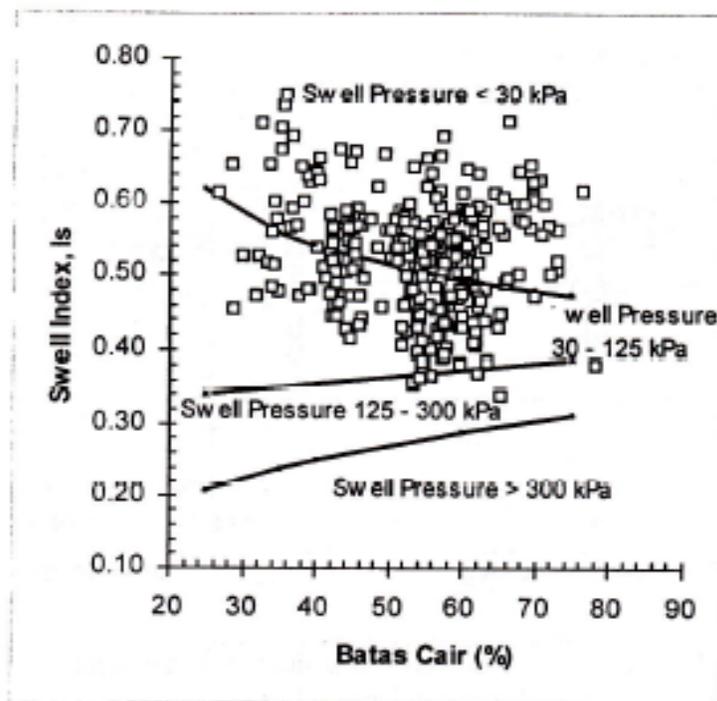
Dengan mengabaikan hasil pengujian yang mempunyai aktivitas $>1,25$, hal ini menunjukkan bahwa aktivitas bahan timbunan *core* bendungan Batutege termasuk dalam katagori rendah sampai sedang, sehingga layak dipergunakan sebagai bahan timbunan *core* suatu bendungan tipe urugan.

Vijayvergiya dan Ghassaley (1973) memberikan alternatif memprediksi besaran *swelling pressure* berdasar pada hubungan antara *swell index* dengan batas cairnya.

Gambar 6 menunjukkan nilai *swelling pressure* bahan timbunan *core* bendungan Batutege pada table Vijayvergiya dan Ghassaley (1973). Pada gambar 6, dengan mengabaikan beberapa data, terlihat bahwa nilai *swelling pressure* bahan timbunan *core* bendungan Batutege < 125 kPa. Hal ini mencerminkan bahwa tekanan tanah akibat pengembangan (*swelling*) untuk bahan timbunan *core* bendungan Batutege adalah rendah, sehingga bahan tersebut layak dipergunakan sebagai bahan timbunan *core* bendungan tipe urugan.



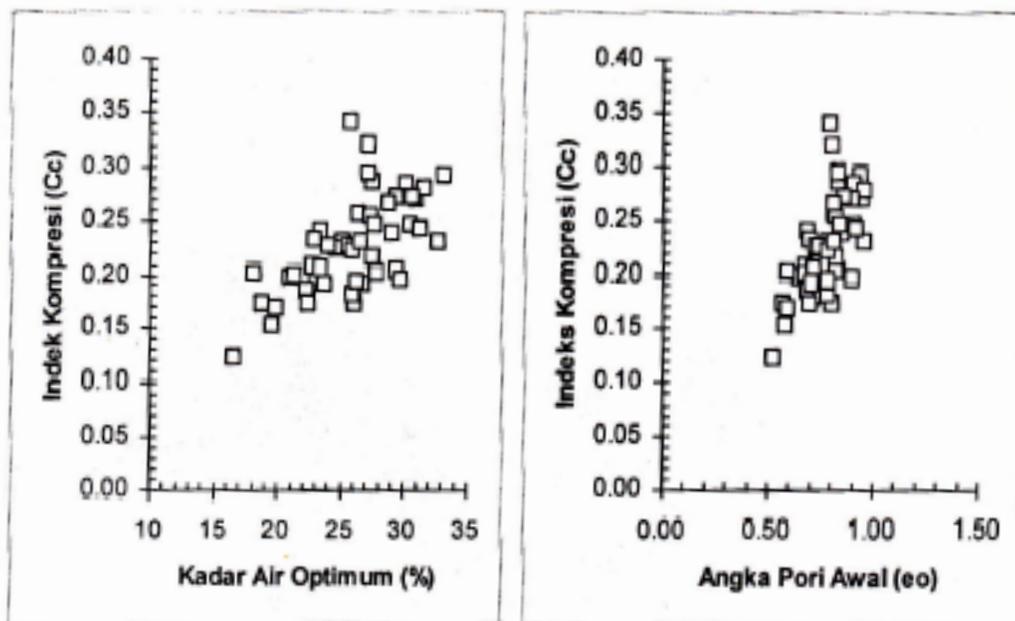
Gambar 5. Posisi bahan timbunan *core* bendungan Batutege pada grafik Vargas (1990)



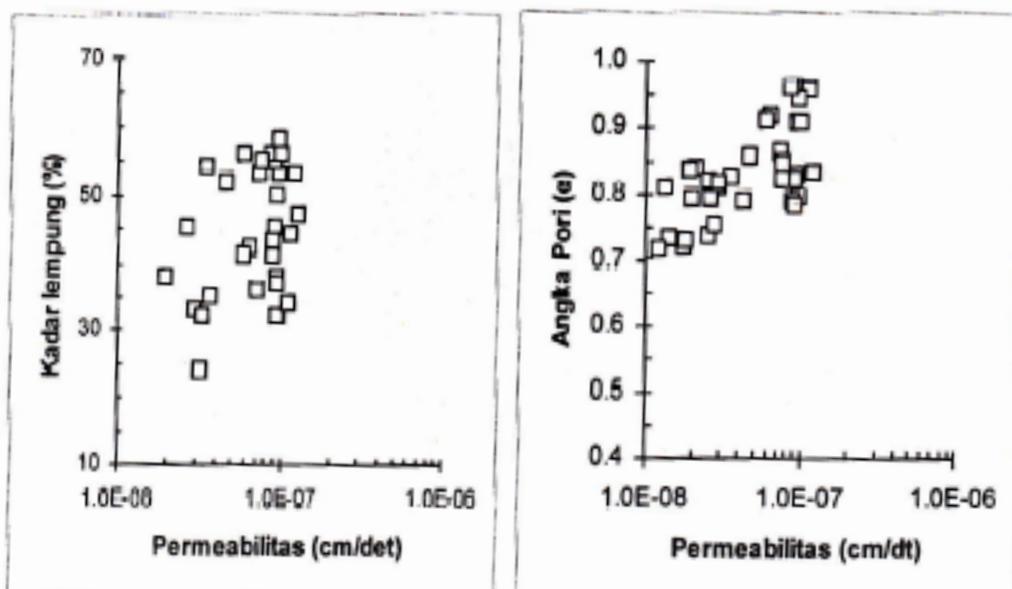
Gambar 6. *Swelling pressure* bahan timbunan *core* bendungan Batutege

Indeks Kompresi (C_c) diperoleh dari pengujian konsolidasi dengan referensi ASTM D-2435-90. Gambar 7 menunjukkan hubungan antara indeks kompresi (C_c) dengan kadar air optimum dan angka pori awalnya (e_o) bahan timbunan *core* bendungan Batutegi. Dari grafik-grafik tersebut terlihat suatu kecenderungan bahwa apabila kadar air optimum (w_{opt}) dan angka pori awal (e_o) naik, maka indeks kompresinya (C_c) juga naik.

Uji permeabilitas di laboratorium tanah dilaksanakan dengan metoda *constant-head*, dengan referensi ASTM D 2434-90. Dari hubungan permeabilitas dengan kadar lempung dan angka pori untuk bahan timbunan *core* bendungan Batutegi, diperoleh suatu kecenderungan bahwa permeabilitas akan membesar apabila kadar lempung naik, atau angka porinya naik, seperti terlihat pada gambar 8.



Gambar 7. Hubungan indeks kompresi (C_c) dengan kadar air optimum (w_{opt}) dan angka pori awal (e_o) bahan timbunan *core* bendungan Batutegi



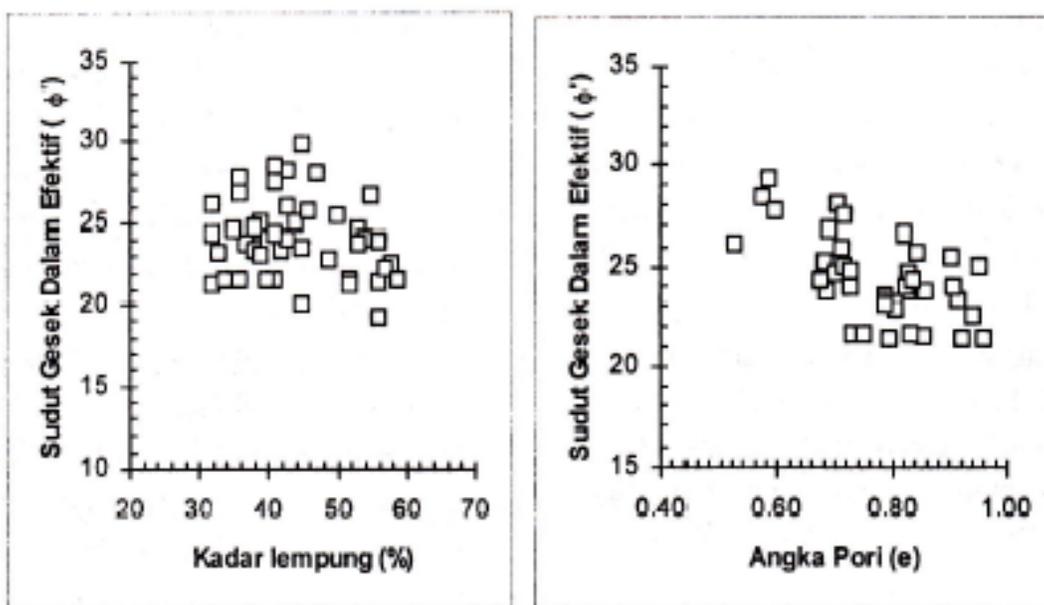
Gambar 8. Hubungan antara permeabilitas dengan kadar lempung dan angka pori bahan timbunan *core* bendungan Batutegi.

Sudut gesek dalam effective (ϕ') diperoleh dari pengujian *triaxial* pada kondisi *consolidated undrained* yang dilaksanakan dengan referensi ASTM D 4767-95. Hubungan antara sudut gesek dalam (ϕ') bahan timbunan *core* bendungan Batutegi dengan kadar lempung dan angka porinya ditunjukkan pada gambar 9.

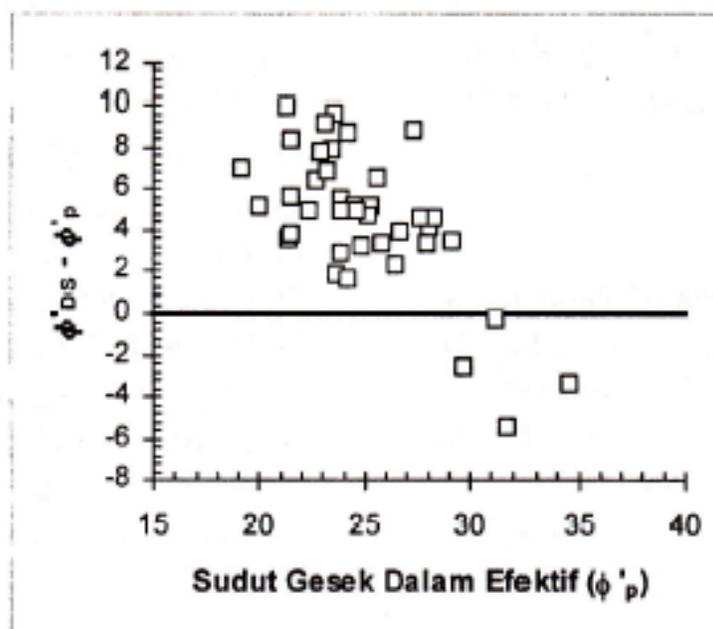
Beberapa peneliti seperti: Rowe (1969), dan Kulhawy dan Mayne (1990) membuat perbandingan antara sudut gesek dalam efektif (ϕ') yang diperoleh dari pengujian *direct shear* dan pengujian *triaxial*. Dari penelitian mereka diperoleh suatu korelasi, bahwa pada sudut gesek dalam efektif dari pengujian *triaxial* (ϕ'_p)

yang kecil, akan diperoleh sudut gesek dalam dari pengujian *direct shear* (ϕ'_{DS}) cenderung lebih besar ($\phi'_{DS} > \phi'_p$), tetapi pada sudut gesek dalam efektif dari pengujian *triaxial* yang besar, akan diperoleh sudut gesek dalam dari pengujian *direct shear* yang cenderung lebih kecil ($\phi'_{DS} < \phi'_p$).

Pada penelitian pada bahan timbunan *core* bendungan Batutegi, diperoleh suatu kecenderungan yang sama yaitu bahwa: pada sudut gesek dalam efektif (ϕ'_p) $< 30^\circ$, maka diperoleh nilai (ϕ'_{DS}), yang lebih besar ($\phi'_{DS} > \phi'_p$), tetapi pada gesek dalam efektif (ϕ'_p) $> 30^\circ$, maka diperoleh nilai (ϕ'_{DS}), yang lebih kecil ($\phi'_{DS} < \phi'_p$). Gambar 10 memperlihatkan kecenderungan tersebut diatas.



Gambar 9. Hubungan sudut gesek dalam (ϕ') dengan kadar lempung dan angka pori (e) untuk bahan timbunan *core* bendungan Batutegi



Gambar 10. Hubungan antara sudut gesek dalam efektif dari hasil tes *triaxial* (ϕ'_p) dengan tes *direct shear* (ϕ'_{DS}) untuk bahan timbunan *core* bendungan Batutegi

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal yang menyangkut sifat-sifat geoteknik bahan timbunan inti kedap air (*core*) bendungan Batutege yang diperoleh dari pengujian analisa kimiawi, difraksi sinar-x, scanning electron microscope, pengujian di laboratorium tanah, serta hubungan antar parameter geoteknik yaitu:

- Bahan timbunan *core* bendungan Batutege adalah tanah laterit (*lateritic soil*) dengan unsur kimiawi utama Silika Dioksida (SiO_2), dan mineral lempungnya adalah kaolinit ($\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$) dan quartz (SiO_2).
- Bahan timbunan *core* bendungan Batutege mempunyai *swell pressure* $< 125\text{kPa}$.
- Bahan timbunan *core* bendungan Batutege mempunyai kadar lempung (*clay content*) antara 20% sampai 60%, dan persentase butiran yang lolos saringan no:200 ($\phi < 0,075\text{ mm}$) antara 35% sampai dengan 75%
- Bahan timbunan *core* bendungan Batutege mempunyai Indeks Kompresi (C_c) antara 0,15 sampai 0,26, pada angka pori awal (e_0) antara 0,53 sampai dengan 0,96, dan pada kadar air optimum (w_{opt}) antara 16% sampai 34%.
- Bahan timbunan *core* bendungan Batutege mempunyai nilai permeabilitas antara $2 \times 10^{-8}\text{ cm/det}$ sampai dengan $1,2 \times 10^{-7}\text{ cm/det}$.
- Bahan timbunan *core* bendungan Batutege mempunyai nilai sudut gesek dalam efektif (ϕ') antara 22° sampai 27° .

Daftar Pustaka

- Djarwadi, D., 1990, Geotechnical Properties of Tropical Clay at Batam Island, Indonesia. *Proc 2nd International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Vol II*. A.A.Balkema, Rotterdam, pp 545-547.
- Djoenaidi, W.J., 1985, *A Compendium of Soil Properties and Correlations*, Master of Engineering Science Thesis, School of Civil and Mineral Engineering, University of Sydney, Sydney, Australia.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, P., 1992, *Geotechnical Engineering of Embankment Dams*. A.A Balkema. Rotterdam. pp 457-477.
- Kulhawy, F.H. and Mayne, P.W., 1990, *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*, Report EL-9800 to Electric Power research Institute, Cornell University, Ithaca, New York.
- Lambe, T.W. and Whitman, R.V., 1979, *Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, New York.
- Mesri, G., and Abdel Ghaffar, M.E.M., 1993, Cohesion intercept in effective stress stability analysis. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, vol 119, no.8, pp 1229-1249.
- Rowe, P.W., 1969, The relation between the shear strength of sands in triaxial compression, plane strain and direct shear, *Geotechnique*, vol. 19, no.1, pp 88-97.
- Skempton, A.W., 1985, Residual strength of clays in landslides, folded strata, and laboratory, *Geotechnique*, vol, 35, no.1, pp 3-18.
- Terzaghi, K., and Peck, R.B., 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York.
- Vargas, M., and Hsu, S.J.C., 1976, The use of vertical core drains in Brazilian Earth Dams. *Transactions 10th International Congress on Large Dams, Vol I*. Montreal, 1-5 June 1976, pp 599-608.
- Vargas, M., 1990, Characterization, Identification and Classification of Tropical Soils. *Proc 2nd International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Vol II* A.A.Balkema, Rotterdam, pp 71-75.
- Vijayvergiya, V.N. and Ghazzaley, O.I., 1973, Prediction of Swelling Potential for Natural Clays. *Proceedings of 3rd International Conference on Expansive Clays*. Haifa. vol I. pp 227 - 236.