

Aplikasi Investigasi Geoteknik (*In Situ Test*) untuk Parameter Geoteknik Fondasi Saat Konstruksi di Fondasi Tanah-Batuan Lunak (Bendungan Poso-1)

Asmarudin Surya
PT Poso Energy

ABSTRAK: Bendungan Poso-1 adalah bendungan beton gravity di 13,6 km dari *Outlet* Danau Poso, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah. Berdasarkan investigasi geologi, Bendungan Poso-1 berada pada Zona Depresi Poso (batuan malihan/metamorf yang ditumpangi oleh batuan bancuh), yang secara stratigrafi merupakan bagian dari Kompleks Pompangeo yang terdiri dari satuan sekis di sisi kiri Bendungan (*Left Bank* dan *Release Sluice*) dan satuan paleosoil sekis di sisi kanan Bendungan. Fondasi Bendungan Poso-1 tersusun atas satuan batuan Sekis dan satuan batuan paleosoil sekis/blok in matriks dengan klasifikasi situs batuan Sc (tanah padat-batuan lunak) berdasarkan nilai N-SPT > 50 (*Standard Penetration Test*) dan nilai *shear wave velocity* (V_s) 369-404 m/dt (seismik *downhole*). Berdasarkan pengujian geoteknik *in situ test* (*plate loading/bearing test* dan *direct shear* lapangan), didapatkan nilai daya dukung yang diizinkan 44-101 ton/m², *settlement* 10-72 mm, *modulus subgrade* 18264-171462 kN/m²/m, nilai kohesi 15,3-42,4 KPa, dan sudut geser 23,9° – 76,3° dengan jenis fondasi berupa tanah padat-batuan lunak.

Kata Kunci: Bendungan Poso-1, fondasi, *in situ test*

1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bendungan Poso-1 adalah bendungan beton *gravity* yang berlokasi di 13,6 km dari *Outlet* Danau Poso, Kabupaten Poso, Provinsi Sulawesi Tengah. Bendungan Poso-1 merupakan bagian dari PLTA Poso 515 MW seperti pada Gbr. 1. Lokasi Bendungan Poso-1 secara geografis terletak pada posisi 1°40'10,05" Lintang Selatan dan 120°39'8,62" Bujur Timur.

Bendungan Poso-1 memanfaatkan air dari Sungai Poso untuk memenuhi kebutuhan listrik yang digunakan oleh PLTA Poso 515 Mw. PLTA ini memberi suplai pasokan listrik ke Perusahaan listrik Negara (PLN) daerah Sulawesi Tengah dan Sulawesi Selatan. Untuk mewujudkan kebutuhan listrik ke Sulawesi, maka telah dilakukan serangkaian studi di sekitar Bendungan Poso-1 khususnya dan PLTA Poso 515 Mw pada umumnya. Diawali dari studi Pra FS Bendungan Poso-1 dan PLTA Poso-1 (2013-2014), Studi Kelayakan/Feasibility study (FS) Bendungan

Poso-1 dan PLTA Poso 515 Mw (2015-2017), studi saat konstruksi Bendungan Poso-1 dan PLTA Poso 515 Mw (2017-2021), dan saat ini sudah beroperasi sebagai salah satu pembangkit listrik terbesar di bumi Sulawesi (2022-sekarang).



Gbr. 1. Lokasi Bendungan Poso – 1, Studi Kelayakan PLTA Poso Peaker 515 MW (2017).

Pada tahapan survey awal dan Pra-FS, studi geologi dan geoteknik yang dilakukan terdiri dari studi literatur (pedoman NSPM/SNI/code), data topografi awal, studi geologi regional,

studi kegempaan dari peta *hazard* gempa Indonesia yang dikeluarkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional (Pusgen).

Pada tahapan studi kelayakan/FS dan *detail desain*, studi geologi dan geoteknik yang dilakukan terdiri dari *seismic hazard assessment* dan *analysis*, pemetaan geologi dan geoteknik, pengujian laboratorium, pengujian *in situ test*, dan penentuan parameter desain.

Kemudian, pada tahap konstruksi, studi geologi dan geoteknik yang dilakukan hanya untuk memverifikasi parameter geoteknik yang digunakan dalam *basic desain* maupun *desain*. Verifikasi parameter tersebut dengan mendapatkan parameter dari pengambilan sampel yang diuji laboratorium dan parameter dari pengujian geoteknik *in situ test*. Sehubungan dengan singkatnya waktu yang bisa digunakan untuk studi dan pengujian geoteknik dan faktor akurasi data, maka pada konstruksi Bendungan sering menggunakan pengujian geoteknik *in situ test* untuk memverifikasi parameter geoteknik desain.

Pengujian geoteknik *in situ test* dianggap relatif lebih akomodatif, cepat, efisien, dan *reability* untuk mendapatkan parameter geoteknik, pertimbangan geoteknik dan keputusan-keputusan yang berkaitan dengan permasalahan geoteknik di lapangan baik di fondasi maupun di lereng.

Untuk kebutuhan parameter geoteknik *desain* fondasi bendungan misalnya, pada fondasi tanah dibutuhkan parameter nilai kohesi (kPa) dan sudut geser/ ϕ (degree/ $^{\circ}$) dari *direct shear test* lapangan (modifikasi dari SNI 2183 tahun 2008), serta daya dukung/*allowable bearing capacity* (dalam ton/m² atau kN/m²), penurunan/*settlement* (dalam satuan mm), dan *modulus subgrade* (dalam satuan (kN/m³) dari *in situ test plate loading test/plate bearing test* (ASTM D 1196 dan Eurocode 7 tahun 1997 part 3).

Adapun, kebutuhan untuk parameter geoteknik fondasi batuan Bendungan biasanya dibutuhkan nilai daya dukung/*allowable bearing capacity* (dalam ton/m² atau kN/m²) dari korelasi pengujian *in situ test* UCS dan Annex G (Eurocode-7 BS EN 1997-1:2004, modulus elastisitas (kg/cm²), modulus deformasi (kg/cm²) dari pengujian geoteknik *in situ test plate loading test/plate bearing test* (ASTM D 1196 dan Eurocode 7 tahun 1997 part 3).

Sedangkan, untuk parameter geoteknik lereng Bendungan maupun lereng dari lokasi PLTA dibutuhkan parameter nilai kohesi (kPa)

dan sudut geser/ ϕ (degree/ $^{\circ}$) dari *direct shear test* laboratorium dan atau *direct shear test* lapangan.

Kebutuhan parameter geoteknik dari fondasi dan lereng saat konstruksi inilah yang menjadi faktor pendorong utama dan kuat penulis untuk membahas mengenai jenis investigasi geoteknik (*in situ test*) yang digunakan untuk menentukan parameter geoteknik fondasi Bendungan Beton graviti Poso-1 saat konstruksi yang dibangun pada fondasi tanah sangat padat sampai batuan lunak berdasarkan *site class* nilai N-SPT>50 (hasil pengujian *in situ test Standard Penetration Test/SPT*) dan nilai Vs 350-750 m/dt (*shear wave velocity* dari hasil pengujian *in situ test* seismik *downhole*).

1.2. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dari penulisan ini diharapkan bisa menjadi contoh dalam pekerjaan investigasi yang sesuai dan tepat di fase konstruksi bendungan termasuk aplikasi penerapan dari hasil investigasi geoteknik *in situ test plate loading test* dan *direct shear* lapangan untuk verifikasi parameter geoteknik dan menjadi salah satu parameter penting dalam penentuan rencana *treatment* fondasi maupun slope proteksi pada fase konstruksi dan pasca konstruksi bendungan.

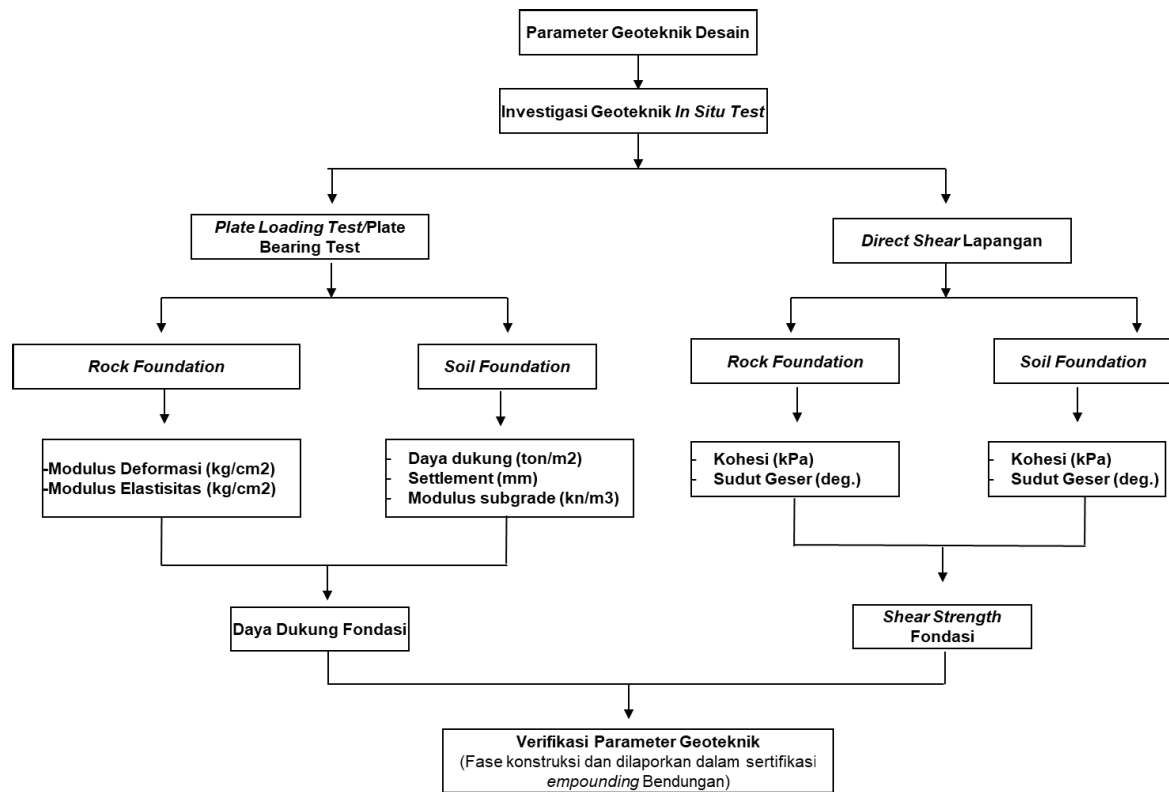
1.3. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dan bagan alur dari penelitian ini dimulai dari jenis investigasi, investigasi geoteknik *in situ test* yang dilaksanakan, jenis fondasi, parameter geoteknik yang dihasilkan, aplikasinya untuk verifikasi parameter geoteknik *desain*.

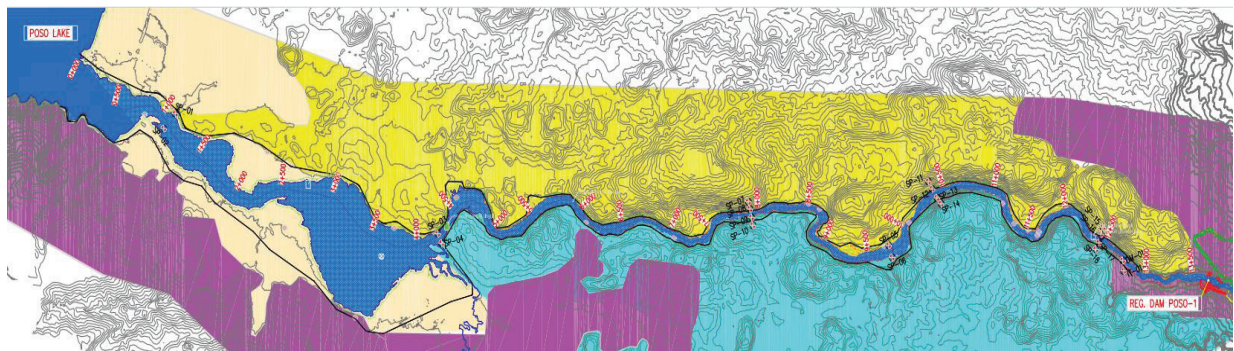
Bagan alur penelitian dapat dilihat pada Gbr. 2 di bawah ini.

2 GEOLOGI BENDUNGAN POSO-1

Stratigrafi lokal dan area genangan Bendungan Poso-1 ditunjukkan oleh Gbr. 3 dan Gbr. 4 Komplek Pompangeo yang terletak di sisi kiri dan sisi kanan Bendungan Poso-1 terbentuk pada kala Miosen Tengah tersusun atas satuan sekis (*softrock*) dan paleosoil sekis (tanah sangat padat sebagai matriks dari blok-blok batuan) (penamaan lokal). Sedangkan, di bagian hulu Bendungan Poso-1 terdapat Endapan Danau (Ql), Formasi Poso (Tppl), dan Formasi Puna (Tpps).





Gbr. 2. Bagan Alir Penelitian.

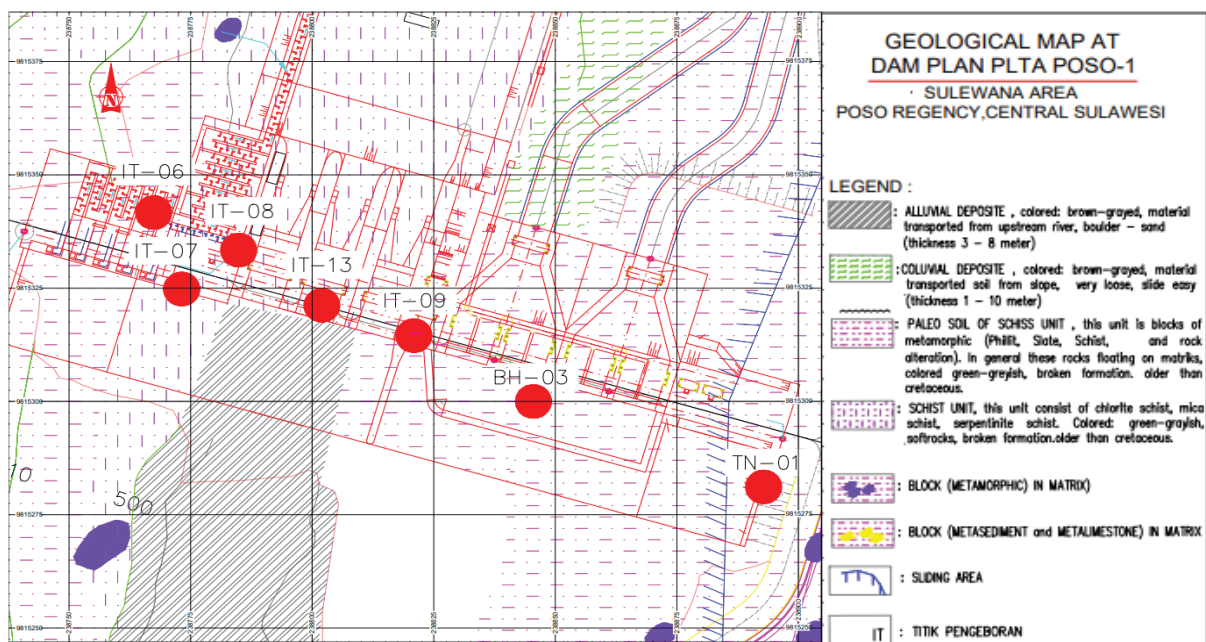


KETERANGAN:

- : ENDAPAN DANAU (Ql) , Lempung, Lanau, Pasir, dan Kerikil. Lempung dan lanau memperlihatkan perlapisan mendatar, Pasir dan kerikil kurang padat, kelabu tua dan menghitam, mengandung banyak sisa tumbuhan, ketebalan 2 – 10 m.
- : Formasi Poso (Tppl), Batugamping, Napal, Batupasir tufaan dan Konglomerat. Batugamping, putih kekuningan-kecoklatan, setempat berupa kalkarenit; Napal, putih-kelabu, berbutir halus, padat; Batupasir tufaan kuning kecoklatan, agak padat; Konglomerat, komponen batuan malihan, batugamping merah, ultrabasa, kuarsa dan batugamping malih (Pliosen).

-  : Formasi Puna (Tpps), Konglomerat, Batupasir, Lanau, Serpih, Batulempung gampingan dan Batugamping. Konglomerat, komponen berukuran 5–30 cm, terdiri dari batugamping terdaunkan, sekis, genes, dan kuarsa susu dengan semen karbonat; Batupasir coklat kehijauan–kehitaman, padat dan keras; Lanau dan serpih, kelabu–kehitaman setempat gampingan; Batulempung gampingan kurang padat berlapis baik; Batugamping, kuning kecoklatan sampai kelabu, umumnya batugamping koral (Pliosen).
-  : Komplek Pompango (MTmp), Sekis, Genes, Meta kuarsit, Filit, Batusabak, Grafit, Serpentin, Basal malih dan Gabro malih, setempat terdapat Breksi dan Milonit. Sekis, padat kelabu kehijauan, kuning kecoklatan, dan kelabu kehitaman, terlihat adanya perlipatan, sekis terdiri dari Sekis Mika, Sekis Serisit, Sekis Muskovit, Sekis Klorit–serisit, glaukofan; Genes, kelabu muda–kehijauan, tekstur heteroblastik dengan mineral granoblastik, jenis batuan genes albit–muscovit, kuarsa–biotit, epidot–muskovit–plagioklas; Meta Kuarsit, kelabu–coklat muda, karsa merupakan mineral utama (70%), dengan mineral tambahan serisit, pirit, amfibol; Filit dan Batusabak Grafit, umumnya padat, dan mudah pecah pada bidang belahan, jenis batuan Filit, Batusabak Filit, batusabak Grafit; Serpentin, hijau–kehitaman terdapat perlipatan, cermin sesar yang mengkilap, mudah pecah pada bidang cermin sesar atau perdaunan; Milonit dan Breksi, kelabu

Gbr. 3. Peta Geologi Genangan Bendungan Poso-1, Laporan Akhir Konstruksi Dam.



Gbr. 4. Peta Geologi Bendungan Poso-1, Laporan Akhir Konstruksi Bendungan Poso-1.

Pada sisi kiri *abutment* dan lereng tersusun atas satuan Sekis. Pada sisi kanan *abutment* tersusun atas satuan *Paleosoil* sekis. Lalu, di daerah aliran sungainya tersusun atas aluvium. Satuan sekis merupakan batuan metamorf dengan tekstur *schistose* dan struktur foliasi yang terdiri dari filit, gneiss, sekis muskovit dan sekis hijau. Satuan sekis ditemukan di sisi kiri/*left bank*, dan lereng sisi kiri Bendungan dengan kondisi agak lapuk-lapuk sedang dan lapuk kuat setempat, umumnya tersusun atas lapisan pasir lanauan, tidak dijumpai kekar terbuka, dan beberapa bagian mengalami kloritisasi dan *backing effect* secara acak dan setempat. Kenampakan satuan sekis terlihat pada Gbr. 5.

Satuan *paleosoil* sekis atau *block in matrix* (BIM) merupakan lapukan atau blok dari bongkah aneka batuan metamorf dan *metalimestone*, berukuran 10 cm s.d. 200 cm yang umumnya mengambang dalam massa dasar heterogen berukuran pasir-lempung dan terpilah sangat buruk. Satuan *paleosoil* sekis terdapat di area Bendungan (*release sluice, intake, right bank*, dan lereng sisi kanan Bendungan), Kenampakan *paleosoil* sekis terlihat pada Gbr. 6.



Gbr. 5. Kenampakan Satuan Sekis di Area Release Sluice.



Gbr. 6. Kenampakan Satuan Paleosol Sekis di Area Bendungan Poso-1.

3 GEOTEKNIK BENDUNGAN POSO-1

3.1 Investigasi dan Penentuan Klasifikasi Site

Investigasi dan penentuan klasifikasi *site* merupakan salah satu studi awal geoteknik yang dilakukan pada Bendungan Poso-1. Penentuan klasifikasi *site* digunakan untuk salah satu parameter dalam tahap awal studi kegempaan.

Bendungan Poso-1 umumnya tersusun atas satuan batuan sekis dan satuan *paleosol* sekis/*block in matrix* dengan klasifikasi situs batuan Sc (tanah padat-batuan lunak) yang mengacu terhadap penentuan klasifikasi *site* berdasarkan korelasi penyelidikan lapangan dan laboratorium pada Tabel 1, Pusgen Kementerian PU-PR (2010).

Tabel 1. Klasifikasi *Site* Berdasarkan Penyelidikan Lapangan dan Laboratorium, (2010).

Klasifikasi Site	Vs (m/dt)	N-SPT	Su (kPa)
a. Batuan Keras	$V_s \geq 1500$	N/A	N/A
b. Batuan	$750 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
c. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$	$N > 50$	$S_u \geq 100$
d. Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$	$15 < N < 50$	$50 \leq N \leq 100$
e. Tanah Lunak	$V_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$

Atau lapisan tanah dengan ketebalan > 3 m dengan karakteristik sebagai berikut:
Indeks plastisitas $PI > 20$, Kadar air (w) ≥ 40 %, dan kuat geser tak terdrainase

Pada Bendungan Poso-1, klasifikasi *site* Sc (tanah padat-batuan lunak) didapatkan dari nilai N-SPT > 50 yang didapatkan dari pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) dan nilai *shear wave velocity* (Vs) 369-404 m/dt yang didapatkan dari pengujian *seismik downhole*. Pengujian SPT dilakukan bersamaan dengan proses pengeboran geoteknik berupa pemukukan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah yang dilakukan dalam 3 tahap berurut-turut setebal 150 mm, dengan pembacaan nilai pukulan N pada pengujian tahap kedua dan ketiga, SNI 4153 (2008).

Pengujian *seismik downhole* dilakukan dengan menggunakan palu yang dipukulkan di permukaan dan dihubungkan dengan kabel ke suatu lubang bor yang diberi pipa pelindung/casing pipa PVC. Gelombang/*shear wave* (Vs) dirambatkan ke bawah melalui geofon dari permukaan, Pedoman Konstruksi dan Bangunan Sipil (2005).

3.2 Geoteknik pada Fondasi Bendungan

Bendungan Poso-1 umumnya tersusun atas satuan batuan Sekis dan satuan *paleosol* sekis/*block in matrix*. Pada fondasi sisi kiri Bendungan Poso-1 (*left bank*), terdiri dari satuan sekis, tidak ditemukan kekar, dan umumnya kondisi agak lapuk-lapuk sedang (*slightly to moderately weathering*), sedangkan kondisi lapuk kuat (*completely weathering*) hanya di bagian 0-1 m dari permukaan.

Pada fondasi Bendungan Poso-1 (*release sluice, waterintake, dan right bank*) tersusun atas satuan *palesoil* sekis, ditemukan *backing effect* setempat, dan umunya kondisi agak lapuk-lapuk sedang (*slightly to moderately weathering*) terutama pada elevasi di bawah El. +490,0 m dpl. Pengujian geoteknik yang dilakukan saat konstruksi meliputi pengujian *in situ test plate loading test/plate bearing test* dan *in situ direct shear test*. Pengujian *in situ test plate loading test/plate bearing test* dilakukan untuk bertujuan untuk mendapatkan daya dukung (*ultimate dan allowable*), settlement, modulus elastisitas dan modulus deformasi. Sedangkan, *field direct shear*/uji geser langsung lapangan dilakukan untuk mendapatkan nilai kohesi (C) dan sudut geser internal (ϕ). Hasil pengujian keduanya dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, didapatkan parameter geoteknik dari masing-masing blok struktur Bendungan Poso-1 (*left bank, releases sluice, waterintake, dan right bank*). Semua parameter geoteknik pada fase konstruksi di atas yang didapatkan dari pengujian geoteknik *in situ test plate loading test/plate bearing test* dan *direct shear test* dibandingkan dengan parameter geoteknik desain yang terlihat pada Tabel 4.

Dari Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa parameter geoteknik dari *shear strength* dan daya dukung fondasi Bendungan saat konstruksi final sebelum pengecoran lantai fondasi masih di atas atau lebih besar dari nilai kohesi dan sudut geser saat desain.

Tabel 2. Hasil Pengujian Geoteknik Insitu Test, Konstruksi.

In Situ Test	Material Properties	Left Bank-1	Left Bank-2	Release Sluice
Direct Shear Test	Stasiun	DL-09	DL-07	DL-08
	Kohesi (kPa)	15,3	19,61	29,29
	Sudut Geser ($^{\circ}$)	28,44	48,39	23,98
	Koordinat	X=238768 Y=9815342	X=238776 Y=9815324	X=238805 Y=9815338
	Elevasi (m)	489,6	493,2	489,6
Plate Bearing Test/Plate Loading Test	Stasiun	AX-10	AX-07	AX-09
	Daya Dukung Allow (ton/m ²)	56,62	55,52	43,96
	Settlement (mm)	53,95	41,23	70,8
	Mod. Subgrade (kN/m ² /m)	30874	44589	18620
	Koordinat	X=238762 Y=9815344	X=238785 Y=9815336	X=238793 Y=9815332
	Elevasi (m)	493,787	490,43	489,18

Tabel 3. Hasil Pengujian Geoteknik Insitu Test, Konstruksi.

In Situ Test	Material Properties	Intake-1	Intake-2	Right Bank
Direct Shear Test	Stasiun	DL-11	DL-12	DL-15
	Kohesi (kPa)	14,05	35,68	42,4
	Sudut Geser ($^{\circ}$)	78,89	31,75	34,8
	Koordinat	X= 238846 Y=9815318	X=238871 Y=9815309	X=238886 Y=9815306
	Elevasi (m)	492,512	494,382	503,218
Plate Bearing Test/Plate Loading Test	Stasiun	AX-13	AX-14	AX-15
	Daya Dukung Allow. (ton/m ²)	71,72	101,79	46,27
	Settlement (mm)	10,6	17,81	32,89
	Mod. Subgrade (kN/m ² /m)	86059,6	171462	42203
	Koordinat	X=238839 Y=9815330	X=238871 Y=9815309	X=238884 Y=9815301
	Elevasi (m)	491,652	494,382	494,5

Tabel 4. Parameter Geoteknik Fase Desain Bendungan Poso-1.

Parameter	Material Properties	Nilai
Shear Strength	Kohesi (kPa)	10-20
Fondasi	Sudut Geser (°)	23-25
Daya Dukung	Allowable Bearing Capacity (MPa)	0,25-0,3

4 KESIMPULAN

- Berdasarkan investigasi geologi, Bendungan Poso-1 berada pada Zona Depresi Poso (batuan malihan/*metamorf*) yang ditumpangi oleh batuan bancuh. Stratigrafi Bendungan Poso-1 tersusun atas Kompleks Pompangeo meliputi satuan sekis di sisi kiri Bendungan (*Left Bank* dan *Release Sluice*) dan satuan *paleosoil* sekis di sisi kanan Bendungan.
- Fondasi Bendungan Poso-1 tersusun atas satuan batuan Sekis dan satuan batuan *paleosoil* sekis/blok in matriks dengan klasifikasi situs batuan Sc (tanah padat-batuan lunak) berdasarkan nilai N-SPT > 50 (*Standard Penetration Test*) dan nilai *shear wave velocity* (Vs) 369-404 m/dt (seismik *downhole*). Berdasarkan pengujian geoteknik *in situ test* (*plate loading/bearing test* dan *direct shear* lapangan), didapatkan nilai daya dukung yang diizinkan 44-101 ton/m², *settlement* 10-72 mm, *modulus subgrade* 18264-171462 kN/m²/m, nilai kohesi 15,3-42,4 KPa, dan sudut geser 23,9⁰ – 76,3⁰ dengan jenis fondasi berupa tanah padat-batuan lunak.
- Tanah dasar/fondasi area *left bank*, *release sluice*, *waterintake*, dan *right bank* layak dijadikan pondasi dengan nilai daya dukung, *settlement*, kohesi dan sudut geser saat konstruksi atau kondisi akhir dasar fondasi sebelum dilakukan pengecoran masih di atas atau lebih besar dari parameter geoteknik yang digunakan dalam desain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT atas berkat rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan makalah ini dengan lancar.

Dengan kerendahan hati, terima kasih kepada ibu saya (Siti Komariah) dan bapak (Bambang Priyanto), istri (Semia Asih), anak-anak yang lucu (Muhammad Salman Az-Zuhdi dan Muhammad Shalahuddin Yusuf), Bapak Sulistianto (Koordinator Engineering PT Poso Energi), Bapak Asmaruddin (Koordinator Eng.Sipil dan Geologi), teman-teman geologi maupun *engineering* sipil Poso Energy atas semua dukungan, bantuan dan kerjasamanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Pedoman Kontruksi dan Bangunan Sipil. 2005. *Penyelidikan Geoteknik untuk Fondasi Bangunan Air*. Keputusan Kementerian Pekerjaan Umum Vols. Pd T-03.2-2005-A Vol. II. Jakarta.
- Pusgen Kementerian PU-PR. 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia*. Jakarta: Puslitbang Kementerian PU-PR.
- Pusgen Kementerian PU-PR. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia*. Jakarta: Puslitbang BPP Kementerian PU-PR. ISBN 978-602-5489-01-3.
- SNI 4153. 2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT. *Badan Standardisasi Nasional (BSN)* Vol. ICS 93.020.
- Surono J.B. Supandjono, dan T.O. Simandjuntak et al. 1997. *Peta Geologi Lembar Poso, Sulawesi*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.

