

**PEMANFAATAN DATA *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY*
DALAM ANALISIS STABILITAS BENDUNGAN SELOREJO
TERHADAP BEBAN GEMPA**

JURNAL



**Disusun Oleh :
ADI WIDIA NUR FAUZI RIZKY
NIM. 105060107111027-61**

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015**

PEMANFAATAN DATA *ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY* DALAM ANALISIS STABILITAS BENDUNGAN SELOREJO TERHADAP BEBAN GEMPA

Adi Widia Nur Fauzi Rizky, Eko Andi Suryo, As'ad Munawir

**Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. M.T. Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur – Indonesia
E-mail: adi.w.nfr@gmail.com**

ABSTRAK

Stabilitas merupakan faktor penting dalam merencanakan suatu bendungan, karena stabilitas ini merupakan kontrol dari rencana bendungan yang akan dibangun. Seiring bertambahnya usia bendungan, dibutuhkan pemeriksaan atau inspeksi secara berkala terhadap komponen – komponen yang dimilikinya. Inspeksi yang dilakukan umumnya hanya dapat memantau kondisi komponen yang ada di permukaan tanah saja. Untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan, diperlukan metode penyelidikan tanah yang tidak menimbulkan kerusakan (non-destructive). Salah satunya adalah dengan menggunakan ERT (Electrical Resistivity Tomography) atau geolistrik.

Skripsi ini bertujuan untuk menguji seberapa tepat metode pendamping penyelidikan tanah yaitu ERT atau geolistrik dapat digunakan baik dalam memeriksa kondisi lapisan bawah tanah dan digunakan sebagai acuan terhadap pengukuran parameter karakteristik fisik tanah berupa nilai kohesi, nilai sudut geser dalam, dan nilai berat volume.

Pengambilan data ERT dilakukan pada sisi hilir bendungan dilakukan sebanyak lima line memanjang dengan panjang lintasan setiap line sebesar 180m menggunakan konfigurasi Wenner Alpha. Dari pengolahan data ERT diperoleh nilai resistivitas untuk tanah bendungan dengan rentang $12,7\Omega\text{m} \sim 877\Omega\text{m}$. Berdasarkan data hasil ERT memanjang ditentukan dua posisi terlemah bendungan berdasarkan nilai resistivitas untuk acuan pengambilan data ERT melintang bendungan. Pada skala laboratorium dilakukan uji coba untuk menentukan hubungan antara nilai resistivitas, kadar air, kohesi, dan sudut geser dalam untuk setiap jenis tanah bendungan.

Dari hasil penyelidikan ERT memanjang dan melintang, uji coba di laboratorium, dan analisis stabilitas bendungan, didapatkan nilai minimum FS bendungan adalah 1,150 pada sisi hulu dan 1,140 pada sisi hilir dengan penambahan beban gempa kala ulang 100 tahun.

Kata kunci : bendungan, stabilitas, gempa, ERT, electrical resistivity tomography, geolistrik

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global sudah menjadi wacana dunia yang dikaitkan dengan tiga permasalahan utama yang terjadi yaitu pangan, energi, dan air. Bendungan merupakan satu – satunya prasarana yang bisa direncanakan dan dikelola untuk mengatasi ketiga krisis tersebut, maka perlu direncanakan dan dikelola dengan baik sehingga dapat diarahkan dengan tepat untuk mengatasi ketiga permasalahan tersebut.

Salah satu contoh bendungan yang ada adalah Bendungan Selorejo yang terletak di Desa Pandansari, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang. Bendungan ini mulai dibangun pada tahun 1963 dan

selesai pada tahun 1970, berfungsi untuk keperluan pembangkit listrik, pengaturan irigasi, dan pariwisata (Publik, 2009).

Seiring dengan bertambahnya usia bendungan maka dibutuhkan adanya kajian mengenai ketahanan struktur bendungan terhadap gempa melalui pemeriksaan komponen struktur bendungan untuk mengetahui tingkat keamanan dari bendungan untuk menghindari terjadinya kegagalan konstruksi.

Pemeriksaan bendungan secara umum dilakukan melalui pengamatan atau inspeksi objek yang berada di permukaan tanah dan air seperti kondisi permukaan bendungan, bangunan pelengkap, abutmen, spillway, dan sebagainya. Namun

pemeriksaan tersebut tidak dapat memberikan gambaran kondisi di bawah permukaan tanah bendungan. Untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan tersebut diperlukan metode penyelidikan tanah yang tidak menimbulkan kerusakan (non-destructive). Salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode yang berbasis pada aplikasi geofisika seperti Electrical Resistivity Tomography (ERT) atau lebih sering disebut geolistrik.

Penerapan metode geolistrik untuk penyelidikan tanah memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode geoteknik yang umum dipakai (Craig, 2004). Penggunaan geolistrik untuk mendapatkan data berupa gambaran formasi lapisan bawah tanah merupakan metode pendamping dari penyelidikan tanah sehingga metode ini tetap membutuhkan data parameter tanah yang berasal dari borehole drilling atau data sekunder bendungan yang akan digunakan untuk memverifikasi hasil data geolistrik.

KAJIAN PUSTAKA

Investigasi Geologi

Merupakan kegiatan penyelidikan tanah yang berfungsi untuk mengetahui karakteristik tanah yang diperlukan sebagai data masukan atau input untuk keperluan perencanaan struktur yang akan berdiri di atasnya. Penyelidikan merupakan awal mula dari seluruh pelaksanaan konstruksi dalam pelaksanaan di bidang teknik sipil. Investigasi geologi atau lebih sering disebut penyelidikan tanah dilakukan dengan tujuan antara lain sebagai berikut (Suyadi, 2013).

1. Menentukan jenis dan kedalaman pondasi.
2. Mengevaluasi beban – daya dukung pondasi.
3. Memperkirakan penurunan tanah yang akan terjadi.
4. Menentukan potensi permasalahan dalam tanah.
5. Memperkirakan keberadaan air tanah.

6. Memperkirakan besaran tekanan tanah lateral.
7. Menentukan tata cara pelaksanaan konstruksi bangunan di atasnya.

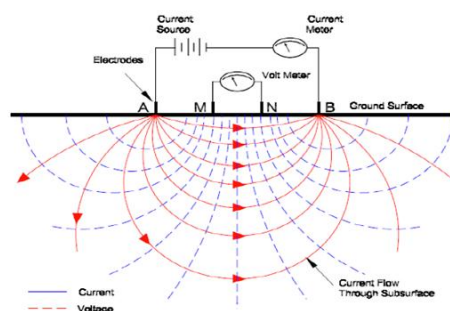
Geolistrik

Merupakan metode geofisika yang mempelajari, mengamati fenomena kelistrikan bumi, terutama resistivitas atau tahanan bumi. Metode ini menggunakan anggapan dasar bahwa bumi tersusun dari berlapis – lapis tanah horizontal dan bersifat homogen isotropic dalam setiap lapisannya. Bertujuan untuk mengetahui keadaan geologi di bawah permukaan dengan mengukur tahanan jenis batuan. Beberapa cara atau metode yang digunakan dalam penyelidikan geolistrik antara lain :

1. *Resistivity*,
2. *Self potensial*,
3. *Induced polarization*,
4. *Very low frequency*,
5. *Mangetotelluric*,
6. *Electromagnetic*, dan sebagainya.

ERT (*Electrical Resistivity Tomography*)

Metode ini berdasarkan pada kenyataan mengenai konduktivitas tanah dan batuan yang bervariasi dengan kehadiran garam terionisasi. Batuan padat dengan banyak rongga, sedikit kelembapan, dan sedikit ionisasi akan memiliki resistensi yang tinggi, sementara tanah liat jenuh akan memiliki resistensi yang rendah. Walaupun ada beberapa metode yang dapat digunakan, metode wenner dengan empat elektroda yang berjarak sama lebih sederhana dan banyak digunakan dalam investigasi tanah.



Gambar 1. Ilustrasi prinsip kerja geolistrik.

Korelasi Data ERT Dengan Data Karakteristik Tanah

Data hasil survei ERT adalah berupa nilai resistivitas semu tanah (Ωm) pada titik kedalaman tertentu bergantung posisi, spacing, dan konfigurasi elektroda yang digunakan. Resistivitas semu adalah nilai tahanan yang diperoleh dari hasil survei. Nilai resistivitas semu tersebut secara umum dapat menggambarkan kondisi tanah pada titik tersebut. Dengan adanya perbedaan nilai resistivitas semu maka dapat diasumsikan adanya perbedaan data karakteristik tanah antara tanah resistivitas tinggi dengan tanah resistivitas rendah.

Salah satu gambaran umum yang dapat digunakan adalah tanah dengan nilai resistivitas semu yang rendah dapat diperkirakan memiliki persentase komponen pori yang lebih besar dan terisi air yang dapat menghantarkan listrik. Hal tersebut tentu berbeda dengan tanah yang memiliki nilai resistivitas semu yang tinggi. Namun tidak hanya nilai kadar air (water content) tanah yang dapat berubah, dengan penelitian lebih lanjut dapat diperoleh hubungan antara nilai resistivitas semu dengan parameter tanah seperti kohesi, sudut geser dalam, plastic limit, liquid limit, dan parameter lainnya seperti tampak pada beberapa gambar berikut.

Analisis Lereng Metode Fellenius

Metode yang paling umum digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng adalah metode yang diperkenalkan oleh W. Fellenius (1939). Metode Fellenius banyak digunakan dalam menganalisis kestabilan lereng yang tersusun oleh tanah - tanah dengan asumsi bidang gelincir berbentuk lingkaran. Dengan asumsi bidang luncur dibagi dalam beberapa irisan vertikal, nilai faktor keamanan diperoleh dengan menggunakan rumus kesetimbangan sebagai berikut.

$$FS = \frac{\sum\{C \cdot l + (N - U - N_e) \tan \phi\}}{\sum(T + T_e)}$$

$$FS = \frac{\sum\{C \cdot l + \sum\{\gamma \cdot A(\cos \alpha + e \cdot \sin \alpha) - V\} \tan \phi}{\sum \gamma \cdot A(\sin \alpha + e \cdot \cos \alpha)}$$

Analisis Lereng Metode Bishop

Tahun 1955, Proffesor Bishop memperkenalkan persamaan penyelesaian yang lebih teliti daripada metode irisan yang sederhana. Pengaruh gaya – gaya pada sisi tepi tiap irisan diperhitungkan. Pada metode ini, lereng yang terdiri dari berlapis – lapis tanah dapat dianalisa.

Prinsip pengerjaan pada metode ini pada dasarnya sama dengan metode Fellenius, hanya permissalannya yang berbeda yaitu gaya – gaya yang bekerja pada sisi – sisi irisan mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Cara mencari nilai faktor keamanan pada metode irisan Bishop yang disederhanakan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n [c' b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi'] \left(\frac{1}{M_i}\right)}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \theta_i}$$

dengan

$$M_i = \frac{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \times \tan \phi')}{F}$$

Gempa

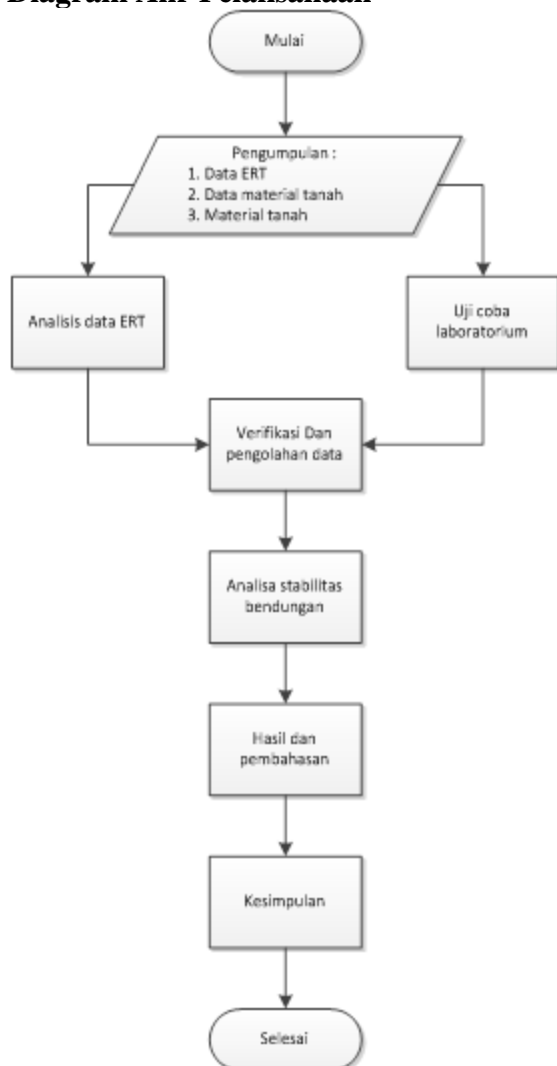
Menurut (Chopra, 1995) dalam (Pradana, 2012), gempa bumi adalah suatu peristiwa alam dimana terjadi getaran pada permukaan bumi akibat adanya pelepasan energi secara tiba – tiba dari pusat gempa. Energi yang dilepaskan tersebut merambat melalui tanah dalam bentuk gelombang getaran. Gelombang getaran yang sampai ke permukaan bumi disebut gempa bumi. Penyebab terjadinya gempa dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti tabrakan meteor, letusan gunung berapi, aktifitas lempeng tektonik, dan sebagainya.

Dari berbagai teori yang telah dikemukakan, maka teori lempeng tektonik dianggap paling tepat. Teori ini menyatakan bahwa bumi diselimuti oleh beberapa lempeng kaku keras (lapisan litosfer) yang berada di atas lapisan yang lebih lunak dari litosfer dan lempeng – lempeng tersebut terus bergerak dengan

kecepatan 8~12 km/tahun. Bergeraknya lempeng tektonik ini menyebabkan terjadinya penahanan energi secara perlahan. Ketika lempeng tidak sanggup menahan energi, gempa tektonik akhirnya terjadi karena adanya pelepasan energi yang telah lama tertahan tersebut. Daerah yang paling rawan gempa umumnya berada pada pertemuan lempeng – lempeng tersebut.

METODE PENELITIAN

Diagram Alir Pelaksanaan



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

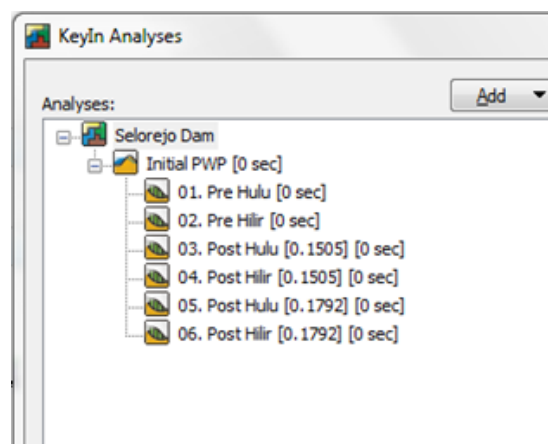
Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu:

1. Pengumpulan data bendungan dan data geolistrik.
2. Interpretasi data hasil geolistrik.
3. Percobaan dan analisa hasil geolistrik terhadap data karakteristik tanah.
4. Analisis stabilitas struktur bendungan dengan program GeoStudio 2007.

Tahapan Pelaksanaan Analisis

Pada analisis bendungan dengan program GeoStudio 2007 digunakan SLOPE/W untuk analisis stabilitas bendungan, dan SEEP/W untuk analisis rembesan dan membuat kondisi pore water pressure awal.



Gambar 3. KeyIn Analyses Geostudio 2007.

Koefisien Gempa

Penentuan besaran koefisien percepatan puncak gempa diambil dari Peta Zonasi Gempa Indonesia tahun 2010 dengan kala ulang 50 tahun dan 100 tahun. Untuk daerah Malang Raya diambil nilai 0,25g untuk 50 tahun dan 0,3g untuk kala ulang 100 tahun.

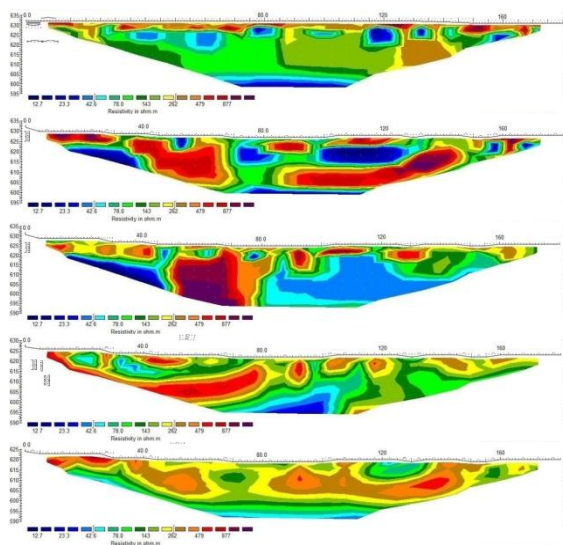
Nilai percepatan puncak gempa ditambahkan faktor amplifikasi berdasarkan jenis batuan sedang sebesar 1,2 dan faktor pengaruh daerah bebas (*freefield*) untuk bendungan tipe urugan sebesar 0,7 (Pd T-14-2004-A halaman 49) sehingga didapat nilai koefisien 0,21g

untuk kala ulang 50 tahun dan 0,252g untuk kala ulang 100 tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

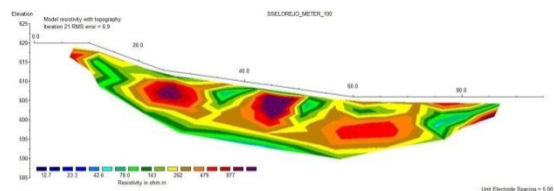
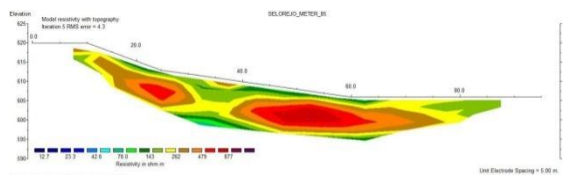
Analisis Geolistrik

Survei geolistrik dilakukan pada sisi hilir (downstream) bendungan menggunakan konfigurasi Wenner Alpha dengan jarak antar titik sebesar 5m, sebanyak lima garis (*line*) dengan jarak antar line 5m dan panjang setiap line adalah 180m dengan titik 0 (nol) berada pada titik BM.



Gambar 4. Model hasil pengolahan data ERT potongan memanjang line 1~5.

Hasil survei geolistrik lapangan menunjukkan model resistivitas potongan memanjang bendungan memiliki nilai resistivitas dengan rentang $12,7\Omega\text{m} \sim 877\Omega\text{m}$. Nilai resistivitas yang rendah menunjukkan adanya kemungkinan dikarenakan rembesan air pada bendungan. Dari kelima gambar line hasil ERT di atas kemudian digunakan untuk menentukan lokasi atau titik terlemah bendungan yang dijadikan posisi acuan untuk pengambilan data ERT melintang bendungan.

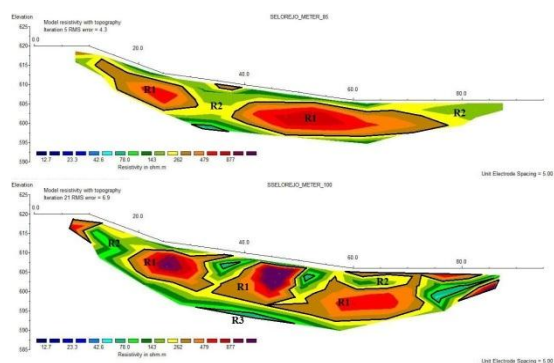


Gambar 5. Hasil pengolahan data ERT potongan melintang posisi 85m dan 100m.

Soil Layering

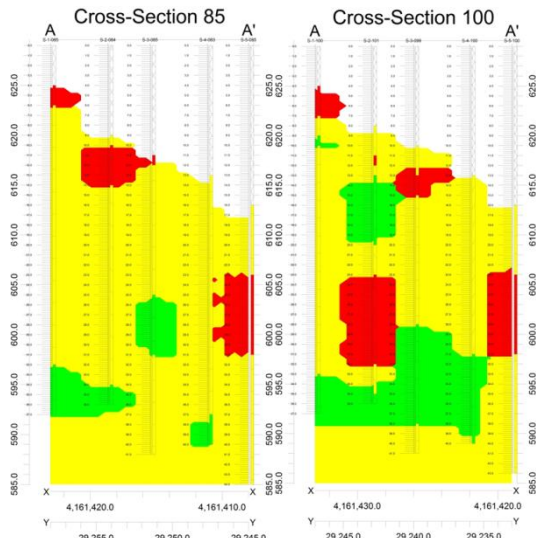
Hasil analisis ERT didapatkan berbagai macam nilai resistivitas tanah yang tersebar tidak merata berdasarkan kondisi di lapangan. Kondisi nyata di lapangan tersebut harus disederhanakan agar dapat digunakan pada tahap analisis stabilitas dan mempermudah analisis karakteristik tanah terhadap nilai resistivitas.

Penyederhanaan dilakukan dengan membagi nilai resistivitas menjadi tiga kelompok, yaitu resistivitas rendah (R3) dengan rentang $12,7\Omega\text{m} \sim 42,6\Omega\text{m}$, resistivitas menengah (R2) untuk rentang $42,6\Omega\text{m} \sim 262\Omega\text{m}$, dan resistivitas tinggi (R1) untuk resistivitas $262\Omega\text{m}$ ke atas. Nilai resistivitas rata-rata yang digunakan untuk acuan setiap kelompok sebesar $27,65\Omega\text{m}$, $170\Omega\text{m}$, dan $569,5\Omega\text{m}$.



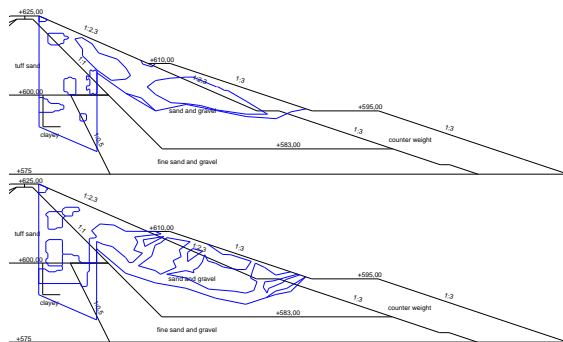
Gambar 6. Soil Layering potongan melintang dari hasil pengolahan data ERT.

Potongan melintang juga diperoleh melalui data ERT potongan memanjang bendungan line 1~5 dengan menggunakan bantuan program RockWorks. Program tersebut dapat memperkirakan dan memproyeksikan kemungkinan model potongan melintang berdasarkan data pengelompokan jenis tanah pada data ERT potongan memanjang.



Gambar 7. Hasil pemodelan potongan melintang bendungan berdasarkan data hasil ERT line 1~5 untuk posisi +85 dan +100m.

Kode warna yang digunakan pada program RockWorks seperti gambar di atas diasumsikan dengan merah untuk tanah dengan nilai resistivitas tinggi (R1), kuning untuk tanah dengan nilai resistivitas menengah (R2), dan hijau untuk tanah dengan nilai resistivitas rendah. Setelah didapatkan pengelompokan jenis tanah berdasarkan nilai resistivitas, gambar – gambar tersebut kemudian diplot ke dalam gambar as build drawing bendungan yang diperoleh dari Jasa Tirta dan digunakan untuk analisis stabilitas bendungan.

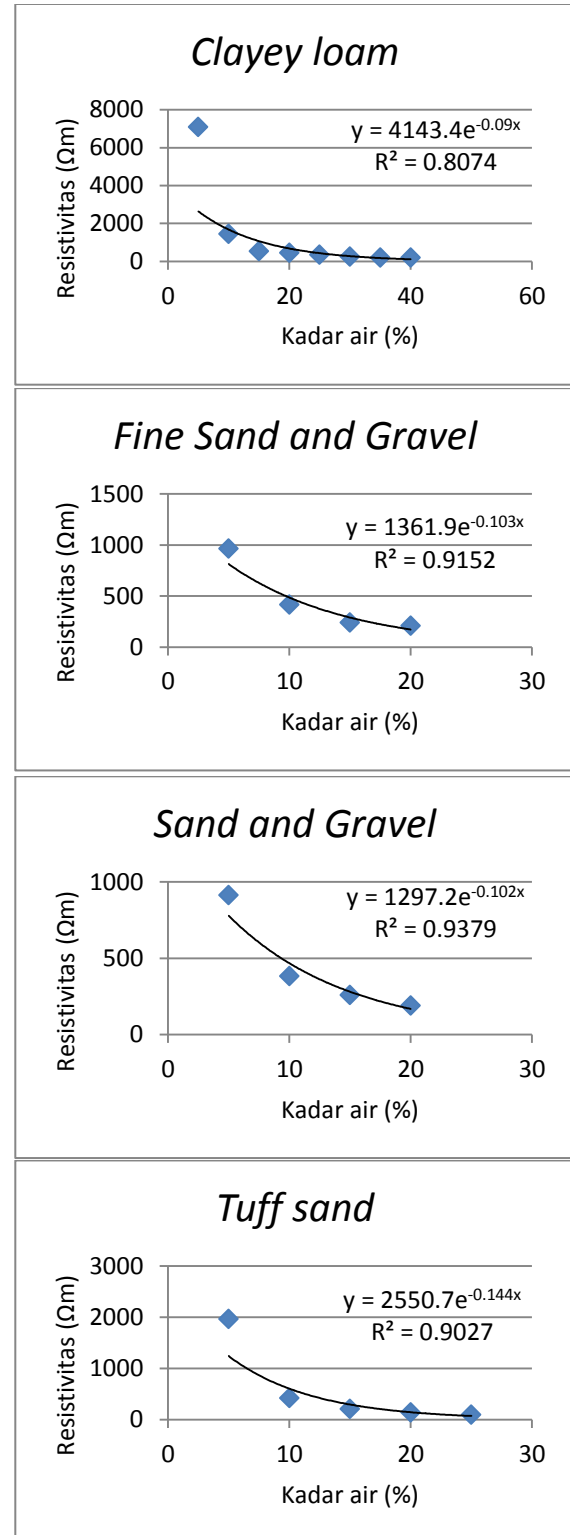


Gambar 8. Potongan melintang bendungan posisi +85m dan +100m setelah penambahan *Soil Layering*.

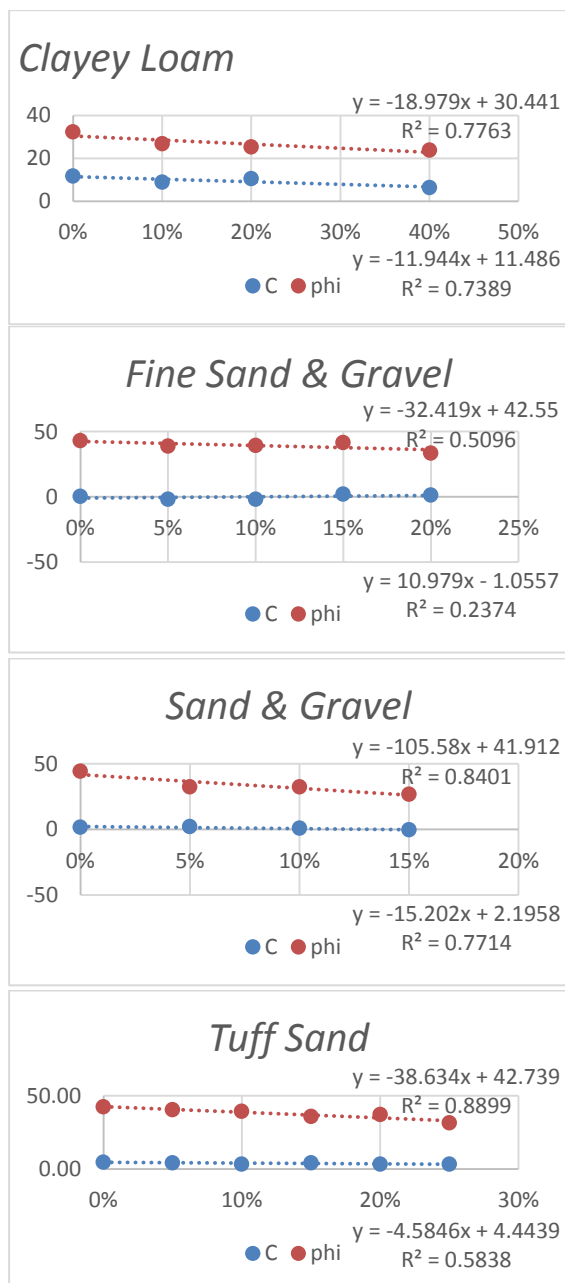
Pada area yang dapat terjangkau oleh data ERT, data tanah yang digunakan diambil dari uji coba laboratorium,

sedangkan pada area yang tidak tercapai oleh data ERT menggunakan data tanah dari laporan dari Jasa Tirta.

Analisis Data Karakteristik Tanah Berdasarkan Hasil ERT



Gambar 9. Hubungan nilai resistivitas dengan kadar air untuk tiap jenis tanah



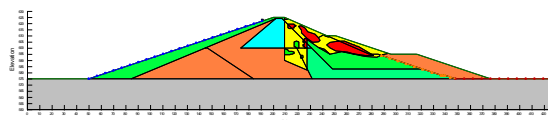
Gambar 10. Grafik hubungan kadar air terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam tiap jenis tanah.

Tabel 1. Ringkasan parameter tanah hasil analisis karakteristik tanah terhadap geolistrik.

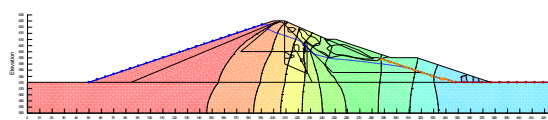
Resistivitas (Ω m)	569,5			170			27,65			
	Parameter	wc (%)	C (t/m ²)	ϕ (°)	wc (%)	C (t/m ²)	ϕ (°)	wc (%)	C (t/m ²)	ϕ (°)
Jenis Tanah										
Clayey Loam		22.05	8.85	26.26	35.48	7.25	23.71	55.66	4.84	19.88
F Sand and Gravel		8.46	-	39.81	20.20	-	36.00	37.84	-	30.28
Sand and Gravel		8.07	-	33.39	19.92	-	20.88	37.73	-	2.08
Tuff Sand		10.41	3.97	38.72	18.81	3.58	35.47	31.42	3.00	30.60

Analisis Stabilitas Bendungan

Analisis stabilitas diawali dengan pembuatan model rembesan menggunakan fitur SEEP/W yang akan digunakan untuk mengetahui nilai besaran initial pore water pressure yang berpengaruh pada analisis tahap selanjutnya.



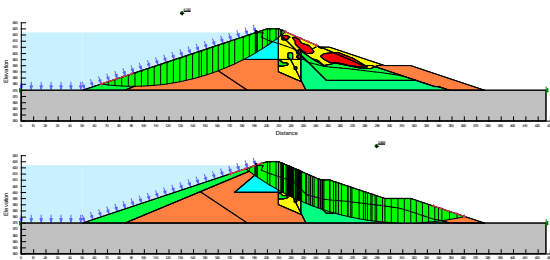
Gambar x. Hasil pemodelan bendungan posisi +85m.



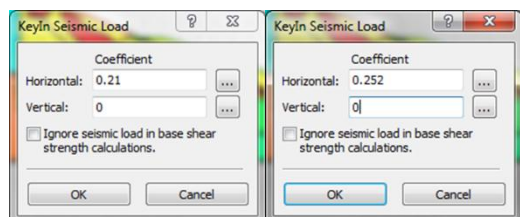
Gambar 11. Hasil analisis SEEP/W posisi +85m.

Hasil analisis bendungan menggunakan SEEP/W berupa gradasi warna dan kemungkinan arah rembesan muka air tanah di bendungan. Gradasi warna biru menunjukkan bagian bendungan yang mengalami tegangan paling kecil dan warna merah menunjukkan bagian bendungan yang mengalami tegangan paling besar.

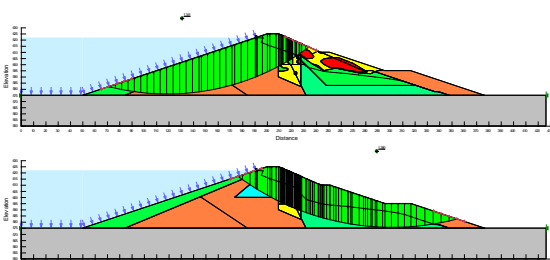
Tahapan selanjutnya adalah analisis stabilitas bendungan menggunakan SLOPE/W. Pemodelan secara statik seluruhnya menggunakan fitur SLOPE/W dengan metode statik ekuivalen dimana pada tiap bagian bendungan ditambahkan gaya arah horizontal pada titik pusat bagian. Gaya horizontal tersebut berasal dari koefisien gempa dikalikan berat bagian bendungan tersebut dan proses analisis stabilitas lereng seluruhnya menggunakan Metode Fellenius dan Metode Bishop.



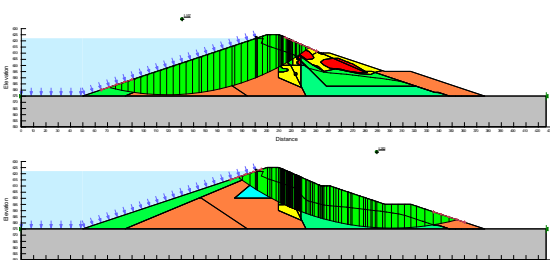
Gambar 12. Hasil analisis SLOPE/W bendungan posisi +85m sebelum penambahan beban gempa .



Gambar 13. Penambahan koefisien beban gempa untuk kala ulang 50 dan 100 tahun.



Gambar 14. Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 50 tahun pada sisi hulu bendungan posisi +85m.



Gambar 15. Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 100 tahun pada sisi hulu bendungan posisi +85m.

Seluruh tahapan dan proses analisis yang ada untuk posisi +85m juga berlaku untuk posisi +100m.

Tabel 2. Ringkasan faktor keamanan bendungan terhadap beban gempa.

Posisi		+85m	+100m
Hulu	Sebelum Gempa	4,340	4,294
	50 tahun [0,1505g]	1,341	1,328
	100 tahun [0,1792g]	1,157	1,150
Hilir	Sebelum Gempa	2,659	2,249
	50 tahun [0,1505g]	1,380	1,247
	100 tahun [0,1792g]	1,252	1,140

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan, pengujian, dan analisis pada bab 4 sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari data hasil geolistrik atau ERT diperoleh adanya perbedaan signifikan antara hasil survei dengan gambar *as build drawing* bendungan. Hasil ERT menunjukkan adanya perbedaan lapisan antara tanah lempung (*clayey loam*) dengan tanah pasir (*sand and gravel*) yang ditandai dengan perbedaan nilai resistivitas.
2. Dalam menginterpretasikan data hasil ERT ke dalam analisis stabilitas bendungan dilakukan dengan mengelompokkan atau menggolongkan tiap jenis tanah berdasarkan nilai resistivitas yang dimiliki. Nilai resistivitas dibagi menjadi tiga macam, yaitu resistivitas kuat, resistivitas sedang, dan resistivitas lemah dan dicari nilai parameter tanah berdasarkan nilai resistivitas tersebut.
3. Bendungan memiliki tingkat kestabilan kritis terhadap beban gempa kala ulang 100 tahun dengan nilai FS paling kecil pada sisi hulu sebesar 1,150 dan pada sisi hilir sebesar 1,140.

Saran

Mengingat penelitian ini masih terdapat kemungkinan untuk dikembangkan lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Dalam penelitian selanjutnya, pengambilan data ERT bendungan sebaiknya dilakukan pada seluruh tubuh bendungan bagian hilir secara memanjang, sehingga seluruh data ERT yang diperoleh dapat lebih maksimal dari segi jarak kedalaman. Potongan melintang pada sisi hilir bendungan dapat diperoleh dengan menggunakan program RockWorks.
2. Dalam uji coba laboratorium untuk menentukan hubungan nilai resistivitas dengan nilai parameter tanah, hendaknya dilakukan minimal tiga kali pengujian untuk setiap perubahan kadar air untuk menguji konsistensi nilai parameter kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ) tanah dan dicari metode uji coba yang lebih baik untuk mencari hubungan nilai resistivitas tanah terhadap nilai parameter tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, 2002. *Rekayasa Gempa Untuk Teknik Sipil*. Padang: Institut Teknologi Padang.
- Berry, A. A. & Saad, R., 2012. Tropical Clayey Sand Soil's Behaviour Analysis and Its Empirical Correlations via Geophysics Electrical Resistivity Method and Engineering Soil Characterization. *International Journal of Geosciences*, pp. 111-116.
- Chopra, K., 1995. *Dynamics of Structure : Theory and Application to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc..
- Craig, R., 2004. *Craig's Soil Mechanics 7th Edition*. London: Spon Press.
- Dewa, Eri, Aziz & dkk, 2010. *Geostudio 2004*. [Online]
Available at:
<http://kelompoktujuhgeoteknik.blogspot.com/2010/12/geostudio-2004.html>
[Diakses 8 Mei 2014].
- Kurniawan, A., 2011. Identifikasi Struktur Bedding Bentuk Lahan Berdasarkan Metode ERT Konfigurasi Double Dipole Di Bukit Gunungsari Kecamatan Salam Kabupaten Magelang. p. 33.
- Loke, M., 2000. *Gas, Oil, & Mineral Exploration Instruments*. [Online]
Available at: <http://geometrics.com>
[Accessed 21 Desember 2014].
- NGA, 2000. *DC Resistivity*. [Online]
Available at:
http://www.nga.com/Flyers_PDF/NGA_DC_Resistivity.pdf
[Accessed 23 Agustus 2010].
- Pradana, H. A., 2012. Analisis Struktur Bendungan Krenceng Terhadap Gempa. -, pp. 3-22.
- PU, 2011. *Jumlah Bendungan Besar di Indonesia Capai 284 Buah*. [Online]
Available at:
<http://www1.pu.go.id/uploads/berita/ppw110811dsda.htm>
[Diakses 8 Mei 2014].
- Publik, P. K., 2009. *Bendungan Miliki Peran Untuk Atasi Tiga Krisi Utama*. [Online]
Available at:
<http://www1.pu.go.id/uploads/berita/ppw170609sda.htm>
[Diakses 24 April 2014].

Siddiqui, F. I. & Azhar, S. B., 2012.
Integrating Geo-Electrical and
Geotechnical Data for Soil
Characterization. *International Journal of
Applied Physics and Mathematics Vol.2
No.2*, pp. 104-106.

Sosrodarsono, S. & Takeda, K., 2002.
Bendungan Tipe Urugan. Jakarta: PT.
Pradnya Paramita.

Suyadi, W., 2013. *Minggu 2 - Penyelidikan
Tanah*. [Online]
Available at:
<http://widodosuyadi.lecture.ub.ac.id/files/2013/03/MINGGU-2-PENYELIDIKAN-TANAH-Compatibility-Mode.pdf>
[Accessed 31 Mei 2014].