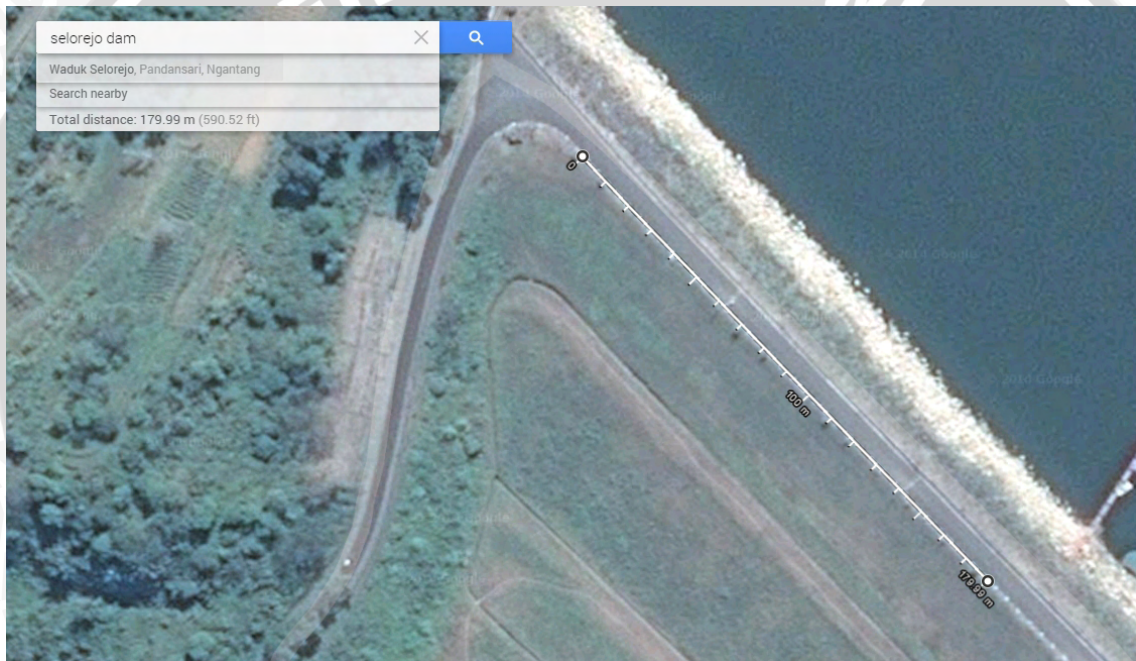


BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis ERT

Survei geolistrik dilakukan pada sisi hilir (*downstream*) bendungan menggunakan konfigurasi *Wenner* 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. Lokasi titik tengah ditentukan terlebih dahulu pada titik ST13 dilanjutkan pengukuran panjang lintasan hingga titik BM didapat panjang 90m dan dengan panjang yang sama digunakan untuk menentukan titik ujung lintasan pada arah sebaliknya.



Gambar 4.1 Lokasi geolistrik pada bendungan Selorejo.

Kedalaman hasil observasi ERT yang dapat dicapai dengan lintasan yang memiliki panjang 180m dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari Tabel 2.2 sebagai berikut.

$$z_e = L \times 0,173 \quad (4.1)$$

$$z_e = 180 \times 0,173$$

$$z_e = 31,14 \text{ m}$$

Nilai kedalaman yang dicapai tidak selalu mutlak terhadap teori yang ada, namun dapat berkurang atau bertambah. Berkurang atau bertambahnya nilai kedalaman yang dicapai

dapat terjadi karena proses pengolahan data. Salah satu contoh hasil data dari survei geolistrik lapangan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data ERT untuk *line* 4.

No	C1	C2	Ω	k	ρ (Ω m)
1	5	0	11.306	31.43	355.3314
2	10	0	4.019	62.86	252.6229
3	15	0	1.854	94.29	174.8057
4	20	0	1.858	125.71	233.5771
5	25	0	1.519	157.14	238.7
6	30	0	0.539	188.57	101.64
7	35	0	0.391	220.00	86.02
8	40	0	0.428	251.43	107.6114
9	45	0	0.344	282.86	97.30286
10	50	0	0.028	314.29	8.8
11	55	0	0.197	345.71	68.10571
12	60	0	0.334	377.14	125.9657
13	45	5	1.745	282.86	493.5857
14	50	5	0.777	314.29	244.2
15	55	5	0.792	345.71	273.8057
16	5	10	9.591	31.43	301.4314
17	10	10	3.901	62.86	245.2057
18	15	10	2.249	94.29	212.0486
19	20	10	1.419	125.71	178.3886
20	25	10	1.367	157.14	214.8143
21	30	10	1.095	188.57	206.4857
22	35	10	0.73	220.00	160.6
23	40	10	0.989	251.43	248.6629
24	45	10	0.562	282.86	158.9657
25	50	10	0.566	314.29	177.8857
26	55	10	0.737	345.71	254.7914
27	40	15	1.342	251.43	337.4171
28	dst...				

Sumber : Survei geolistrik lapangan.

dimana :

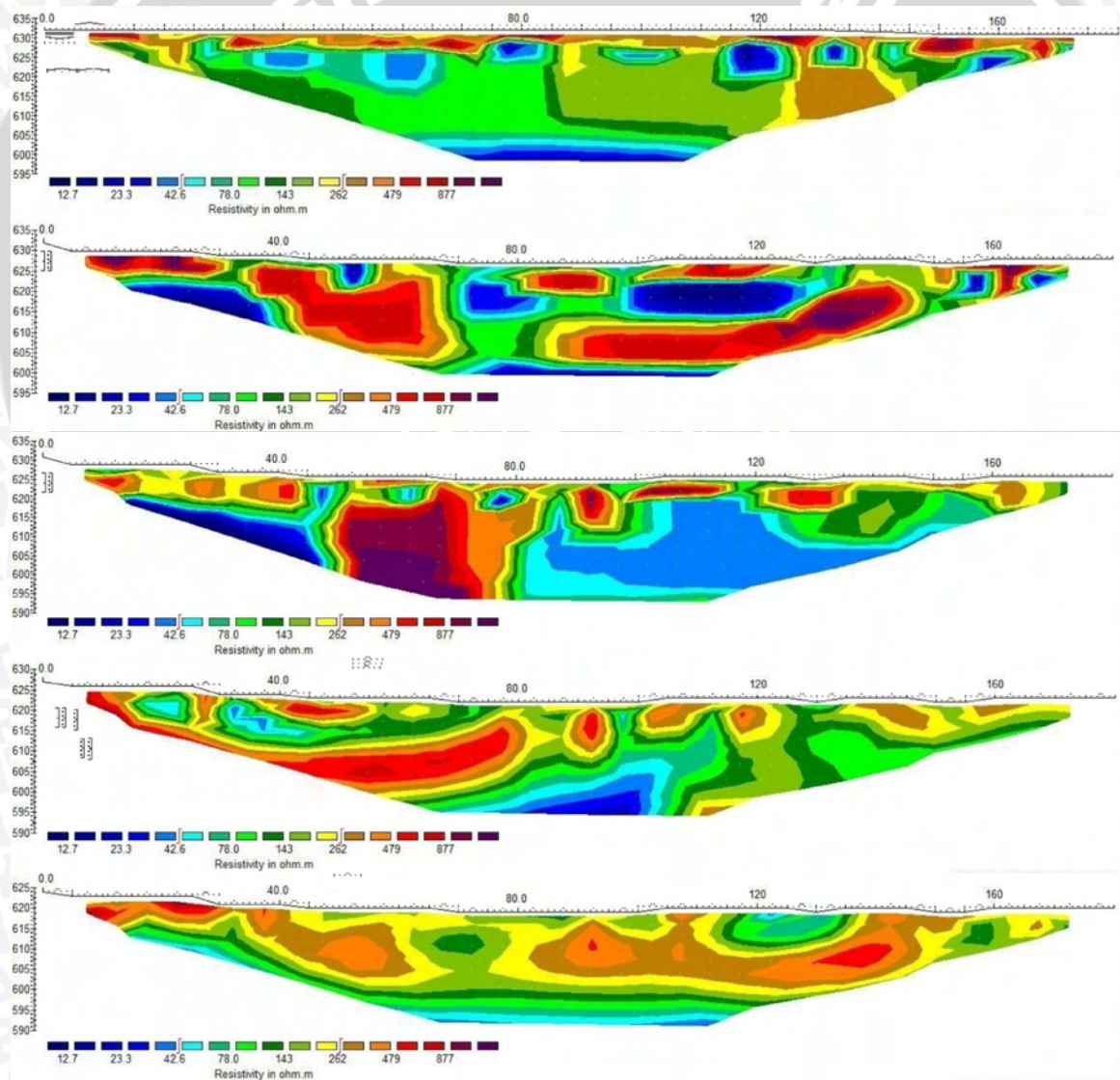
C1, C2 = posisi elektroda potensial (m)

Ω = nilai resistivitas terbaca (ohm)

k = faktor konfigurasi

ρ = nilai resistivitas semu (ohm.m)

Data survei geolistrik yang diperoleh tidak dapat langsung digunakan karena harus diperiksa terlebih dahulu kecenderungan datanya dan ditambahkan perhitungan terhadap faktor konfigurasi yang digunakan hingga didapatkan nilai resistivitas semu. Nilai resistivitas semu yang didapatkan digunakan kedalam program Res2dinv untuk pembuatan model distribusi spasial nilai resistivitas semu diukur dari model distribusi spasial nilai resistivitas semu hasil proses inversi. Jika nilai resistivitas semu dan pola distribusi spasial antara *measured apparent resistivity pseudosection* dan *calculated apparent resistivity pseudosection* sama atau setidaknya mendekati, maka model distribusi spasial nilai resistivitas hasil proses inversi semakin mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

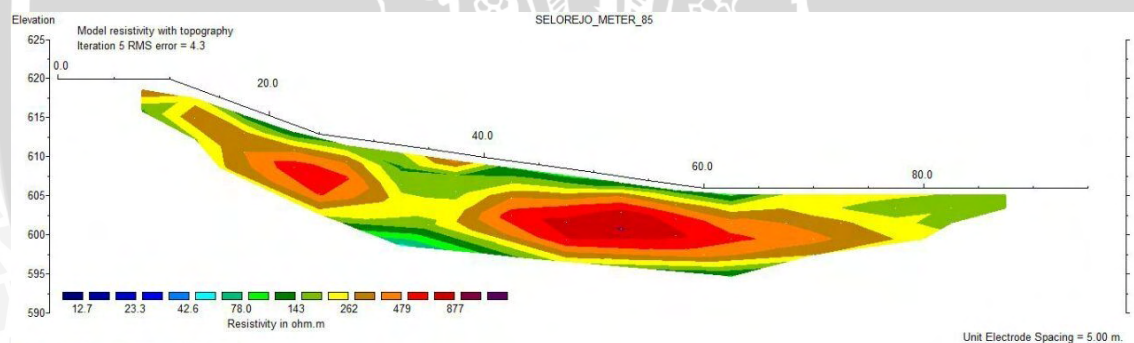


Gambar 4.2 Model hasil pengolahan data ERT untuk *line 1~5* dengan program Res2Dinv.

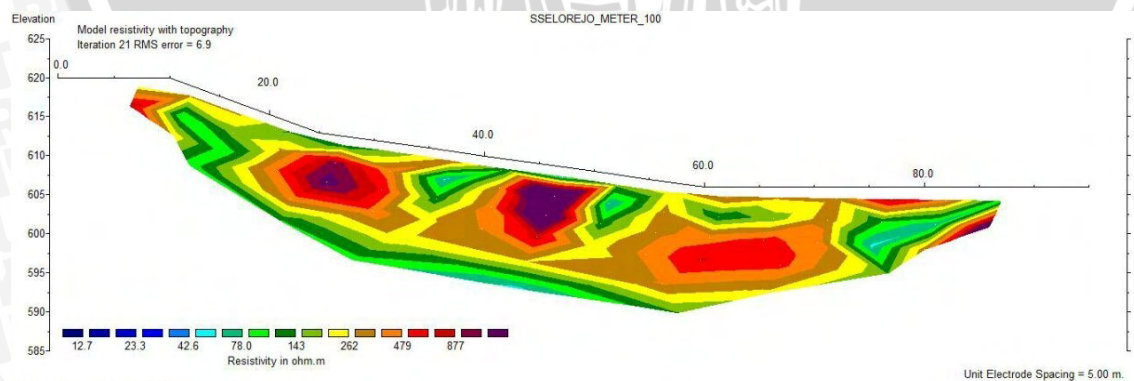
Sumber : Pengolahan data ERT.

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.

Penentuan lokasi atau titik terlemah bendungan diperlukan untuk mengetahui formasi lapisan tanah pada titik tersebut dan digunakan pada analisis stabilitas bendungan. Pengambilan titik terlemah digunakan dengan asumsi bentuk formasi lapisan bawah tanah pada seluruh panjang bendungan adalah sama dengan bentuk formasi pada titik terlemah bendungan. Penentuan titik terlemah bendungan diambil berdasarkan jumlah nilai resistivitas setiap titik seluruh lima *line* pada rentang jarak $60\text{m} \sim 120\text{m}$. Rentang tersebut dipilih dikarenakan hasil terdalam geolistrik berada pada posisi tersebut dan dipilih posisi $+85\text{m}$ dan $+100\text{m}$ dari titik BM.



(a)



(b)

Gambar 4.3 Hasil pengolahan data ERT untuk potongan melintang bendungan sisi hilir.

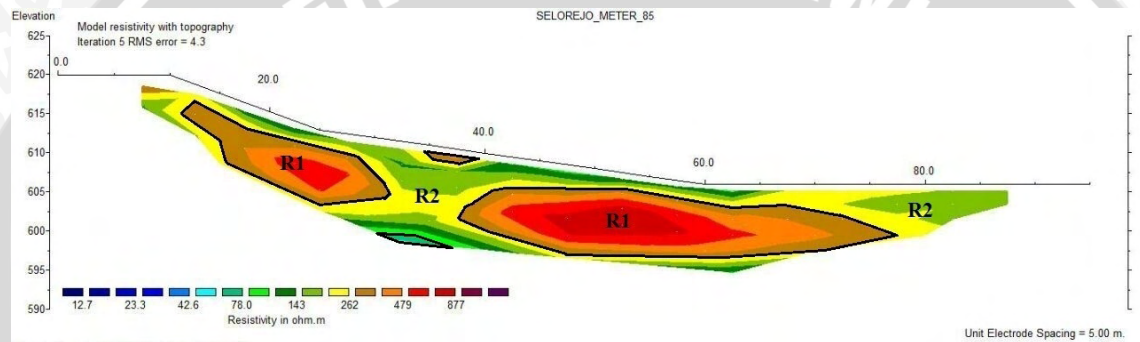
(a) posisi $+85\text{m}$ (b) posisi $+100\text{m}$

Sumber : Pengolahan data ERT.

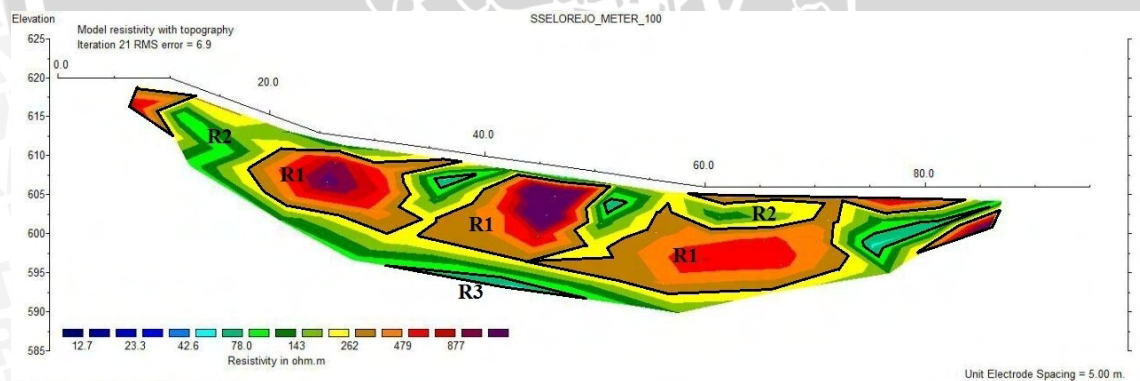
4.2 Pengelompokan Jenis Tanah Berdasarkan Hasil Analisis ERT

Dalam 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 $569,5 \Omega\text{m}$.



(a)



(b)

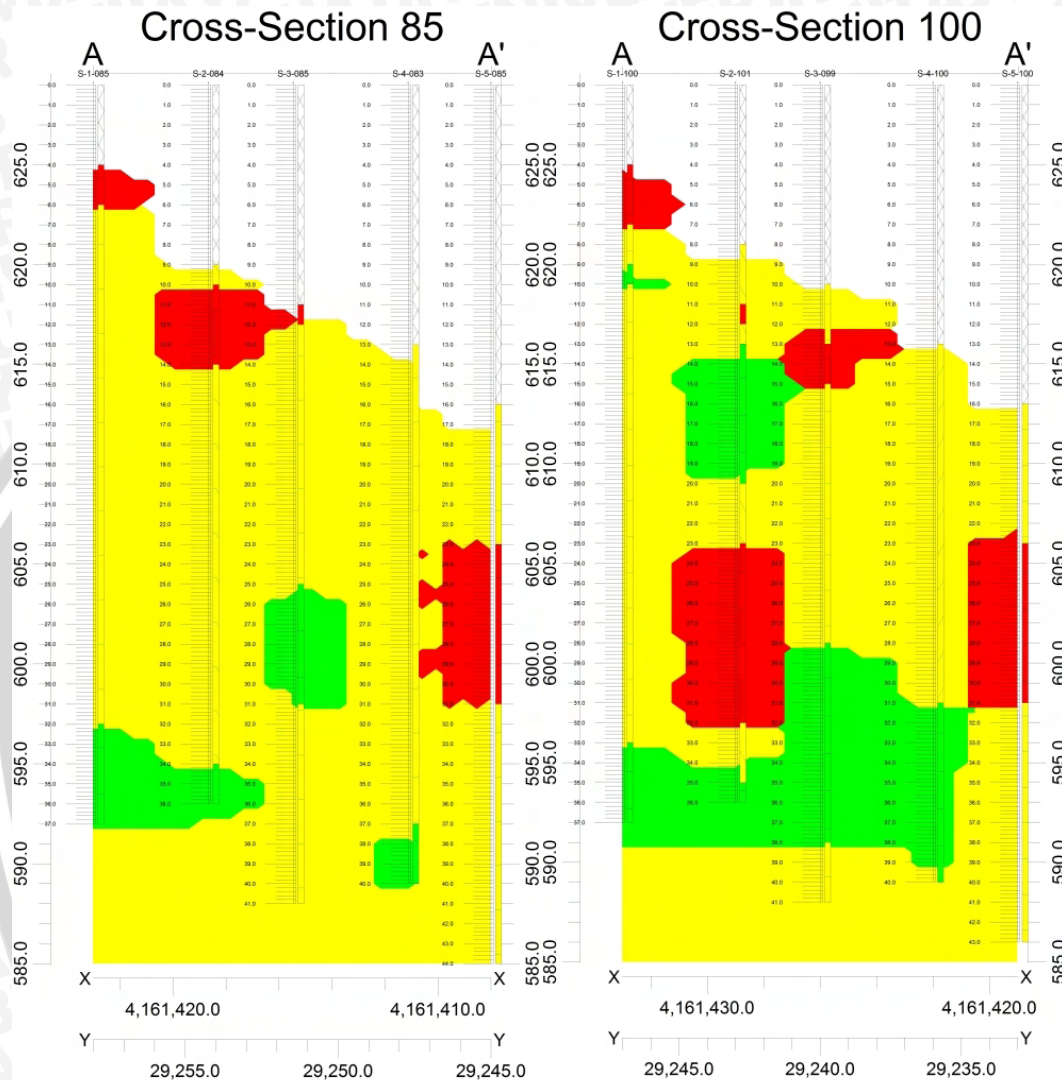
Gambar 4.4 Hasil pengelompokan jenis tanah pada potongan melintang bendungan.

(a) posisi +85m (b) posisi +100m

Sumber : Pengolahan data ERT.

Selain kedua gambar di atas, 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

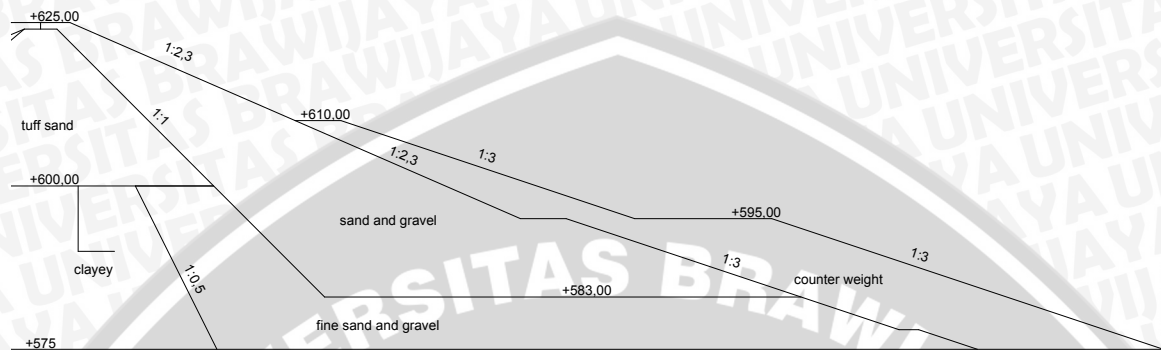
memproyeksikan kemungkinan model potongan melintang berdasarkan data pengelompokan jenis tanah pada data ERT potongan memanjang. Hasil pemodelan potongan melintang program RockWorks dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



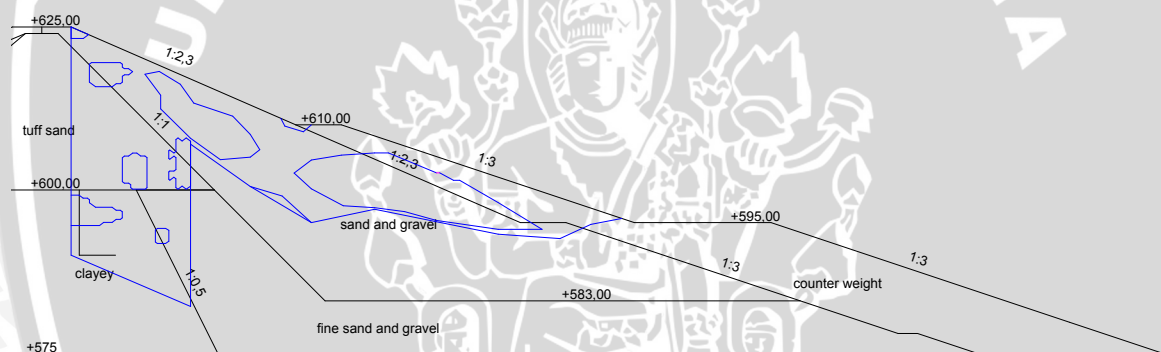
Gambar 4.5 Hasil pemodelan potongan melintang bendungan berdasarkan data hasil ERT line 1~5 untuk posisi +85m dan +100m.

Penanda S-1, S-2, S-3, S-4, dan S-5 menunjukkan posisi *line* ERT potongan memanjang berada dari hasil potongan melintang ERT. Sumbu vertikal menyatakan elevasi tanah dari permukaan laut dan sumbu horizontal X dan Y pada bagian bawah menunjukkan posisi potongan melintang berada berdasarkan pengukuran dari GPS (*Global Positioning System*). 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

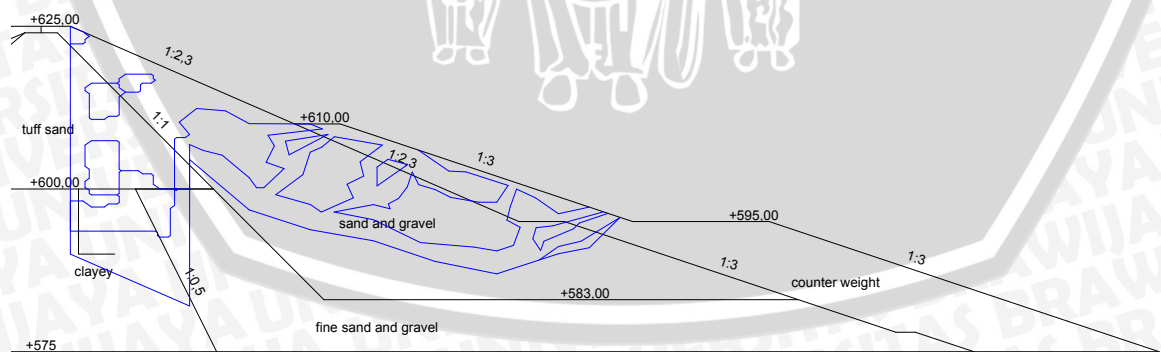
untuk tanah dengan nilai resistivitas rendah. Setelah didapatkan pengelompokan jenis tanah berdasarkan nilai resistivitas, gambar – gambar tersebut kemudian diplot ke dalam gambar *as build drawing* bendungan yang diperoleh dari Jasa Tirta dan digunakan untuk analisis stabilitas bendungan.



Gambar 4.6 *As build drawing* bendungan pada sisi hilir.



Gambar 4.7 Potongan melintang bendungan posisi +85m setelah ditambahkan plot data pengelompokan jenis tanah berdasarkan ERT.

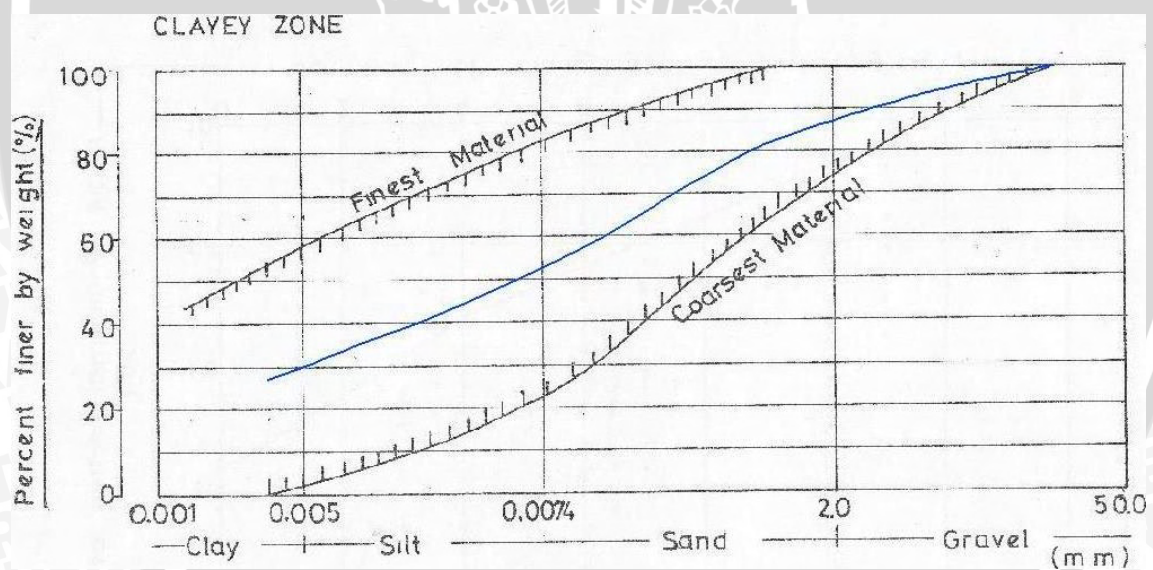


Gambar 4.8 Potongan melintang bendungan posisi +100m setelah ditambahkan plot data pengelompokan jenis tanah berdasarkan ERT.

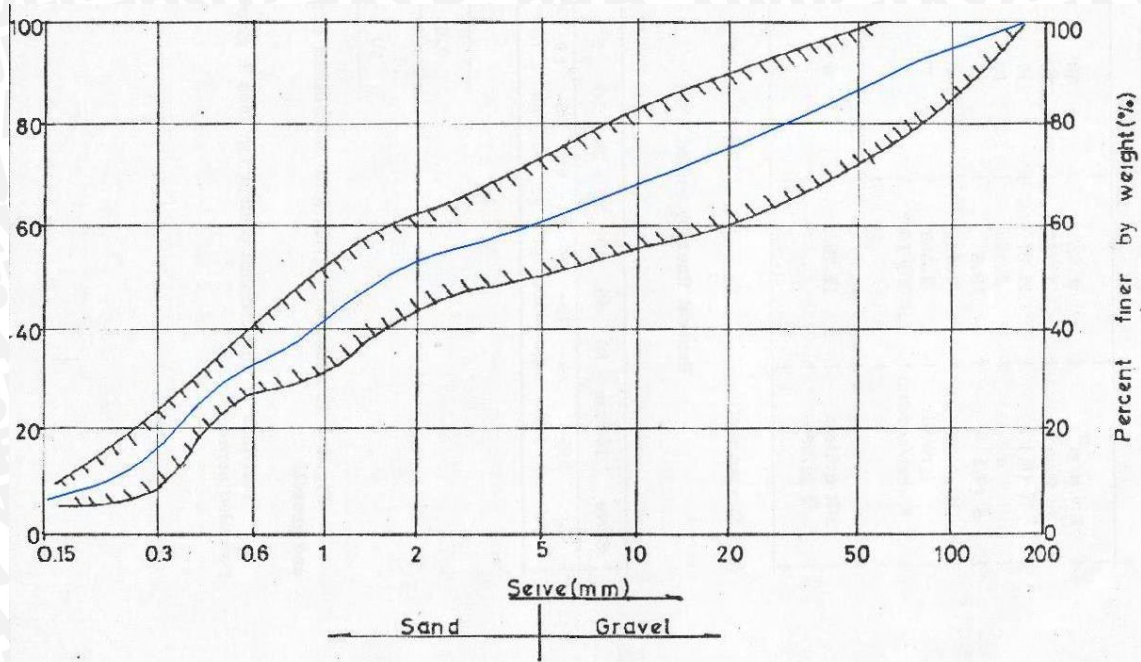
Pada area yang dapat terjangkau oleh data ERT, data tanah yang digunakan diambil dari uji coba laboratorium, yaitu karakteristik tanah berdasarkan hasil ERT. Sedangkan pada area yang tidak tercapai oleh data ERT menggunakan data tanah dari laporan *Completion Report On Selorejo Dam Project, 1976*.

4.3 Analisis Data Karakteristik Tanah Berdasarkan Hasil ERT

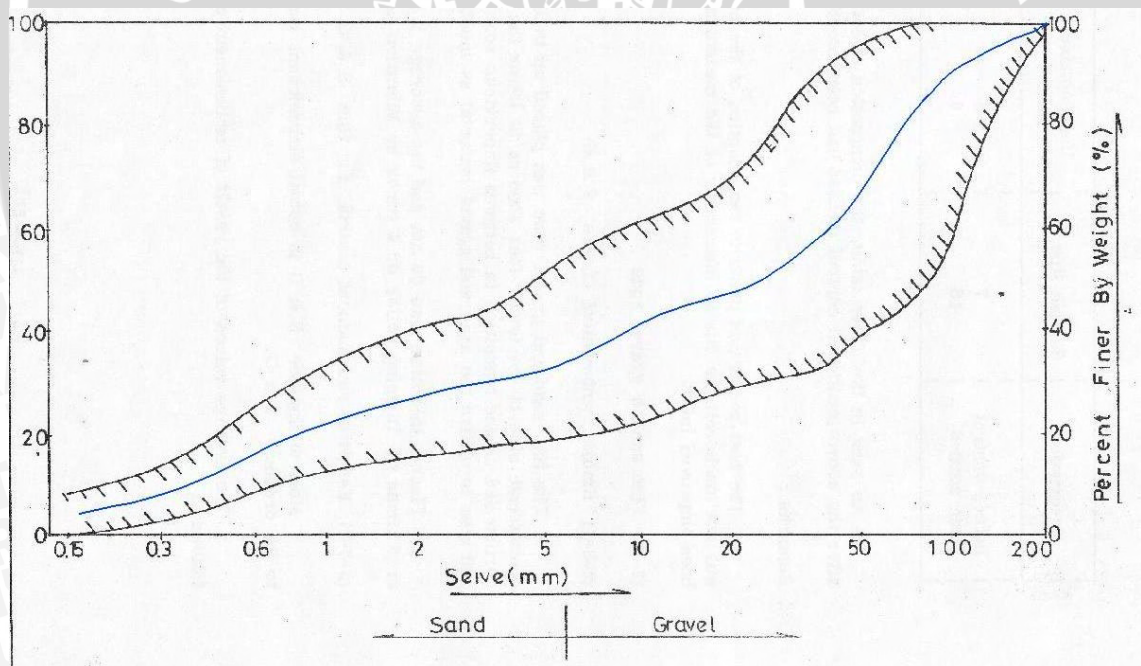
Analisis karakteristik tanah bendungan bertujuan untuk menentukan hubungan nilai resistivitas semu dengan nilai parameter utama tanah yaitu ϕ , dan C yang akan digunakan untuk analisis stabilitas bendungan. Grafik gradasi tanah diambil dari laporan resmi dari Jasa Tirta “*Completion Report On Selorejo Dam Project 1976*” dengan mengambil nilai tengah antara batas gradasi tanah halus (*finest material*) dengan batas gradasi tanah kasar (*coarse material*). Beberapa gambar berikut adalah grafik gradasi tanah untuk setiap jenis tanah bendungan dengan garis biru adalah nilai tengah dari batas gradasi tanah kasar dan batas gradasi tanah halus.



Gambar 4.9 Grafik gradasi untuk *Clayey Loam*.
Sumber : *Completion Report On Selorejo Dam Project 1976*

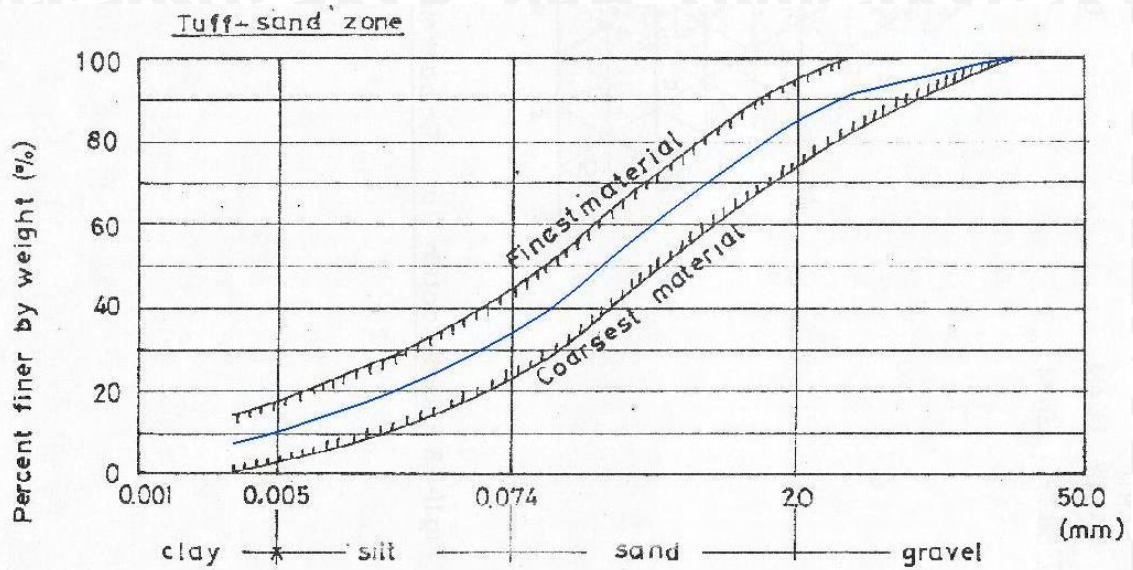


Gambar 4.10 Grafik gradasi untuk *Fine Sand and Gravel*.
 Sumber : *Completion Report On Selorejo Dam Project 1976*



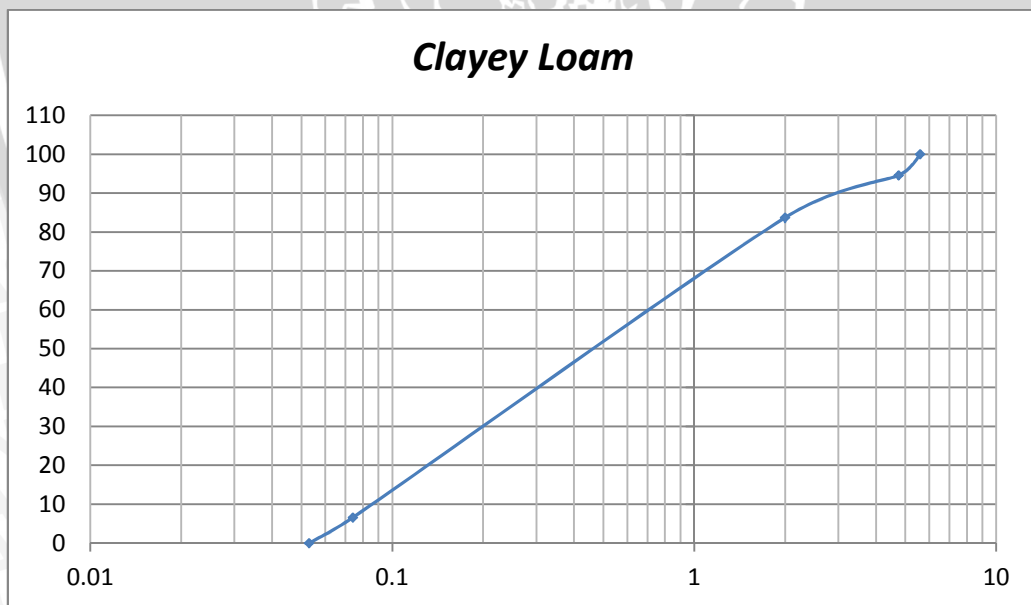
Gambar 4.11 Grafik gradasi untuk *Sand and Gravel*.
 Sumber : *Completion Report On Selorejo Dam Project 1976*



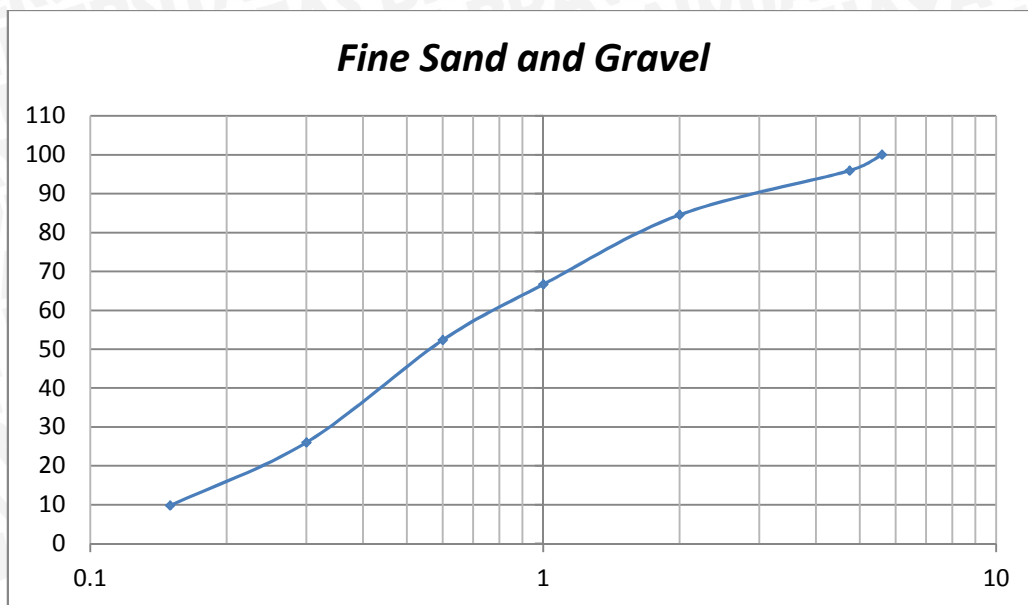


Gambar 4.12 Grafik gradasi untuk *Tuff Sand*.
 Sumber : *Completion Report On Selorejo Dam Project 1976*

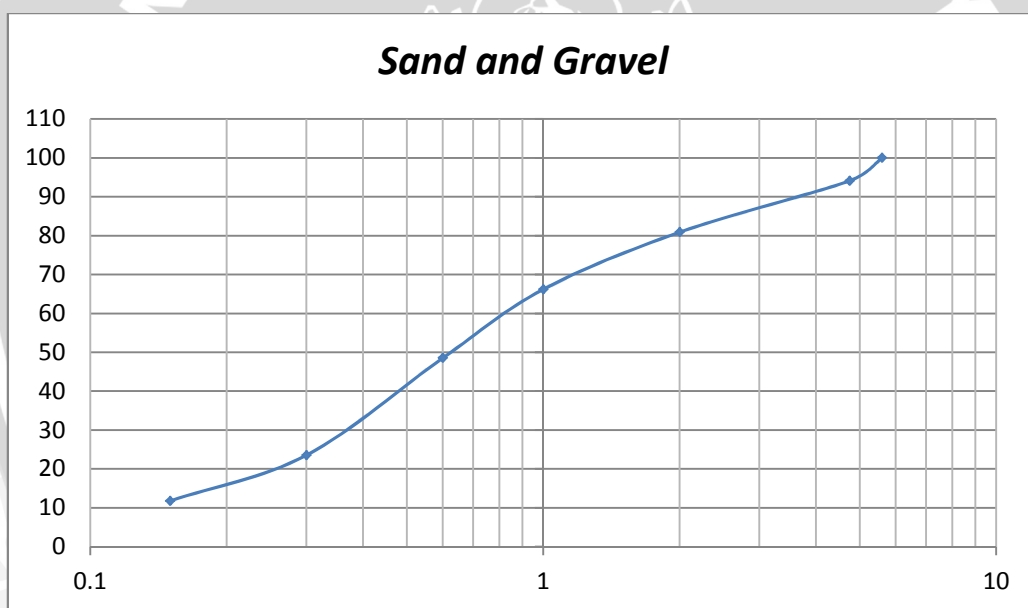
Analisis saringan digunakan dengan analisis secara mekanikal sehingga digunakan batas ukuran atas no.3,5 atau 5,6mm dan batas ukuran bawah no.270 atau 0,053mm. Grafik gradasi dengan diameter tanah lebih besar dari 5,6mm dan lebih kecil dari 0,053mm diabaikan dan dibuat grafik baru seperti beberapa gambar berikut ini.



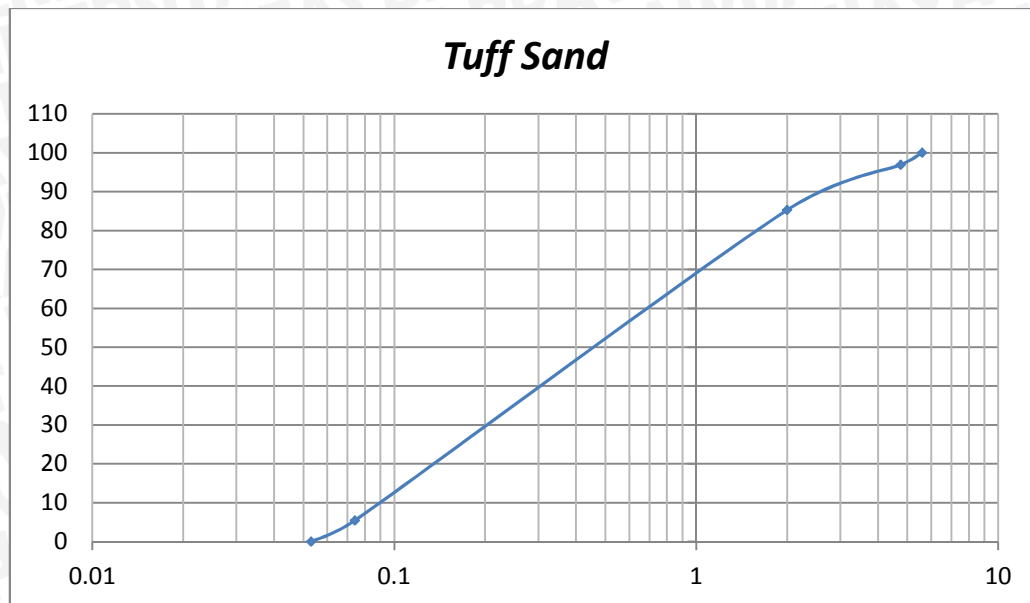
Gambar 4.13 Grafik gradasi baru untuk *Clayey Loam*.



Gambar 4.14 Grafik gradasi baru untuk *Fine Sand and Gravel*.



Gambar 4.15 Grafik gradasi baru untuk *Sand and Gravel*.



Gambar 4.16 Grafik gradasi baru untuk *Tuff Sand*.

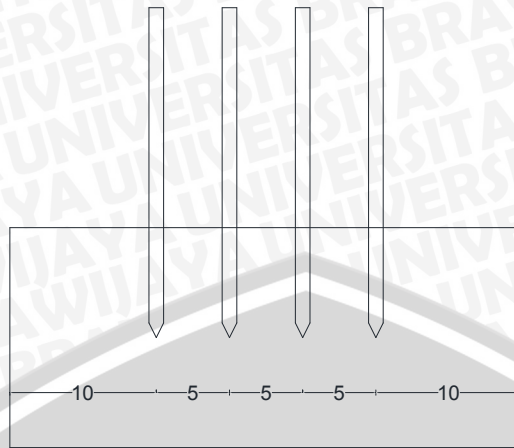
Berdasarkan empat grafik gradasi baru di atas, dapat ditentukan besaran tanah tertahan (%) untuk setiap ukuran saringan, sehingga dapat ditentukan berat tanah untuk setiap jenis tanah dan setiap ukuran saringan per berat total setiap jenis *sample* tanah. Berikut ini adalah tabel analisis saringan untuk empat jenis tanah berdasarkan empat grafik gradasi baru di atas.

Tabel 4.2 Grafik analisis saringan.

Jenis Tanah		Clayey Loam		Fine Sand and Gravel		Sand and Gravel		Tuff Sand	
Saringan		Tertahan	Kumulatif	Tertahan	Kumulatif	Tertahan	Kumulatif	Tertahan	Kumulatif
No	Diameter	%	%	%	%	%	%	%	%
3.5	5.6	0	100	0	100	0	100	0	100
4	4.75	5.4	94.6	4.07	95.93	5.88	94.12	3.1	96.9
10	2	16.3	83.7	15.45	84.55	19.12	80.88	15	85
20	0.84	25	75	37	63	38	62	25	75
40	0.42	51	49	61.5	38.5	65	35	52.5	47.5
50	0.3	57.5	42.5	73.98	26.02	76.47	23.53	60	40
80	0.18	71	29	87	13	86	14	74	26
100	0.15	75.5	24.5	90.24	9.76	88.24	11.76	79	21
200	0.075	90.22	9.78	100	0	100	0	94.57	5.43
Pan		100	0	100	0	100	0	100	0

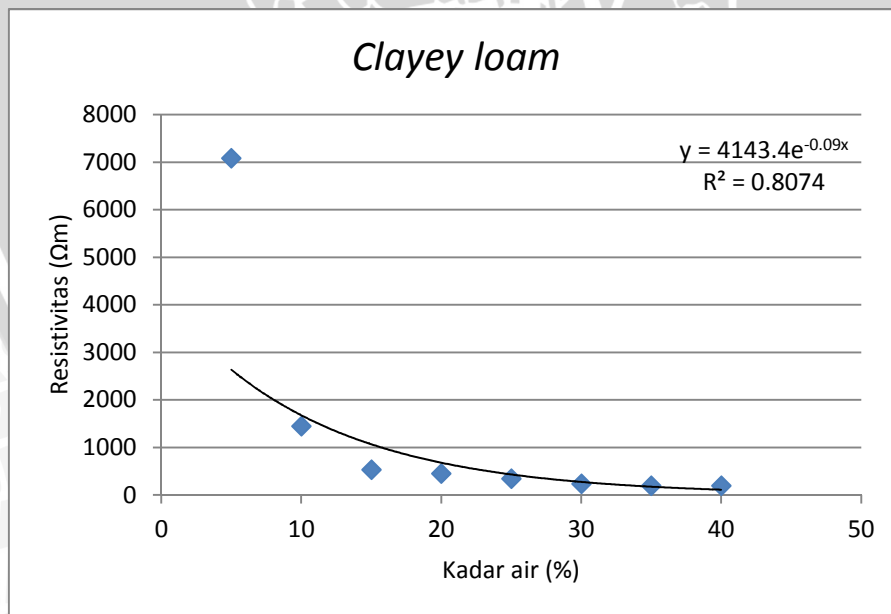
Sumber : Pengolahan data.

Pengukuran resistivitas semu tanah dilakukan pada sebuah *box* berukuran 25cm x 15cm x 15 cm dengan jarak antar elektroda 5 cm seperti gambar ilustrasi di bawah ini.



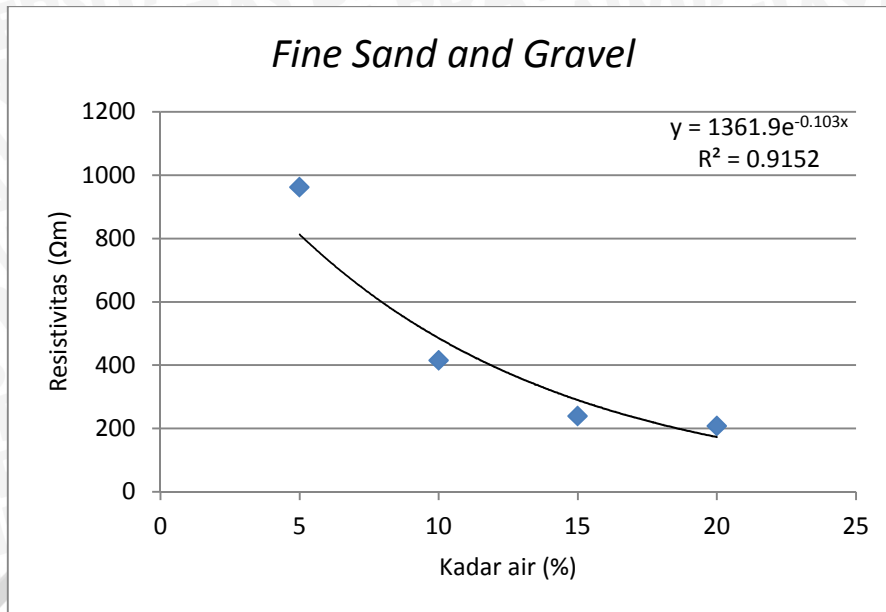
Gambar 4.17 Ilustrasi model untuk pengukuran nilai resistivitas semu tanah skala laboratorium.

Pengujian tanah dilaksanakan dengan menetapkan nilai berat volume kering (γ_d) tanah sesuai dengan laporan yang telah ada, sedangkan variabel kadar air mengalami perubahan dengan nilai yang berbeda dan dicari nilai resistivitas semu. Pada tahap selanjutnya digunakan percobaan *direct shear* untuk seluruh jenis tanah untuk mencari nilai kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ). Beberapa gambar grafik berikut adalah hasil yang diperoleh dari uji tanah di laboratorium mekanika tanah.

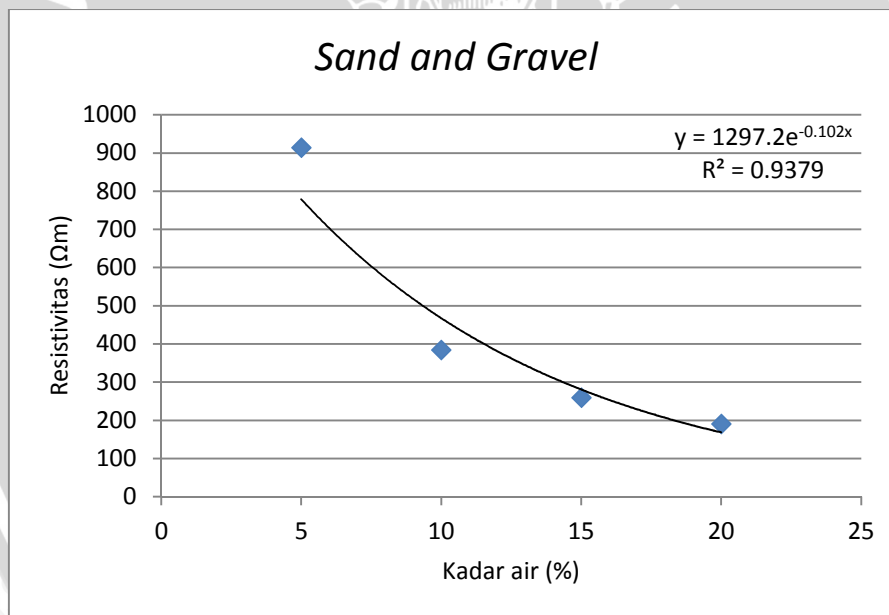


Gambar 4.18 Hubungan nilai resistivitas dengan kadar air untuk tanah *Clayey Loam*.

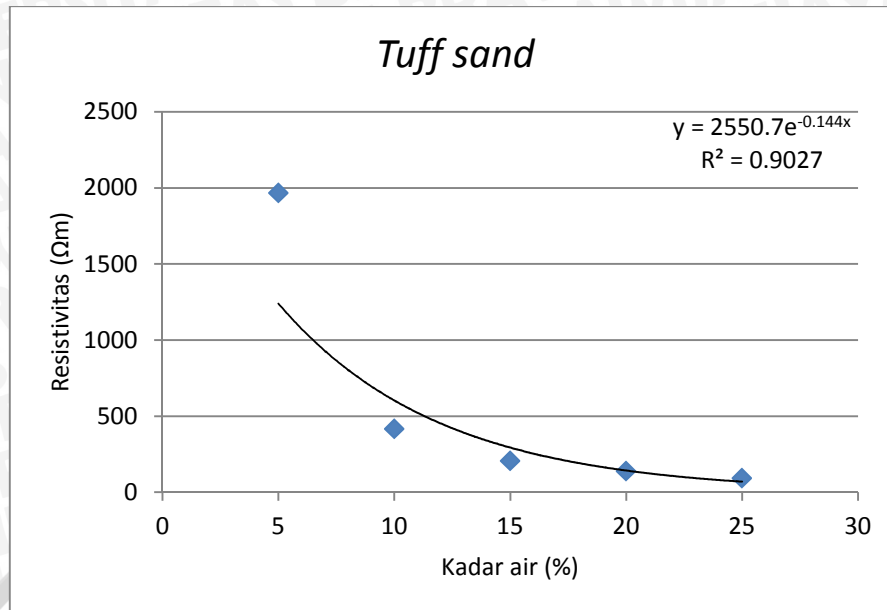
Sumber : Uji laboratorium.



Gambar 4.19 Hubungan nilai resistivitas dengan kadar air untuk tanah *Fine Sand and Gravel*.
 Sumber : Uji laboratorium.

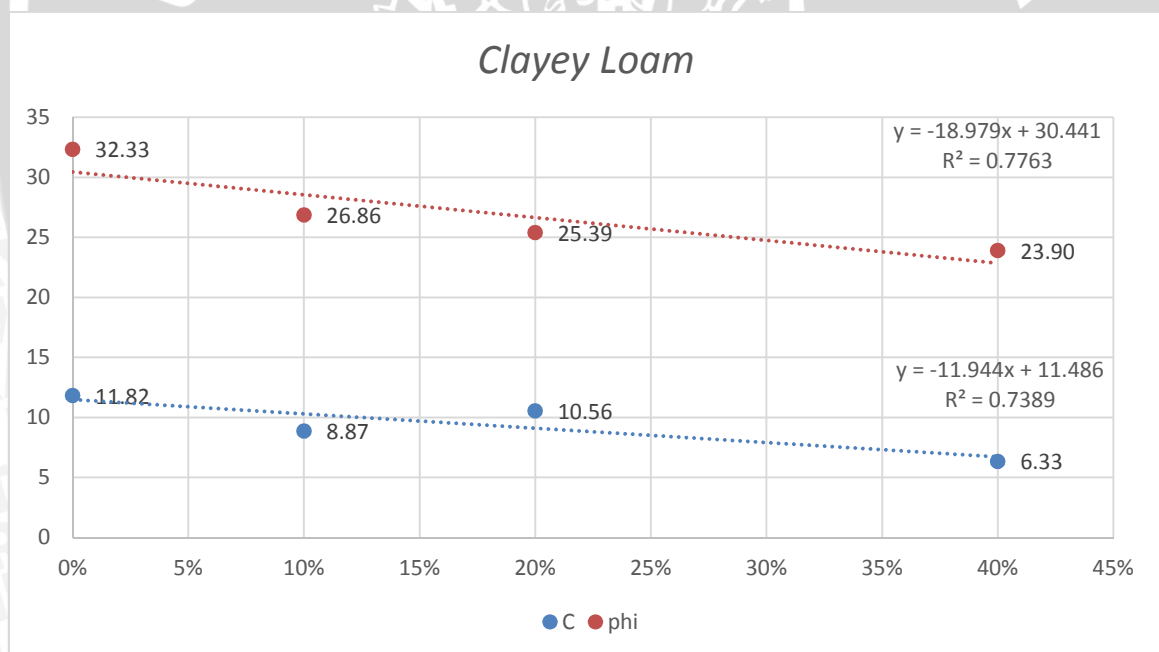


Gambar 4.20 Hubungan nilai resistivitas dengan kadar air untuk tanah *Sand and Gravel*.
 Sumber : Uji laboratorium.



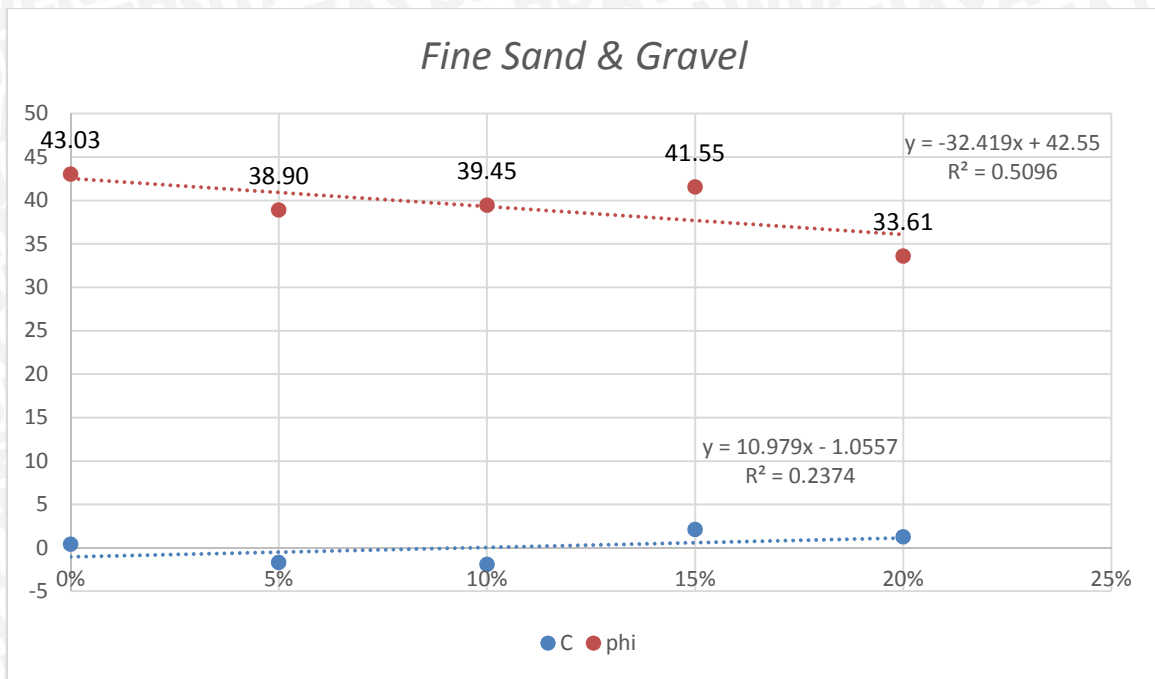
Gambar 4.21 Hubungan nilai resistivitas dengan kadar air untuk tanah *Tuff Sand*.

Sumber : Uji laboratorium.

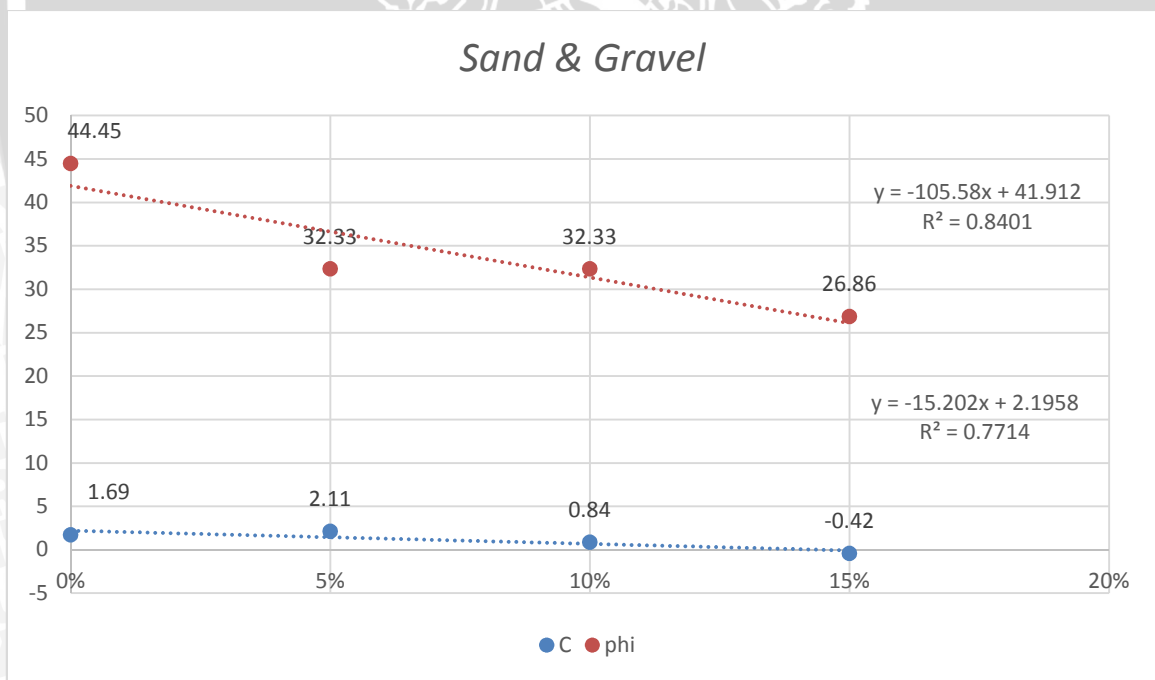


Gambar 4.22 Grafik hubungan kadar air terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah *Clayey Loam*.

Sumber : Uji laboratorium.

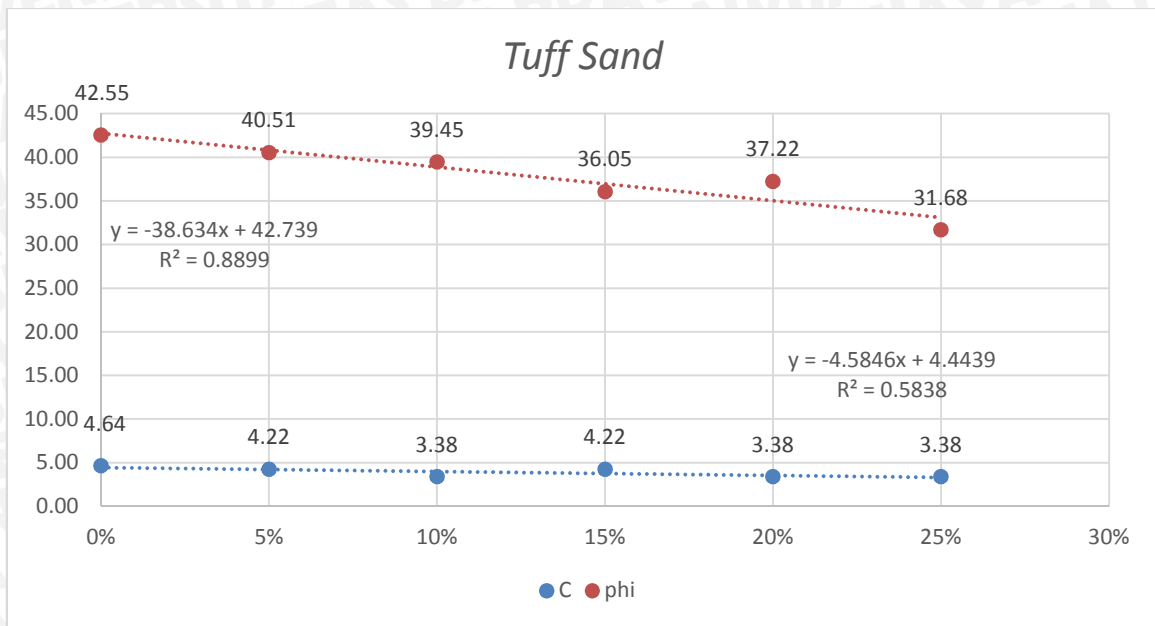


Gambar 4.23 Grafik hubungan kadar air terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam *fine sand and gravel*.
 Sumber : Uji laboratorium.



Gambar 4.24 Grafik hubungan kadar air terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam *Sand and gravel*.
 Sumber : Uji laboratorium.





Gambar 4.25 Grafik hubungan kadar air terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam *Tuff sand*.

Sumber : Uji laboratorium.

Nilai kohesi dan sudut geser dalam didapatkan dengan cara menentukan nilai resistivitas dari tanah yang akan ditinjau sehingga didapatkan nilai kadar air (w_c). Dari besaran nilai kadar air tersebut dapat ditentukan besarnya nilai kohesi dan sudut geser dalam pada tanah yang sejenis yang telah ditentukan. Ringkasan nilai parameter tanah yang diperoleh dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

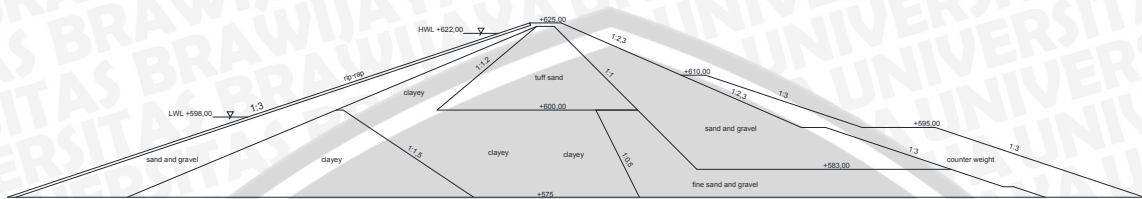
Tabel 4.3 Parameter tanah hasil analisis karakteristik tanah terhadap geolistrik.

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

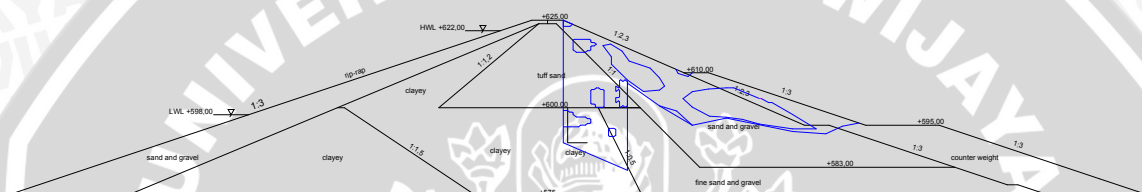
Sumber : Percobaan laboratorium.

4.4 Analisis Stabilitas Bendungan

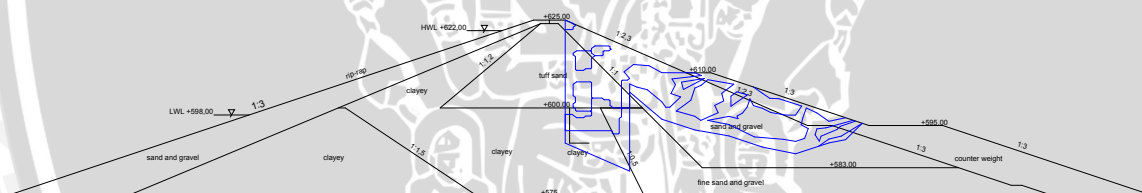
Tahapan analisis stabilitas bendungan diawali dengan pembuatan model potongan melintang bendungan dengan bantuan AutoCAD yang telah ditambahkan pola pengelompokan jenis tanah berdasarkan hasil ERT.



Gambar 4.26 As build drawing dengan program AutoCAD

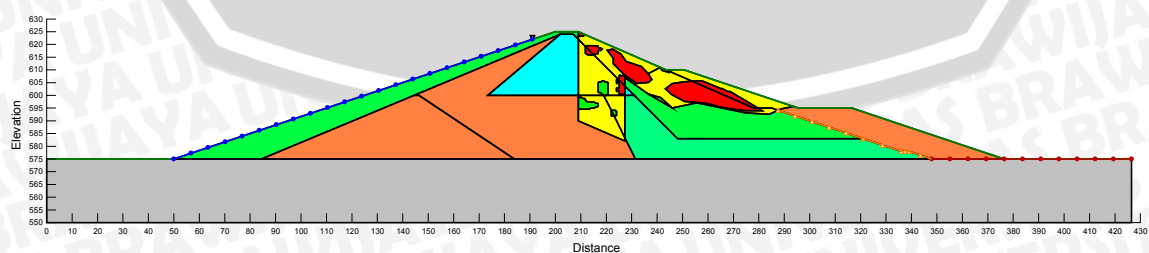


Gambar 4.27 Gambar potongan melintang bendungan untuk posisi +85m.



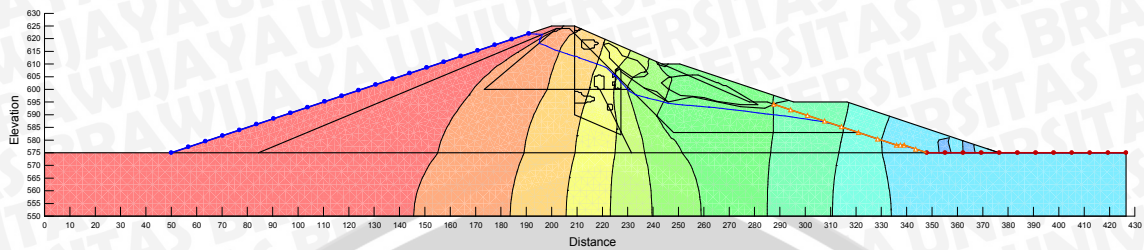
Gambar 4.28 Gambar potongan melintang bendungan untuk posisi +100m.

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



Gambar 4.29 Hasil pemodelan bendungan posisi +85m.

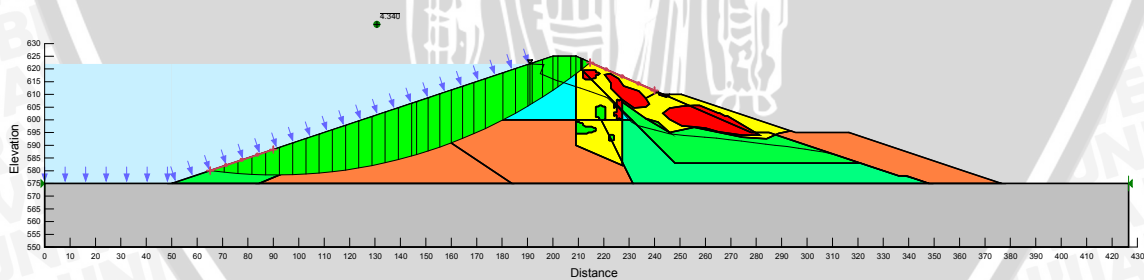
Hasil pemodelan pada gambar 4.29 di atas juga berlaku untuk seluruh fitur yang ada pada GeoSlope SLOPE/W pada *project* yang sama.



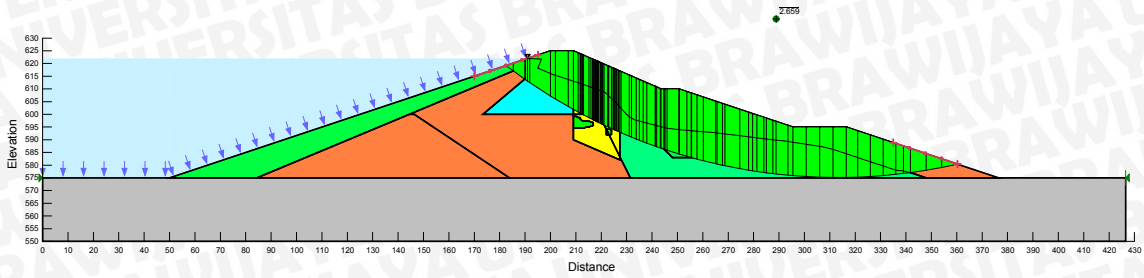
Gambar 4.30 Hasil analisis SEEP/W untuk posisi +85m.

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.

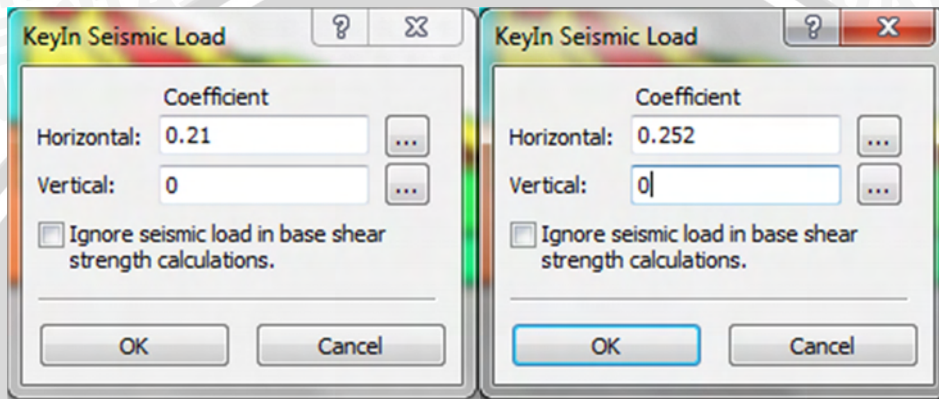
Tahapan selanjutnya adalah analisis stabilitas bendungan menggunakan SLOPE/W. Pada analisis stabilitas ini dapat menggunakan pemodelan secara statik dan dinamik. Pemodelan secara statik seluruhnya menggunakan fitur SLOPE/W dengan metode statik ekuivalen dimana pada tiap bagian bendungan ditambahkan gaya 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 4.31 Hasil analisis SLOPE/W sebelum penambahan beban gempa pada sisi hulu bendungan posisi +85m.



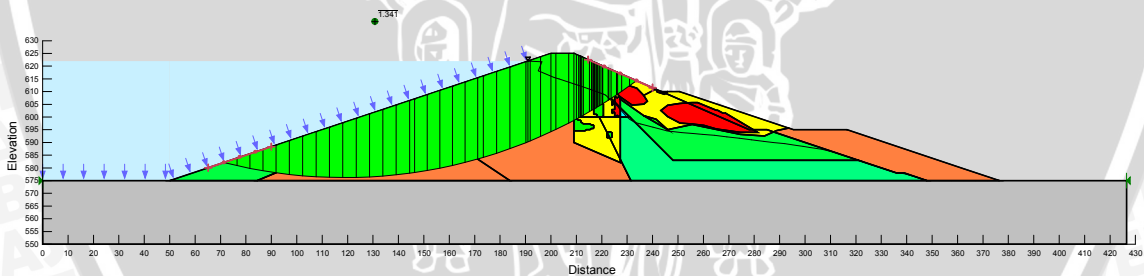
Gambar 4.32 Hasil analisis SLOPE/W sebelum penambahan beban gempa pada sisi hilir bendungan posisi +85m.



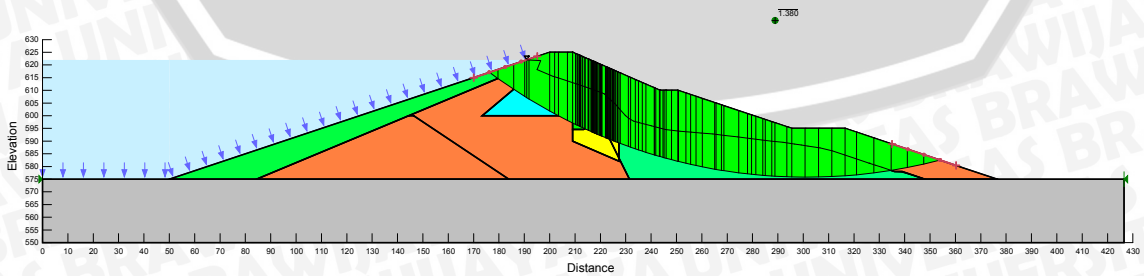
(a)

(b)

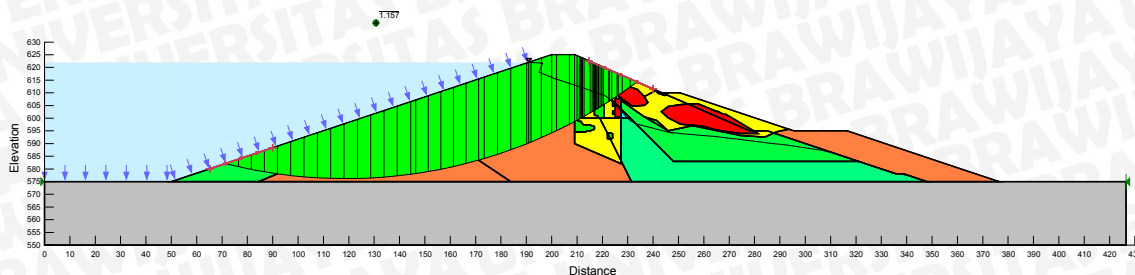
Gambar 4.33 Penambahan beban gempa pada SLOPE/W. (a)kalah ulang 50 tahun (b)kalah ulang 100 tahun.



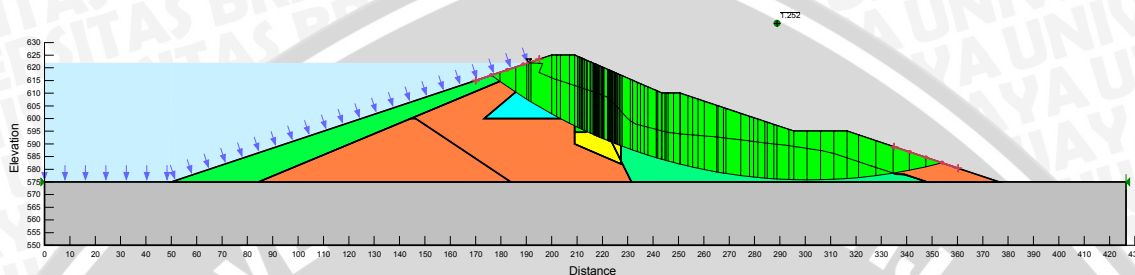
Gambar 4.34 Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 50 tahun pada sisi hulu bendungan posisi +85m.



Gambar 4.35 Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 50 tahun pada sisi hilir bendungan posisi +85m.

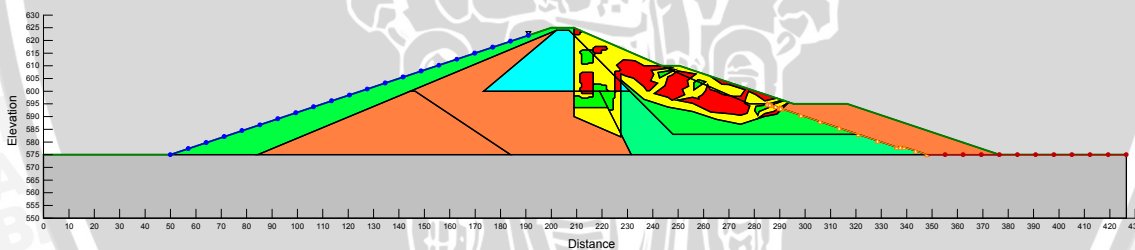


Gambar 4.36 Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 100 tahun pada sisi hulu bendungan posisi +85m.

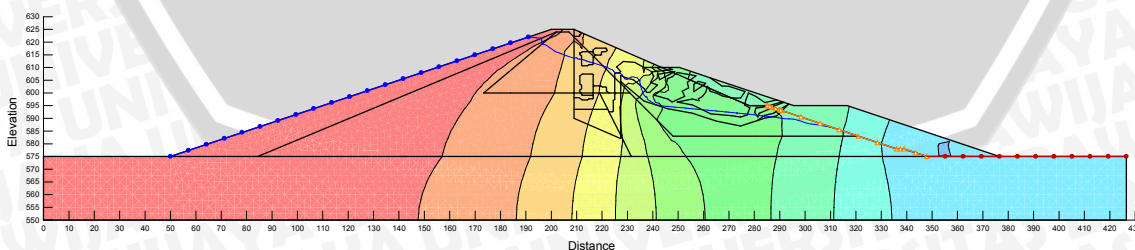


Gambar 4.37 Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 100 tahun pada sisi hilir bendungan posisi +85m.

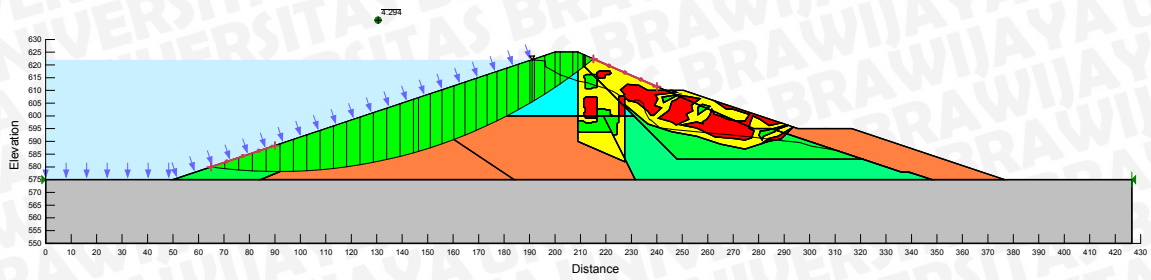
Seluruh tahapan dan proses analisis yang ada untuk posisi +85m juga berlaku untuk posisi +100m. Beberapa gambar berikut adalah hasil analisis untuk potongan melintang posisi +100m.



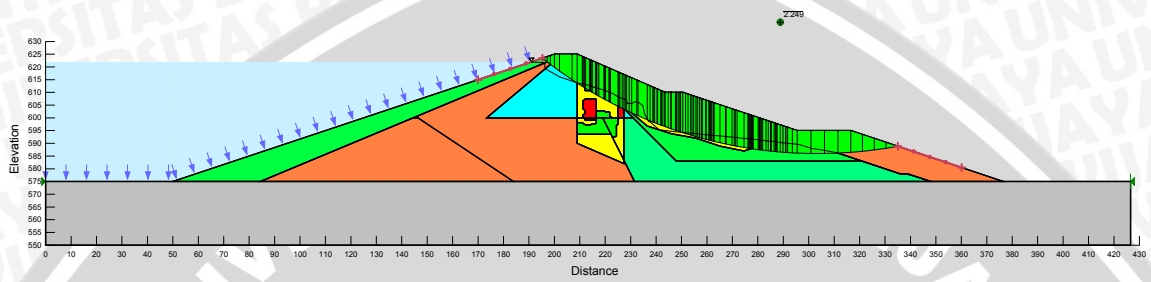
Gambar 4.38 Hasil pemodelan bendungan posisi +100m.



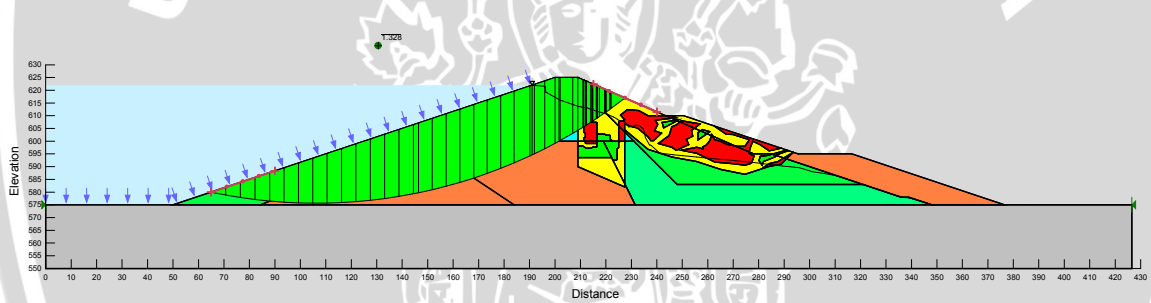
Gambar 4.39 Hasil analisis SEEP/W untuk posisi +100m.



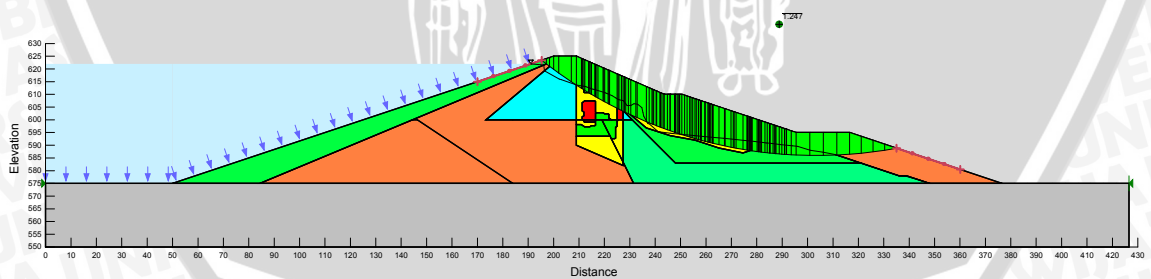
Gambar 4.40 Hasil analisis SLOPE/W sebelum penambahan beban gempa pada sisi hulu bendungan posisi +100m.



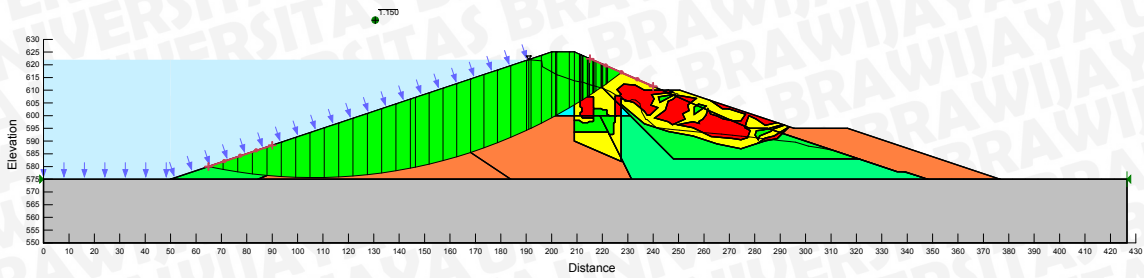
Gambar 4.41 Hasil analisis SLOPE/W sebelum penambahan beban gempa pada sisi hilir bendungan posisi +100m.



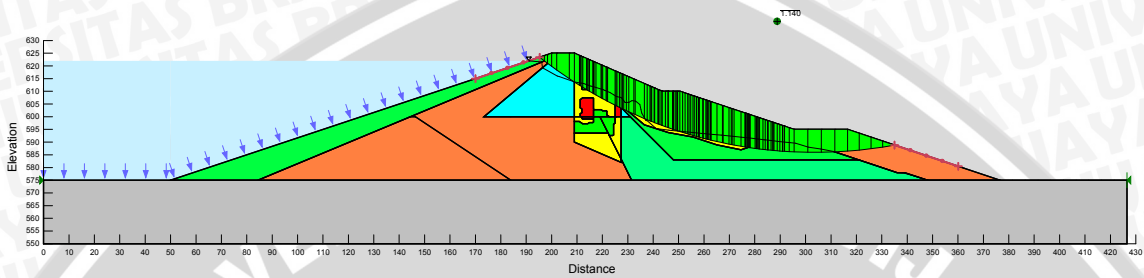
Gambar 4.42 Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 50 tahun pada sisi hulu bendungan posisi +100m.



Gambar 4.43 Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 50 tahun pada sisi hilir bendungan posisi +100m.



Gambar 4.44 Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 100 tahun pada sisi hulu bendungan posisi +100m.



Gambar 4.45 Hasil analisis SLOPE/W setelah penambahan beban gempa kala ulang 100 tahun pada sisi hilir bendungan posisi +100m.

Berikut ini adalah ringkasan dari seluruh hasil analisis stabilitas Bendungan Selorejo pada potongan melintang posisi +85m dan 100m.

Tabel 4.4 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

Sumber : Perhitungan GeoStudio.