



TUGAS AKHIR - RF184838

**INTEGRASI METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING*  
(VES) DAN PARAMETER GEOTEKNIK DALAM PEMODELAN  
3D BAWAH PERMUKAAN : STUDI KASUS LITOLOGI  
LEMPUNG**

IKHBAL MUSTOFA  
0341154000009

DOSEN PEMBIMBING:  
Dr. DWA DESA WARNANA  
JUAN PANDU GYA N. R., S.Si, M.T

Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan Dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





**TUGAS AKHIR - RF184838**

**INTEGRASI METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING*  
(VES) DAN PARAMETER GEOTEKNIK DALAM PEMODELAN  
3D BAWAH PERMUKAAN : STUDI KASUS LITOLOGI  
LEMPUNG**

**IKHBAL MUSTOFA  
0341154000009**

**DOSEN PEMBIMBING:  
Dr. DWA DESA WARNANA  
JUAN PANDU GYA N. R., S.Si, M.T:**

**Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - RF184838**

**INTEGRATION OF VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING (VES)  
AND GEOTECHNICAL PARAMETERS FOR 3D SUBSURFACE  
MODELLING : CASE STUDY CLAY LITHOLOGY**

**IKHBAL MUSTOFA  
0341154000009**

**ADVISOR :  
Dr. DWA DESA WARNANA  
JUAN PANDU GYA N. R., S.Si, M.T:**

**Department Geophysical Engineering  
Faculty of Civil Environment and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Ikhsal Mustofa  
NRP : 03411540000009  
Departemen : Teknik Geofisika  
Judul Tugas Akhir : Integrasi Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dan Parameter Geoteknik Dalam Pemodelan 3D Bawah Permukaan : Studi Kasus Litologi Lempung

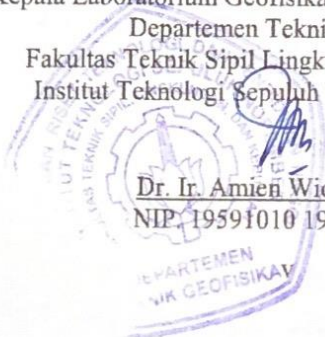
Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 19 Juli 2019

1. ....  
Dr. Dwa Desa Wamana (Pembimbing I)  
NIP. 19760123 200003 1001
2. ....  
Juan Pandu Gya N. R., S.Si, M.T (Pembimbing II)  
NIP. 19890612 201504 1003
3. ....  
Anik Hilyah, S.Si, M.T (Penguji I)  
NIP. 19790813 200812 2002
4. ....  
Mariyanto, S.Si, M.T (Penguji II)  
NIP. 1991201711044

Mengetahui,  
Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan  
Departemen Teknik Geofisika  
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si  
NIP. 19591010 198803 1001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “INTEGRASI METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* (VES) DAN PARAMETER GEOTEKNIK DALAM PEMODELAN 3D BAWAH PERMUKAAN : STUDI KASUS LITOLOGI LEMPUNG” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juli 2019

Ikhbal Mustofa  
0341154000009

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# INTEGRASI METODE *VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING* (VES) DAN PARAMETER GEOTEKNIK DALAM PEMODELAN 3D BAWAH PERMUKAAN : STUDI KASUS LITOLOGI LEMPUNG

Nama Mahasiswa : Ikhbal Mustofa  
NRP : 03411540000009  
Departemen : Teknik Geofisika  
Pembimbing I : Dr. Dwa Desa Warnana  
Pembimbing II : Juan Pandu Gya N. R., S.Si, M.T

## ABSTRAK

Pemetaan dan karakterisasi kondisi bawah permukaan merupakan kegiatan yang penting untuk perencanaan, pembuatan desain, konstruksi, dan operasi bangunan. Salah satu jenis tanah yang sering menjadi target observasi adalah lempung, karena jenis tanah ini memiliki kekuatan yang lemah, kompresibilitas tinggi, dan perubahan volumetrik yang tinggi, oleh karena itu memiliki pengaruh yang besar terhadap konstruksi bangunan. Penyelidikan dan karakterisasi bawah permukaan dapat dilakukan dengan metode resistivitas dan pengujian geoteknik. Salah satu metode resistivitas yang sering digunakan adalah *vertical electrical sounding* (VES). Kelebihan dari metode ini adalah akuisisi yang cepat, biaya operasional yang murah dan hasilnya cukup akurat. Di sisi lain, metode pengujian geoteknik memberikan hasil yang akurat dan memberikan gambaran bawah permukaan secara riil, namun operasional dan mobilitas sulit, biaya relatif besar, bersifat destruktif, dan waktu pengukurannya lama. Telah dilakukan integrasi kedua metode dalam pemodelan 3D bawah permukaan untuk melengkapi kekurangan masing-masing metode pada daerah litologi lempung dan dilakukan pula korelasi nilai resistivitas dan parameter geoteknik. Hasil pemodelan 3D didapatkan 3 lapisan, yaitu *top soil* (4 – 13  $\Omega\text{m}$ ), *claystone* (1 – 3,8  $\Omega\text{m}$ ), dan *mudstone* (1,3 – 3,5  $\Omega\text{m}$ ). Metode geoteknik membantu dalam proses interpretasi untuk mengurangi ambiguitas dan metode VES memberikan hasil yang detail karena persebaran titiknya yang baik. Korelasi resistivitas dan parameter geoteknik (*specific gravity*, *Atterberg limit*, *plasticity index*, densitas, *water content*, *void ratio*, porositas, saturasi, dan permeabilitas) menunjukkan parameter tersebut tidak memiliki korelasi ( $R^2 = 0 - 0,3$ ) hingga berkorelasi rendah ( $R^2 = 0,3 - 0,5$ ) untuk seluruh parameter pada *dataset* yang dimiliki. Parameter yang memiliki korelasi sangat kuat hanya ditunjukkan oleh *transverse resistance* dengan N-SPT dengan persamaan,  $y = 1,07x - 1,794$ , yang memiliki  $R^2 = 0,92$ .

Kata kunci : geoteknik, korelasi, litologi lempung, pemodelan 3D, VES

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**INTEGRATION OF VERTICAL ELECTRICAL SOUNDING (VES) AND  
GEOTHECTINAL PARAMETERS FOR 3D SUBSURFACE MODELLING  
: CASE STUDY CLAY LITHOLOGY**

**Author** : Ikhbal Mustofa  
**NRP** : 03411540000009  
**Department** : Teknik Geofisika  
**Advisor I** : Dr. Dwa Desa Warnana  
**Advisor II** : Juan Pandu Gya N. R., S.Si, M.T

**ABSTRACT**

*Subsurface investigation and characterization is an important activity in building's planning, design, contruction, and operation. Clay is one of the observation interest, because this soil type has weak strength, high compressibility, and high volumetric change, therefore it has a big influence on building construction. The subsurface investigation and characterization that can be done is the use of resistivity methods and geotechnical testing. One of the geoelectrical resistivity methods that is often used is vertical electrical sounding (VES). The advantages of this method are fast acquisition, low operational costs and the results are quite accurate. On the other hand, geotechnical testing methods provide accurate results and provide a real condition of the subsurface, but the operational and mobility are difficult, the costs are high, destructive, and the measurement take long time. For this reason, the two methods are integrated into subsurface 3D modeling to complement the weaknesses of each method. In addition, a correlation between resistivity values and geotechnical parameters was also conducted. The results of 3D modeling obtained 3 layers, namely top soil (4 - 13  $\Omega$ m), claystone (1 - 3.8  $\Omega$ m), and mudstone (1.3 - 3.5  $\Omega$ m). Where the geotechnical methods help in interpretation process to reduce the ambiguity and the VES method gives more detailed result because of it has better data distribution. Resistivity correlation and geotechnical parameters (specific gravity, Atterberg limit, plasticity index, density, water content, void ratio, porosity, saturation, and permeability) showed that both parameters did not have a correlation ( $R^2 = 0 - 0.3$ ) to low correlation ( $R^2 = 0.3 - 0.5$ ) for all parameters in the dataset owned. Parameters that have a very strong correlation are only indicated by transverse resistance with N-SPT,  $y = 1.07x - 1.794$ , which has  $R^2 = 0.92$ .*

*Keywords* : 3D model, clay lithology, correlation, geotechnical, VES

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Integrasi Metode *Vertical Electrical Sounding* (VES) dan Parameter Geoteknik Dalam Pemodelan 3D Bawah Permukaan : Studi Kasus Litologi Lempung” dapat terselesaikan.

Pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orang tua dan keluarga penulis atas dukungan dan doa yang selalu ditujukan kepada penulis selama mas perkuliahan terutama selama melaksanakan Tugas Akhir ini
2. Bapak Dr. Dwa Desa Warnana dan Bapak Juan Pandu Gya Nur Rahman, S.Si, M.T, selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, kesabaran, dan waktu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini
3. Seluruh dosen dan pegawai administrasi Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah membantu proses perkuliahan dan penulisan Tugas Akhir
4. Teman-teman Teknik Geofisika ITS, khususnya angkatan 2015 (TG04) atas dukungannya, yang senantiasa memberi masukan, saran, ide, dan motivasi pada pelaksanaan Tugas Akhir ini
5. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih atas doa dan dukungannya

Semoga Allah membalas kebaikan semua pihak. Penulis menyadari dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis probadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 19 Juli 2019

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
<i>TITLE PAGE</i> .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	xi
KATA PENGANTAR .....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xviii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
1.6 Target Luaran .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Geologi Daerah Penelitian .....	5
2.2 Metode Geolistrik Resistivitas .....	6
2.2.1 Metode Geolistrik .....	6
2.2.2 <i>Vertical Electrical Sounding (VES)</i> .....	9
2.3 <i>Boring</i> .....	10
2.4 <i>Standard Penetration Test (SPT)</i> .....	11
2.5 Interpolasi Spasial .....	12
2.5.1 <i>Inverse Distance Weighted (IDW)</i> .....	12
2.6 Regresi .....	13
2.6.1 Regresi Linier.....	14
2.6.2 Regresi Non-Linier .....	14
2.6.3 Koefisien Determinasi .....	15
2.7 Penelitian Terdahulu .....	16
2.7.1 Pemodelan Resistivitas Bawah Permukaan .....	16
2.7.2 Hubungan Resistivitas dan Parameter Geoteknik .....	17
BAB III METODOLOGI .....	19
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Data Penelitian .....	19
3.2.1 Data pengukuran VES.....	19
3.2.2 Data Geoteknik .....	19
3.3 Alur Kerja .....	20
3.4 Perangkat Lunak.....	21

3.5	Prosedur Penelitian .....	21
3.5.1	Analisis Data Pengukuran Geoteknik .....	21
3.5.2	Pengolahan Data VES (1D) .....	21
3.5.3	Pemodelan 3D Bawah Permukaan .....	23
3.5.4	Korelasi Resistivitas dan Parameter Geoteknik .....	24
3.5.5	Analisis Kondisi Tanah .....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....		27
4.1	Analisis Data .....	27
4.2	Pengolahan data resistivitas 1D .....	28
4.2.1	Line 1 (Titik VES01 – VES06) .....	29
4.2.2	Line 2 (Titik VES07 – VES12) .....	30
4.2.3	Line 3 (Titik VES13 – VES18) .....	32
4.2.4	Line 4 (Titik VES19 – VES24) .....	33
4.2.5	Line 5 (Titik VES25 – VES30) .....	35
4.2.6	Line 6 (Titik VES31 – VES36) .....	36
4.2.7	Line 7 (Titik VES37 – VES42) .....	38
4.3	Model 3D .....	39
4.4	Korelasi Resistivitas dan Parameter Geoteknik .....	42
4.4.1	Resistivitas Vs. <i>Spesific Gravity</i> .....	43
4.4.2	Resistivitas Vs. <i>Atterberge Limit</i> .....	44
4.4.3	Resistivitas Vs. <i>Liquidity Index</i> .....	47
4.4.4	Resistivitas Vs. Densitas ( <i>unit weight</i> ) .....	48
4.4.5	Resistivitas Vs. <i>Water Content</i> .....	50
4.4.6	Resistivitas Vs. <i>Void Ratio</i> .....	51
4.4.7	Resistivitas Vs. Porositas .....	52
4.4.8	Resistivitas Vs. Saturasi .....	53
4.4.9	Resistivitas Vs. Permeabilitas .....	54
4.4.10	Resistivitas Vs. N-SPT .....	55
4.4.11	Pembahasan Korelasi .....	56
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....		59
5.1	KESIMPULAN .....	59
5.2	SARAN .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		61
<b>LAMPIRAN</b> .....		63
<b>BIODATA PENULIS</b> .....		75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta geologi regional Lembar Tuban .....	5
Gambar 2.2 Konfigurasi elektroda pengukuran geolistrik dan nilai faktor geometrinya k .....	9
Gambar 2.3 Ilustrasi perbandingan model bawah permukaan 1D, 2D, dan 3D	10
Gambar 2.4 Skema uji penetrasi dengan SPT .....	11
Gambar 2.5 Skema urutan uji SPT .....	12
Gambar 2.6 Hasil pemodelan resistivitas 3-D dan sebaran batuan karbonat ...	16
Gambar 3.1 Diagram alir penentuan.....	20
Gambar 3.2 Diagram alir pengolahan data VES .....	22
Gambar 3.3 Proses <i>curve fitting</i> pada titik VES03 .....	23
Gambar 3. 4 Tampilan software pemodelan 3D yang digunakan .....	23
Gambar 3.5 Contoh Model Resistivitas 3D (a) dan Model Litologi 3D (b) .....	24
Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian SPT .....	27
Gambar 4.2 Contoh pengolahan data VES titik VES03 .....	29
Gambar 4.3 <i>Cross-section</i> resistivitas <i>line</i> 1.....	29
Gambar 4.4 <i>Cross-section</i> resistivitas <i>line</i> 2.....	30
Gambar 4.5 <i>Cross-section</i> resistivitas <i>line</i> 3.....	32
Gambar 4.6 <i>Cross-section</i> resistivitas <i>line</i> 4.....	33
Gambar 4.7 <i>Cross-section</i> resistivitas <i>line</i> 5.....	35
Gambar 4.8 <i>Cross-section</i> resistivitas <i>line</i> 6.....	36
Gambar 4.9 <i>Cross-section</i> resistivitas <i>line</i> 7.....	38
Gambar 4.10 Model Resistivitas 3D.....	39
Gambar 4. 11 Diagram <i>fence</i> model resistivitas .....	40
Gambar 4.12 Model litologi 3D (VES).....	42
Gambar 4.13 Model litologi 3D (Bor) .....	42
Gambar 4.14 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>specific gravity</i> .....	43
Gambar 4.15 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>liquid limit</i> .....	44
Gambar 4.16 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>plastic limit</i> .....	45
Gambar 4.17 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>plasticity index</i> .....	46
Gambar 4.18 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>liquidity index</i> .....	47
Gambar 4.19 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>wet density</i> .....	48
Gambar 4.20 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>dry density</i> .....	49
Gambar 4.21 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>water content</i> .....	50
Gambar 4.22 Grafik korelasi resistivitas Vs. <i>void ratio</i> .....	51
Gambar 4.23 Grafik korelasi resistivitas Vs. porositas.....	52
Gambar 4.24 Grafik korelasi resistivitas Vs. saturasi.....	53
Gambar 4.25 Grafik korelasi resistivitas Vs. permeabilitas.....	54
Gambar 4.26 Sebaran data resistivitas Vs. N-SPT.....	55
Gambar 4.27 Grafik korelasi <i>transverse resistance</i> Vs. N-SPT .....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai resistivitas batuan dan mineral .....	6
Tabel 3.2 Titik Pengukuran Geoteknik (Sumur Bor) .....	19
Tabel 3.3 Parameter yang akan dikorelasikan .....	24
Tabel 4.1 Analisis jenis tanah lokasi penelitian .....	28
Tabel 4.2 Hasil pengolahan data resistivitas <i>line</i> 1 .....	30
Tabel 4.3 Hasil pengolahan data resistivitas <i>line</i> 2 .....	31
Tabel 4.4 Hasil pengolahan data resistivitas <i>line</i> 3 .....	33
Tabel 4.5 Hasil pengolahan data resistivitas <i>line</i> 4 .....	34
Tabel 4.6 Hasil pengolahan data resistivitas <i>line</i> 5 .....	35
Tabel 4.7 Hasil pengolahan data resistivitas <i>line</i> 6 .....	37
Tabel 4.8 Hasil pengolahan data resistivitas <i>line</i> 7 .....	38
Tabel 4.9 Interpretasi litologi hasil pengolahan data resistivitas.....	40
Tabel 4.10 Korelasi resistivitas dan parameter geoteknik .....	57

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Tabel jenis litologi tiap kedalaman.....	63
Lampiran 2. Tabel jumlah lapisan, ketebalan, dan resistivitas titik pengukuran .....	64
Lampiran 3. Tabel Persamaan Korelasi Resistivitas dan Parameter Geoteknik	69
Lampiran 4. Tabel Hasil Pengukuran N-SPT .....	70

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pemetaan dan karakterisasi kondisi bawah permukaan merupakan kegiatan yang sangat penting untuk proses perencanaan, pembuatan desain, proses konstruksi, dan operasi dari suatu struktur bangunan. Walaupun dalam prosesnya kegiatan ini memiliki banyak tantangan, namun kegiatan ini sangat penting. Karakterisasi bawah permukaan memiliki cakupan yang luas, meliputi geoteknik, perencana, kontraktor, desainer, hingga perencana penanggulangan resiko (*U.S. Department of Transportation, 2017*). Salah satu jenis tanah yang sering diobservasi dan memiliki peran penting dalam geoteknik adalah lempung (*clay*). Lempung merupakan tanah berbutir halus, sangat aktif secara elektrokimia, dan mempengaruhi mikrostruktur tanah. Jenis tanah ini umumnya memiliki kekuatan yang lemah, kompresibilitas tinggi dan perubahan *volumetric* yang tinggi (*Ural, 2018*).

Telah dikembangkan berbagai metode dalam pemetaan dan karakterisasi bawah permukaan, salah satunya adalah metode geofisika. Metode geofisika yang sering digunakan diantaranya adalah metode resistivitas. Metode resistivitas merupakan metode geofisika aktif yang memiliki konsep mengalirkan arus listrik ke bawah permukaan bumi dan mengukur beda potensial titik tertentu. Metode ini memanfaatkan sifat kelistrikan batuan perlapisan bumi untuk mengetahui variasi tahanan jenis bawah permukaan bumi (*Telford dkk., 1990*). Metode VES merupakan salah satu metode geolistrik yang sering digunakan karena hasilnya yang akurat, akuisisi relatif cepat dan operasional yang murah (*Harjito, 2013*). Namun, kekurangan metode resistivitas adalah adanya faktor ketidakpastian karena interpretasi dilakukan dari data pengukuran di atas permukaan tanpa tahu kondisi in situ di bawah permukaan.

Identifikasi bawah permukaan juga dapat dilakukan dengan pengukuran geoteknik. Pengukuran geoteknik akan menghasilkan parameter tanah sebagai data fundamental, khususnya dalam hal pembangunan. Pengukuran geoteknik yang umumnya dilakukan adalah pengeboran (*boring*) dan *standard penetration test* (SPT). *Standard penetration test* (SPT) merupakan pengukuran geoteknik yang memberikan informasi ketahanan tanah terhadap tekanan (*penetration*) (*Syed dan Siddiqui, 2012*). Dari pengukuran geoteknik didapatkan informasi jenis tanah dan berbagai parameter tanah (berat jenis, permeabilitas, batas plastis, batas cair, dan sebagainya). Pengukuran geoteknik memiliki kekurangan karena membutuhkan biaya yang besar, bersifat destruktif, mobilitas pengukuran yang sulit, dan waktu pengukuran relatif lama. Namun metode ini memberikan data akurat dan memberikan gambaran karakteristik tanah secara riil. (*Rezaei dkk., 2018*). Dari masalah yang telah dipaparkan di atas, untuk mengetahui kondisi bawah permukaan daerah penelitian akan dilakukan pemodelan 3D bawah permukaan dari data VES dan pengukuran geoteknik untuk evaluasi kondisi

bawah permukaan dan karakter tanahnya. Selain itu, penelitian ini juga dilakukan untuk mencari korelasi antara nilai resistivitas dan parameter geoteknik, sehingga kelebihan dan kekurangan masing-masing metode dapat saling melengkapi.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Dari latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana model 3D bawah permukaan lokasi penelitian berdasarkan data pengukuran VES dan litologi hasil pengeboran?
2. Bagaimana korelasi nilai resistivitas dan parameter geoteknik tanah?

## **1.3 Batasan Masalah**

1. Data merupakan data sekunder, terdiri atas data 42 titik VES dan 13 titik pengukuran geoteknik
2. Pemodelan 3D bawah permukaan dilakukan dari hasil interpretasi data VES 1D dengan litologi hasil interpretasi data boring sebagai pengontrol
3. Korelasi antara nilai resistivitas dan parameter geoteknik didapatkan secara empiris dengan regresi

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pemodelan 3D bawah permukaan lokasi penelitian berdasarkan data pengukuran VES dan litologi hasil pengeboran
2. Menentukan korelasi nilai resistivitas dan parameter geoteknik tanah

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini:

- Bagi akademisi, sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai pemodelan 3D metode VES, aplikasi metode VES dalam evaluasi kondisi bawah permukaan, serta hubungan antar parameter batuan atau tanah
- Bagi pemerintah daerah Lamongan, sebagai referensi dan gambaran tentang kondisi bawah permukaan daerah penelitian untuk dapat dimanfaatkan dalam perencanaan pembangunan pada lokasi tersebut, serta untuk pengambilan kebijakan lebih lanjut

## **1.6 Target Luaran**

Penelitian tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas



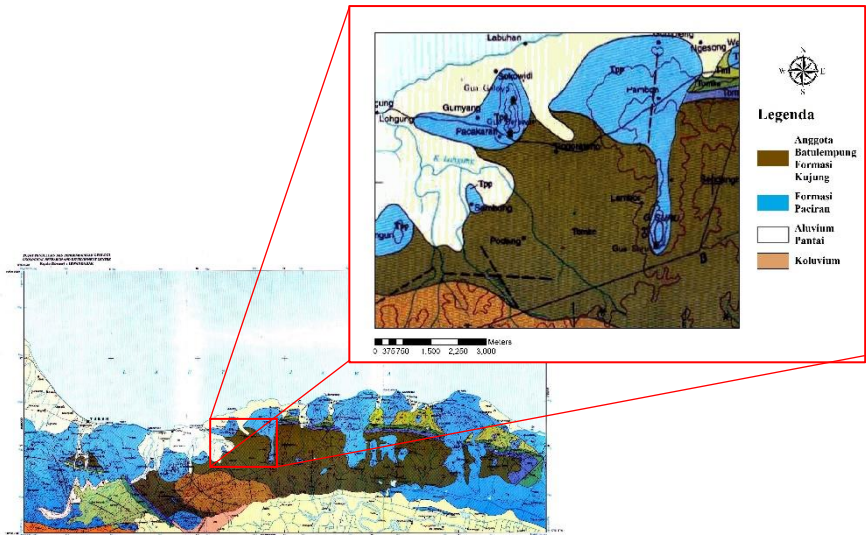
Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selain itu, penelitian ini juga ditargetkan menghasilkan luaran berupa karya tulis dengan tema “korelasi nilai resistivitas dengan parameter geoteknik pada tanah lempung (*clay*)” dan “aplikasi metode VES dan pengeboran geoteknik dalam pemetaan bawah permukaan” yang dapat dipublikasikan pada acara konferensi, *proceeding*, maupun jurnal.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Geologi Daerah Penelitian

Dalam pembagian fisiografi Pulau Jawa menurut Bemmelen (1949), daerah penelitian masuk dalam zona Rembang, Cekungan Jawa Timur Utara (*North East Java Basin*). Dalam sistem pemetaan geologi Indonesia, wilayah penelitian termasuk dalam Lembar Tuban. Peta Geologi Lembar Tuban ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Peta geologi regional Lembar Tuban (modifikasi dari Hartono dan Suharsono, 1997)

Satuan formasi penyusun Peta Geologi Lembar Tuban dari yang berusia paling tua ke paling muda secara berurutan yaitu Formasi Kujung berumur Oligosen – Miosen Awal, Formasi Tuban berumur Miosen Awal – Miosen Akhir, Formasi Paciran berumur Pliosen, Formasi Kabuh berumur Plistsen, serta Batugamping, Aluvium sungai, Aluvium pantai, dan Koluvium berumur Holosen. Formasi Kujung tersusun atas beberapa anggota formasi, yaitu Anggota Napal, Anggota Batulempung, Anggota Batugamping Prupuh, dan Anggota Batulanau. Lokasi penelitian berada pada Anggota Batulempung Formasi Kujung.

Anggota Batulempung Formasi Kujung berumur oligosen – miosen awal tersusun atas batulempung, sebagian gampingan, dengan selingan batulanau

lempungan kelabu muda, lapisan-lapisan tipis napal kelabu sangat muda dan setempat, batupasir gampingan berbutir halus, banyaknya dan kekerasan dari lapisan-lapisan napal bertambah di bagian atas, cangkang foraminifera juga lebih banyak di bagian atas, lapisan-lapisan batugamping mengandung kongkresi lensa-lensa gampingan dan beberapa nodul pirit yang bagian-bagiannya yang lapuk bereaksi dengan kalsit dan membentuk gypsum di lajur lapuk. Ketebalan anggota formasi ini sekitar 600 m (Hartono dan Suharsono, 1997).

## 2.2 Metode Geolistrik Resistivitas

### 2.2.1 Metode Geolistrik

Metode geolistrik umumnya dilakukan untuk mendapatkan distribusi resistivitas bawah permukaan dengan pengukuran di atas permukaan. Nilai resistivitas bawah permukaan berkorelasi dengan jenis batuan dan berbagai parameter geologi seperti kandungan mineral, kandungan air, porositas dan saturasi batuan. Parameter geologi tersebut sangat mempengaruhi nilai resistivitas batuan, sehingga batuan yang sama dapat memiliki nilai resistivitas yang jauh berbeda. Hal tersebut menyebabkan nilai resistivitas memiliki range yang lebih luas dibandingkan dengan parameter fisis lain, untuk jenis batuan yang sama. Referensi nilai resistivitas untuk beberapa jenis batuan diberikan pada Tabel 2.1. Metode geolistrik telah banyak diaplikasikan dalam bidang pertambangan, hidrogeologi, investigasi geoteknik, hingga survei dalam bidang lingkungan (Loke, 2000).

**Tabel 2. 1** Nilai resistivitas batuan dan mineral (Loke, 2000)

Material	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Konduktivitas (Siemen/m)
Batuan Beku dan Metamorf		
Granit	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Batu sabak ( <i>slate</i> )	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2,5 \times 10^{-8} - 1,7 \times 10^{-3}$
Marmer	$10^2 - 2,5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Kuarsit	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Batuan Sedimen		
Batupasir	$8 - 4 \times 10^3$	$2,5 \times 10^{-4} - 0,125$
Batulempung	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0,05$
Batugamping	$50 - 4 \times 10^2$	$2,5 \times 10^{-3} - 0,02$
Tanah dan Air		
Lempung	1 – 100	0,01 – 1
Aluvium	10 – 800	$1,25 \times 10^{-3} - 0,1$
Air tanah (tawar)	10 – 100	0,01 – 0,1
Air laut	0,2	5

Metode geolistrik merupakan metode aktif yang dilakukan dengan mengalirkan arus listrik kedalan bawah permukaan. Dengan mengganggu arus

mengalir secara kontinyu pada medium homogen isotropis, jika  $\delta A$  adalah luas permukaan medium dan  $J$  adalah rapat arus dalam ampere/meter<sup>2</sup>, maka besarnya arus yang mengalir melalui  $\delta A$  adalah  $J \cdot \delta A$ . Hubungan rapat arus  $J$  dan medan listrik  $E$  dijelaskan menggunakan Hukun Ohm :

$$J = \sigma E \quad 2.1$$

dimana  $E$  dalam V/m dan  $\sigma$  adalah konduktivitas dari medium dalam siemens/m. medan listrik adalah gradien dari potensial,

$$E = -\nabla V \quad 2.2$$

sehingga didapatkan,

$$J = -\sigma \nabla V \quad 2.3$$

Jika  $\nabla \cdot J = 0$ , maka

$$\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0 \quad 2.4$$

kemudian akan diperoleh,

$$\nabla \sigma \cdot \nabla V + \sigma \nabla^2 V = 0 \quad 2.5$$

jika  $\sigma$  konstan, maka orde pertama diabaikan dan dengan menggunakan persamaan Laplace, maka potensial harmonik

$$\nabla^2 V = 0 \quad 2.6$$

Terdapat dua kondisi batas yang harus dimiliki setiap kontak antara dua daerah yang memiliki konduktivitas berbeda. Beberapa persamaan sesuai kondisi tersebut, diantaranya

$$E_{x1} = E_{x2} \quad 2.7$$

$$\sigma_1 E_{z1} = \sigma_2 E_{z2} \quad 2.8$$

dimana  $x$  dan  $z$  adalah kondisi normal dan tangensial  $E$  terhadap bidang *interface* pada medium pertama, dan sebaliknya. Sehingga

$$V_1 = V_2 \quad 2.9$$

(Telford dkk., 1990)

Terdapat beberapa konfigurasi atau susunan elektroda yang sering digunakan pada akuisisi data geolistrik, namun yang sering digunakan adalah penggunaan dua elektroda arus. Jika jarak antara dua elektroda arus *finite*, maka potensial di sembarang di sekitarnya akan dipengaruhi oleh kedua elektroda. Potensial akibat elektroda arus C1 pada titik P1 adalah

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \quad \text{dimana} \quad A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad 2.10$$

karena besar arus pada kedua elektroda sama besar dengan arah yang berlawanan, potensial pada titik P1 akibat elektroda C2 adalah

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \text{ dimana } A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1 \quad 2.11$$

sehingga besarnya potensial pada satu titik ,

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad 2.12$$

Jika potensial pada suatu titik P2 didapatkan dengan cara yang sama, maka beda potensial antara titik P1 dan P2 dapat dihitung dengan persamaan,

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad 2.13$$

(Telford dkk., 1990)

Dari persamaan diatas, diperoleh hubungan antara beda potensial, arus dan resistivitas sebagai berikut,

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad 2.14$$

dengan,

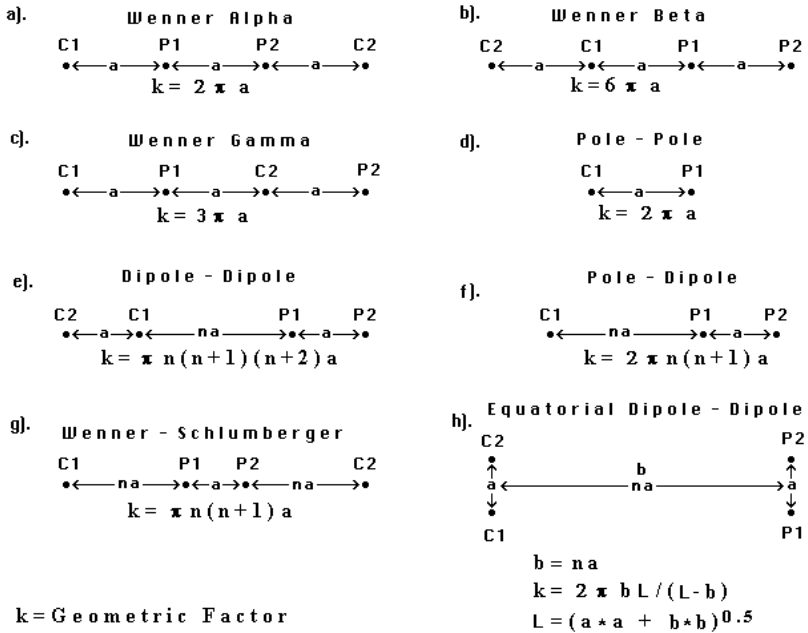
$$k = \frac{2\pi}{\left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}} \quad 2.15$$

dimana  $\rho$  resistivitas,  $\Delta V$  beda potensial, I arus listrik, dan k merupakan faktor geometri yang bergantung pada konfigurasi elektroda yang digunakan. Proses pengambilan data geolistrik menggunakan instrumen yang menghasilkan nilai resistansi R,  $R = \Delta V/I$ , sehingga nilai resistivitas semu diperoleh dari perkalian resistansi R dan faktor geometri sebagai berikut,

$$\rho = k R \quad 2.16$$

(Loke, 2004)

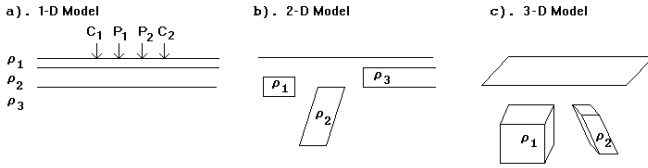
Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, faktor geometri k bergantung pada konfigurasi elektroda yang digunakan. Hal ini disebabkan karena konfigurasi yang berbeda akan memberikan variasi jarak antar elektroda yang berbeda. Beberapa contoh konfigurasi dan faktor geometri yang umum digunakan diberikan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Konfigurasi elektroda pengukuran geolistrik dan nilai faktor geometrinnya k (Loke, 2000)

### 2.2.2 Vertical Electrical Sounding (VES)

Metode geolistrik dipelopori oleh Schlumberger pada tahun 1920. Pada awal perkembangannya, hingga sekitar 60 tahun, metode geolistrik yang digunakan umumnya adalah survei *sounding*. Metode survei *sounding* dengan memanfaatkan sifat elektik bumi (geolistrik) umumnya disebut dengan *vertical electrical sounding* (VES). Pada metode ini titik tengah dari konfigurasi elektroda tetap, namun jarak antar elektroda berubah untuk mendapatkan jangkauan yang lebih dalam dari penampang bawah permukaan. Interpretasi data dari metode ini biasanya dilakukan dengan mengasumsikan bawah kondisi bawah permukaan tersusun atas lapisan horizontal. Sehingga, resistivitas bawah permukaan hanya berubah secara vertikal dan konstan secara horizontal. Hasil inversi dari metode ini akan menghasilkan model satu dimensi (1-D) bawah permukaan lokasi penelitian.



**Gambar 2.3** Ilustrasi perbandingan model bawah permukaan 1-D, 2-D, dan 3-D (Loke, 2004)

Model 1-D memberikan hasil yang cukup akurat untuk deteksi target yang bersifat vertikal, atau mendeteksi perubahan terhadap kedalaman, contohnya pada eksplorasi muka air tanah. Limitasi atau kekurangan dari metode *resistivity sounding* adalah ketidakmampuannya mendeteksi perubahan lateral, karena model perlapisan horizontal yang ideal jarang ditemukan di lapangan (Loke, 2004).

Jika diasumsikan bumi terdiri atas lapisan horizontal homogen isotropis sejumlah  $n$  dengan resistivitas tiap lapisannya  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ , suatu prisma dari luasan penampang satuan persegi dari lapisan tersebut memiliki parameter Dar Zarrouk (*D.Z. parameters*) yang terdiri atas resistansi transversal (*transverse resistance*)  $T$  dan konduktivitas longitudinal (*longitudinal conductivity*)  $S$  yang diberikan sebagai berikut,

$$T = \sum_{i=1}^n \rho_i m_i \tag{2.17}$$

dan

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\rho_i} \tag{2.18}$$

(Orellana, 1963 dalam Zohdy, 1964)

### 2.3 Boring

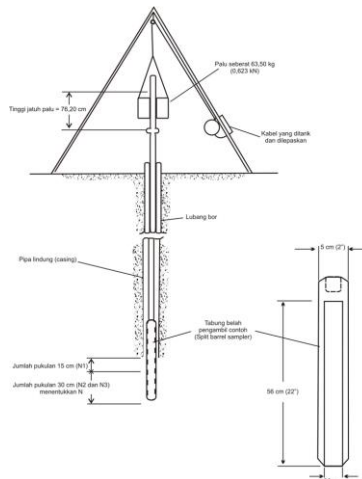
*Boring* atau pengeboran yang disebut disini adalah pengeboran dalam konteks penyelidikan geoteknik. *Boring* adalah pekerjaan pembuatan lubang di tanah untuk pengambilan sampel tanah asli dan penyelidikan kondisi tanah. Pengambilan sampel tanah selama *boring* dapat berupa *undisturbed soil* dan *disturbed soil*. Tanah terganggu (*disturbed soil*) merupakan tanah yang memiliki distribusi ukuran partikel sama dengan tanah aslinya, tetapi strukturnya telah cukup rusak atau hancur dan berbeda dengan stuktur tanah aslinya. Tanah tak terganggu (*undisturbed soil*) merupakan tanah yang memiliki sifat dan



karakteristik yang sama dengan kondisi tanah asli di tempat aslinya karena belum terganggu oleh faktor luar. Pengambilan sampel tanah tidak terganggu biasanya dilakukan untuk menyelidiki lebih lanjut sifat fisik tanah di laboratorium. Sifat fisik yang biasanya diselidiki diantaranya *bulk density*, porositas, permeabilitas, kandungan mineral dan kimia, kadar air (saturasi), dan sebagainya. (Prayogo dan Saptowati, 2016)

## 2.4 Standard Penetration Test (SPT)

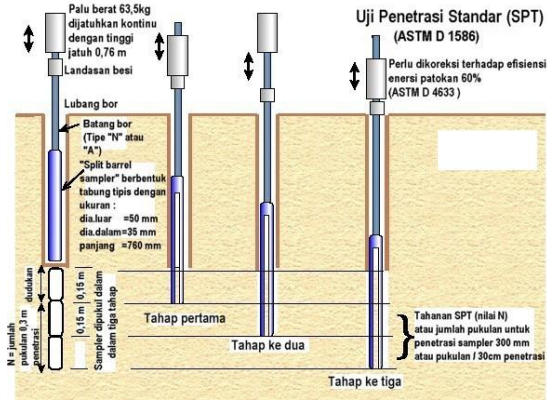
*Standard penetration test* (SPT) merupakan suatu metode uji yang biasanya dilakukan bersamaan dengan proses pengeboran untuk mengetahui perlawanan dinamik tanah dengan Teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung sedalam 300 mm. Pemukulan dilakukan dengan menjatuhkan beban seberat 63,5 kg dari ketinggian 0,76 m. Skema alat pengujian SPT diberikan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Skema uji penetrasi dengan SPT (Badan Standardisasi Nasional, 2008)

. Pengujian SPT dilakukan dalam tiga tahap berurutan, dengan tiap tahap masing-masing dilakukan sedalam 150 mm. Tahap pertama dicatat sebagai dudukan, dan jumlah pukulan pada tahap kedua dan ketiga dijumlahkan untuk memperoleh jumlah N penetrasi SPT (dinyatakan dalam pukulan/0,3m). Nilai N-SPT hasil pengukuran biasanya dilakukan beberapa koreksi untuk proses perhitungan dan analisis lebih lanjut. Koreksi dilakukan untuk menghilangkan faktor perbedaan tenaga yang dihasilkan saat pengukuran dengan tenaga ideal

secara teoritis (48 kg.m). Tenaga pada saat pengukuran umumnya lebih kecil karena pengaruh friksi dan eksentrisitas beban.



**Gambar 2.5** Skema urutan uji SPT (Badan Standardisasi Nasional, 2008)

## 2.5 Interpolasi Spasial

Dalam analisis spasial, diperlukan kelengkapan dan persebaran yang baik. Namun, kondisi lapangan dan keterbatasan proses akuisisi data terkadang tidak dapat mengakomodir kondisi tersebut. Untuk mengatasi hal tersebut dilakukan proses interpolasi. Interpolasi merupakan suatu metode atau fungsi matematis untuk menduga nilai pada titik-titik dimana tidak tersedia data (Hadi, 2013). Menurut Burrough dan McDonell (1998) dalam Hadi (2013), interpolasi merupakan proses prediksi nilai pada suatu titik yang bukan merupakan titik sampel, berdasarkan pada nilai-nilai dari titik-titik di sekitarnya yang berkedudukan sebagai sampel.

Terdapat beberapa klasifikasi interpolasi spasial, diantaranya adalah interpolasi global dan lokal. Interpolasi global menggunakan semua titik kontrol atau titik sampel yang tersedia. Metode ini baik diterapkan untuk data yang memiliki variasi yang tidak kompleks dan korelasi spasialnya baik pada skala regional. Interpolasi lokal hanya menggunakan beberapa titik kontrol atau titik sampel saja. Metode ini baik digunakan pada data yang memiliki variasi kompleks dan korelasi spasialnya baik pada skala lokal (Demers, 2000 dalam Hadi, 2013).

### 2.5.1 Inverse Distance Weighted (IDW)

Salah satu metode interpolasi spasial yang sering digunakan adalah *Inverse Distance Weighted* (IDW). Menurut Rosilawati (2011) dalam Respatti dkk. (2014), IDW adalah suatu teknik interpoalsi yang memperhitungkan adanya hubungan letak ruang (jarak) dan merupakan kombinasi linier atau harga rata-

rata terbobot (*weighted average*) dari titik-titik data yang ada di sekitarnya. Penggunaan fungsi *inverse distance* (kebalikan jarak) sebagai estimator dilakukan dengan memberikan bobot lebih besar pada titik-titik sampel terdekat. Faktor utama yang mempengaruhi akurasi interpolasi IDW adalah faktor *power* ( $p$ ). Parameter ini akan mempengaruhi signifikansi titik-titik yang ada di sekitarnya (Yasrebi dkk., 2009 dalam Respatti dkk., 2014).

Persamaan interpolasi IDW dituliskan sebagai berikut,

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N z_i d_i^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-p}} \quad 2.19$$

dengan  $Z_0$  merupakan nilai estimasi pada suatu titik,  $z_i$  adalah nilai titik sampel ke- $i$ ,  $d_i$  jarak titik sampel dan titik estimasi,  $N$  adalah koefisien yang menentukan jumlah titik yang dipakai, dan  $p$  adalah faktor *power* (Setianto dan Triandini, 2013). Kelemahan dari metode ini adalah nilai hasil interpolasi terbatas pada nilai yang ada pada data sampel, karena metode ini menggunakan rata-rata dari data sampel. Sehingga pada metode ini, nilai hasil estimasi tidak dapat lebih kecil dari nilai minimum atau lebih besar dari nilai maksimum data sampel (Watson dan Philip, 1985 dalam Pramono, 2008).

## 2.6 Regresi

Regresi merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam menjelaskan hubungan atau pengaruh suatu variable dengan variable lain (Hosmer dan Lemeshow, 2000). Analisis regresi menurut Gujarati (2003) didefinisikan sebagai suatu studi untuk menjelaskan ketergantungan suatu variabel, variabel terikat (*dependent variable*), terhadap satu atau lebih variabel lain yang dikenal dengan variabel eksplanatori (*explanatory variable*) untuk mengestimasi atau memprediksi rata-rata populasi dan keterkaitan antar variabel. Dalam beberapa kasus, analisis regresi erat kaitannya dengan analisis korelasi. Analisis korelasi memiliki tujuan untuk mengukur tingkat kekuatan (*strength*) dan derajat (*degree*) hubungan linier antar dua variabel dengan menggunakan koefisien korelasi. Berbeda dengan hal tersebut, analisis regresi dilakukan estimasi atau prediksi nilai rata-rata suatu variabel didasarkan pada nilai tetap variabel lain. Pada analisis regresi terdapat hubungan asimetri dalam kaitannya dengan perlakuan terhadap variabel terikat dan variabel bebas. Variabel terikat diasumsikan bersifat statistikal, acak, dan mempunyai distribusi stokastik. Sedangkan variabel bebas atau prediktornya diasumsikan memiliki nilai tetap (Gujarati, 2003).

### 2.6.1 Regresi Linier

Dalam menjelaskan hubungan linier antara  $n$  variabel bebas dan terikat, dapat digunakan persamaan berikut :

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \dots + \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad 2.20$$

dimana  $Y_i$ ,  $\beta_i$ ,  $x_i$ , dan  $\varepsilon_i$  secara berturut-turut merupakan nilai variabel terikat ke- $i$ , koefisien regresi atau slop, nilai variabel bebas ke- $i$ , dan error. Secara umum persamaan diatas dapat dituliskan dengan,

$$y = X\beta + \varepsilon \quad 2.21$$

(Yanti I. dkk., 2014)

### 2.6.2 Regresi Non-Linier

Dalam kasus hubungan antar variabel tidak linier, maka digunakan analisis regresi non linier. Bentuk umum hubungan regresi non linier sebagai berikut :

$$Y_i = f(X_{i,y} + \varepsilon) \quad 2.22$$

dengan  $Y_i$  merupakan fungsi respon non linier dari parameternya (Yanti I. dkk., 2014). Terdapat beberapa bentuk persamaan regresi non linier, beberapa diantaranya yaitu :

- a. Bentuk polinomial (orde 2)

$$Y = a + bX + cX^2 \quad i = 1,2, \dots, n \quad 2.23$$

dengan menggunakan metode kuadrat terkecil, maka nilai a, b, dan c dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sum Y_i = na + b \sum X_i + c \sum X_i^2 \quad 2.24$$

$$\sum X_i Y_i = a \sum X_i + b \sum X_i^2 + c \sum X_i^3 \quad 2.25$$

$$\sum X_i^2 Y_i = a \sum X_i^2 + b \sum X_i^3 + c \sum X_i^4 \quad 2.26$$

- b. Bentuk geometri atau *power*

$$Y_i = aX_i^b \varepsilon_i \quad i = 1,2, \dots, n \quad 2.27$$

besarnya parameter  $\beta_0$  dan  $\beta_1$  ditentukan dengan persamaan :

$$\log a = \frac{\sum \log Y_i}{n} - b \left( \frac{\sum X_i}{n} \right) \quad 2.28$$

$$b = \frac{n(\sum \log X_i \log Y_i) - (\sum \log X_i)(\sum \log Y_i)}{n \sum \log^2 X_i - (\sum \log X_i)^2} \quad 2.29$$

c. Bentuk eksponensial

$$Y_i = ab^{X_i} \quad 2.30$$

besarnya parameter  $a$  dan  $b$  ditentukan dengan persamaan :

$$\log a = \frac{\sum \log Y_i}{n} - (\log b) \left( \frac{\sum X_i}{n} \right) \quad 2.31$$

$$\log b = \frac{n(\sum X_i \log Y_i) - (\sum X_i)(\sum \log Y_i)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad 2.32$$

d. Bentuk logistik

$$Y = \frac{1}{ab^{X+c}} \quad 2.33$$

besarnya parameter  $a$  dan  $b$  ditentukan dengan persamaan :

$$\log a = \frac{\sum \log \left( \frac{1}{Y_i} \right)}{n} - (\log b) \left( \frac{\sum X_i}{n} \right) \quad 2.34$$

$$\log b = \frac{n \left( \sum X_i \log \left( \frac{1}{Y_i} \right) \right) - (\sum X_i) \left( \sum \log \left( \frac{1}{Y_i} \right) \right)}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad 2.35$$

dengan  $Y_i$  variabel terikat,  $X_i$  variabel terikat,  $a$  parameter konstanta,  $b$  parameter koefisien regresi,  $\varepsilon_i$  error dengan mean, dan  $n$  jumlah data (Universitas Komputer Indonesia, 2010)(Yanti I. dkk., 2014).

### 2.6.3 Koefisien Determinasi

Salah satu parameter dalam regresi adalah koefisien determinasi,  $R^2$ . Parameter ini menentukan seberapa bagus tingkat kesesuaian sebaran data dengan garis regresi. Koefisien determinasi menunjukkan tingkat variasi dari variabel terikat, atau *regressand*, dipengaruhi atau dijelaskan oleh variabel bebas, atau *regressor*. Besarnya nilai  $R^2$  antara 0 dan 1, semakin mendekati nilai 1, maka garis regresi semakin sesuai (*fit*) dengan sebaran data. Persamaan untuk mencari nilai koefisien determinasi diberikan sebagai berikut :

$$R^2 = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2 - \sum(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad 2.36$$

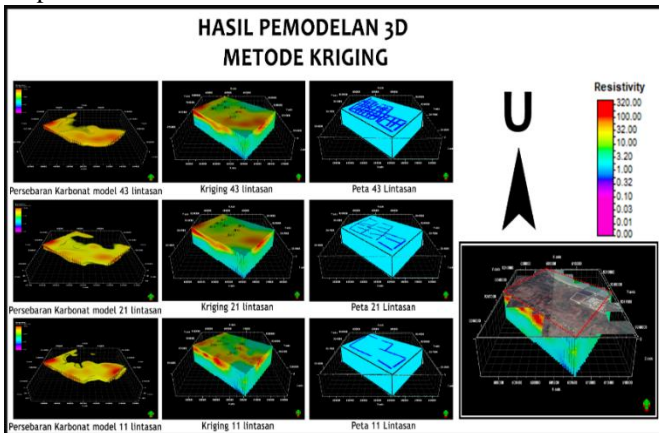
(Gujarati, 2003)

## 2.7 Penelitian Terdahulu

### 2.7.1 Pemodelan Resistivitas Bawah Permukaan

Pemodelan bawah permukaan menggunakan sifat resistivitas batuan tekah banyak dilakukan sebelumnya. Kurniawan (2018) telah melakukan interpretasi dan pemodelan bawah permukaan pada daerah karst menggunakan data VES 1D. Penelitian ini dilakukan untuk interpretasi litologi karst di daerah Pacitan menggunakan 6 titik pengukuran yang tersebar dalam dua lokasi pengukuran. Hasilnya didapatkan model litologi bawah permukaan yang didasarkan pada perbedaan nilai resistivitasnya. Litologi yang dapat diinterpretasi pada model yang didapatkan terdiri atas *top soil*, batugamping pasiran, batugamping klastik, dan batugamping terumbu.

Selanjutnya, terdapat pula penelitian yang dilakukan oleh Aisha dkk. (2018), tentang pemodelan 3D bawah permukaan menggunakan metode resistivitas. Pemodelan dilakukan menggunakan metode kriging dengan input data resistivitas 2D dan data N-SPT sebagai data pendukung. Penelitian ini dilakukan pada studi kasus sebaran batuan karbonat pada daerah Tuban. Berbeda dengan dengan penelitian yang dilakukan Kurniawan (2018), pada penelitian ini dilakukan pemodelan 3D menggunakan data pengukuran 2D. Metode kriging dipilih sebagai metode statistik untuk melakukan *gridding* dan mendapatkan model 3D. Dari model 3D, selanjutnya dilakukan identifikasi litologi dan sebaran batuan karbonat pada lokasi penelitian. Hasilnya diperoleh bahwa litologi daerah penelitian terdiri atas dolomit, batugamping, batupasir, dan batu lempung. Pemodelan dan sebaran karbonat sebagai target penelitian diberikan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Hasil pemodelan resistivitas 3-D dan sebaran batuan karbonat (Aisha dkk., 2018)

Dari kedua penelitian yang telah disebutkan, dapat diambil kesimpulan bawah pemodelan resistivitas bawah permukaan, 1D maupun 3D, memberikan hasil yang cukup baik dalam identifikasi batuan bawah permukaan.

### 2.7.2 Hubungan Resistivitas dan Parameter Geoteknik

Metode resistivitas merupakan salah satu metode geofisika yang sering digunakan karena hasilnya yang akurat, akuisisi relatif cepat dan operasional yang murah (Harjito, 2013). Namun, kekurangan metode resistivitas adalah adanya faktor ketidakpastian karena interpretasi dilakukan dari data pengukuran diatas permukaan tanpa tahu kondisi in situ dibawah permukaan. Di sisi lain, pengukuran geoteknik memberikan data yang akurat dan memberikan gambaran karakteristik tanah secara riil. Kelemahan dari metode ini adalah membutuhkan biaya yang besar, bersifat destruktif, mobilitas pengukuran yang sulit, dan waktu pengukuran relatif lama (Rezaei dkk., 2018).

Untuk itu, telah banyak dikembangkan penelitian tentang hubungan atau korelasi antara nilai resistivitas dan parameter geoteknik. Dengan demikian, kekurangan masing-masing metode dapat diminimalkan. Contoh parameter geoteknik yang sering dikorelasikan dengan resistivitas adalah N-SPT. Kalyane (2017) melakukan penelitian untuk mendapatkan hubungan nilai resistivitas hasil pengukuran *electrical resistivity sounding* dan nilai N-SPT terkoreksi, dengan studi kasus daerah Bangalore, Karnataka. Resistivitas yang digunakan disini adalah nilai resistivitas semu (*apparent resistivity*) dan *transverse resistance*. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai resistivitas semu dan N-SPT terkoreksi tidak berkorelasi dengan baik ( $R^2=0.394$ ), artinya keduanya tidak memiliki hubungan yang linier. Sedangkan untuk hubungan *transverse resistance* dan N-SPT terkoreksi menunjukkan hasil yang cukup baik ( $R^2=0,7256$ ), persamaannya diberikan pada persamaan 2.17.

$$y = 0,0259x + 18,819 \quad 2.37$$

dengan y merupakan nilai N-SPT dan x adalah *transverse resistance*. Persamaan tersebut didapat dari regresi linier antara kedua parameter.

Penelitian lain yang menggunakan hubungan antara resistivitas dan parameter geoteknik lain secara lebih luas telah dilakukan oleh Rezaei dkk. (2018). Rezaie dkk. mengaplikasikan hubungan antara parameter geofisika dengan parameter geoteknik pada studi kasus tanah longsor di daerah Nargeschal dan mencari hubungan empirisnya. Korelasi dilakukan menggunakan dua metode yaitu *Spearman's coefficient test* dan analisis regresi *least square*. Dari kedua metode yang digunakan, parameter geofisika dan

geoteknik menunjukkan hasil yang cukup baik untuk 4 hubungan parameter, dengan koefisien korelasi berada pada range menengah hingga sangat baik. Keempat hubungan parameter tersebut yaitu permeabilitas – resistivitas ( $R^2=0,87$ ), N-SPT – resistivitas ( $R^2=0,70$ ), kandungan air tanah (*soil moisture content*) – resistivitas ( $R^2=0,68$ ), dan N-SPT – kecepatan gelombang geser ( $R^2=0,75$ ). Sementara itu, hubungan resistivitas dengan batas cair, batas plastis, indeks plastisitas, *specific gravity* dan *unit weight* menunjukkan korelasi yang buruk ( $R^2 = 0,05 - 0,2$ ).



## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian tugas akhir kali ini dilakukan di Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Februari hingga Juni 2019. Daerah yang menjadi objek penelitian secara geologi terletak pada Anggota Batulempung Formasi Kujung.

### 3.2 Data Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir kali ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari pihak ketiga. Data yang digunakan adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Data pengukuran VES

Data VES diakuisisi menggunakan konfigurasi Schlumber pada 42 titik pengukuran. Masing-masing titik pengukuran berjarak ~100 m, dengan sebaran titik pengukuran membentuk 6 lintasan berarah utara – selatan, dan 7 lintasan berarah timur – barat.

#### 3.2.2 Data Geoteknik

Data geoteknik yang digunakan terdiri atas data *boring*, data *standard penetration test* (SPT), sampel tanah (*disturbed* dan *undisturbed*), data observasi sumur dan data uji laboratorium. Data geoteknik terdiri atas 11 titik pengukuran. Data titik pengukuran diberikan pada Tabel 3.1.

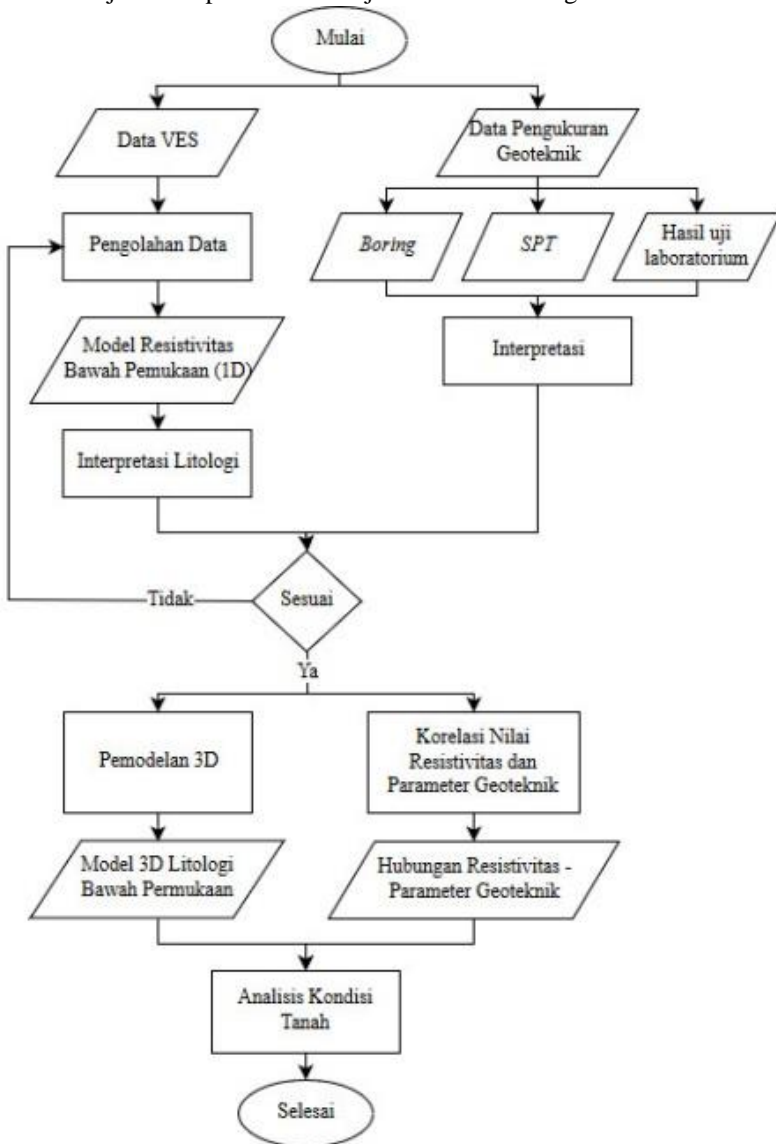
**Tabel 3.1** Titik Pengukuran Geoteknik (Sumur Bor)

No	Titik Pengukuran	Elevasi (m)	Kedalaman (m)
1	GT-01	14,2	20
2	GT-02	7,5	30
3	GT-03	17,1	20
4	GT-04	6	100
5	GT-05	14,4	20
6	GT-06	9,9	20
7	GT-07	15	20
8	GT-08	10,7	20
9	GT-09	7,5	20
10	GT-10	9,5	20
11	GT-11	15,5	20

Sampel tanah yang didapatkan dari hasil pengukuran geoteknik selanjutnya diidentifikasi jenis tanahnya dan dilakukan uji laboratorium untuk mendapatkan parameter tanah.

### 3.3 Alur Kerja

Alur kerja dalam penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir berikut :



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

### 3.4 Perangkat Lunak

Proses pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat keras Laptop dan perangkat lunak sebagai berikut :

1. Microsoft Office Excel

Microsoft Office Excel digunakan dalam manajemen dan pengolahan data numerik. Pada perangkat lunak ini akan dilakukan pengolahan *raw data* VES sebelum masuk ke perangkat lunak pengolahan data lebih lanjut. Analisis korelasi antar parameter secara statistik juga akan dilakukan pada perangkat lunak ini.

2. IP2Win

IP2Win digunakan sebagai perangkat lunak (*software*) pengolahan data VES dimulai dari data lapangan (*raw data*) hingga proses inversi untuk mendapatkan nilai resistivitas bawah permukaan. Pengolahan data pada perangkat lunak ini merupakan pengolahan data secara 1D.

3. Perangkat Lunak Pemodelan 3D

Perangkat lunak pemodelan 3D digunakan untuk proses interpolasi data dan pembuatan model 3D bawah permukaan pada lokasi penelitian.

### 3.5 Prosedur Penelitian

#### 3.5.1 Analisis Data Pengukuran Geoteknik

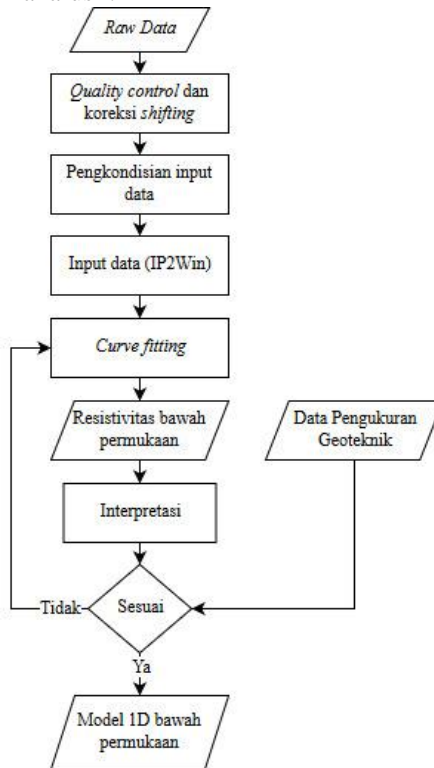
Data pengukuran terdiri atas beberapa pengukuran, yang meliputi *boring*, *standard penetration test* (SPT), dan uji laboratorium menggunakan sampel tanah yang diambil. Dari pengukuran yang telah disebutkan diatas, dilakukan interpretasi data untuk menentukan jenis tanah dan litologi daerah penelitian. Jenis tanah dan litologi ini akan digunakan sebagai model awal dalam proses pengolahan data VES. Selain itu, nilai-nilai parameter geoteknik juga diinterpretasi untuk mendapatkan karakteristik tanah dan nantinya akan dikorelasikan dengan nilai resistivitas hasil pengolahan data VES.

Data parameter geoteknik yang dimiliki pada penelitian kali ini yaitu jenis tanah, densitas kering dan basah, *water content*, *atterberg limit* (*liquid limit*, *plastic limit*, *plasticity index*), indeks liquiditas, *void ratio*, porositas, saturasi, permeabilitas, dan *specific gravity*.

#### 3.5.2 Pengolahan Data VES (1D)

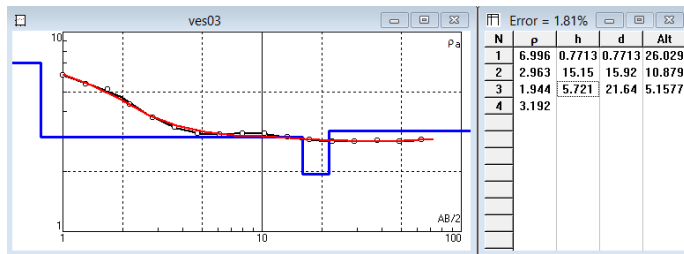
Langkah-langkah pengolahan data VES diberikan pada gambar 3.2. Pertama-tama dilakukan *quality control* dan proses koreksi *shifting* pada *raw data* pada *software* Microsoft Office Excel. Hal ini dimaksudkan agar input data yang diberikan memiliki kualitas yang baik dan menghilangkan efek *noise* dari proses akuisisi data. Data yang dianggap telah memiliki kualitas yang baik selanjutnya dikondisikan agar sesuai dengan format input data pada *software*

IP2win. Input data yang dibutuhkan yaitu jarak antar elektroda, nilai beda potensial  $V$ , dan nilai arus  $I$ .



**Gambar 3.2** Diagram alir pengolahan data VES

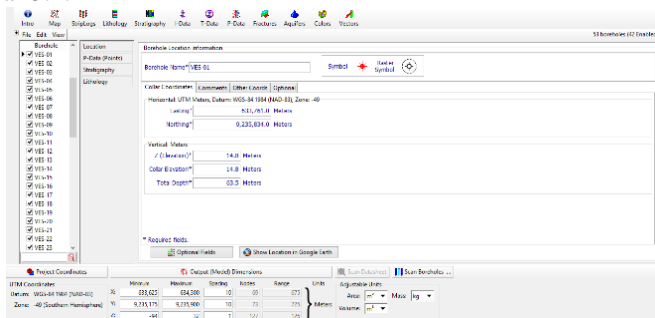
Selanjutnya dilakukan input data pada IP2win. Proses pengolahan data dan inversi data geolistrik/VES pada *software* ini dilakukan dengan cara *curve fitting*. Proses *curve fitting* merupakan proses pencocokan antara kurva data pengukuran dengan kurva model yang kita gunakan, sehingga dapat diprediksi model bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitasnya. Pada proses ini, digunakan interpretasi litologi dari data *boring* sebagai pengontrol model awal. Hasil dari pengolahan data VES adalah model 1D resistivitas bawah permukaan dan didapatkan 42 model sesuai jumlah titik pengukuran. Contoh proses *curve fitting* diberikan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Proses *curve fitting* pada titik VES03

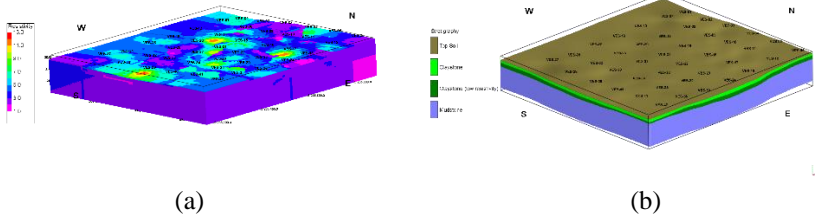
### 3.5.3 Pemodelan 3D Bawah Permukaan

Setelah didapatkan nilai resistivitas 1D hasil pengolahan VES, selanjutnya dilakukan pembuatan model 3D. Dalam perangkat lunak yang digunakan, input datanya berupa sumur, sehingga setiap titik pengukuran VES didefinisikan sebagai sumur. Untuk membuat model 3D, diperlukan suatu metode interpolasi. Metode interpolasi yang digunakan disini yaitu IDW (*inverse distance weighted*). Ukuran grid yang akan digunakan yaitu 10x10x1 m dengan *smoothing iteration 2*. Tampilan *software* yang digunakan diberikan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Tampilan *software* pemodelan 3D yang digunakan

Selain model resistivitas 3D, juga akan dilakukan pemodelan 3D litologi daerah penelitian. Interpretasi jenis tanah dilakukan dengan menggunakan tabel nilai resistivitas dan litologi hasil pengeboran. Interpretasi tersebut selanjutnya dimodelkan dalam 3D menggunakan perangkat lunak dan tahapan yang sama dengan pemodelan resistivitas 3D. Hasilnya, akan didapatkan model resistivitas dan litologi 3D bawah permukaan lokasi penelitian (lihat gambar 3.5).



**Gambar 3.5** Contoh Model Resistivitas 3D (a) dan Model Litologi 3D (b)

### 3.5.4 Korelasi Resistivitas dan Parameter Geoteknik

Nilai resistivitas yang didapatkan selain digunakan untuk pembuatan model 3D, juga digunakan untuk analisis korelasi nilai resistivitas dengan parameter geoteknik. Data parameter geoteknik didapatkan dari pengukuran SPT dan uji laboratorium. Data-data tersebut selanjutnya diplot dalam grafik untuk mengetahui sebarannya menggunakan *software* Microsoft Office Excel.

**Tabel 3.2** Parameter yang akan dikorelasikan

No	Pasangan Data		Jumlah Sumur/ Titik Pengukuran	Jumlah Datum	
1	Resistivitas	<i>Specific Gravity</i>	11	63	
2	Resistivitas	<i>Atterberge Limit</i>	<i>Liquid Limit</i>	11	63
3	Resistivitas		<i>Plastic Limit</i>	11	63
4	Resistivitas		<i>Plasticity Index</i>	11	63
5	Resistivitas	<i>Liquidity index</i>	8	24	
6	Resistivitas	Densitas Basah	8	24	
7	Resistivitas	Densitas Kering	8	24	
8	Resistivitas	<i>Water Content</i>	8	24	
9	Resistivitas	<i>Void Ratio</i>	8	24	
10	Resistivitas	Porositas	8	24	
11	Resistivitas	Saturasi	8	24	
12	Resistivitas	Permeabilitas	8	24	
13	<i>Transverse Resistance</i>	N-SPT	11	195	

Dari hasil plot tersebut, dapat diaplikasikan regresi linier maupun non linier untuk mendapat persamaan hubungan antar parameter dan nilai korelasinya. Selanjutnya dilakukan analisis, apakah parameter yang digunakan memiliki korelasi yang baik, buruk, atau bahkan tidak berkorelasi.

### **3.5.5 Analisis Kondisi Tanah**

Analisis kondisi tanah didasarkan pada nilai resistivitas, model bawah permukaan dan parameter geoteknik. Hasil analisis ini akan memberikan gambaran kondisi bawah permukaan yang selanjutnya informasi ini dapat digunakan dalam perencanaan pemanfaatan lahan dan pembangunan pada lokasi tersebut.

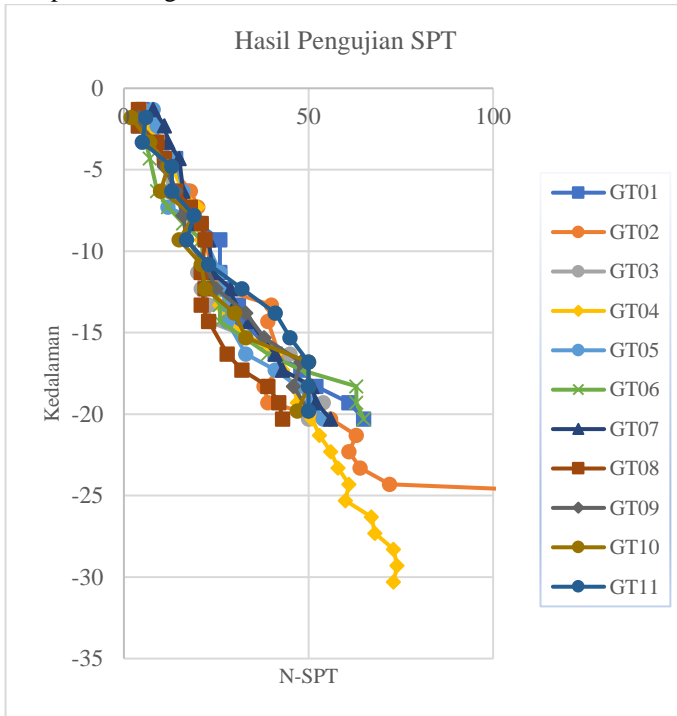
*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Data

Pengukuran geoteknik dilakukan pada 8 titik (GT01, GT02, GT03, GT04, GT05, GT06, GT07, dan GT08) yang terdiri atas pengujian *standard penetration test* (SPT) dan pengambilan sampel tanah. Masing-masing titik pengukuran memiliki kedalaman 20 m, kecuali titik GT02 yang memiliki kedalaman 30 m, dan titik GT04 yang memiliki kedalaman 100m. Pengujian SPT dilakukan mulai kedalaman 1,3 meter dan selanjutnya dilakukan tiap selisih(*increment*) 1 m. Sampel tanah terganggu (*disturbed*) diambil pada kedalaman 0-2 meter dan 2-5 m, sedangkan sampel tanah tidak terganggu (*undisturbed*) diambil pada kedalaman 5,45-6 m, 10,45-11 m, dan 15,45-16 m. Pengambilan sampel tanah dilakukan untuk analisis jenis tanah dan pengukuran laboratorium untuk mengetahui parameter geoteknik tanah.



**Gambar 4.1** Grafik Hasil Pengujian SPT

Pengukuran selanjutnya dilakukan pada 3 titik (GT09, GT10, dan GT11) yang terdiri atas pengujian SPT dan pengambilan sampel tanah. Masing-masing titik pengukuran memiliki kedalaman 20 m, dan pengujian SPT dilakukan mulai kedalaman 1,5 m dan selanjutnya dilakukan dengan selisih kedalaman 1,5 m hingga kedalaman 19,5 m. Hasil N-SPT untuk keseluruhan titik pengukuran diberikan pada gambar 4.1. Pengambilan sampel tanah terganggu dilakukan di setiap titik pengujian SPT (13 titik kedalaman) dan pengambilan sampel tanah terganggu dilakukan di kedalaman 2,5 – 3 m dan 17,4 – 17,75 m. Pengambilan sampel tanah dilakukan untuk analisis jenis tanah dan pengukuran laboratorium untuk mengetahui parameter geoteknik tanah. Hasil analisis jenis tanah pada setiap titik pengukuran diberikan pada tabel 4.1. Jenis litologi hasil pengeboran tersebut digunakan sebagai panduan dalam pengolahan data VES. Tabel jenis tanah dan kedalaman pada setiap titik pengukuran diberikan dalam lampiran 1.

**Tabel 4.1** Analisis jenis tanah lokasi penelitian

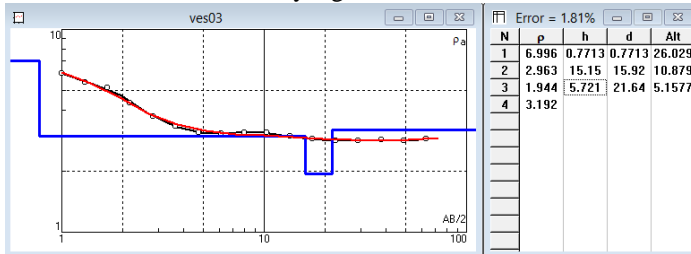
No	Litologi	Keterangan
1	<i>Top Soil</i>	Lempung berwarna cokelat tua, basah, plastisitas tinggi, dengan kantong-kantong lanau
2	<i>Claystone</i>	Lempung, berwarna cokelat kekuningan, plastisitas tinggi, lembab
3	<i>Mudstone</i>	Mayoritas lempung dan lanau, berwarna abu-abu gelap, berlapis, berkekuatan rendah ( <i>low strength</i> ), sebagian mengandung besi oksida

## 4.2 Pengolahan data resistivitas 1D

Data geolistrik merupakan data sekunder, sehingga tidak dilakukan pengukuran secara langsung oleh penulis pada penelitian kali ini. Set data (*dataset*) yang dimiliki meliputi koordinat titik pengukuran, elevasi, jarak antar elektroda, faktor geometri  $k$ , arus  $I$ , beda potensial  $V$ . Data yang dimiliki merupakan data pengukuran *sounding* atau VES yang terdiri dari 42 titik pengukuran (desain akuisisi dijelaskan dalam gambar 3.1). Pengukuran yang telah dilakukan menggunakan konfigurasi Schlumberger dengan bentangan maksimum  $AB/2$  sepanjang 63.48 m untuk masing-masing titik pengukuran.

Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak IP2Win. Perangkat lunak ini menggunakan metode *curve fitting* dalam pengolahan datanya. Pada metode ini akan dilakukan pencocokan grafik data hasil pengukuran dengan grafik data hasil model yang kita buat. Pencocokan grafik dilakukan menyesuaikan jumlah lapisan, ketebalan lapisan, dan nilai resistivitas hingga grafik model dan grafik data pengukuran telah sesuai atau memiliki *error* yang kecil. Jumlah dan ketebalan lapisan pada pengolahan data disesuaikan

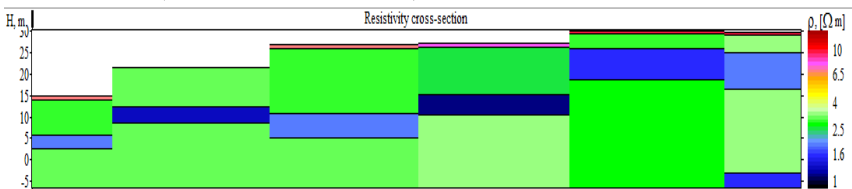
dengan hasil interpretasi jenis litologi data bor. Penyesuaian dilakukan dengan mengamati titik VES dan titik bor yang berdekatan.



**Gambar 4.2** Contoh pengolahan data VES titik VES03

Hasil dari pengolahan data menggunakan IP2Win akan menghasilkan jumlah lapisan, ketebalan, dan resistivitas masing-masing lapisan pada 42 titik pengukuran VES (lampiran 2). Untuk memudahkan pembahasan, titik pengukuran akan dibagi menjadi 7 line untuk dibuat *section* sesuai desain akuisisi.

#### 4.2.1 Line 1 (Titik VES01 – VES06)



**Gambar 4.3** Cross-section resistivitas line 1

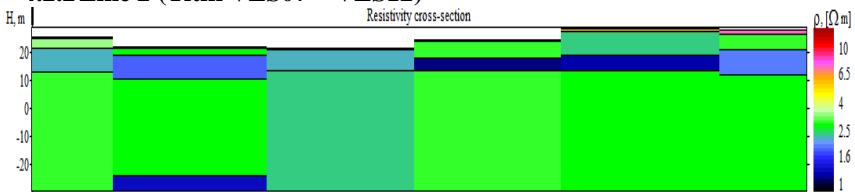
Gambar 4.3 menunjukkan *cross-section* resistivitas hasil pengolahan data pada line 1. Pada line ini, digunakan titik GT01 yang berdekatan dengan titik VES01 dalam interpretasi litologi. Hasil interpretasi litologi hasil pengeboran di titik GT01 menyebutkan bahwa pada kedalaman 0 – 2,4 m merupakan *top soil*, 2,4 – 13 m merupakan *claystone*, dan 13 – 20 m merupakan *mudstone*. Hasil interpretasi pengolahan data pada line ini diketahui bahwa terdapat 4 lapisan pada titik VES01, VES02, VES03, VES04, dan VES05. Sedangkan pada titik VES06 terdapat 5 lapisan. Lapisan pertama memiliki resistivitas ~3,2 – 9,8  $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan kurang dari 1 meter, diinterpretasikan sebagai lapisan *top soil*. Lapisan kedua memiliki resistivitas ~2,5 – 3,3  $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan rata-rata 8,6 m. Lapisan ketiga memiliki resistivitas ~1,1 – 1,9  $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan rata-rata 5,5 m. Lapisan kedua dan ketiga diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *claystone*. Lapisan keempat memiliki resistivitas ~2,8 – 3,5  $\Omega\text{m}$  yang ditemukan hingga kedalaman maksimum titik VES (~63,5 m), kecuali pada titik VES06. Lapisan kelima pada titik VES06 memiliki resistivitas 1,68  $\Omega\text{m}$  yang ditemukan pada kedalaman 32,7 m hingga

kedalaman maksimum titik pengukuran. Lapisan keempat dan kelima diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *mudstone*. Hasil nilai resistivitas dan posisi kedalaman masing-masing lapisan setiap titik pengukuran diberikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengolahan data resistivitas *line 1*

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega m$ )	Error (%)
1	VES01	14,8	0,707	6,86	3
			9,06	2,95	
			12,3	1,94	
			63,5	3,07	
2	VES02	21,6	9,31	3,19	2,07
			13	1,31	
			63,5	3,06	
3	VES03	26,8	0,77	6,99	1,81
			15,9	2,96	
			21,6	1,94	
			63,5	3,19	
4	VES04	27,1	0,83	8,15	2,92
			12	2,57	
			16,5	1,17	
			63,5	3,36	
5	VES05	30,1	0,53	9,61	3,61
			4,13	2,98	
			11,4	1,66	
			63,5	2,81	
6	VES06	29,7	0,655	9,85	3,45
			4,52	3,32	
			13,1	1,98	
			32,7	3,49	
			63,5	1,68	

#### 4.2.2 Line 2 (Titik VES07 – VES12)



Gambar 4.4 Cross-section resistivitas *line 2*

Gambar 4.4 menunjukkan *cross-section* resistivitas hasil pengolahan data pada *line* 2. Pada *line* ini, digunakan titik GT05 yang berdekatan dengan titik VES08 dan GT03 yang berdekatan dengan dengan titik VES11 dalam interpretasi litologi. Hasil interpretasi litologi hasil pengeboran di titik GT05 menyebutkan bahwa pada kedalaman 0 – 2 m merupakan *top soil*, 2 – 15,6 m merupakan *claystone*, dan 15,6 – 20 m merupakan *mudstone*. Pada GT03 kedalaman 0 – 1,45 merupakan *top soil*, kedalaman 1,45 – 15 merupakan *claystone*, dan 15 – 20 merupakan *mudstone*. Hasil interpretasi pengolahan data pada *line* ini diketahui bahwa terdapat 4 lapisan pada titik VES07, VES09, VES10, VES11, dan VES12. Sedangkan pada titik VES08 terdapat 5 lapisan. Lapisan pertama memiliki resistivitas ~5 – 10  $\Omega$ m dengan ketebalan kurang dari 1 meter, diinterpretasikan sebagai lapisan *top soil*. Lapisan kedua memiliki resistivitas ~2,3 – 3,3  $\Omega$ m dengan ketebalan rata-rata 4,3 m. Lapisan ketiga memiliki resistivitas ~1.1 – 2.2  $\Omega$ m dengan ketebalan rata-rata 7,3 m. Lapisan kedua dan ketiga diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *claystone*. Lapisan keempat memiliki resistivitas ~2,4 – 3  $\Omega$ m yang ditemukan hingga kedalaman maksimum titik VES (~63,5 m), kecuali pada titik VES08. Lapisan kelima pada titik VES08 memiliki resistivitas 1,35  $\Omega$ m yang ditemukan pada kedalaman 45,7 m hingga kedalaman maksimum titik pengukuran. Lapisan keempat dan kelima diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *mudstone*. Hasil nilai resistivitas dan posisi kedalaman masing-masing lapisan setiap titik pengukuran diberikan dalam Tabel 4.3.

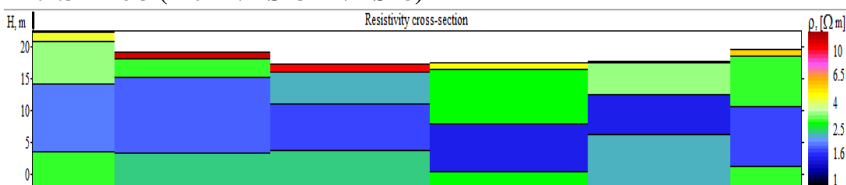
**Tabel 4.3** Hasil pengolahan data resistivitas *line* 2

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega$ m)	Error (%)
1	VES07	25,4	0,42	5,09	2,85
			3,86	3,32	
			12,7	2,21	
			63,5	2,98	
2	VES08	22	0,67	7,21	3,31
			3,04	2,86	
			11,6	1,83	
			45,7	2,84	
3	VES09	21,4	63,5	1,35	1,92
			0,63	10	
			0,68	3,32	
			7,99	2,2	
			63,5	2,4	

(lanjutan Tabel 4.3)

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Error (%)
4	VES10	24,2	0,54	7,91	1,69
			6,12	2,9	
			10,9	1,17	
			63,5	2,99	
5	VES11	28,3	0,77	5,84	2,58
			9,51	2,37	
			14,9	1,29	
			63,5	2,7	
6	VES12	27,9	1,5	7,23	3,55
			7,06	2,99	
			16,1	2	
			63,5	2,86	

#### 4.2.3 Line 3 (Titik VES13 – VES18)



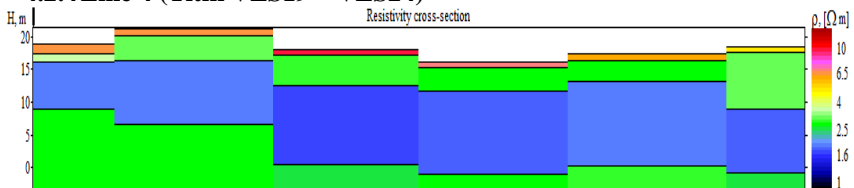
**Gambar 4.5** Cross-section resistivitas line 3

Gambar 4.5 menunjukkan *cross-section* resistivitas hasil pengolahan data pada line 3. Pada line ini, digunakan titik GT07 yang berdekatan dengan titik VES15 dalam interpretasi litologi. Hasil interpretasi litologi hasil pengeboran di titik GT07 menyebutkan bahwa pada kedalaman 0 – 1,45 m merupakan *top soil*, 1,45 – 13,45 m merupakan *claystone*, dan 13,45 – 20 m merupakan *mudstone*. Hasil interpretasi pengolahan data pada line ini diketahui bahwa terdapat 4 lapisan pada titik VES13, VES14, VES15, VES16, VES17, dan VES18. Lapisan pertama memiliki resistivitas ~4,3 – 12  $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan kurang dari 1 meter, diinterpretasikan sebagai lapisan *top soil*. Lapisan kedua memiliki resistivitas ~2,3 – 3,4  $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan rata-rata 6,05 m. Lapisan ketiga memiliki resistivitas ~1,5 – 2  $\Omega\text{m}$  dengan ketebalan rata-rata 8,8 m. Lapisan kedua dan ketiga diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *claystone*. Lapisan keempat memiliki resistivitas ~2,2 – 3  $\Omega\text{m}$  yang ditemukan hingga kedalaman maksimum titik VES (~63,5 m), diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *mudstone*. Hasil nilai resistivitas dan posisi kedalaman masing-masing lapisan setiap titik pengukuran diberikan dalam tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Hasil pengolahan data resistivitas *line 3*

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Error (%)
1	VES13	22,3	1,36	4,29	2,28
			8,03	3,4	
			18,7	1,99	
			63,5	2,99	
2	VES14	19,1	0,91	12	4,85
			3,94	3,04	
			15,8	1,85	
			63,5	2,44	
3	VES15	17,3	1,27	10,4	2,26
			6,27	2,35	
			13,6	1,73	
			63,5	2,4	
4	VES16	17,5	0,947	4,58	1,35
			9,5	2,83	
			17	1,57	
			63,5	2,8	
5	VES17	17,8	0,36	11,81	1,93
			5,38	3,45	
			11,5	1,54	
			63,5	2,24	
6	VES18	19,5	0,85	5,43	2,11
			8,86	2,88	
			18,3	1,8	
			63,5	2,97	

**4.2.4 Line 4 (Titik VES19 – VES24)**



**Gambar 4.6** *Cross-section* resistivitas *line 4*

Gambar 4.6 menunjukkan *cross-section* resistivitas hasil pengolahan data pada *line 4*. Hasil interpretasi pengolahan data pada *line* ini diketahui bahwa terdapat 4 lapisan pada titik VES19, VES20, VES21, VES22, VES23, dan VES24. Lapisan pertama memiliki resistivitas  $\sim 5 - 10 \Omega\text{m}$  dengan ketebalan kurang dari 1 meter, diinterpretasikan sebagai lapisan *top soil*. Lapisan kedua

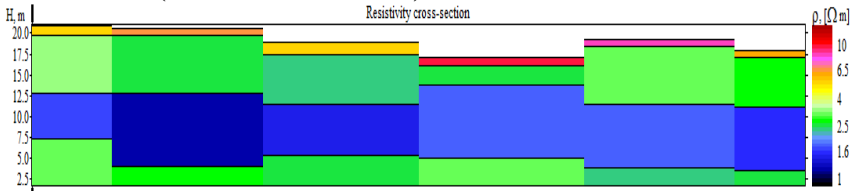
memiliki resistivitas  $\sim 2,6 - 3,7 \Omega\text{m}$  dengan ketebalan rata-rata 4,2 m. Lapisan ketiga memiliki resistivitas  $\sim 1,8 - 2 \Omega\text{m}$  dengan ketebalan rata-rata 10,7 m. Lapisan kedua dan ketiga diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *claystone*. Lapisan keempat memiliki resistivitas  $\sim 2,5 - 2,9 \Omega\text{m}$  yang ditemukan hingga kedalaman maksimum titik VES ( $\sim 63,5$  m), diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *mudstone*. Hasil nilai resistivitas dan posisi kedalaman masing-masing lapisan setiap titik pengukuran diberikan dalam tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Hasil pengolahan data resistivitas *line 4*

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Error (%)
1	VES19	18,8	1.39	6.55	3.42
			2.71	3.72	
			9.84	1.99	
			63.5	2.81	
2	VES20	21,2	0.99	6.52	0.406
			4.86	3.165	
			14.5	1.94	
			63.5	2.82	
3	VES21	18	0.75	9.985	1.96
			5.38	2.92	
			17.48	1.8	
			63.5	2.57	
4	VES22	16,2	0.88	6.75	3.01
			4.6	2.84	
			17.1	1.91	
			63.5	2.71	
5	VES23	17,3	1.06	5.94	3.89
			4.13	2.69	
			17.1	1.97	
			63.5	2.94	
6	VES24	18,5	0.84	4.99	1.61
			9.5	3.15	
			19.39	1.83	
			63.5	2.51	



#### 4.2.5 Line 5 (Titik VES25 – VES30)



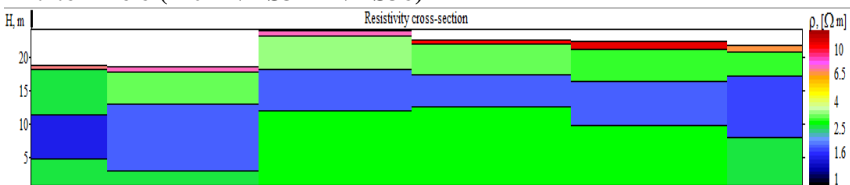
**Gambar 4.7** Cross-section resistivitas line 5

Gambar 4.7 menunjukkan *cross-section* resistivitas hasil pengolahan data pada line 5. Pada line ini, digunakan titik GTA06 yang berdekatan dengan titik VES25, titik GTA08 yang berdekatan dengan titik VES 27, dan titik GTB02 yang berdekatan dengan titik VES28 dalam interpretasi litologi. Hasil interpretasi litologi hasil pengeboran di titik GTA06 menyebutkan bahwa pada kedalaman 0 – 2 m merupakan *top soil*, 2 – 13,45 m merupakan *claystone*, dan 13,45 – 20 m merupakan *mudstone*. Pada titik GTA08 kedalaman 0 – 2,45 m merupakan *top soil*, kedalaman 2,45 – 13,55 m merupakan *claystone*, dan kedalaman 13,55 – 20 m merupakan *mudstone*. Pada titik GTB02 kedalaman 0 – 0,3 m merupakan *top soil*, kedalaman 0,3 – 12 merupakan *clastone*, dan kedalaman 12 – 20 m merupakan *mudstone*. Hasil interpretasi pengolahan data pada line ini diketahui bahwa terdapat 4 lapisan pada titik VES25, VES26, VES27, VES28, VES29, dan VES30. Lapisan pertama memiliki resistivitas ~5,2 – 9,8 Ωm dengan ketebalan kurang dari 1 meter, diinterpretasikan sebagai lapisan *top soil*. Lapisan kedua memiliki resistivitas ~2,5 – 3,4 Ωm dengan ketebalan rata-rata 5,8 m. Lapisan ketiga memiliki resistivitas ~1,2 – 1,9 Ωm dengan ketebalan rata-rata 7,4 m. Lapisan kedua dan ketiga diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *claystone*. Lapisan keempat memiliki resistivitas ~2,5 – 3,2 Ωm yang ditemukan hingga kedalaman maksimum titik VES (~63,5 m), diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *mudstone*. Hasil nilai resistivitas dan posisi kedalaman masing-masing lapisan setiap titik pengukuran diberikan dalam Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Hasil pengolahan data resistivitas *line 5*

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Error (%)
1	VES25	20,9	1,1	5,51	1,68
			8,04	3,39	
			13,47	1,79	
			63,5	3,07	
2	VES26	20,5	0,795	6,35	1,71
			7,68	2,57	
			16,46	1,25	
			63,5	2,83	
3	VES27	18,9	1,43	5,19	2,67
			7,35	2,49	
			13,6	1,5	
			63,5	2,54	
4	VES28	17,1	0,915	9,85	2,99
			3,22	2,55	
			12,1	1,93	
			63,5	3,15	
5	VES29	19,2	0,8	8,41	2,5
			7,79	3,13	
			15,3	1,89	
			63,5	2,51	
6	VES30	18	0,85	6,22	1,68
			6,86	2,69	
			14,4	1,65	
			63,5	2,65	

#### 4.2.6 Line 6 (Titik VES31 – VES36)



**Gambar 4.8** Cross-section resistivitas *line 6*

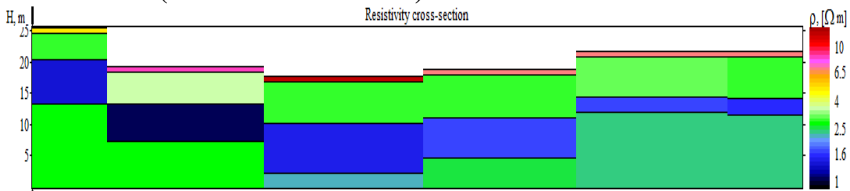
Gambar 4.8 menunjukkan *cross-section* resistivitas hasil pengolahan data pada *line 6*. Hasil interpretasi pengolahan data pada *line* ini diketahui bahwa terdapat 4 lapisan pada titik VES31, VES32, VES33, VES34, VES35, dan VES36. Lapisan pertama memiliki resistivitas  $\sim 6,5 - 10,8 \Omega\text{m}$  dengan ketebalan kurang dari 1 meter, diinterpretasikan sebagai lapisan *top soil*.

Lapisan kedua memiliki resistivitas  $\sim 2,6 - 3,3 \Omega\text{m}$  dengan ketebalan rata-rata 4,9 m. Lapisan ketiga memiliki resistivitas  $\sim 1,5 - 2 \Omega\text{m}$  dengan ketebalan rata-rata 7,2 m. Lapisan kedua dan ketiga diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *claystone*. Lapisan keempat memiliki resistivitas  $\sim 2,6 - 2,8 \Omega\text{m}$  yang ditemukan hingga kedalaman maksimum titik VES ( $\sim 63,5$  m), diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *mudstone*. Hasil nilai resistivitas dan posisi kedalaman masing-masing lapisan setiap titik pengukuran diberikan dalam tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil pengolahan data resistivitas *line 6*

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Error (%)
1	VES31	18,9	0,66	7	1,95
			7,43	2,61	
			14,13	1,53	
			63,5	2,567	
2	VES32	18,6	0,83	7,29	1,82
			5,68	3,13	
			15,48	1,91	
			63,5	2,67	
3	VES33	24	0,74	7,24	1,36
			5,72	3,32	
			11,99	1,86	
			63,5	2,79	
4	VES34	22,7	0,76	10,2	2,95
			5,34	3,15	
			10	1,93	
			63,5	2,77	
5	VES35	22,5	1,23	10,8	1,61
			6,16	2,92	
			12,74	1,92	
			63,5	2,84	
6	VES36	21,8	0,91	6,5	1,67
			4,63	2,926	
			13,73	1,71	
			63,5	2,668	

#### 4.2.7 Line 7 (Titik VES37 – VES42)



**Gambar 4.9** Cross-section resistivitas line 7

Gambar 4.9 menunjukkan *cross-section* resistivitas hasil pengolahan data pada line 7. Pada line ini, digunakan titik GT09 yang berdekatan dengan titik VES38 dan titik GT04 yang berdekatan dengan titik VES40 dalam interpretasi litologi. Hasil interpretasi litologi hasil pengeboran di titik GT09 menyebutkan bahwa pada kedalaman 0 – 0,4 m merupakan *top soil*, 0,4 – 11 m merupakan *claystone*, dan 11 – 20 m merupakan *mudstone*. Pada titik GT04 kedalaman 0 – 3 m merupakan *top soil*, 3 – 14 m merupakan *claystone*, dan 3 – 14 m merupakan *mudstone*. Hasil interpretasi pengolahan data pada line ini diketahui bahwa terdapat 4 lapisan pada titik VES37, VES38, VES39, VES40, VES41, dan VES42. Lapisan pertama memiliki resistivitas ~4,8 – 12,2 Ωm dengan ketebalan kurang dari 1 meter, diinterpretasikan sebagai lapisan *top soil*. Lapisan kedua memiliki resistivitas ~2,9 – 3,5 Ωm dengan ketebalan rata-rata 5,9 m. Lapisan ketiga memiliki resistivitas ~1,1 – 1,8 Ωm dengan ketebalan rata-rata 5,4 m. Lapisan kedua dan ketiga diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *claystone*. Lapisan keempat memiliki resistivitas ~2,4 – 2,7 Ωm yang ditemukan hingga kedalaman maksimum titik VES (~63,5 m), diinterpretasikan sebagai lapisan dengan litologi *mudstone*. Hasil nilai resistivitas dan posisi kedalaman masing-masing lapisan setiap titik pengukuran diberikan dalam tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Hasil pengolahan data resistivitas line 7

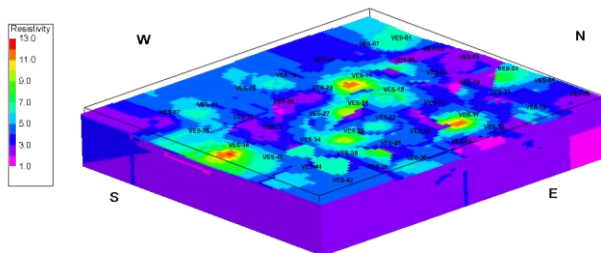
No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas (Ωm)	Error (%)
1	VES37	25,5	0,96	4,86	2,13
			5,05	2,96	
			12,3	1,47	
			63,5	2,69	
2	VES38	19,4	0,98	8,28	2,92
			6,13	3,57	
			12	1,1	
			63,5	2,8	

(lanjutan Tabel 4.8)

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega m$ )	Error (%)
3	VES39	17,8	1	12,2	2,3
			7,5	2,97	
			15,5	1,53	
			63,5	2,35	
4	VES40	18,9	1,04	6,79	1,68
			7,71	2,98	
			14,3	1,8	
			63,5	2,54	
5	VES41	21,8	1,03	7,03	1,7
			7,44	3,1	
			9,73	1,77	
			63,5	2,427	
6	VES42	21,8	1,04	6,79	1,25
			7,64	2,98	
			10,3	1,6	
			63,5	2,45	

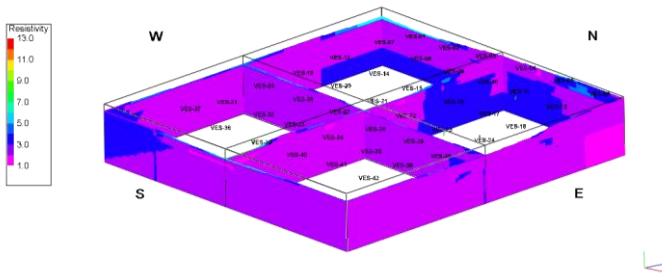
### 4.3 Model 3D

Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan IP2Win, selanjutnya akan dilakukan pemodelan 3D. Model 3D memiliki dimensi 675 x 725 x 80 m dengan ukuran tiap grid 10 x 10 x 1m. Metode interpolasi yang digunakan merupakan *inverse distance weighted* (IDW). Pada studi kasus data yang memiliki persebaran cukup bagus, metode ini dianggap memiliki akurasi yang lebih baik dibandingkan metode kriging. Beberapa penelitian yang membuktikan metode IDW memberikan hasil yang baik telah dilakukan oleh Pramono (2008) pada sebaran sedimen tersuspensi di Maros, Sulawesi Selatan, selanjutnya Gong dkk. (2014) untuk estimasi konsentrasi arsenik air tanah di Texas, serta Setianto dan Triandini (2013) untuk ekstraksi dan analisis *lineament* di Kulonprogo.



**Gambar 4.10** Model Resistivitas 3D

Gambar 4.10 menunjukkan hasil pemodelan resistivitas 3D bawah permukaan. Dari model tersebut dapat dilihat bahwa nilai resistivitas daerah penelitian memiliki *range* nilai 1 – 13  $\Omega\text{m}$ . Berdasarkan tabel referensi, nilai tersebut berada dalam *range* nilai tanah lempung (1 – 100  $\Omega\text{m}$ ). Jika dikorelasikan dengan data bor, litologi yang ditemukan yaitu *top soil*, *claystone*, dan *mudstone*. *Claystone* dan *mudstone* merupakan jenis batuan yang termasuk kedalam kelompok *mudrock*. Kedua litologi tersebut tersusun atas lempung sebagai ukuran butir dominan, perbedaan keduanya berada pada persentase kandungan lanau (*silt*). *Top soil* merupakan lapisan tanah penutup yang terbentuk dari proses pelapukan dari batuan induknya. Lokasi penelitian berada pada Anggota Lempung Formasi Kujung yang didominasi oleh batulempung dengan selingan lanau dan karbonat dengan ketebalan ~600 m. Dengan demikian, terdapat kesesuaian antara peta geologi regional, interpretasi litologi data bor, dan nilai resistivitas. Namun pada model ini, lapisan *claystone* dan *mudstone* tidak dapat diamati karena nilai resistivitas keduanya yang berada pada *range* yang hampir sama (~2,2 – 3,8  $\Omega\text{m}$ ).



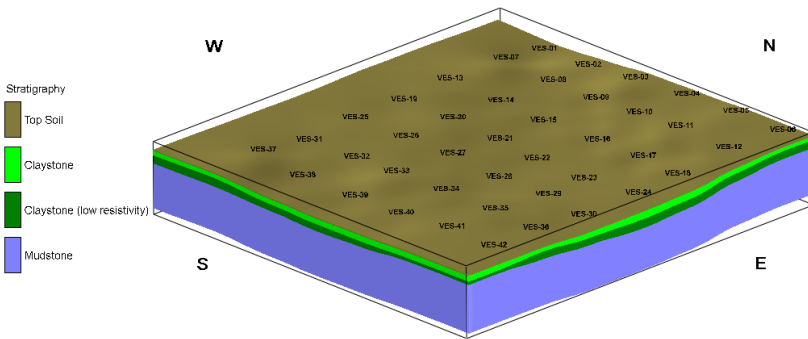
**Gambar 4. 11** Diagram *fence* model resistivitas

Untuk melihat bagian dalam model, dibuat diagram *fence* seperti pada gambar 4.11. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa nilai dominan resistivitas daerah penelitian berada pada *range* 2 – 3  $\Omega\text{m}$ . Nilai resistivitas yang lebih tinggi (3 – 4  $\Omega\text{m}$ ) terlihat muncul pada barat daya dan utara lokasi penelitian. Perbedaan nilai resistivitas dapat dipengaruhi oleh perbedaan parameter batuan seperti kandungan air, densitas, dan sebagainya. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Kibria (2011), nilai resistivitas akan berbanding terbalik dengan nilai *moisture content*, *unit weight*, dan saturasi. Penelitian tersebut dilakukan pada skala laboratorium dengan parameter bebas terkontrol dan hanya ada satu variabel bebas yang berubah untuk mengetahui hubungan parameter tersebut dengan resistivitas. Pada kasus penelitian ini, kondisi tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi lapangan dengan parameter yang tidak terkontrol.

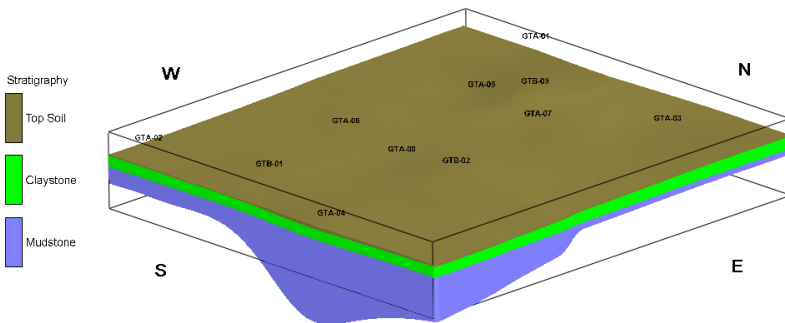
**Tabel 4.9** Interpretasi litologi hasil pengolahan data resistivitas

Lapisan	Litologi	Resistivitas			Ketebalan		
		Min	Max	Rata-rata	Min	Max	Rata-rata
Lapisan 1	<i>Top Soil</i>	3,19	12,2	7,49	0,36	9,31	1,09
Lapisan 2	<i>Claystone</i> (resistivitas tinggi)	1,31	6,79	3,04	0,05	15,13	5,42
Lapisan 3	<i>Claystone</i> (resistivitas rendah)	1,1	3,06	1,81	2,29	50,5	8,69
Lapisan 4	<i>Mudstone</i> (resistivitas tinggi)	1,6	3,49	2,73	2,66	55,51	47,16
Lapisan 5	<i>Mudstone</i> (resistivitas rendah)	1,35	1,68	1,52	17,8	30,8	24,3

Selanjutnya, dilakukan pemodelan litologi daerah penelitian. Pemodelan dilakukan dari interpretasi litologi pada hasil pengolahan data resistivitas (tabel 4.9). Hasil pemodelan diberikan pada gambar 4.12. Pada gambar 4.12 lapisan *top soil* digambarkan dengan warna cokelat, lapisan *claystone* resistivitas tinggi berwarna hijau muda, lapisan *claystone* resistivitas rendah berwarna hijau tua, dan lapisan *mudstone* berwarna abu-abu. Lapisan *mudstone* dengan resistivitas tinggi tidak dapat dipetakan karena hanya terdapat pada dua titik dan perangkat lunak yang digunakan membutuhkan setidaknya 3 titik untuk dapat menghitung model. Untuk membandingkan hasil pemodelan, dilakukan pula pemodelan litologi hasil pengeboran (gambar 4.13). Model pada gambar 4.13 menggunakan simbol warna dengan model gambar 4.12. Interpretasi litologi hasil pengeboran digunakan sebagai pembanding karena litologi diinterpretasi dari sampel tanah riil pada lokasi penelitian. Dari kedua model tersebut, terlihat bahwa kedua model menunjukkan kemiripan. Lapisan *top soil* memiliki ketebalan rata-rata < 1 m. Lapisan *claystone* hasil interpretasi data resistivitas dibagi menjadi dua, yaitu bagian atas yang memiliki resistivitas tinggi dan bagian bawah yang memiliki resistivitas rendah. Ketebalan rata-rata lapisan *claystone* hasil interpretasi data resistivitas dan data bor hampir sama, yaitu ~12 m dan ~11 m secara berurutan. Perbedaan yang dapat diamati dari kedua model tersebut adalah model hasil interpretasi resistivitas memiliki pengaruh elevasi yang lebih baik. Hal ini dikarenakan titik pengukuran VES yang lebih banyak dan distribusinya lebih baik dibandingkan titik pengeboran.



**Gambar 4.12 Model litologi 3D (VES)**



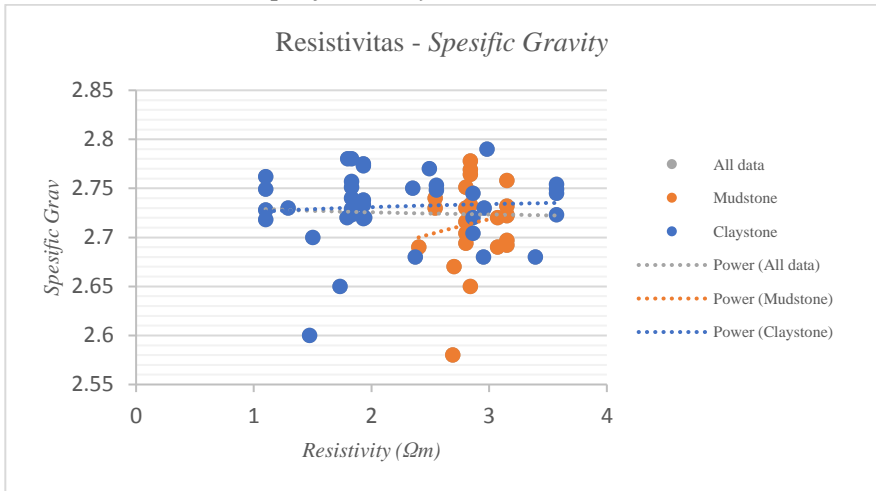
**Gambar 4.13 Model litologi 3D (Bor)**

#### 4.4 Korelasi Resistivitas dan Parameter Geoteknik

Pada penelitian kali ini akan dicari persamaan empiris korelasi antara resistivitas dan parameter geoteknik. Parameter geoteknik yang akan dikorelasikan berjumlah 13 seperti yang tercantum pada subbab 3.5.4. Metode regresi linier dan non linier (eksponensial, *power*, dan logaritmik) diaplikasikan untuk kemudian dipilih metode yang memberikan korelasi paling baik.



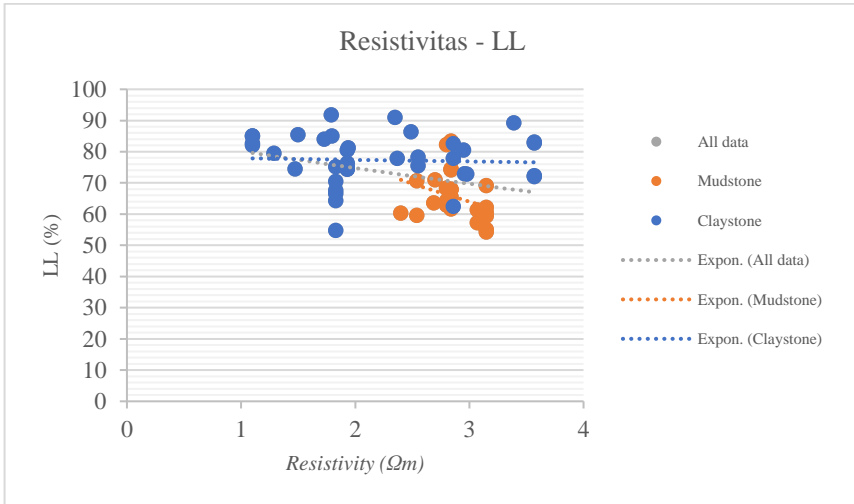
#### 4.4.1 Resistivitas Vs. *Spesific Gravity*



**Gambar 4.14** Grafik korelasi resistivitas Vs. *specific gravity*

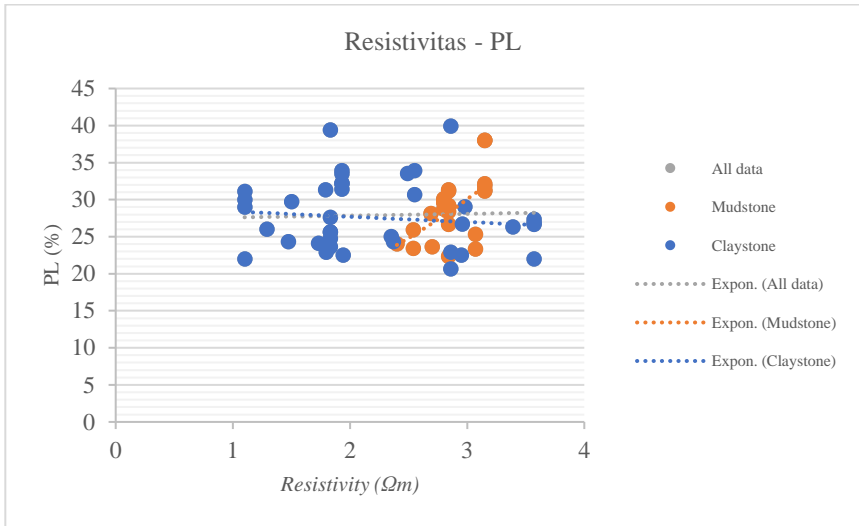
Gambar 4.14 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan *specific gravity*. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 63 data dari 11 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega m$ , dan *specific gravity* memiliki *range* 2,55 – 2,8. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi *power*. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *specific gravity* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 2,7257x^{0,0028}$  dengan  $R^2 = 0,0048$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 2,628x^{0,0309}$  dengan  $R^2 = 0,0223$ , dan secara keseluruhan  $y = 2,7294x^{-0,002}$  dengan  $R^2 = 0,0019$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  dari hubungan kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.14, sebaran data tidak memiliki trend tertentu. Nilai *specific gravity* cenderung bervariasi untuk nilai resistivitas yang sama.

#### 4.4.2 Resistivitas Vs. Atterberge Limit



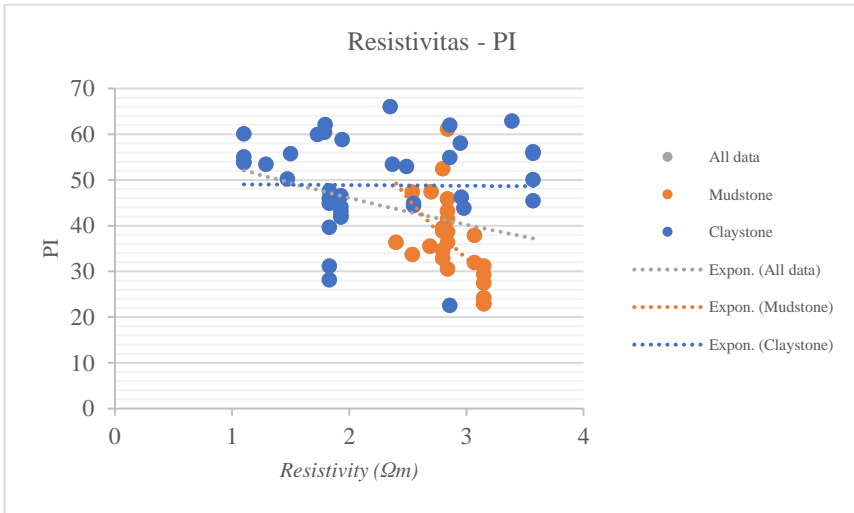
**Gambar 4.15** Grafik korelasi resistivitas Vs. *liquid limit*

Gambar 4.15 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan *liquid limit*. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 63 data dari 11 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4 Ωm, dan *liquid limit* memiliki *range* 50 – 95 %. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi *logaritmik*. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *liquid limit* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 78,413e^{-0,007x}$  dengan  $R^2 = 0,0021$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $107,65e^{-0,173x}$  dengan  $R^2 = 0,1108$ , dan secara keseluruhan  $y = 85,942e^{-0,07x}$  dengan  $R^2 = 0,1209$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  dari hubungan kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.15, sebaran data tidak menunjukkan trend tertentu. Namun, dapat dilihat secara kasar bahwa nilai *liquid limit* cenderung turun dengan naiknya resistivitas.



**Gambar 4.16** Grafik korelasi resistivitas Vs. *plastic limit*

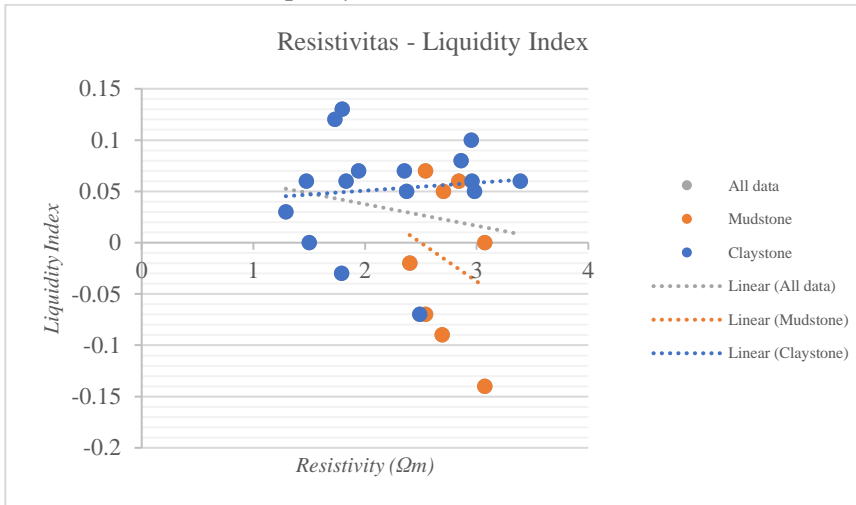
Gambar 4.16 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan *plastic limit*. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 63 data dari 11 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega\text{m}$ , dan *plastic limit* memiliki *range* 20 – 40 %. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi eksponensial. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *plastic limit* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 29,169e^{-0,026x}$  dengan  $R^2 = 0,0141$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 9,5361e^{0,3826x}$  dengan  $R^2 = 0,3395$ , dan secara keseluruhan  $y = 27,355e^{0,0088x}$  dengan  $R^2 = 0,0015$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  dari hubungan kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.16, sebaran data tidak memiliki trend tertentu.



**Gambar 4.17** Grafik korelasi resistivitas Vs. *plasticity index*

Gambar 4.17 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan *plasticity index*. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 63 data dari 11 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega\text{m}$ , dan *plasticity index* memiliki *range* 20 – 70 %. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi eksponensial. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *plasticity index* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 49,217e^{-0,003x}$  dengan  $R^2 = 0,0001$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 60,487e^{-0,136x}$  dengan  $R^2 = 0,1109$ , dan secara keseluruhan  $y = 246,76e^{-0,672x}$  dengan  $R^2 = 0,3338$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.7, sebaran data tidak memiliki trend tertentu. Namun, dapat dilihat secara kasar bahwa nilai *plasticity index* cenderung turun dengan naiknya resistivitas.

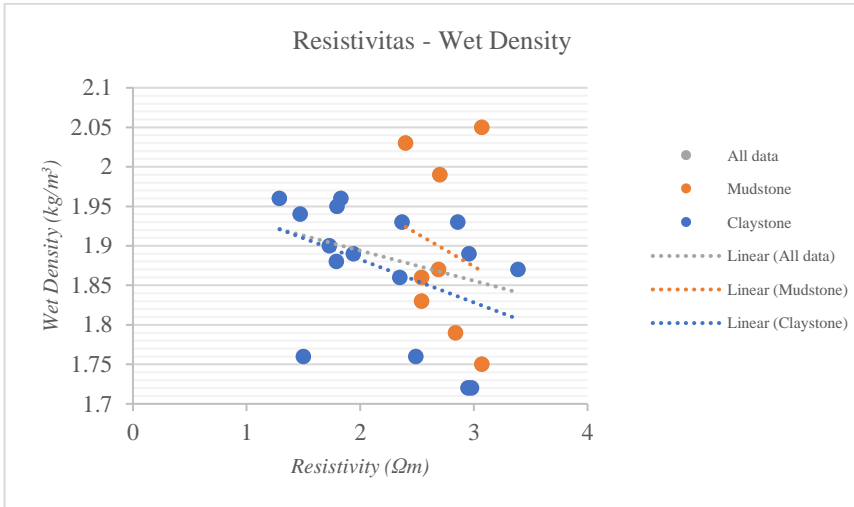
#### 4.4.3 Resistivitas Vs. *Liquidity Index*



**Gambar 4.18** Grafik korelasi resistivitas Vs. *liquidity index*

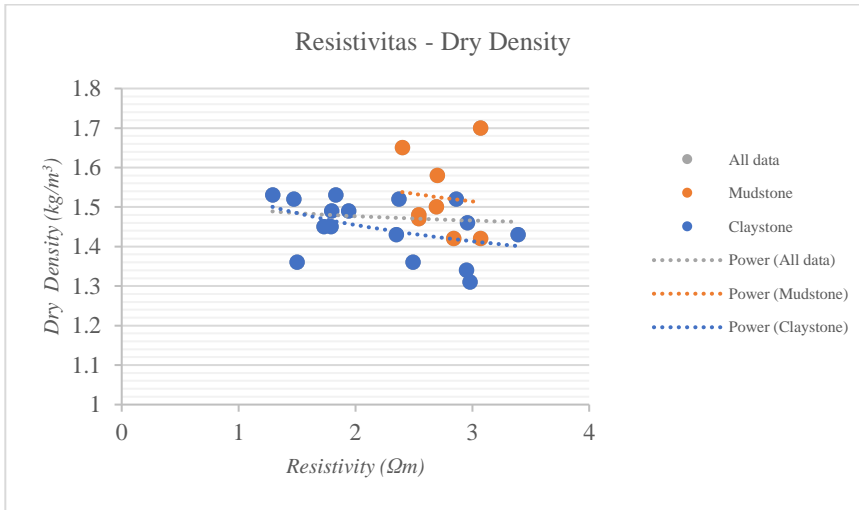
Gambar 4.18 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan *liquidity index*. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 24 data dari 8 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega m$ , dan *liquidity index* memiliki *range* -0,15 – 0,15. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi linier. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *specific gravity* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 0,0077x + 0,0354$  dengan  $R^2 = 0,0094$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = -0,0753x + 0,188$  dengan  $R^2 = 0,0582$ , dan secara keseluruhan  $y = -0,0211x + 0,0798$  dengan  $R^2 = 0,0336$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.18, sebaran data tidak memiliki trend tertentu.

#### 4.4.4 Resistivitas Vs. Densitas (*unit weight*)



**Gambar 4.19** Grafik korelasi resistivitas Vs. *wet density*

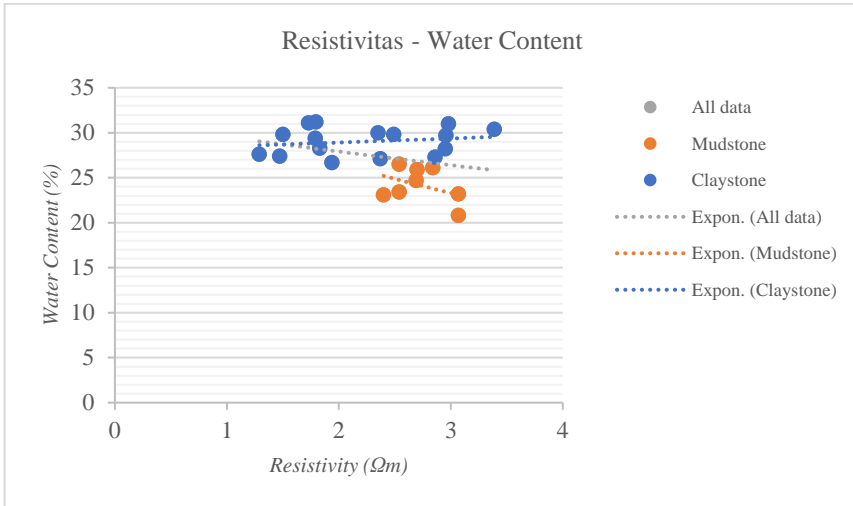
Gambar 4.19 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan densitas basah (*wet density*). Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 24 data dari 8 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4 Ωm, dan densitas memiliki *range* 1,7 – 2,05 kg/m<sup>3</sup>. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi linier. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *wet density* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = -0,0542x + 1,991$  dengan  $R^2 = 0,1756$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = -0,0833x + 2,1238$  dengan  $R^2 = 0,0331$ , dan secara keseluruhan  $y = -0,0381x + 1,9702$  dengan  $R^2 = 0,0591$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.19, sebaran data tidak memiliki trend tertentu.



**Gambar 4.20** Grafik korelasi resistivitas Vs. *dry density*

Gambar 4.20 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan densitas kering (*dry density*). Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 24 data dari 8 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega m$ , dan *dry density* memiliki *range* 1,3 – 1,7  $kg/m^3$ . Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi *power*. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *dry density* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 1,5279x^{-0,071}$  dengan  $R^2 = 0,1695$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 1,6348x^{-0,07}$  dengan  $R^2 = 0,0086$ , dan secara keseluruhan  $y = 1,4961x^{-0,019}$  dengan  $R^2 = 0,0069$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.10, sebaran data tidak memiliki *trend* tertentu.

#### 4.4.5 Resistivitas Vs. Water Content

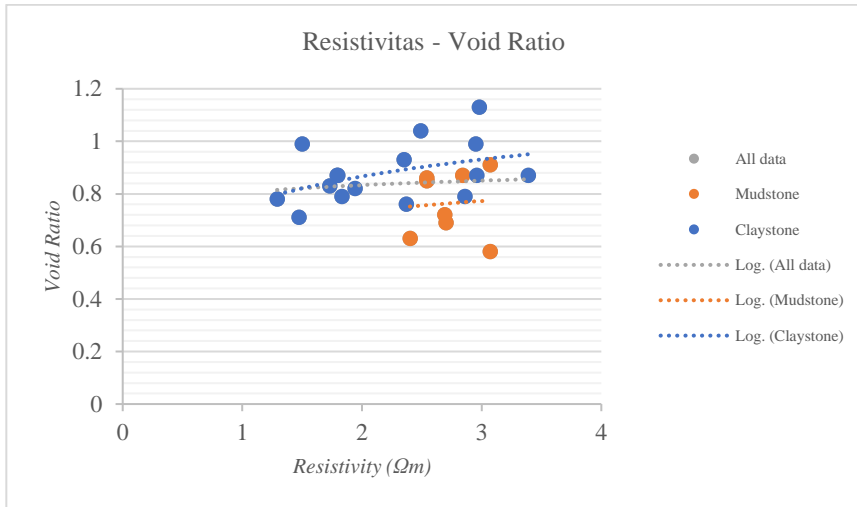


**Gambar 4.21** Grafik korelasi resistivitsa Vs. *water content*

Gambar 4.21 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan kadungan air (*water content* atau *moisture content*). Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 24 data dari 8 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega m$ , dan *water content* memiliki *range* 20 – 35 %. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi eksponensial. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *water content* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 28,056e^{0,0152x}$  dengan  $R^2 = 0,0344$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 34,513e^{-0,131x}$  dengan  $R^2 = 0,1557$ , dan secara keseluruhan  $y = 31,207e^{-0,056x}$  dengan  $R^2 = 0,0932$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.21, sebaran data tidak memiliki trend tertentu. Namun jika diamati secara kasar nilai resistivitas cenderung turun saat *water content* naik. Nilai korelasi yang rendah kemungkinan disebabkan pula oleh kondisi *water content* yang cenderung seragam ( $\sim 20 - 30$  %), sehingga *trend* perubahan nilai resistivitas akibat pengaruh perubahan *water content* tidak nampak.



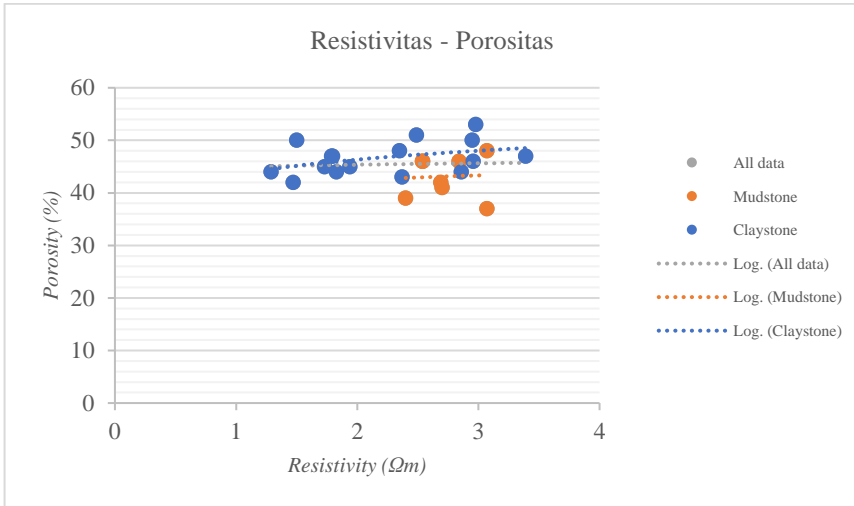
#### 4.4.6 Resistivitas Vs. Void Ratio



**Gambar 4.22** Grafik korelasi resistivitas Vs. void ratio

Gambar 4.22 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan *void ratio*. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 24 data dari 8 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega m$ , dan *void ratio* memiliki *range* 0,6 – 1,2. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi logaritmik. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan *void ratio* pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 0,1592\ln(x) + 0,7562$  dengan  $R^2 = 0,1753$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 0,0944\ln(x) + 0,6692$  dengan  $R^2 = 0,0046$ , dan secara keseluruhan  $y = 0,0417\ln(x) + 0,8045$  dengan  $R^2 = 0,0079$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.22, sebaran data tidak memiliki *trend* tertentu.

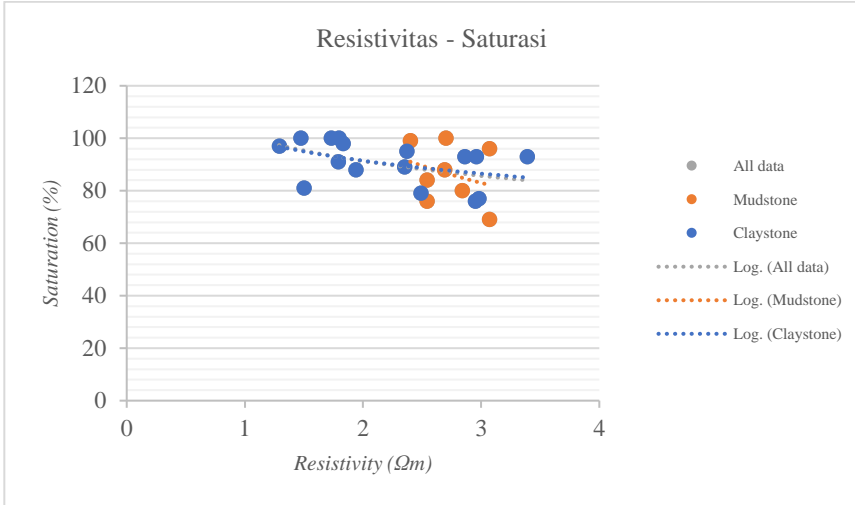
#### 4.4.7 Resistivitas Vs. Porositas



**Gambar 4.23** Grafik korelasi resistivitas Vs. porositas

Gambar 4.23 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan porositas. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 24 data dari 8 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega m$ , dan porositas memiliki *range* 35 – 55 %. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi logaritmik. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan porositas pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 4,1421\ln(x) + 43,469$  dengan  $R^2 = 0,1552$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 2,1918\ln(x) + 40,931$  dengan  $R^2 = 0,0025$ , dan secara keseluruhan  $y = 20,6648\ln(x) + 44,899$  dengan  $R^2 = 0,0023$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.23, sebaran data tidak memiliki *trend* tertentu.

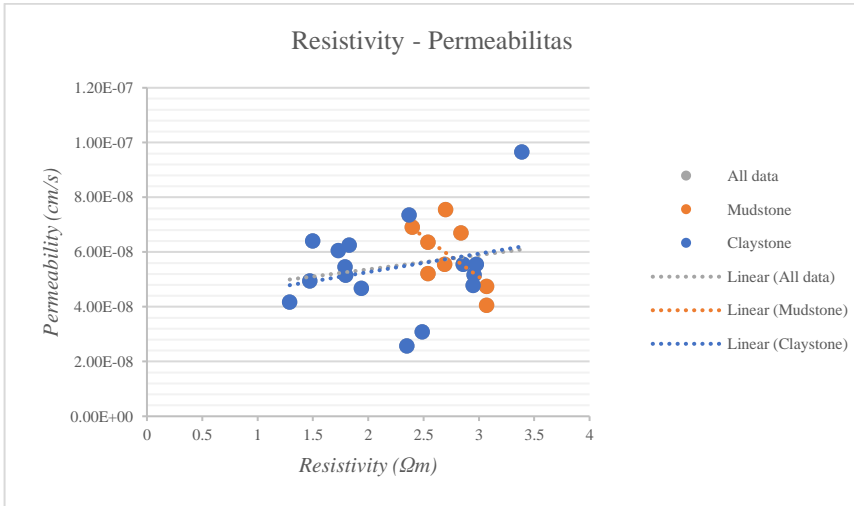
#### 4.4.8 Resistivitas Vs. Saturasi



**Gambar 4.24** Grafik korelasi resistivitas Vs. saturasi

Gambar 4.24 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan saturasi. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 24 data dari 8 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega m$ , dan saturasi memiliki *range* 70 – 100%. Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi logaritmik. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan saturasi pada lapisan *claystone* yaitu  $y = -12,15\ln(x) + 99,883$  dengan  $R^2 = 0,1888$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = -36,18\ln(x) + 122,72$  dengan  $R^2 = 0,0824$ , dan secara keseluruhan  $y = -13,88\ln(x) + 100,93$  dengan  $R^2 = 0,1605$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.24, sebaran data tidak memiliki trend tertentu. Namun jika diamati secara kasar nilai resistivitas cenderung turun saat saturasi naik. Nilai korelasi yang rendah kemungkinan disebabkan pula oleh kondisi saturasi yang cenderung seragam ( $\sim 70 - 100\%$ ), sehingga *trend* perubahan nilai resistivitas akibat pengaruh perubahan saturasi tidak nampak.

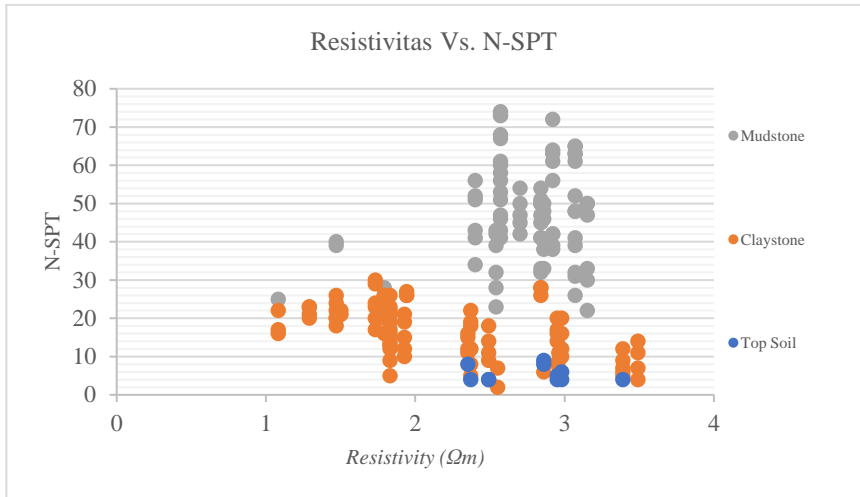
#### 4.4.9 Resistivitas Vs. Permeabilitas



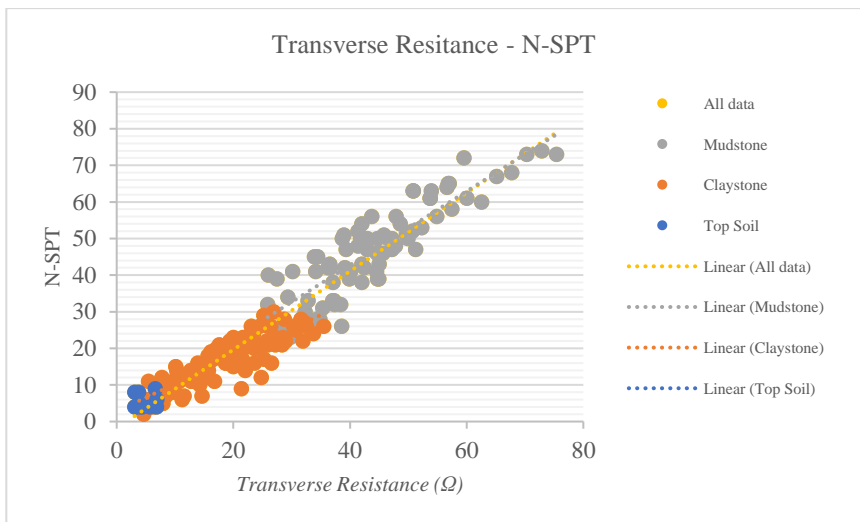
**Gambar 4.25** Grafik korelasi resistivitas Vs. permeabilitas

Gambar 4.25 menunjukkan grafik korelasi antara resistivitas dan permeabilitas. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 24 data dari 8 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega m$ , dan permeabilitas memiliki *range*  $2 \times 10^{-8} - 10^{-7}$ . Korelasi dilakukan untuk litologi *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari empat jenis regresi yang diaplikasikan, didapatkan bahwa koefisien determinasi yang paling tinggi didapatkan dengan menggunakan regresi linier. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi resistivitas dan permeabilitas pada lapisan *claystone* yaitu  $y = 7E-09x + 4E-08$  dengan  $R^2 = 0,0712$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 5E-09x + 4E-08$  dengan  $R^2 = 0,043$ , dan secara keseluruhan  $y = -3E-08x + 1E-07$  dengan  $R^2 = 0,3717$ . Nilai koefisien determinasi  $R^2$  pada dari kedua parameter ini  $< 0,3$ , menurut Jusoh dan Osman (2017) kedua parameter masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Jika diamati dari grafik pada gambar 4.25, sebaran data tidak memiliki *trend* tertentu.

#### 4.4.10 Resistivitas Vs. N-SPT



**Gambar 4.26** Sebaran data resistivitas Vs. N-SPT



**Gambar 4.27** Grafik korelasi *transverse resistance* Vs. N-SPT

Gambar 4.26 menunjukkan sebaran data antara resistivitas dan N-SPT. Pasangan datum kedua parameter ini berjumlah 189 data dari 11 titik bor. Nilai resistivitas berada pada *range* 1 – 4  $\Omega\text{m}$ , dan N-SPT memiliki *range* 0 – 80. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa sebaran data tidak menunjukkan

*trend* korelasi tertentu. Untuk itu dilakukan perhitungan *transverse resistance*, dimana menurut beberapa penelitian yang telah dilakukan parameter ini memiliki korelasi yang lebih terhadap N-SPT dibandingkan resistivitas. Gambar 4.27 menunjukkan grafik korelasi antara *transverse resistance* dan N-SPT. Korelasi dilakukan untuk litologi *top soil*, *claystone*, *mudstone* dan data secara keseluruhan. Dari pola sebaran data, dipilih metode regresi linier karena data membentuk *trend* yang cenderung linier. Hasilnya didapatkan persamaan korelasi *transverse resistance* dan N-SPT pada lapisan *top soil* yaitu  $y = 0,33x + 4,8362$  dengan  $R^2 = 0,0107$ , pada *claystone* yaitu  $y = 0,7517x + 2,785$  dengan  $R^2 = 0,7452$ , pada lapisan *mudstone* yaitu  $y = 1,0087x + 2,4$  dengan  $R^2 = 0,7705$ , dan secara keseluruhan  $y = 1,0717x - 1,794$  dengan  $R^2 = 0,9205$ . Koefisien determinasi  $R^2$  pada lapisan *top soil* bernilai 0,01 ( $<0,3$ ), masuk kedalam kategori tidak memiliki korelasi. Hal ini disebabkan oleh jumlah data yang sedikit dan cenderung mengumpul (persebaran data jelek). Koefisien determinasi  $R^2$  pada lapisan *claystone* dan *mudstone* secara berturut bernilai 0,74 dan 0,77, sedangkan  $R^2$  pada keseluruhan data bernilai 0,92. Artinya nilai *transverse resistance* dan N-SPT memiliki korelasi yang baik – sangat baik. Dari pola sebaran data (gambar 4.27) juga dapat diamati *trend* hubungan kedua parameter.

#### 4.4.11 Pembahasan Korelasi

Hasil dari korelasi yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa hubungan antara resistivitas dengan parameter geoteknik pada *dataset* yang digunakan memiliki korelasi yang sangat buruk dengan  $R^2 < 0,1$ . Sedangkan *transverse resistance* dan N-SPT merupakan satu-satunya parameter yang memiliki korelasi sangat baik. Secara teoritis, beberapa parameter telah diturunkan persamaan hubungannya. Diantaranya adalah hubungan antara resistivitas, saturasi, dan porositas yang dijelaskan oleh Hukum Archie. Hubungan ketiga parameter tersebut dijelaskan dalam persamaan berikut :

$$S_w = \left( \frac{R_w}{R_t} \frac{1}{\phi^m} \right)^{1/n} \quad 3.1$$

dimana  $S_w$  merupakan saturasi air,  $R_w$  resistivitas air ( $\Omega m$ ),  $R_t$  resistivitas batuan tersaturasi ( $\Omega m$ ),  $\phi$  porositas, serta  $m$  dan  $n$  merupakan faktor geometri batuan (Schon, 2011). Dari persamaan tersebut, dapat dikatakan bahwa besarnya resistivitas dipengaruhi oleh porositas dan tingkat saturasi batuan.

Penelitian terbaru tentang korelasi resistivitas dan parameter geoteknik pada tanah lempung telah dilakukan oleh Kibria (2011). Penelitian dilakukan pada sampel tanah lempung di Texas dengan pengukuran skala laboratorium.

Pada penelitian ini parameter tanah dikontrol sehingga perubahan parameter geoteknik lain yang tidak menjadi objek penelitian tidak mempengaruhi nilai resistivitas. Misalnya dalam menurunkan persamaan hubungan resistivitas dan *water content*, maka sampel dikondisikan agar densitas (*unit weight*), porositas, dan parameter lain tetap. Sehingga nilai resistivitas hanya disebabkan oleh perubahan *water content*. Hasil yang diperoleh Kibria (2011) menunjukkan bahwa nilai resistivitas menunjukkan korelasi yang baik dengan *water content*, *unit weight (dry dan wet)*, saturasi. Sementara resistivitas dengan *atterberge limit* dan porositas menunjukkan korelasi yang buruk. Penelitian lain dilakukan oleh Rezaei dkk. (2018) pada studi kasus tanah longsor di Iran. Hasilnya diperoleh bahwa resistivitas menunjukkan korelasi yang baik dengan *water content* dan permeabilitas, namun memiliki korelasi yang buruk dengan *atterberge limit*, *specific gravity*, dan *unit weight*.

Dengan memperhatikan penelitian tersebut dan hasil yang diperoleh, *atterberge limit*, *specific gravity*, dan porositas menunjukkan korelasi yang buruk baik dalam penelitian yang kali ini maupun penelitian sebelumnya pada studi kasus sampel yang berbeda. Sementara itu, *water content*, saturasi, dan permeabilitas seharusnya menunjukkan korelasi yang baik terhadap resistivitas. Pada data yang dimiliki, ketiga parameter tersebut cenderung sama, dimana *water content* berada pada *range* 20 – 35%, saturasi 70 – 100%, dan permeabilitas  $2 \times 10^{-8}$  –  $10^{-7}$ . Kondisi yang cenderung sama tersebut menyebabkan *trend* perubahan resistivitas tidak muncul dan grafik regresi menunjukkan nilai korelasi yang buruk. Hubungan *transverse resistance* dan N-SPT telah banyak dikembangkan sebelumnya, salah satunya oleh Widhi (2018). Pada penelitian tersebut diperoleh bahwa *transverse resistance* menunjukkan korelasi yang lebih baik terhadap N-SPT dibandingkan resistivitas. Penelitian ini menunjukkan hasil yang sama. *Transverse resistance* menunjukkan korelasi yang sangat baik terhadap N-SPT ( $R^2 = 0.92$ ). Rangkuman korelasi resistivitas dan parameter geoteknik diberikan dalam tabel 4.10. Tabel korelasi kedua parameter secara lebih rinci diberikan pada lampiran 3.

**Tabel 4.10** Korelasi resistivitas dan parameter geoteknik

No	Parameter		Korelasi
	Resistivitas	Geoteknik	
1	Resistivitas	<i>Spesific Gravity</i>	Tidak Berkorelasi
2	Resistivitas	<i>Atterberge Limit</i>	Tidak Berkorelasi
3	Resistivitas	<i>Wet Density</i>	Tidak Berkorelasi
4	Resistivitas	<i>Dry Density</i>	Tidak Berkorelasi

(lanjutan Tabel 4.10)

No	Parameter		Korelasi
	Resistivitas	Geoteknik	
5	Resistivitas	<i>Water Content</i>	Tidak Berkorelasi
6	Resistivitas	<i>Liquidty index</i>	Tidak Berkorelasi
7	Resistivitas	Void Ratio	Tidak Berkorelasi
8	Resistivitas	Porositas	Tidak Berkorelasi
9	Resistivitas	Saturasi	Tidak Berkorelasi
10	Resistivitas	Permeabilitas	Tidak Berkorelasi
11	<i>Transverse Resistance</i>	N-SPT	Sangat Baik



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Telah didapatkan model 3D bawah permukaan yang terdiri atas 3 jenis litologi, yaitu *top soil* (4 – 13  $\Omega\text{m}$ ), *claystone* (1 – 3,8  $\Omega\text{m}$ ), dan *mudstone* (1,3 – 3,5  $\Omega\text{m}$ ). Litologi hasil pengeboran berfungsi sebagai model awal (acuan) dalam interpretasi data VES, sedangkan hasil interpretasi data VES memberikan hasil yang detail dibandingkan model hasil pengeboran karena distribusi titik pengukuran lebih baik. Integrasi kedua metode menghasilkan model 3D yang lebih baik dan saling melengkapi kekurangan masing-masing
2. Resistivitas dan parameter geoteknik menunjukkan kedua parameter tidak memiliki korelasi ( $R^2 = 0 - 0,3$ ) hingga berkorelasi rendah ( $R^2 = 0,3 - 0,5$ ). Parameter geoteknik yang tidak berkorelasi dengan resistivitas meliputi *specific gravity*, *atterberge limit*, *plasticity index*, densitas atau *unit weight*, *water content*, *void ratio*, porositas, saturasi, dan permeabilitas. Parameter yang memiliki korelasi sangat kuat (0,9 – 1) hanya ditunjukkan oleh *transverse resistance* dengan N-SPT dengan persamaan,  $y = 1,07x - 1,794$ , yang memiliki  $R^2 = 0,92$ .

### 5.2 SARAN

Berdasarkan hasil analisis data dan hasil penelitian ini, penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya dilakukan suatu metode relokasi titik pengukuran untuk mengurangi error spasial pada pengikatan data bor dan data VES yang pada penelitian kali ini dilakukan secara manual. Kemudian disarankan agar korelasi antar parameter dilakukan dengan penelitian skala laboratorium. Hal tersebut dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antar parameter yang lebih spesifik dan mengurangi pengaruh faktor lain.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Aisha, F.Y., Warnana, D.D. dan Ariyanti, N. (2018), "Pemodelan Geostatistik 3D Pada Sebaran Batuan Karbonat Menggunakan Metode Kriging Berdasarkan Data Resistivitas 2D dan N-SPT", *Jurnal Geosaintek*, Vol.4, No.3. Diambil dari <http://dx.doi.org/10.12962/j25023659.v4i3.4522>.
- Badan Standardisasi Nasional (2008), *Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT*.
- Bemmelen, P.W. Van (1949), *The Geology of Indonesia Vol. II*, Government Printing Office, The Hague, Netherland.
- Gong, G., Mattevada, S. dan O'Bryant, S.E. (2014), "Comparison of the accuracy of kriging and IDW interpolations in estimating groundwater arsenic concentrations in Texas", *Environmental Research*, Vol.130, hal. 59–69. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2013.12.005>.
- Gujarati, D.N. (2003), *Basic Econometrics*, Fourth Edi., Gary Burke, New York.
- Hadi, B.S. (2013), "Metode Interpolasi Spasial Dalam Studi Geografi (Ulasan Singkat dan Contoh Aplikasinya)", *Geomedia*, Vol.11, No.November, hal. 231–240.
- Harjito (2013), "Metode Vertical Electrical Sounding ( VES ) untuk Menduga Potensi Sumberdaya Air", *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, Vol.5, hal. 127–140.
- Hartono dan Suharsono (1997), *Peta Geologi Lembar Tuban Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Bandung.
- Hosmer, D.W. dan Lemeshow, S. (2000), *Applied Logistic Regression*, Second Edi., John Wiley & Sons, Inc, Canada.
- I., Y., A., I. dan Raupong (2014), "Pengujian Kesamaan Beberapa Model Regresi Non Linier Geometri (Studi Kasus : Data Emisi CO2 dan Gross Nation Product di Malaysia, Bhutan, dan Nepal)", *Universitas Hasanuddin*,.
- Jusoh, H. dan Osman, S.B.S. (2017), "The Correlation between Resistivity and Soil Properties as an Alternative to Soil Investigation", *Indian Journal of Science and Technology*, Vol.10, No.February. <http://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i6/111205>.
- Kalyane, A. (2017), "Establishing Relationship Between Electrical Resistivity Measurements And Soil Penetration Test Values – A Case Study", *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, Vol.6, No.04, hal. 23–31.
- Kibria, G. (2011), *DETERMINATION OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF CLAYEY SOIL FROM*, University of Texas.
- Kurniawan, F.Z. (2018), *Interpretasi Data Resistivitas 1D (VES) Kawasan Karst Studi Kasus Desa Sekar, Pacitan*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Loke, M.H. (2000), *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*.
- Loke, M.H. (2004), *Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys*.
- Poulos, H.G. dan Badelow, F. (2015), "Geotechnical Parameter Assessment for

- Tall Building Foundation Design", *International Journal of High-Rise Buildings*, Vol.4.
- Pramono, G.H. (2008), "Akurasi Metode IDW Dan Kriging untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi di Maros, Sulawesi Selatan", *Forum Geografi*, Vol.22, hal. 145–158.
- Prayogo, K. dan Saptowati, H. (2016), "Penyelidikan Struktur Dan Karakteristik Tanah Untuk Desain Pondasi Radiator Gamma Kapasitas 2 MCi", *Jurnal Perangkat Nuklir*, Vol.10.
- Respatti, E., Goejantoro, R. dan Wahyuningsih, S. (2014), "Perbandingan Metode Ordinary Kriging dan Inverse Distance Weighted untuk Estimasi Elevasi Pada Data Topografi (Studi Kasus : Topografi Wilayah FMIPA Universitas Mulawarman)", *Jurnal Eksponensial*, Vol.5.
- Rezaei, S., Shooshpasha, I. dan Rezaei, H. (2018), "Empirical Correlation between Geotechnical and Geophysical Parameters in a Landslide Zone ( Case Study : Nargeschal Landslide )", *Earth Sciences Research Journal*, Vol.22, No.3, hal. 195–204.
- Schon, J.H. (2011), *Physical Properties of Rocks*, Cubitt, J. ed., Elsevier B.V., Great Britain.
- Setianto, A. dan Triandini, T. (2013), "Comparison of Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) Interpolation Methods in Lineament Extraction and Analysis", *J. SE Asian Appl. Geol.*, Vol.5, No.1, hal. 21–29.
- Syed, B.A. dan Siddiqui, F.I. (2012), "Use of Vertical Electrical Sounding ( VES ) method as an Alternative to Standard Penetration Test ( SPT )", *Proceedings of the Twenty-second (2012) International Offshore and Polar Engineering Conference*, International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE),.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), *Applied Geophysics Second Edition*, 2 Ed., Cambridge University Press, Cambridge.
- U.S. Department of Transportation (2017), *Geotechnical Engineering Circular No.5*, United State.
- Universitas Komputer Indonesia (2010), *Regresi Non Linier*. Diambil 22 Mei 2019, dari <https://repository.unikom.ac.id>.
- Ural, N. (2018), "The Importance of Clay in Geotechnical Engineering", *IntechOpen*,.
- Widhi, P.P.K. (2018), *Korelasi antara n-spt dengan resistivitas*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zohdy, A.A.R. (1964), "Auxiliary Point and Method Its of Electrical to Sounding The Interpretation, Relationship to The Dar Zarrouk Parameters", *34th Annual International SEG Meeting*,.

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel jenis litologi tiap kedalaman

Titik	Elevasi	Total Kedalaman	Kedalaman	Litologi
BA01	14,18	20	0	<i>Top Soil</i>
			2,4	<i>Clay</i>
			13	<i>Mudstone</i>
BA02	7,45	30	0	<i>Top Soil</i>
			1	<i>Clay</i>
			12,45	<i>Mudstone</i>
BA03	17,13	20	0	<i>Top Soil</i>
			1,45	<i>Clay</i>
			15	<i>Mudstone</i>
BA04	6,02	100	0	<i>Top Soil</i>
			3	<i>Clay</i>
			14	<i>Mudstone</i>
BA05	14,36	20	0	<i>Top Soil</i>
			2	<i>Clay</i>
			15,6	<i>Mudstone</i>
BA06	9,86	20	0	<i>Top Soil</i>
			2	<i>Clay</i>
			13,45	<i>Mudstone</i>
BA07	15,02	20	0	<i>Top Soil</i>
			1,45	<i>Clay</i>
			13,45	<i>Mudstone</i>
BA08	10,72	20	0	<i>Top Soil</i>
			2,45	<i>Clay</i>
			13,55	<i>Mudstone</i>
BB01	7,5	20	0	<i>Top Soil</i>
			0,4	<i>Clay</i>
			11	<i>Mudstone</i>
BB02	9,5	20	0	<i>Top Soil</i>
			0,3	<i>Clay</i>
			12	<i>Mudstone</i>
BB03	10,72	20	0	<i>Top Soil</i>
			0,15	<i>Clay</i>
			11	<i>Mudstone</i>

Lampiran 2. Tabel jumlah lapisan, ketebalan, dan resistivitas tiap titik pengukuran

No	Titik VES	Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Resistivitas ( $\Omega$ m)	Error (%)
1	VES01	14,8	0,707	6,86	3
			9,06	2,95	
			12,3	1,94	
			63,5	3,07	
2	VES02	21,6	9,31	3,19	2,07
			13	1,31	
			63,5	3,06	
3	VES03	26,8	0,77	6,99	1,81
			15,9	2,96	
			21,6	1,94	
			63,5	3,19	
4	VES04	27,1	0,83	8,15	2,92
			12	2,57	
			16,5	1,17	
			63,5	3,36	
5	VES05	30,1	0,53	9,61	3,61
			4,13	2,98	
			11,4	1,66	
			63,5	2,81	
6	VES06	29,7	0,655	9,85	3,45
			4,52	3,32	
			13,1	1,98	
			32,7	3,49	
			63,5	1,68	
7	VES07	25,4	0,42	5,09	2,85
			3,86	3,32	
			12,7	2,21	
			63,5	2,98	
8	VES08	22	0,67	7,21	3,31
			3,04	2,86	
			11,6	1,83	
			45,7	2,84	
9	VES09	21,4	63,5	1,35	1,92
			0,63	10	
			0,68	3,32	
			7,99	2,2	
			63,5	2,4	

10	VES10	24,2	0,54	7,91	1,69
			6,12	2,9	
			10,9	1,17	
			63,5	2,99	
11	VES11	28,3	0,77	5,84	2,58
			9,51	2,37	
			14,9	1,29	
			63,5	2,7	
12	VES12	27,9	1,5	7,23	3,55
			7,06	2,99	
			16,1	2	
			63,5	2,86	
13	VES13	22,3	1,36	4,29	2,28
			8,03	3,4	
			18,7	1,99	
			63,5	2,99	
14	VES14	19,1	0,91	12	4,85
			3,94	3,04	
			15,8	1,85	
			63,5	2,44	
15	VES15	17,3	1,27	10,4	2,26
			6,27	2,35	
			13,6	1,73	
			63,5	2,4	
16	VES16	17,5	0,947	4,58	1,35
			9,5	2,83	
			17	1,57	
			63,5	2,8	
17	VES17	17,8	0,36	11,81	1,93
			5,38	3,45	
			11,5	1,54	
			63,5	2,24	
18	VES18	19,5	0,85	5,43	2,11
			8,86	2,88	
			18,3	1,8	
			63,5	2,97	
19	VES19	18,8	1,39	6,55	3,42
			2,71	3,72	
			9,84	1,99	
			63,5	2,81	

20	VES20	21,2	0,99	6,52	0,406
			4,86	3,165	
			14,5	1,94	
			63,5	2,82	
21	VES21	18	0,75	9,985	1,96
			5,38	2,92	
			17,48	1,8	
			63,5	2,57	
22	VES22	16,2	0,88	6,75	3,01
			4,6	2,84	
			17,1	1,91	
			63,5	2,71	
23	VES23	17,3	1,06	5,94	3,89
			4,13	2,69	
			17,1	1,97	
			63,5	2,94	
24	VES24	18,5	0,84	4,99	1,61
			9,5	3,15	
			19,39	1,83	
			63,5	2,51	
25	VES25	20,9	1,1	5,51	1,68
			8,04	3,39	
			13,47	1,79	
			63,5	3,07	
26	VES26	20,5	0,795	6,35	1,71
			7,68	2,57	
			16,46	1,25	
			63,5	2,83	
27	VES27	18,9	1,43	5,19	2,67
			7,35	2,49	
			13,6	1,5	
			63,5	2,54	
28	VES28	17,1	0,915	9,85	2,99
			3,22	2,55	
			12,1	1,93	
			63,5	3,15	
29	VES29	19,2	0,8	8,41	2,5
			7,79	3,13	
			15,3	1,89	
			63,5	2,51	



30	VES30	18	0,85	6,22	1,68
			6,86	2,69	
			14,4	1,65	
			63,5	2,65	
31	VES31	18,9	0,66	7	1,95
			7,43	2,61	
			14,13	1,53	
			63,5	2,567	
32	VES32	18,6	0,83	7,29	1,82
			5,68	3,13	
			15,48	1,91	
			63,5	2,67	
33	VES33	24	0,74	7,24	1,36
			5,72	3,32	
			11,99	1,86	
			63,5	2,79	
34	VES34	22,7	0,76	10,2	2,95
			5,34	3,15	
			10	1,93	
			63,5	2,77	
35	VES35	22,5	1,23	10,8	1,61
			6,16	2,92	
			12,74	1,92	
			63,5	2,84	
36	VES36	21,8	0,91	6,5	1,67
			4,63	2,926	
			13,73	1,71	
			63,5	2,668	
37	VES37	25,5	0,96	4,86	2,13
			5,05	2,96	
			12,3	1,47	
			63,5	2,69	
38	VES38	19,4	0,98	8,28	2,92
			6,13	3,57	
			12	1,1	
			63,5	2,8	
39	VES39	17,8	1	12,2	2,3
			7,5	2,97	
			15,5	1,53	
			63,5	2,35	

40	VES40	18,9	1,04	6,79	1,68
			7,71	2,98	
			14,3	1,8	
			63,5	2,54	
41	VES41	21,8	1,03	7,03	1,7
			7,44	3,1	
			9,73	1,77	
			63,5	2,427	
42	VES42	21,8	1,04	6,79	1,25
			7,64	2,98	
			10,3	1,6	
			63,5	2,45	

**Lampiran 3 . Tabel Persamaan Korelasi Resistivitas dan Parameter Geoteknik**

No	Parameter		Litologi	R <sup>2</sup>	Jenis Persamaan	Korelasi		
	Resistivitas	Geoteknik						
1	Resistivity	<i>Spesific Gravity</i>	<i>Claystone</i>	0,004	<i>Power</i>	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,022				
			Total	0,002				
2	Resistivity	<i>Atterberge Limit</i>	<i>Liquid Limit</i>	<i>Claystone</i>	0,002	Eksponensial	Tidak Berkorelasi	
				<i>Mudstone</i>	0,111			
				Total	0,121			
3	Resistivity			<i>Plastic Limit</i>	<i>Claystone</i>	0,011	Eksponensial	Tidak Berkorelasi
					<i>Mudstone</i>	0,34		
				Total	0,002			
4	Resistivity		<i>Plasticity Index</i>	<i>Claystone</i>	10 <sup>-4</sup>	Eksponensial	Tidak Berkorelasi	
				<i>Mudstone</i>	0,334			
			Total	0,111				
5	Resistivity	Wet Density	<i>Claystone</i>	0,176	Linier	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,033				
			Total	0,059				
6	Resistivity	Dry Density	<i>Claystone</i>	0,1695	<i>Power</i>	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,0086				
			Total	0,0069				
7	Resistivity	Water Content	<i>Claystone</i>	0,0344	Eksponensial	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,1557				
			Total	0,0932				
8	Resistivity	Liquidity index	<i>Claystone</i>	0,0094	Linier	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,0582				
			Total	0,0336				
9	Resistivity	Void Ratio	<i>Claystone</i>	0,1753	Logaritmik	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,0046				
			Total	0,0079				
10	Resistivity	Porosity	<i>Claystone</i>	0,1552	Logaritmik	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,0025				
			Total	0,0023				
11	Resistivity	Saturation	<i>Claystone</i>	0,1888	Logaritmik	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,0824				
			Total	0,1605				
12	Resistivity	Permeability	<i>Claystone</i>	0,071	Linier	Tidak Berkorelasi		
			<i>Mudstone</i>	0,372				
			Total	0,043				
13	Transverse Resistance	N-SPT	<i>Top Soil</i>	0,011	Linier	Sangat Baik		
			<i>Claystone</i>	0,745				
			<i>Mudstone</i>	0,770				
			Total	0,920				

**Lampiran 4. Tabel Hasil Pengukuran SPT**

<i>Borehole</i>	<i>Kedalaman</i>	<i>N-SPT</i>	<i>Litologi</i>
GT01	1,3	5	<i>Top Soil</i>
	2,3	4	<i>Top Soil</i>
	3,3	8	<i>Claystone</i>
	4,3	14	<i>Claystone</i>
	6,3	16	<i>Claystone</i>
	7,3	17	<i>Claystone</i>
	8,3	20	<i>Claystone</i>
	9,3	26	<i>Claystone</i>
	11,3	26	<i>Claystone</i>
	12,3	27	<i>Claystone</i>
	13,3	31	<i>Mudstone</i>
	14,3	32	<i>Mudstone</i>
	16,3	41	<i>Mudstone</i>
	17,3	48	<i>Mudstone</i>
GT02	18,3	52	<i>Mudstone</i>
	19,3	61	<i>Mudstone</i>
	20,3	65	<i>Mudstone</i>
	1,3	5	<i>Claystone</i>
	2,3	5	<i>Claystone</i>
	3,3	9	<i>Claystone</i>
	4,3	11	<i>Claystone</i>
	6,3	18	<i>Claystone</i>
	7,3	20	<i>Claystone</i>
	8,3	20	<i>Claystone</i>
	9,3	22	<i>Claystone</i>
	11,3	24	<i>Claystone</i>
	12,3	26	<i>Claystone</i>
	13,3	40	<i>Mudstone</i>
14,3	39	<i>Mudstone</i>	
16,3	42	<i>Mudstone</i>	
17,3	42	<i>Mudstone</i>	
18,3	38	<i>Mudstone</i>	
19,3	39	<i>Mudstone</i>	
20,3	56	<i>Mudstone</i>	
21,3	63	<i>Mudstone</i>	
22,3	61	<i>Mudstone</i>	
23,3	64	<i>Mudstone</i>	
24,3	72	<i>Mudstone</i>	
25,3	180	<i>Mudstone</i>	

	26,3	300	<i>Mudstone</i>
	27,3	330	<i>Mudstone</i>
	28,3	165	<i>Mudstone</i>
	29,3	330	<i>Mudstone</i>
	30,3	165	<i>Mudstone</i>
GT03	1,3	4	<i>Top Soil</i>
	2,3	5	<i>Claystone</i>
	3,3	8	<i>Claystone</i>
	4,3	12	<i>Claystone</i>
	6,3	12	<i>Claystone</i>
	7,3	18	<i>Claystone</i>
	8,3	19	<i>Claystone</i>
	9,3	22	<i>Claystone</i>
	11,3	20	<i>Claystone</i>
	12,3	21	<i>Claystone</i>
	13,3	23	<i>Claystone</i>
	14,3	23	<i>Claystone</i>
	16,3	45	<i>Mudstone</i>
	17,3	42	<i>Mudstone</i>
18,3	47	<i>Mudstone</i>	
19,3	54	<i>Mudstone</i>	
20,3	50	<i>Mudstone</i>	
GT04	1,3	4	<i>Top Soil</i>
	2,3	6	<i>Top Soil</i>
	3,3	10	<i>Claystone</i>
	4,3	12	<i>Claystone</i>
	6,3	16	<i>Claystone</i>
	7,3	20	<i>Claystone</i>
	8,3	20	<i>Claystone</i>
	9,3	21	<i>Claystone</i>
	11,3	22	<i>Claystone</i>
	12,3	25	<i>Claystone</i>
	13,3	26	<i>Claystone</i>
	14,3	28	<i>Mudstone</i>
	16,3	41	<i>Mudstone</i>
	17,3	43	<i>Mudstone</i>
18,3	46	<i>Mudstone</i>	
19,3	47	<i>Mudstone</i>	
20,3	51	<i>Mudstone</i>	
21,3	53	<i>Mudstone</i>	

	22,3	56	<i>Mudstone</i>
	23,3	58	<i>Mudstone</i>
	24,3	61	<i>Mudstone</i>
	25,3	60	<i>Mudstone</i>
	26,3	67	<i>Mudstone</i>
	27,3	68	<i>Mudstone</i>
	28,3	73	<i>Mudstone</i>
	29,3	74	<i>Mudstone</i>
	30,3	73	<i>Mudstone</i>
GT05	1,3	8	<i>Top Soil</i>
	2,3	9	<i>Top Soil</i>
	3,3	9	<i>Claystone</i>
	4,3	14	<i>Claystone</i>
	6,3	16	<i>Claystone</i>
	7,3	12	<i>Claystone</i>
	8,3	21	<i>Claystone</i>
	9,3	22	<i>Claystone</i>
	11,3	26	<i>Claystone</i>
	12,3	26	<i>Claystone</i>
	13,3	28	<i>Claystone</i>
	14,3	28	<i>Claystone</i>
	16,3	33	<i>Mudstone</i>
17,3	41	<i>Mudstone</i>	
18,3	47	<i>Mudstone</i>	
19,3	51	<i>Mudstone</i>	
20,3	54	<i>Mudstone</i>	
GT06	1,3	4	<i>Top Soil</i>
	2,3	5	<i>Claystone</i>
	3,3	6	<i>Claystone</i>
	4,3	7	<i>Claystone</i>
	6,3	9	<i>Claystone</i>
	7,3	12	<i>Claystone</i>
	8,3	16	<i>Claystone</i>
	9,3	21	<i>Claystone</i>
	11,3	22	<i>Claystone</i>
	12,3	24	<i>Claystone</i>
	13,3	26	<i>Claystone</i>
	14,3	26	<i>Mudstone</i>
	16,3	39	<i>Mudstone</i>
17,3	48	<i>Mudstone</i>	

	18,3	63	<i>Mudstone</i>
	19,3	63	<i>Mudstone</i>
	20,3	65	<i>Mudstone</i>
GT07	1,3	8	<i>Top Soil</i>
	2,3	11	<i>Claystone</i>
	3,3	12	<i>Claystone</i>
	4,3	15	<i>Claystone</i>
	6,3	16	<i>Claystone</i>
	7,3	17	<i>Claystone</i>
	8,3	20	<i>Claystone</i>
	9,3	23	<i>Claystone</i>
	11,3	24	<i>Claystone</i>
	12,3	29	<i>Claystone</i>
	13,3	30	<i>Claystone</i>
	14,3	34	<i>Mudstone</i>
	16,3	41	<i>Mudstone</i>
	17,3	43	<i>Mudstone</i>
	18,3	51	<i>Mudstone</i>
	19,3	52	<i>Mudstone</i>
20,3	56	<i>Mudstone</i>	
GT08	1,3	4	<i>Top Soil</i>
	2,3	4	<i>Top Soil</i>
	3,3	9	<i>Claystone</i>
	4,3	11	<i>Claystone</i>
	6,3	14	<i>Claystone</i>
	7,3	18	<i>Claystone</i>
	8,3	21	<i>Claystone</i>
	9,3	22	<i>Claystone</i>
	11,3	21	<i>Claystone</i>
	12,3	22	<i>Claystone</i>
	13,3	21	<i>Claystone</i>
	14,3	23	<i>Mudstone</i>
	16,3	28	<i>Mudstone</i>
	17,3	32	<i>Mudstone</i>
	18,3	39	<i>Mudstone</i>
19,3	42	<i>Mudstone</i>	
20,3	43	<i>Mudstone</i>	
GT09	1,8	4	<i>Claystone</i>
	3,3	7	<i>Claystone</i>
	4,8	11	<i>Claystone</i>

	6,3	14	<i>Claystone</i>
	7,8	16	<i>Claystone</i>
	9,3	17	<i>Claystone</i>
	10,8	22	<i>Claystone</i>
	12,3	25	<i>Mudstone</i>
	13,8	33	<i>Mudstone</i>
	15,3	38	<i>Mudstone</i>
	16,8	48	<i>Mudstone</i>
	18,3	46	<i>Mudstone</i>
19,8	50	<i>Mudstone</i>	
GT10	1,8	2	<i>Claystone</i>
	3,3	7	<i>Claystone</i>
	4,8	12	<i>Claystone</i>
	6,3	10	<i>Claystone</i>
	7,8	19	<i>Claystone</i>
	9,3	15	<i>Claystone</i>
	10,8	21	<i>Claystone</i>
	12,3	22	<i>Mudstone</i>
	13,8	30	<i>Mudstone</i>
	15,3	33	<i>Mudstone</i>
	16,8	50	<i>Mudstone</i>
18,3	50	<i>Mudstone</i>	
19,8	47	<i>Mudstone</i>	
GT11	1,8	6	<i>Claystone</i>
	3,3	5	<i>Claystone</i>
	4,8	13	<i>Claystone</i>
	6,3	13	<i>Claystone</i>
	7,8	19	<i>Claystone</i>
	9,3	17	<i>Claystone</i>
	10,8	23	<i>Claystone</i>
	12,3	32	<i>Mudstone</i>
	13,8	41	<i>Mudstone</i>
	15,3	45	<i>Mudstone</i>
	16,8	50	<i>Mudstone</i>
18,3	50	<i>Mudstone</i>	
19,8	50	<i>Mudstone</i>	



## BIODATA PENULIS



Ikhbal Mustofa lahir di Kediri pada 14 Agustus 1997. Anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Agus Dwi Suryanto dan Supriyani. Riwayat pendidikan formal dimulai dari TK Kusuma Mulia Tertek, SDN Tertek 2, MTs N 1 Pare, SMAN 1 Pare, dan memasuki perguruan tinggi Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN program bidikmisi pada tahun 2015.

Selama periode pendidikan tinggi di ITS penulis mengikuti kegiatan lain di luar perkuliahan di kelas yaitu organisasi dan kepanitiaan. Pengalaman organisasi penulis selama perkuliahan diantaranya staff Departemen Riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS) 2016/2017, sekretaris departemen Dirosat Islamiyah KMTG Al Ardh 2016/2017, staff Divisi Internal SEG ITS SC 2016/2017, Ketua Departemen Riset dan Teknologi HMTG ITS 2017/2018, Sekretaris Jenderal KMTG Al Ardh 2017/2018. Selain menjadi fungsionaris organisasi, penulis juga berkesempatan menjadi panitia dari berbagai kegiatan kemahasiswaan di ITS dalam lingkup keprofesian seperti kuliah tamu, bincang karir, ataupun pelatihan. Penulis juga menjadi asisten mata kuliah Geologi Struktur periode Genap 2017/2018 dan asisten laboratorium Geoteknik dan Lingkungan periode 2018/2019 di Departemen Teknik Geofisika ITS.

Disamping kegiatan organisasi dan kepanitiaan, penulis mengikuti pelatihan selama periode perguruan tinggi di ITS. Pelatihan di bidang manajerial yang pernah diikuti diantaranya Latihan Keterampilan Manajerial Mahasiswa (LKMM) Tingkat Pra-Dasar, LKMM Tingkat Dasar (LKMM-TD), dan *leadership organization training* HMTG ITS. Pelatihan di bidang keprofesian yang pernah diikuti adalah Paradigm SeisEarth Software training. Pencapaian yang dicapai penulis diantaranya Juara 1 *Smartcompetition* pada Internal Competition SPE ITS SC 2017. Pada tahun 2018, penulis melakukan Kerja Praktik di Pertamina EP Asset 4, Surabaya. Penulis sangat berkesan dalam mendapatkan saran, kritik, maupun ajakan diskusi lebih lanjut mengenai Proposal Tugas Akhir ini.