

**DISERTASI**

**PEMODELAN *FUZZY LOGIC CLUSTERING* PARAMETER  
TANAH PERMUKAAN BERDASARKAN PROFIL  
GEORESISTIVITAS DAN GEOLOGI TEKNIK**

MODELING OF FUZZY LOGIC CLUSTERING FOR SURFACE SOIL  
PARAMETERS BASED ON GEORESISTIVITY PROFILES  
AND GEOLOGY TECHNIQUES

**ANTARISSUBHI**



**PROGRAM STUDI S3 TEKNIK SIPIL  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2020**



# DISERTASI

## PEMODELAN FUZZY LOGIC CLUSTERING PARAMETER TANAH PERMUKAAN BERDASARKAN PROFIL GEORESISTIVITAS DAN GEOLOGI TEKNIK

Disusun dan Diajukan oleh

**ANTARISSUBHI**  
**P0800316404**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Disertasi  
Pada tanggal 6 Oktober 2020  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

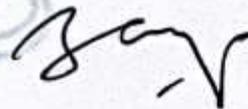
Menyetujui  
Komisi Penasehat



Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS., M. Eng  
Promotor



Dr. Eng. Ir. Tri Harianto, ST., MT  
Co-Promotor



Dr. Indrabayu, ST., MT., M.Bus.Sys  
Co-Promotor



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

Ketua Program Studi  
Teknik Sipil



Adisasmitha, M.Si., M.Eng.Sc.Ph.D Prof. Dr. Ir. H.M Arsyad Thaha, MT



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Antarissubhi  
Nomor Pokok : P0800316404  
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Oktober 2020

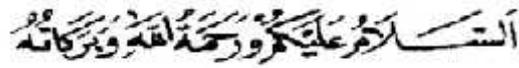


Yang menyatakan

Antarissubhi



## KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas perkenanNya sehingga penelitian dan penulisan ini dengan judul **“Pemodelan Fuzzy Logic Clustering Parameter Tanah Permukaan Berdasarkan Profil Georesistivitas dan Geologi Teknik”** dapat terselesaikan sebagaimana mestinya.

Disadari bahwa berbagai kendala yang dihadapi dalam penyusunan disertasi ini, hal ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, terutama bantuan dan dukungan materil yang tak ternilai, untuk itu pada kesempatan ini penulis dengan tulus menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Almarhum **Prof. Dr. Ir. H. Lawalenna Samang, MS., M. Eng**, selaku promotor sekaligus penilai disertasi serta pembimbingan, arahan dan petunjuknya. **Dr. Eng. Ir. Tri Harianto ST., MT** dan **Dr. Indrabayu, ST., MT., M.Bus.Sys**, selaku Co-Promotor yang telah banyak meluangkan waktu, arahan dan bimbingannya yang begitu tulus dan ikhlas sehingga peyusunan disertasi ini kami dapat laksanakan dengan baik.
2. **Prof. Ir. Noor Endah Mochtar, M.Sc. Ph.D**, selaku penguji External, **Dr. Ir. Abd Rahman Djamaluddin, MT**, **Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, M.Sc., Ph.D**, **Dr. Eng Ardy Arsyad, ST., M.Eng.Sc**, **Dr. Ir. H. Sultan Yahya, MT**, selaku penguji Internal yang telah banyak memberikan saran, kritikan dan masukan untuk kesempurnaan disertasi ini.
3. **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin, **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc**, selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, **Prof. Dr. Ir. H.M. ad Thaha, MT**, selaku Dekan Fakultas Teknik, **Prof. Dr. Ir. H.M. rdi Tjaronge, M.Eng**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil, **Prof. Sakti Adji Adisasmita, M.Si., M.Eng.Sc. Ph.D**, selaku Ketua



Program Studi S3 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin sekaligus Pjs Promotor kami.

4. **LPDP - BUDI DN** (Lembaga Pengelola Dana Pendidikan – Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia Dalam Negeri) yang telah memberikan dukungan bantuan dana selama menempuh studi.
5. Bapak dan Ibu dosen serta staf S3 Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang banyak memberikan pengetahuan, bimbingan dan dukungan selama ini.
6. Seluruh teman-temanku di luar sana yang tidak sempat saya sebutkan namanya satu persatu yang telah banyak memberi dukungan dan bantuan hingga penyelesaian disertasi ini.

Dengan segala kerendahan hati penulis sampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua tercinta ayahanda **Drs. H.TM Said, BE** dan ibunda **Hj. Rohani**, yang telah membesarkan, mendidik dan selalu memberikan dukungan dan doa. Serta seluruh keluargaku yang berada di Jl. Pengayoman Blok F. A2 No. 12 Makassar yang selalu memberikan dukungan untuk keberhasilan penulis.

Ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya terkhusus penulis ucapkan kepada isteri tercinta **Ir. Ramdania Tenreng, ST., M.Si** atas ketulusan, keiklasan, pengertian, kesabaran dan pengorbanan yang luar biasa, juga kepada anak-anakku untuk memberikan semangat dalam mengikuti program pendidikan ini.

Akhirnya, penulis menyadari disertasi ini masih banyak kekurangan yang perlu diperbaiki. Untuk itu dengan kerendahan hati penulis mohon masukan dan kritikan yang membangun demi kesempurnaan disertasi ini.

وَلَسْكَامُ عَلَیْكُمْ وَرَحْمَةُ اللهِ وَبَرَكَاتُهُ

Makassar, Oktober 2020  
Penulis

**Antarissubhi**



## ABSTRAK

**ANTARISSUBHI** : Pemodelan *Fuzzy Logic Clustering* Parameter Tanah Permukaan Berdasarkan Profil Georesistivitas dan Geologi Teknik. (dibimbing Oleh Lawalenna Samang, Tri Harianto dan Indrabayu).

Penelitian ini secara umum bertujuan membangun suatu model yang dapat menyederhanakan dan mengefisienkan pekerjaan investigasi tanah permukaan, khususnya mengetahui karakteristik lapisan tanah yang didasarkan pada resistivitas listrik. Masalah yang terjadi banyak kegagalan konstruksi disebabkan oleh eksploitasi penggunaan lahan yang melebihi daya dukung lahan, misalnya penggunaan lahan yang berasal dari gambut, rawa atau danau yang seringnya terjadi penurunan tanah secara tiba-tiba. Oleh karena itu, untuk mencapai data tanah yang akurat diperlukan investigasi tanah yang bagus dan sangat dibutuhkan yaitu metode georesistivitas yang dapat menginterpretasi propertis lapisan tanah serta mengetahui stratigrafi dan karakteristik lapisan tanah. Metode penelitian yang dipakai kualitatif dan kuantitatif terdiri dari penelitian lapangan berdasarkan nilai resistivitas tanah serta penyelidikan di laboratorium yang menggunakan hasil penyelidikan tanah konvensional sebagai pembandingan dan sebagai acuan untuk mendapatkan hasil yang detail pada lapisan tanah. Sedangkan hasil yang didapatkan dari pengukuran pada profil georesistivitas hingga kedalaman 15 meter, yang juga terdapat tinggi muka air disekitar 8 meter, sementara dari pengujian hasil pengeboran geoteknik hingga kedalaman 15 meter, didapatkan 4 jenis tanah CH, CL, MH dan ML. Hasil tersebut di kelompokkan dengan menggunakan algoritma Fuzzy C-Means dan terbentuk menjadi 4 cluster yang mempunyai 47 anggota.

**Kata kunci** : georesistivitas, geologi teknik, stratigrafi, *Fuzzy C-Means*



## ABSTRACT

**ANTARISSUBHI:** Model of Fuzzy Logic Clustering on Surface Soil Parameters Based on Georesistivity Profiles and Geology Techniques. (Supervised by Lawalenna Samang, Tri Harianto, Indrabayu).

This research aims to develop a simplified and efficient model to investigate the works on surface soil, particularly to characterize the soil layers based on its resistivity values. Common problems in many construction failures were due to exploitation of land used that exceeds the bearing capacity of the lands. For example, lands originating from peat, swamps or lakes are often backfilled for the purpose of settlements development. Therefore, to achieve an accurate surface soil data, then proper soil investigation is needed. Here, georesistivity method can interpret soil properties and determine the stratigraphy and characteristics of soil layers. The qualitative and quantitative methods were applied in the research consist of field investigation based on soil resistivity values and laboratory investigations. In the laboratory, conventional soil investigations were applied as measurement reference to the one resulted from georesistivity measurement. Measurement of georesistivity profiles were up to 15 meters deep, including the level of water at about 8 meters. Meanwhile, results of geotechnical boring to a depth of 15 meters, obtained 4 types of soil layers, i.e. CH, CL, MH and ML. The results were clustered by Fuzzy C -Means, an artificial intelligence algorithm to form 4 clusters with 47 point members.

**Keywords:** georesistivity, geology techniques, stratigraphy, Fuzzy C-means.



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiii
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	9
C. Tujuan Penelitian .....	9
D. Manfaat Penelitian .....	10
E. Kebaruan Penelitian .....	10
F. Batasan Masalah .....	10
G. Ruang Lingkup Penelitian .....	11
H. Sistematika Penulisan .....	11



<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	13
A. Permasalahan Strategis Profil Tanah Permukaan .....	13
B. Klasifikasi Tanah Permukaan .....	16
C. Teori Dasar Tanah Dengan Uji Geofisis .....	19
D. Sistem Pakar Untuk Kasifikasi Sifat Tanah .....	33
E. Logika Fuzzy .....	39
F. Penelitian Terdahulu .....	44
G. Kerangka Pikir Penelitian .....	50
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b> .....	51
A. Waktu Dan Lokasi Penelitian .....	52
B. Pengambilan Data Dan Sampel .....	53
C. Rancangan Penelitian .....	54
D. Analisis Data dan Verifikasi Fuzzy Inference System ..	62
E. Definisi Operasional Variabel Penelitian .....	72
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	74
A. Profil Georesistivitas .....	74
B. Profil Lapisan Tanah Berdasarkan Nilai Georesistivitas .	77
C. Profil Geoteknik .....	82
D. Rekapitulasi Hasil Cluster Georesistivitas dan Geoteknik dengan Fuzzy C-Means .....	91
E. Klasterisasi Data Georesistivitas dan Geoteknik dengan Fuzzy C-Means .....	94



F. Klasterisasi Algoritma FCM Untuk Georesistivitas dan Geoteknik .....	97
G. Temuan Empirik .....	99
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>100</b>
A. Kesimpulan .....	100
B. Saran .....	101
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>102</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>106</b>



## DAFTAR TABEL

		<b>Halaman</b>
Tabel 1.	Sifat – Sifat Partikel .....	17
Tabel 2.	Resistivitas dari Macam Batuan, Mineral dan Kimia .....	34
Tabel 3.	Resistivitas dari Batuan, Tanah dan Mineral .....	36
Tabel 4.	Resistivitas dari Beberapa Bahan Geologi Umum .....	37
Tabel 5.	Resistivitas dari Beberapa Batuan dan Mineral Umum ...	38
Tabel 6.	Penelitian Terdahulu .....	44
Tabel 7.	Log Bor .....	61
Tabel 8.	Jenis Pengujian dan Standar yang Digunakan .....	62
Tabel 9.	Defuzzyfikasi Penentuan Aturan Jenis Tanah .....	68
Tabel 10.	Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS .....	71
Tabel 11.	Nilai Resistivitas Lintasan 1 .....	77
Tabel 12.	Nilai Resistivitas Lintasan 2 .....	78
Tabel 13.	Nilai Resistivitas Lintasan 3 .....	80
Tabel 14.	Nilai Resistivitas Lintasan 4 .....	81
Tabel 15.	Jenis Tanah Geoteknik BH-01 .....	83
Tabel 16.	Jenis Tanah Geoteknik BH-02 .....	85
Tabel 17.	Jenis Tanah Geoteknik BH-03 .....	87
Tabel 18.	Jenis Tanah Geoteknik BH-04 .....	89
9.	Hasil Clustering Georesistivitas dan Geoteknik .....	91



## DAFTAR GAMBAR

		<b>Halaman</b>
Gambar 1.	Susunan Elektroda Potensial dan Elektroda Arus .....	26
Gambar 2.	Susunan Elektroda Konfigurasi Wenner .....	27
Gambar 3.	Beberapa Variasi Struktur Data Cluster .....	41
Gambar 4.	Kinerja Kriteria Cluster .....	42
Gambar 5.	Kerangka Pikir Penelitian .....	50
Gambar 6.	Peta Geologi Lokasi Penelitian .....	52
Gambar 7.	Lokasi Penelitian .....	53
Gambar 8.	Lokasi Pengambilan Sampel .....	53
Gambar 9.	Flowchart Penelitian .....	54
Gambar 10.	Konfigurasi Susunan Elektroda untuk Sounding 1D ..	56
Gambar 11.	Konfigurasi Susunan Elektroda untuk Pemetaan Vertikal 2D .....	56
Gambar 12.	Resistivity Meter dan Kelengkapan Alat Pendukung ..	59
Gambar 13.	Boring Machine .....	60
Gambar 14.	Lapisan Tanah .....	61
Gambar 15.	Bagan Alir Metode Fuzzy C-Means .....	65
Gambar 16.	Kurva Naik .....	68
Gambar 17.	Kurva Turun .....	68
Gambar 18.	Profil Penampang Lintasan 1 .....	74
Gambar 19.	Profil Penampang Lintasan 2 .....	75



Gambar 20.	Profil Penampang Lintasan 3 .....	75
Gambar 21.	Profil Penampang Lintasan 4 .....	76
Gambar 22.	Foto Hasil Bor Dalam BH-01 .....	84
Gambar 23.	Foto Hasil Bor Dalam BH-02 .....	86
Gambar 24.	Foto Hasil Bor Dalam BH-03 .....	88
Gambar 25.	Foto Hasil Bor Dalam BH-04 .....	90
Gambar 26.	Distribusi Anggota Cluster Georesistivitas dan Geoteknik .....	94



## DAFTAR NOTASI

Simbol	Arti Simbol	Satuan
$v_p$	Kecepatan longitudinal	m/s
$v_s$	Kecepatan transversal	m/s
	Ohm	-
$V$	Beda potensial	Volt
$I$	Arus listrik	Ampere
$B$	Modulus bulk	Pa(Newton/m <sup>2</sup> )
$K$	Modulus kompresi	Pa(Newton/m <sup>2</sup> )
$C_t$	Modulus constrain	Pa(Newton/m <sup>2</sup> )
$J$	Rapat arus	Ampere/m <sup>2</sup>
$\dagger$	Konduktivitas	(Ohm meter) <sup>-1</sup>
$\dagger$	Resistivitas	Ohm meter
$E$	Kuat medan listrik	Volt/m
$\nabla$	Nabla	Partial differential
$A$	Luas	m <sup>2</sup>
$\nabla^2$	Laplacian	-
$r$	Jarak	meter
$\alpha$	Factor geometri	meter
$F$	Factor formasi	-
$\Phi$	Porositas	-
$\sigma_0$	Konduktifitas terukur	(ohm m) <sup>-1</sup>
$\sigma_f$	Konduktivitas fluida pengisi pori batuan	(ohm m) <sup>-1</sup>
	Konduktivitas matrik batuan	(ohm m) <sup>-1</sup>
	Hambatan jenis terukur	ohm m
	Hambatan jenis fluida pengisi pori	Ohm m



$\rho_m$	Resistivitas matrik batuan	Ohm m
$T$	Travel time	Detik
$h$	Ketebalan	m
$d$	Kedalaman (depth)	m
LL	Batas cair	%
IP	Indeks plastis	%
$\xi$	Epsilon	-



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Penelitian permukaan bumi bagian atas lapisan dan bawah lapisan untuk keperluan investigasi sumber daya alam, dapat membantu dalam pengembangan bidang kebumihan seperti bidang geoteknik, geofisika dan ilmu-ilmu yang berhubungan bumi lainnya seperti geodesi, geografi, geomorfologi dan lain-lain. Bidang geoteknik bertujuan untuk mempelajari sifat lapisan bumi bagian atas. Tujuan penting geoteknik untuk perencanaan pemanfaatan lahan di atas permukaan, seperti pada pembangunan prasarana, agraria dan penelitian kelestarian lingkungan. Keistimewaan utama dalam bidang geoteknik ialah untuk perancangan dan desain pondasi bangunan, bangunan besar, jembatan, bendungan, jalan raya, rel kereta api, terowongan dan bidang aplikasi lainnya. Keistimewaan dari desain investigasi geofisika untuk bidang kegeoteknikan adalah bahwa pengukurannya semua dilakukan di lapisan bumi sehingga bersifat non destruktif dan tentu biayanya lebih murah.

Kriteria kelistrikan merupakan kriteria-kriteria yang cukup berguna dalam investigasi, pelestarian dan pemanfaatan sumber daya alam pada dan bawah lapisan bumi serta untuk keperluan tata guna lahan. bumi merupakan sumber dari beberapa potensi sumber daya



alam, baik di bidang sumber daya mineral, migas maupun kebencanaan lapisan bawah permukaan yang mempengaruhi topografi di lapisan bumi.

Peninjauan dengan cara eksplorasi geofisika pada dasarnya adalah mengkaji gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini dapat bersifat statik maupun bersifat dinamik, gangguan tersebut bisa diciptakan (*artificial*) maupun berasal dari bumi itu sendiri (*natural*). Gangguan statik dapat mempengaruhi berat bangunan yang terlalu besar. Perubahan desain pada lapisan tanah karena eksploitasi berlebihan dari sumber daya alam tertentu di bawah lapisan. Misalnya eksploitasi air tanah yang berlebih dapat membentuk rongga di bawah lapisan atau akan menyebabkan perembesan air laut. Hal ini dapat memiliki karakter dan pengaruh yang berbeda dengan material pengisi sebelumnya. Gangguan dinamik disebabkan semakin meningkatnya bobot hidup suatu bangunan, jumlah dan bobot kendaraan yang melintasi jalan raya semakin hari semakin meningkat. Hal ini menyebabkan berat tanah melebihi kekuatan daya topan tanah. Frekuensi jumlah kendaraan yang lewat di jalan raya melebihi dari kemampuan pulih atau *recovery* kesifat elastisnya maka konstruksi akan masuk ke daerah pelastik sehingga jalan akan bergelombang. Hal ini berakibat akan rusak lebih cepat dari rencana semula. Gangguan dinamika lainnya adalah semakin seringnya terjadi gempa bumi, namun ini merupakan suatu gangguan dinamik yang sulit

si kejadiannya, kapan gempa bumi terjadi dan berapa  
nyanya. Namun akibat dari gangguan di atas dapat dikurangi jika



desain tanah dijadikan sebagai salah satu kriteria yang berpengaruh diperhitungkan dalam mendesain bangunan infrastruktur. Hanya bisa diperoleh bila pengamatan dilakukan secara berkelanjutan.

Kekurangan desain eksplorasi geofisika, karena dalam penyelidikannya bukan merupakan pengukuran atau pengamatan langsung dan kriteria yang diukur untuk satu metode terbatas. Hal untuk mendapatkan informasi yang lebih banyak dan cermat dapat digunakan lebih dari satu metode. Ini tentu saja memiliki salah satu kekurangan yang perlu disempurnakan. Kekurangan-kekurangan tersebut antara lain hasil penyelidikan setiap perangkat menghasilkan besaran fisis yang berbeda sehingga untuk mendapatkan parameter atau besaran materil yang diperlukan harus digunakan lebih dari satu metode dengan peralatan yang berbeda. Ini menyebabkan pekerjaan investigasi menjadi tidak efisien dan tidak efektif dari segi biaya, peralatan dan waktu.

Semakin kurangnya lahan pertanian, akibat perubahan pola tanam berubah, misalnya penambahan jumlah panen dalam setahun. Perubahan bentuk tanam ini sangat berpengaruh pada tingkat kesuburan tanah walaupun dilakukan rekayasa tanah dengan metode pemupukan. Untuk mengatasi akibat negatif yang bisa terjadi, maka penyidikan dan pemantauan bawah lapisan bumi secara berkelanjutan dalam waktu panjang perlu dilakukan (Fahad IS, 2012). Untuk mengetahui lebih awal

perubahan penyimpangan sehingga akibat yang lebih besar bisa diantisipasi atau diminimalisasi dan peran geofisika cukup penting.



Semakin banyak kegagalan pondasi sering dikaitkan dengan sejumlah faktor seperti kurang lengkapnya informasi tentang tanah dan batuan geologi di bawah permukaan lokasi pembangunan infrastruktur (Fatoba, and Fakeye, 2010). Dilain pihak semakin sempitnya lahan menyebabkan pembangunan infrastruktur banyak dikembangkan secara vertikal menjulang ke angkasa. Keadaan tersebut di atas bisa menjadi persoalan bagi pengguna bangunan pada masa yang akan datang. Jadi yang menjadi korban akibat terabaikannya struktur tanah pada saat pembangunan infrastruktur adalah generasi-generasi berikutnya.

Pembangunan infrastruktur baik jumlah maupun kualitas mengharuskannya mencari cara-cara yang efektif dan efisien dalam bidang eksplorasi dengan hasil yang tetap optimal. Metode geolistrik dan metode pengeboran merupakan metode eksplorasi yang sering digunakan pada penyelidikan bawah permukaan untuk bidang geoteknik dan eksplorasi sumber daya alam serta pelestarian lingkungan. Hal ini disebabkan karena kedua metode ini termasuk metode yang mudah diaplikasikan dan bersifat tidak merusak terlebih dengan konstruksi teknologi tinggi sensor alat ukurnya lebih peka sehingga tidak memerlukan energi tinggi untuk pengoperasiannya. Metode geolistrik hambatan jenis dan metode pengeboran merupakan metode yang biasa digunakan dalam bidang geoteknik untuk prainvestigasi maupun investigasi desain bawah

an. Metode ini digunakan untuk mendapatkan informasi sifat  
in tanah (resistivitas atau konduktivitas) untuk mengetahui jenis



dan sifat tanah tersebut serta kondisi zatnya. Sedang metode pengeboran digunakan untuk mendapatkan informasi menentukan karakteristik tanah, dalam beberapa hal dipakai tentang kondisi alami dan posisi muka air tanah dan menentukan batas antara tanah dasar (*base metal*) dan tanah di atas yang umumnya sudah mengalami deformasi pelapukan.

Dalam penelitian ini telah dikembangkan suatu model yang dapat menghubungkan antara parameter kelistrikan dan parameter pengeboran lapisan permukaan. Dengan pengembangan Model ini efisiensi dan efektifitas eksplorasi dapat dioptimalkan baik dari segi waktu, biaya maupun penggunaan alat. Saat ini ada banyak metode investigasi yang bisa digunakan untuk menyelidiki keadaan struktur bawah permukaan bumi. Namun demikian dengan syarat instrument tersebut tidak bersifat merusak. Untuk wilayah perkotaan, syarat ini harus dipenuhi karena di perkotaan banyak bangunan. Untuk eksplorasi sumber daya alam, misalnya eksplorasi migas, pertambangan lain dan pertanian prainvestigasi bisa saja dilakukan dengan instrument apa saja, misalnya dengan pengeboran, akan tetapi bila arealnya luas metode ini akan menjadi sangat mahal.

Sifat listrik (resistivitas konduktivitas) dan pengeboran dalam merupakan parameter penting untuk mengetahui kualitas dan kuantitas serta struktur tanah. Para kontraktor harus memiliki sebanyak mungkin

... tentang kondisi tanah/batuan, untuk mempersiapkan penawaran ... yang sehat, peralatan yang diperlukan dan memadai, serta



untuk mengatur rencana yang relevan. Kejadian yang tidak diduga sebelumnya dapat menunda proyek dengan sendirinya akan perlu biaya tambahan. Untuk mengurangi ketidakpastian ini, maka rekayasa geoteknik sangat diperlukan. Metode geoteknik merupakan metode yang dapat berintegrasi dalam eksplorasi geofisika untuk investigasi keadaan dan jenis struktur bawah permukaan. Khususnya eksplorasi pada padat bangunan atau daerah yang luas infrastruktur dan berdinamika tinggi. Selain itu, metode geolistrik dan pengeboran merupakan metode-metode non destruktif yang dapat digunakan untuk memetakan serta menginvestigasi keadaan, jenis dan desain perlapisan tanah bawah permukaan (Carsione, 2007). Sampai saat ini umumnya penggunaan metode tersebut dilakukan dengan menggunakan instrumen masing-masing pada lokasi yang sama. Kemudian hasil interpretasinya di hubungkan untuk menentukan keadaan struktur yang diteliti. Hal ini dilakukan agar tingkat kebenaran hasil survei lebih baik dan parameter fisis yang diperlukan dapat diperoleh. Pada waktu yang lalu, Metode ini mungkin masih bisa dipandang sebagai cara terbaik. Namun untuk saat ini dan yang akan datang dimana aplikasi yang semakin meningkat, penggunaan dua metode yang berbeda sangat layak lagi digunakan. Sebagai contoh dalam mencari jenis material yang diinginkan pada lokasi dan objek yang sama, akan menjadi efektif dan efisien dalam

aan waktu dan biaya.



Beberapa parameter fisis yang berkaitan, selama ini harus diukur dengan metode yang berbeda pada hal objeknya sama. Keterkaitan parameter fisis tersebut memungkinkan untuk mendapatkan suatu model yang dapat menghubungkan antara beberapa metode tersebut. Penemuan model yang dapat menghubungkannya, dapat lebih mengefisienkan waktu, alat dan biaya eksplorasi. Metode geolistrik dan metode pengeboran, dari keduanya dapat diturunkan suatu model yang menghubungkan antara sifat listrik dan sifat parameter tanah permukaan. Hal ini dapat dilakukan karena dari parameter kelistrikan dan parameter tanah dapat diperoleh parameter porositas. Model hubungan yang bersifat korelasi silang tersebut, dapat mengefisiensikan penggunaan alat, waktu pengukuran dan penyederhanaan analisis dan resistivitas data.

Model hubungan antara sifat kelistrikan dan sifat tanah merupakan salah satu alternatif yang dapat mengefisienkan waktu dan biaya eksplorasi. Dengan kata lain dengan hanya menggunakan satu jenis instrumen, sifat-sifat tanah lainnya yang tidak berkaitan langsung dengan alat yang dipakai, bisa juga dianalisis. Cara tersebut dilakukan dengan membuat model fungsi transformasi yang dapat mengkaitkannya. Artinya dengan menggunakan satu instrumen saja, maka parameter lainnya dapat dihitung melalui suatu bentuk model matematik yang menghubungkannya.

Realisasi model hubungan matematik antara sifat resistivitas dan pengeboran akan menjadikan pekerjaan eksplorasi menjadi lebih



efisien dan lebih efektif. Penelusuran hubungan model matematik ini dapat dimulai dari Hukum Archie.

Dari uraian yang dikemukakan di atas, tidak terbantahkan bahwa parameter kelistrikan (resistivitas) dan parameter pengeboran tanah khususnya lapisan atas sangat memegang peranan yang penting. Namun sampai saat ini kedua parameter tersebut sulit untuk diukur secara bersamaan dengan hanya menggunakan satu alat. Keberhasilan mengembangkan suatu model transformasi akan sangat membantu untuk kedua parameter tersebut hanya dengan menggunakan satu jenis instrument (metode).

Dengan dasar pemikiran di atas, peneliti merasa perlu untuk melakukan penelitian dengan pendekatan baru yang diharapkan dapat menunjang keakuratan metode yang umum digunakan saat ini dalam mengetahui karakteristik tanah. Pendekatan yang dimaksud adalah penerapan *fuzzy logic* dengan fungsi *clustering* yang dikombinasikan dengan data pengukuran resistivitas, pengeboran serta uji fisik lapisan tanah di laboratorium untuk mengetahui lapisan tanah secara jelas.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang menjadi dasar pijakan penelitian ini masih bersifat terpisah, baik dalam bidang geolistrik, geoteknik dan fuzzy logic. Hal ini menjadikan penelitian ini menjadi penting karena pendekatan untuk mengetahui struktur tanah dilakukan

pendekatan metode yang mengkonfirmasi sehingga kesimpulan diharapkan dapat saling melengkapi dan menjadi lebih jelas.



Sebagai referensi penelitian ini, penulis telah melakukan studi literatur penelitian-penelitian yang berhubungan dan telah dilakukan sebelumnya, secara lengkap diuraikan dalam Bab II sub bagian E (penelitian terdahulu).

### B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan maka penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana menentukan stratigrafi dan karakteristik lapisan tanah dengan metode georesistivitas secara akurat?
2. Bagaimana menganalisa jenis tanah berdasarkan klasifikasi indeks dan mekanis?
3. Bagaimana perbandingan hasil *clustering* georesistivitas dan geoteknik jenis tanah berdasarkan *Fuzzy C-Means*?

### C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa stratigrafi dan karakteristik lapisan tanah dengan metode georesistivitas.
2. Menganalisa jenis tanah berdasarkan klasifikasi tanah dengan indeks dan mekanis
3. Menemukan perbandingan hasil *clustering* georesistivitas dan geoteknik jenis tanah berdasarkan algoritma *Fuzzy C-Means*



#### D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian (clustering fuzzy logic) ini dapat dijadikan sebagai pelengkap informasi data lapisan tanah yang diperoleh dari proses georesistivitas dan geoteknik yang umum digunakan saat ini. Informasi lapisan tanah yang dilengkapi dengan proses clustering fuzzy logic memberikan distribusi dan pengelompokan jenis tanah secara lebih jelas sehingga pertimbangan atas aktifitas yang akan dilakukan di atas permukaan tanah dapat lebih akurat.

#### E. Kebaruan Penelitian

Kebaruan dalam penelitian ini adalah *Fuzzy C-Means* dapat mengelompokkan hasil georesistivitas dan geoteknik

#### F. Batasan Masalah

Untuk kemudahan dan lebih terperinci pembahasan penulisan, permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi pada :

Batasan masalah pada penelitian ini difokuskan di daerah km. 6 poros Jl. Malino, Desa Borongloe, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Cakupan area penelitian (150m x 75m). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Resistivitas dengan alat geolistrik multi channel dengan metode *Wenner* serta validasi data dengan menggunakan metode pengeboran dan di *cluster*

gunakan *Fuzzy C-Means*



## G. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini melingkupi pengukuran pada area Kampus Fakultas Teknik Gowa dan kondisi yang sama dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas dan metode pengeboran. Dari hasil analisis dan interpretasi kedua metode tersebut, selanjutnya dikembangkan hubungan antara parameter listrik pada pengukuran geolistrik dan parameter pengeboran dengan mengasumsikan bahwa nilai tanah berdasar sifat kelistrikan dan pengeboran pada kondisi penelitian adalah sama. Dari hubungan kedua parameter tersebut dikembangkan perumusan model matematikanya. Model hubungan antara kedua parameter tersebut dikembangkan secara numerik menggunakan metode permodelan *Fuzzy Logic*.

## H. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan proposal Disertasi ini terbagi dalam 5 bab dan daftar pustaka dengan harapan maksud dan tujuan dari penulisan ini dapat terangkum secara keseluruhan. Pembagian bab tersebut adalah sebagai berikut :

**Bab pertama** adalah pendahuluan merupakan bab yang membahas tentang latar belakang dan urgensi dasar penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, kebaruan penelitian, batasan masalah, lingkup penelitian serta sistematika penulisan.



**Bab kedua** adalah tinjauan pustaka merupakan bab yang membahas tentang teori dasar yang relevan dengan konsep terkait, yaitu menguraikan tentang konsep terkait yang dapat menunjang kegiatan penelitian, maupun materi penelitian terdahulu yang terkait dengan tujuan penelitian ini, serta menjelaskan kerangka pikir konsep penelitian.

**Bab ketiga** adalah metode penelitian merupakan bab yang menguraikan tentang jenis penelitian, lokasi penelitian, pengambilan data sampel, rancangan penelitian, analisis data dengan menggunakan algoritma *fuzzy logic* dan defenisi operasional variabel penelitian.

**Bab empat** adalah hasil dan pembahasan yang menganalisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengukuran dan laboratorium yang didapatkan, serta temuan empiriknya.

**Bab lima** adalah kesimpulan dan saran dari pencapaian yang dihasilkan sebagai suatu rujukan dalam bidang rekayasa teknik yang bersifat berkelanjutan.

**Daftar pustaka** adalah digunakan sebagai sumber atau rujukan seorang mahasiswa dalam pembuatan disertasi ini.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Permasalahan Strategis Profil Tanah Permukaan

Dalam dunia teknik sipil, tanah merupakan hal yang sangat penting dalam sebuah pembangunan infrastruktur. Hal ini disebabkan karena tanah merupakan tumpuan dari bangunan tersebut, sehingga semakin kuat tanah sebagai tumpuan, maka umur bangunan tersebut akan lebih lama. Dalam dunia teknik sipil sendiri, ilmu mekanika tanah digunakan pada berbagai pekerjaan penting seperti pekerjaan perkerasan jalan raya, pekerjaan galian dan timbunan tanah, perencanaan pondasi gedung, perencanaan bangunan di bawah tanah misalnya terowongan, perencanaan galian tanah, perencanaan bendungan, perencanaan bangunan penahan tanah longsor dan pekerjaan pondasi bangunan seperti gedung bertingkat tinggi dan sebagainya.

Penyelidikan tanah bertujuan untuk memperoleh data-data tanah yang diperlukan untuk perencanaan pondasi. Pondasi merupakan bangunan yang berada di dalam tanah sering disebut *sub structure*, sehingga penyelidikan tanah sangat penting dilakukan. Tujuan lain dari penyelidikan tanah adalah untuk menentukan kapasitas daya dukung

menentukan tipe dan ke dalaman pondasi, mengetahui ke dalaman  
r tanah, memprediksi besarnya penurunan yang terjadi dan lain



sebagainya. Tergantung pada konstruksi yang akan dibangun pada tanah tersebut.

Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara misalnya dengan menggali lubang uji, pengeboran dan lain-lain. Biasanya tanah yang akan diuji akan dibawa ke laboratorium, namun ada juga yang melakukan pengujian langsung di lapangan.

Penyelidikan tanah biasanya terbagi atas tiga tahap, antara lain pengeboran atau penggalian lubang uji, pengambilan contoh tanah dan pengujian contoh tanah. Pengujian pun dilakukan pada tanah terganggu (*disturbed sample*) dan tanah tidak terganggu (*undisturbed sample*). Tanah yang diambil untuk sampel pengujian merupakan tanah asli, yaitu bebas dari humus dan akar tumbuh-tumbuhan.

Ketelitian dalam pengujian tanah sangat diperlukan. Terutama dalam menentukan muka air tanah, karena data yang diperoleh untuk merencanakan pondasi sangatlah mempengaruhi perencanaan pondasi, dan dapat menyebabkan kesalahan dalam menganalisa stabilitas tanah.

Beberapa metode baru telah dikembangkan dalam mengatasi kekurangan-kekurangan pada pelaksanaan identifikasi tanah yang cenderung dilakukan secara manual. Kekurangan tersebut diantaranya waktu yang lama, proses yang panjang, tenaga yang besar dan mengarah kepada biaya yang mahal. Salah satu metode yang telah dikembangkan

yang diterapkan adalah dengan metode Geolistrik. Keuntungan dari ini diantaranya adalah pelaksanaan yang lebih mudah, lebih



cepat, ketelitian lebih tinggi karena dilakukan secara langsung (aktual) dengan tanah program kecerdasan buatan, sehingga membuat biaya pelaksanaan menjadi relatif lebih murah.

Beberapa dekade terakhir ini metode geolistrik sangat baik dilakukan untuk mendapatkan informasi pada struktur tanah di bawah lapisan tanah permukaan. Selama ini metode geolistrik digunakan untuk mengidentifikasi sifat listrik lapisan tanah dengan cara mencari nilai tahanan jenis (resistivitas) tanah terhadap arus listrik.

Untuk mengetahui kondisi tanah permukaan berdasarkan sifat kelistrikan dapat dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis. Tujuan survei geolistrik tahanan jenis adalah untuk memperoleh distribusi tahanan jenis pada lapisan bumi dengan melakukan pengukuran resistivitas semu di permukaan bumi. Arus listrik disuntikan di permukaan bumi melalui beberapa elektroda arus dan beda-potensial yang dihasilkan setelah melewati lapisan-lapisan yang dibaca melalui elektroda potensial. Berdasar nilai resistivitas semu tersebut kemudian di buat model perlapisan untuk menghitung resistivitas sebenarnya (*true resistivity*) setiap lapisan. Survei geolistrik tahanan jenis merupakan kunci penting dalam bidang geoteknik, eksplorasi sumber daya alam dan lingkungan.



## B. Klasifikasi Tanah Permukaan

Tanah merupakan elemen struktural dan fungsional dari ekosistem terestrial (berbasis darat). Tanah terbentuk oleh berbagai proses geologi melalui interaksi faktor geologi dan iklim. Proses pembentukan tanah sangat lambat. Biasanya dibutuhkan ribuan tahun untuk membentuk tanah dengan lapisan tipis. Tanah adalah sumber kehidupan yang fundamental bagi semua makhluk hidup. Tanah memiliki banyak sifat fisik dan kimia yang memberikan pengaruh besar pada distribusi dan pengembangan vegetasi dan kehidupan (Balasubramanian, 2017).

Sifat fisik berperan penting dalam menentukan kesesuaian tanah untuk penggunaan pertanian, lingkungan dan keteknikan. Kemampuan pendukung gerakan, retensi dan ketersediaan air dan nutrisi untuk tanaman kemudahan dalam penetrasi akar dan aliran panas dan udara secara langsung terkait dengan sifat fisik tanah. Sifat fisik juga mempengaruhi sifat kimia dan biologis.

Secara kualitatif, ini mengacu pada nuansa tanah apakah kasar dan berpasir atau halus dan halus saat digosok antara ibu jari dan telunjuk. Secara kuantitatif, tekstur tanah adalah proporsi relatif dari kandungan pasir, lumpur dan liat pada basis berat. Istilah tekstur tanah sering digunakan secara bergantian dengan komposisi mekanis tanah. Ini lebih atau kurang properti statis yang mempengaruhi hampir semua sifat

lainnya. Kemampuan penggunaan lahan dan praktik-praktik lahan tanah sangat bergantung pada teksturnya.



Partikel tanah berdiameter kurang dari 2 mm termasuk dalam klasifikasi dan dianggap sebagai material tanah yang biasanya digunakan dalam analisis tanah. Beberapa tanah mengandung partikel berukuran besar yang tidak dapat dikurangi secara signifikan. Partikel yang lebih besar dari 2 mm dikenal sebagai batu kerikil (2-4 mm), kerikil (4-76 mm), batu bulat (76-250 mm), batu (250-600 mm), dan yang lebih besar (> 600 mm) sebagai batu besar (Phogat V.K, et al, 2016).

Tabel. 1. Sifat sifat partikel.

Partikel	Sifat – Sifat
Pasir	Dapat terlihat menggunakan mata telanjang, umumnya berbentuk bulat atau kubus, terasa berpasir, rendah air dan kapasitas menahan nutrisi, longgar saat kering, plastisitas sangat rendah dan lengket saat basah.
Lanau	Tidak kasat mata, dapat dilihat melalui mikroskop biasa, umumnya berbentuk bulat atau kubik, berkapasitas rendah hingga sedang untuk menampung air dan nutrisi, terasa halus, berplastisitas dan lengket saat basah.
Lempung	Hanya terlihat melalui mikroskop elektron, platy bentuk, tinggi air dan nutrisi memegang kapasitas, keras ketika kering, plastisitas tingkat tinggi dan lengket ketika basah, menunjukkan pembengkakan dan perilaku penyusutan.

### 1. Lempung

Butiran tanah yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) yang dalam satu rentang kadar air tertentu bersifat plastis dan mempunyai

atan yang cukup besar pada saat kering udara. Untuk klasifikasi, lempung termasuk tanah yang berbutir halus, atau bagian tanah yang



berbutir halus, dengan indeks plastisitas sama atau lebih besar dari 4, bila digambarkan dalam grafik plastisitas akan terletak pada atau di atas garis "A".

## 2. Lanau

Butiran tanah lolos saringan No. 200 (0,075 mm), yang non plastis atau sangat sedikit plastis dan dapat memberikan sedikit atau tidak ada kekuatan pada saat kering udara. Untuk klasifikasi, lanau termasuk tanah yang berbutir halus atau bagian tanah berbutir halus dengan indeks plastisitas lebih kecil dari 4% dan bila digambarkan dalam grafik plastisitas akan terletak di bawah garis "A".

## 3. Pasir

Pasir adalah butiran batuan yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) serta tertahan saringan No. 200 (0,075 mm).

### ) Pasir kasar

Pasir kasar adalah butiran batuan yang lolos saringan ukuran No. 4 (4,75 mm) serta tertahan saringan No. 10 (2 mm).

### ) Pasir sedang

Pasir sedang adalah butiran batuan yang lolos saringan No. 10 (2 mm) serta tertahan pada saringan No. 40 (0,425 mm)

### ) Pasir halus

Pasir halus adalah butiran batuan yang lolos saringan No. 40 (0,425 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm) tanah yang berbutir halus atau bagian tanah yang berbutir halus dengan



indeks plastisitas sama atau lebih besar dari 4, bila digambarkan dalam grafik plastisitas akan terletak pada atau di atas garis "A".

#### 4. Kerikil

Kerikil adalah pertikel batuan yang lolos saringan ukuran 75 mm dan tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm)

##### ) Krikil Kasar

Kerikil kasar adalah butiran batuan yang lolos saringan ukuran 75 mm serta tertahan pada saringan ukuran 19 mm

##### ) Kerikil Halus

Kerikil halus adalah butiran batuan yang lolos saringan ukuran 19

#### 5. Kerakal

Berangkal adalah butiran batuan yang lolos saringan ukuran 300 mm dan tertahan pada saringan 75 mm.

#### 6. Bongkah

Bongkahan batuan adalah ukuran butir yang tertahan saringan ukuran 300 mm (SNI-03-6371-2000).

### C. Teori Dasar Tanah Dengan Uji Geofisis

#### 1. Hubungan Antara Resistivitas dan Jenis Tanah

##### ) Resistivitas

Ada hubungan antara muatan listrik dan materi, terutama

dalam hubungan sifat fisis suatu materi dengan muatan listriknya.

Tanah yang dijumpai sehari-hari merupakan kumpulan dari



sejumlah besar atom atau molekul. Dalam suatu materi baik itu berupa padatan, cairan, maupun gas terjadi interaksi antara satu atom dengan atom lain. Interaksi tersebut menyebabkan beberapa elektron dapat lepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Tanah merupakan suatu jenis materi sehingga tanah pun mempunyai sifat kelistrikan. Sifat listrik tanah adalah karakteristik dari tanah bila dialirkan arus listrik ke dalamnya. Dalam hal ini akibat adanya arus listrik maka akan timbul medan potensial listrik disekitar sumber arus tersebut. Potensial listrik alam atau potensial diri disebabkan karena terjadinya kegiatan elektrokimia atau kegiatan mekanik. Faktor pengontrol dari kejadian ini adalah fluida khususnya air tanah. Potensial ini juga berassosiasi dengan pelapukan mineral pada lapisan tanah, perbedaan sifat/kandungan mineral pada kontak geologi, kegiatan bioelektrik dari materi organik korosi, gradient termal, gradient tekanan.

Metode geolistrik tahanan jenis adalah salah satu metode yang digunakan untuk investigasi tanah permukaan berdasar sifat kelistrikan tanah. Metode ini juga termasuk metode aktif. Prinsip dasar metode geolistrik hambatan jenis adalah menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi kemudian membaca beda potensial antara sumber arus dengan titik dimana potensial tersebut diukur.

Prinsip dasar dari metode geolistrik adalah Hukum Ohm. dalam hal ini bila suatu sumber arus mengalirkan arus listrik ke



dalam tanah berlapis, dimana setiap lapisan dianggap bersifat homogen isotropik, maka pada setiap lapisan akan terbentuk medan-medan ekipotensial yang berbentuk setengah bola dan bidang ekipotensial yang mencapai batas lapisan akan menjadi sumber arus baru untuk lapisan selanjutnya dan akan membentuk medan ekipotensial baru pula.

Besaran resistivitas tanah secara teoritis dapat diperoleh dengan menerapkan pendekatan homogen isotropik dan teori medan ekipotensial. Penerapan Hukum Ohm pada medium yang bersifat homogen isotropik, akan menghasilkan medan ekipotensial yang berbentuk bola. Pada metode geolistrik rotasi dan revolusi bumi diabaikan, maka persamaan Laplace akan berbentuk simetri bola, sehingga potensial yang dihasilkan hanya bergantung pada jarak (jarak sumber arus ke titik pengamatan). Pada metode geolistrik, pengukuran dilakukan dipermukaan bumi, maka medium ekipotensial yang dihasilkan berbentuk setengah bola. Penyelesaian persamaan Laplace dan menerapkannya pada Hukum Ohm akan diperoleh solusi sebagai berikut (Telford, et al,1991).

$$V(r) = \frac{\rho}{2\pi} \quad 1$$

Dimana :  $V(r)$  = potensial (volt),  $\rho$  = resistivitas (  $\Omega$  m),  $I$  = arus listrik (ampere) dan  $r$  = jarak (m). Pada pengukuran listrik yang diukur adalah beda potensial, dengan demikian untuk dua titik yang



berjarak  $r$  beda potensialnya diperoleh sebagai berikut (Telford, et al, 1991).

$$\Delta V = \frac{\rho}{2\pi} \quad 2$$

### J) Tahanan Jenis Pada Tanah

Tahanan Jenis suatu tanah ditentukan oleh sifat listrik bahan-bahan pembentuknya. Sesuatu terbentuk dari gabungan berbagai mineral dan rongga-rongga yang biasanya terisi oleh fluida. Jenis mineral, fluida dan rongga merupakan parameter-parameter yang mempengaruhi nilai Tahanan Jenis suatu tanah. Resistivitas suatu bahan material merupakan kemampuan untuk menahan laju aliran listrik yang melalui bahan tersebut. Arus listrik dapat mengalir ke dalam formasi batuan dikarenakan konduktivitas dari fluida yang dikandungnya. Satuan resistivitas adalah Ohm meter (  $\Omega \cdot m$ ). Secara sistematis, resistivitas didefinisikan sebagai  $\rho = \frac{A}{l} \cdot R$  dengan  $A$  merupakan unit luas. Perbandingan antara  $A$  dengan  $l$  biasa disebut faktor geometri dari bahan material. Sedang  $R$  menyatakan resistansi listrik dari suatu bahan material. Dalam penelitian ini resistivitas diukur dengan menggunakan metode geolistrik sounding dengan konfigurasi wenner berdasar situasi medan yang dieksplorasi. Tahanan jenis dihitung mulai dengan

menghitung tahanan jenis semu disetiap titik pengukuran. Hal ini dilakukan dengan menginjeksikan arus ke dalam lapisan tanah untuk kemudian menghitung beda potensial antara elektroda arus



dan elektroda potensial. Dari distribusi resistivitas semu yang terukur kemudian dihitung resistivitas lapisan dengan pemodelan korelasi antara kurva resistivitas semu dan resistivitas lapisan dalam satu dan dua dimensi.

Porositas adalah salah satu parameter penting untuk menilai potensi suatu tanah. Parameter ini digunakan untuk menilai sifat konduktivitas tanah, untuk material apa saja yang terkandung dalam pori-porinya. Interpretasi data resistivitas dalam suatu material berpori dapat diterapkan untuk membedakan suatu jenis tanah. Hubungan dasar untuk interpretasi data resistivitas pertama kali dirumuskan oleh Archie (1942) menyatakan bahwa data resistivitas yang terukur ( $\rho_o$ ) merupakan fungsi resistivitas fluida pengisi pori batuan ( $\rho_f$ ) dan suatu faktor formasi tanah.

Dalam perkembangannya, parameter faktor resistivitas formasi ditentukan oleh faktor sementasi formasi tanah. Faktor ini merupakan suatu konstanta yang bergantung pada jenis tanah, bentuk pori, macam sambungan pori, jenis porositas dan distribusinya serta kemamfaatannya. Sehingga faktor resistivitas formasi dapat ditulis sebagai :

$$F = a_f \phi^{-m} \quad 3$$

Dengan  $a_f$  menyatakan faktor elastisitas pada pori formasi,  $\phi$  adalah porositas dan  $m$  adalah faktor sementasi (Zakir Hossain and An J.C, 2012).



Pada umumnya suatu formasi tanah memiliki mineral lempung yang dapat menyebabkan sifat konduktivitas sangat baik. Pada tahun 1957, De Witte menuliskan suatu model teori untuk batu pasir yang memiliki mineral lempung dengan berisikan air dan menyatakan bahwa:

$$\sigma_v = F_1 + \sigma_f F_2 \quad 4$$

Dengan  $\sigma_v$  adalah konduktivitas listrik yang terukur  $\sigma_f$  menyatakan konduktivitas fluida pengisi pori tanah. Sedangkan  $F_1 = n \sigma_n (1 - \phi)^n$  dan  $F_2 = \phi^n$ , dengan  $F_1$  dan  $F_2$  adalah parameter formasi yang tidak bergantung pada  $\sigma_f$ . Perbandingan antara  $F_1$  dan  $F_2$  menyatakan jumlah mineral lempung dalam formasi.

Bussian mengajukan suatu model lain yang menyatakan bahwa resistivitas tanah terukur dipengaruhi oleh sifat listrik yang mengalir pada matriks tanah yang berbeda ukurannya. Sehingga untuk butiran yang heterogen yang umum terdapat pada tanah, Bussian merumuskan sebagai :

$$\frac{1}{\rho_v} = \phi^n \left( \frac{1 - \frac{\rho_f}{\rho_m}}{1 - \frac{\rho_v}{\rho_m}} \right)^{1/n} \frac{1}{\rho_f} \quad 5$$

Dengan  $\rho_m$  menyatakan resistivitas struktur tanah. Bussian melukiskan model struktur tanah dengan merumuskan perbandingan antara  $\sigma_v$  dan  $\sigma_f$ . Dari beberapa uraian di atas, maka

dapat disimpulkan bahwa persamaan yang diajukan oleh Bussian merupakan persamaan umum yang dapat digunakan untuk



menentukan porositas tanah sebagai fungsi resistivitas. Pada umumnya suatu formasi tanah khususnya tanah pasir yang memiliki nilai konduktivitas fluida lebih besar dibandingkan dengan nilai konduktivitas tanah struktur. Sehingga dapat dituliskan bahwa  $\rho_f < \rho_v < \rho_m$  selanjutnya dengan menggunakan ekspansi binomial rumusan Bussian dapat ditulis sebagai :

$$\frac{1}{\rho_v} \approx \frac{m}{\rho_m} (1 - \phi^m) + \frac{\phi^m}{\rho_f} \quad 6$$

Hal ini sesuai dengan Rumusan De Witte, sehingga dapat dikatakan bahwa rumusan Bussian identik dengan Rumusan De Witte.

Pada umumnya suatu struktur tanah memiliki mineral lempung yang dapat menyebabkan sifat konduktivitasnya sangat baik. Pada tahun 1983 Bussian mengajukan suatu model lain yang menyatakan bahwa resistivitas tanah yang terukur dipengaruhi oleh sifat listrik yang mengalir pada perbedaan ukuran struktur tanah.

Hal ini sesuai dengan persamaan Archie yang untuk pasir bersih. Sedang untuk  $\rho_m \rightarrow 0$  atau material yang sangat konduktif khususnya pada lempung diperoleh sebagai berikut :

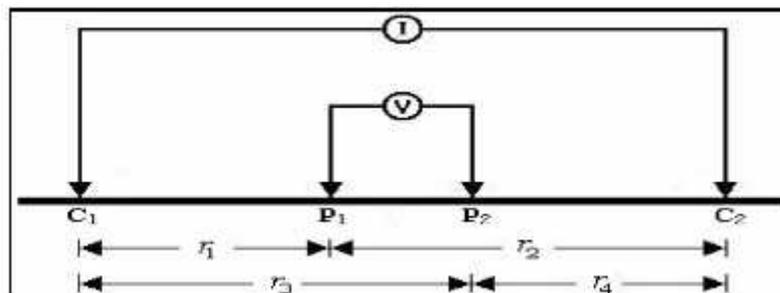
$$\phi^m \approx \left( \frac{\rho_f}{\rho_v} \right)^{1-m} \quad 7$$

1. konfigurasi elektroda pada pengukuran geolistrik

Secara umum konfigurasi elektroda pada metode geolistrik ambatan jenis tersusun atas dua pasang elektroda yakni



pasangan elektroda arus dan pasangan elektroda potensial seperti pada Gambar 1. berikut :



Gambar 1. Susunan elektroda potensial dan elektroda arus (sumber Telford, et al., 1991)

Beda potensial antara P1 dan P2 menurut Hukum Ohm diberikan Oleh

$$\Delta V = \frac{I_1}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad 8$$

Resistivitas  $\rho$  yang terukur pada setiap posisi elektroda disebut resistivitas semu (*apparent resistivity*) diberikan oleh :

$$\rho_a = K \frac{V}{I} \quad 9.a$$

dimana 
$$K = \frac{2\pi}{\left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}} \quad 9.b$$

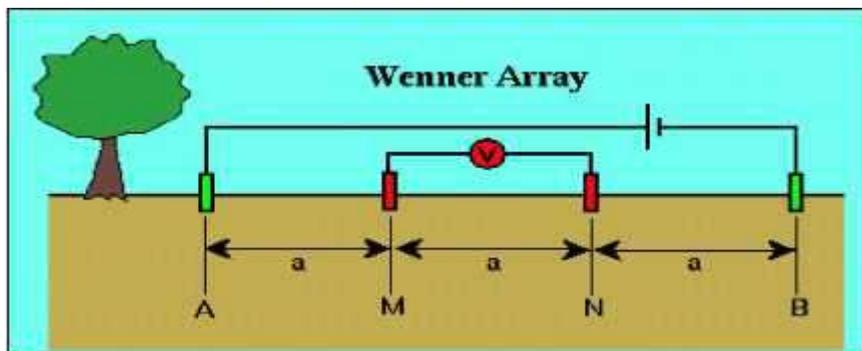
K = disebut faktor geometri

## 2. Konfigurasi Wenner.

Meskipun letak kedua elektroda potensial dapat diletakkan di  
 yang tempat dipermukaan bumi, tetapi untuk mempermudah



pekerjaan dan pelaksanaan analisis data serta interpretasinya, elektroda-elektroda tersebut diletakkan menurut aturan tertentu.



Gambar 2. Susunan Elektroda Konfigurasi Wenner (www.Mines.Edu, 1999).

Aturan elektroda Wenner banyak berkembang di Amerika. Konfigurasi ini dapat dipakai baik pada metode resistivitas mapping maupun metode resistivitas sounding. Pada konfigurasi Wenner, elektroda arus dan elektroda potensial diletakkan pada jarak yang sama yakni  $r_1=r_4 = a$  dan  $r_3=r_2 = 2a$ . Dengan menggunakan persamaan (9.a) dan (9.b), resistivitas semu untuk setiap posisi elektroda masing-masing diberikan diperoleh :

$$\rho_a = 2\pi \frac{V}{I} \quad 10$$

Metode hambatan jenis menghasilkan model resistivitas pelapisan tanah yang berkaitan dengan sifat konduktivitasnya secara vertikal. Metode ini akan memberikan informasi maksimal yang diperlukan pada daerah yang diteliti (Abdulrahman, 2008).

batasnya parameter yang dapat diukur oleh suatu instrumentaran, sehingga sering kali ada parameter penting yang diperlukan



tidak terpantau oleh alat ukur yang digunakan. Hal lain yang biasa terjadi bila dua peralatan yang akan digunakan salah satunya tidak dalam kondisi baik lalu pekerjaan eksplorasi harus tetap jalan. Untuk mengatasi persoalan seperti ini maka ketersediaan peralatan cadangan pada setiap metode sangat diperlukan. Alternatif lain yang dapat menyelesaikan masalah ini adalah mencari hubungan atau korelasi antara hasil pengukuran dari dua atau lebih metode yang saling berkaitan. Dengan cara seperti ini maka efisiensi penggunaan alat dapat dioptimalkan (Abdulrahman, 2008).

Prainvestigasi merupakan salah satu komponen penting dalam rancang bangun infrastruktur bawah permukaan. Pembangunan infrastruktur permukaan berasosiasi dengan resiko, karena pengetahuan secara visual kondisi tanah terbatas. Metode geolistrik menjadi salah satu alat atau sarana untuk memprediksi kondisi tanah permukaan (Berit.E. Danielson, 2011).

Metode geolistrik digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai ke dalaman tanah dasar, komposisi lapisan geologi, kondisi zat dalam pori tanah dan kecenderungan yang dapat membahayakan atau mengancam ketahanan dan kestabilan struktur tanah. Dalam bidang geoteknik, survei geolistrik tahanan jenis dapat digunakan untuk menyelidiki tanah tempat pondasi dan untuk mengetahui adanya kegagalan pondasi yang terwujud

untuk retak, miring atau amblas (Fatoba, et al, 2010).



Adapun keperluan untuk mempelajari material dekat permukaan yang bersifat beraneka ragam adalah karena memiliki implikasi pada eksplorasi sumber daya alam yang letaknya tidak jauh dari permukaan, peningkatan kualitas kontrol bangunan infrastruktur dan lingkungan (Lateef and Adegoke, 2011).

Dengan demikian kuantitas maupun kualitas pengukuran dalam domain ruang dan waktu akan optimal. Sangat penting untuk memahami proses yang terjadi pada lingkungan perlapisan dangkal secara mendalam untuk peningkatan kualitas eksplorasi dan bangunan infrastruktur yang ada di atasnya. Posisi ke dalaman dan ketebalan tanah dasar akan memberi informasi-informasi penting untuk banyak aplikasi lainnya seperti nikel, batubara, eksplorasi laterit, pertanian dan lingkungan, penentuan ketersediaan air tanah, penentuan posisi air tanah dangkal dan perkiraan potensi produksi pertanian (Coulouma, 2011). Pengukuran langsung ke dalaman tanah atau lapisan tanah dengan pengamatan langsung dengan cara *logging* masih terlalu mahal terutama bila digunakan untuk daerah yang luas dan cukup beresiko bila diaplikasikan di wilayah yang padat bangunan atau padat penduduk. Berbeda dengan model yang telah dikembangkan oleh Max. A. Meju, et al, (2003), yang menggunakan data log sebagai data referensi. Model yang diperoleh pada penelitian tersebut umumnya diperuntukan untuk eksplorasi gas dan minyak sehingga data

ran berassosiasi dengan data tanah yang cenderung bersifat isotropik. Untuk kasus tanah dekat permukaan kondisinya lain,



karena tanah dekat permukaan sangat beragam sehingga model matematik yang diperoleh bisa bersifat kompleks (*non linier*).

Metode geolistrik yang sering disebut sebagai metode alternatif untuk investigasi bawah permukaan memiliki kemampuan untuk memberikan estimasi yang dapat diandalkan untuk mengetahui keadaan struktur tanah permukaan. Sangat baik untuk lokasi-lokasi tertentu karena metode investigasinya bersifat tidak merusak. Metode ini telah umum digunakan untuk prainvestigasi struktur bawah permukaan dan untuk pemantauan stabilitas lapisan tanah yang mungkin menjadi penyebab kegagalan bawah bangunan. Menggabungkan atau mengembangkan model hubungan berdasar sifat fisis yang berbeda ini dapat membantu untuk memberikan prediksi yang lebih baik.

Penggunaan metode yang memberikan hasil pengukuran yang optimal tentu saja akan lebih mengefisienkan proyek-proyek eksplorasi maupun investigasi struktur bawah permukaan. tanah permukaan umumnya merupakan tanah jenuh air. Untuk bidang pertanian, tanah dasar sering menunjukkan batas struktur bawah permukaan sangat penting untuk menentukan ketersediaan sumber air tanah dan potensi produksi tanaman (Couluma and Ursin, 2011).

Metode geolistrik dapat digunakan untuk penentuan sifat mekanik tanah bawah permukaan secara non-invasive. Data geolistrik akan

memberikan informasi resistivitas, karena sebagian besar sifat-sifat tanah relevan untuk masalah eksplorasi dapat diwakili parameter



konduktivitas atau resistivitas listrik dan sangat membantu pekerjaan eksplorasi (Carsione and Ursin, 2007).

Semakin meningkatnya jumlah penduduk diperkotaan menyebabkan semakin meningkatnya pula kebutuhan sarana dan prasarana untuk mendapatkan tingkat kehidupan yang layak bagi masyarakat yang bersangkutan. Ini menyebabkan beban tanah akan menjadi semakin besar, ditambah lagi bila aktivitas dinamika misalnya transportasi darat semakin padat dan kontinyu, eksplorasi air tanah secara tak terkendali meningkat. Perubahan-perubahan tersebut di atas akan mempengaruhi lingkungan dan struktur lapisan tanah. Pemantauan yang tidak dilakukan secara kontinyu memungkinkan terjadi kerusakan bangunan yang lebih cepat. Seperti terjadinya amblasan, kemiringan dan runtuhnya bangunan yang akan menimbulkan korban jiwa maupun harta yang tidak sedikit (Egwuonwu and Sule, 2012). Selain itu dewasa ini gempa bumi juga semakin sering terjadi sehingga pergerakan mikro bawah permukaan dan munculnya rekahan baru yang tidak nampak dipermukaan bisa terjadi dan mempengaruhi stabilitas bangunan di atasnya. Dengan kemungkinan kemungkinan seperti di atas maka peran rekayasa geoteknik serta analisis kondisi fisis per lapisan tanah sebelum dan setelah pembangunan menjadi semakin diperlukan. Pada saat rancang bangun suatu sarana infrastruktur, informasi lengkap mengenai sifat elastis dan kondisi fluida

permukaan sangat diperlukan, misalnya struktur tanah dasar, lingkungan tanah harus diketahui dengan jelas sehingga pada saat



pembangunan infrastruktur, parameter tersebut di atas menjadi salah satu referensi penting.

Pada bagian lain dengan semakin meningkatnya jumlah kendaraan di jalan raya, akan terjadi kelebihan bobot jalan sebagai akibat kendaraan yang lewat melebihi daya dukung jalan. Lalu lintas yang terus berlangsung selama 24 jam akan menyebabkan ruas jalan tidak pernah memiliki waktu *recovery* untuk kembali keadaan semula. Dalam arti hilangnya elastisitas jalan bukan hanya karena dilewati oleh kendaraan berbobot besar yang melebihi daya dukung atau elastisitas jalan, akan tetapi waktu *recovery* yang tidak ada sehingga jalan raya secara perlahan memasuki daerah pelastik, akibatnya jalan menjadi cepat rusak. Yang menjadi pertanyaan adalah bagaimana investigasi dan kontrol itu dilakukan tanpa menambah kerusakan atau membuat kerusakan terhadap kondisi dan struktur tanah permukaan tersebut. Sehingga pemantauan dan investigasi tidak menyebabkan kerusakan baru yang tidak diinginkan. Hal terpenting dalam investigasi lapisan permukaan adalah bahwa investigasi atau eksplorasi tersebut tidak bersifat destruktif terhadap lingkungan. Metode eksplorasi geolistrik merupakan metode eksplorasi bawah permukaan yang non destruktif karena semua dilakukan di atas permukaan bumi. Dengan cara mengirimkan sinyal berupa arus listrik (geolistrik tahanan jenis). Dengan demikian dalam interpretasi hasil pengukurannya perlu data-data

ing, selain itu metode analisisnya merupakan metode inversi.  
untuk meneliti satu objek biasanya digunakan lebih dari satu



metode, hasil pengukurannya kemudian dikorelasikan untuk mengetahui bagian-bagian yang berkaitan untuk memvalidasi hasil pengukuran tersebut (Egbai, 2011).

#### D. Sistem Pakar untuk Klasifikasi Sifat Tanah

1. Loke (*Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*, 2000)

Kami akan meninjau secara singkat nilai resistivitas beberapa batuan, tanah dan bahan umum lainnya. Survei resistivitas memberikan gambaran distribusi resistivitas bawah tanah. Untuk mengubah gambaran resistivitas menjadi gambaran geologis, penting untuk mengetahui nilai resistivitas khas untuk berbagai jenis material bawah permukaan dan geologi daerah penelitian.

Tabel 2. memberikan nilai resistivitas batuan umum, bahan tanah dan bahan kimia. Batuan beku dan metamorf umumnya memiliki nilai resistivitas tinggi. Resistivitas batu-batu ini sangat tergantung pada tingkat rekah dan persentase fraktur yang diisi dengan air tanah. Batuan sedimen, yang umumnya lebih berpori dan memiliki kandungan air yang lebih tinggi, biasanya memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah. Tanah basah dan air bawah tanah yang dingin memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah. Tanah lempung biasanya memiliki nilai resistivitas yang lebih

dari pada tanah berpasir. Namun, perhatikan tumpang tindih dari resistivitas dari berbagai kelas batuan dan tanah. Ini dikarenakan



resistivitas batuan tertentu atau sampel tanah tergantung pada sejumlah faktor seperti porositas, tingkat kejenuhan air dan konsentrasi garam terlarut.

Nilai resistivitas beberapa kontaminan industri juga ditunjukkan pada Tabel 2. Logam, seperti besi, memiliki nilai resistivitas yang sangat rendah. Bahan kimia yang merupakan elektrolit kuat, seperti potasium klorida dan natrium klorida, dapat secara signifikan mengurangi resistivitas air tanah menjadi kurang dari 1 ohm.m bahkan pada konsentrasi yang relatif rendah. Efek elektrolit lemah, seperti asam asetat, relatif lebih rendah. Hidrokarbon, seperti xilena, umumnya memiliki nilai resistivitas yang sangat tinggi.

Tabel 2. Resistivitas dari beberapa macam batuan, mineral dan bahan kimia (Loke, 2000)

Material	Resistivity ( $\Omega \cdot m$ )	Conductivity (Siemen/m)
<b>Igneous and Metamorphic Rocks</b>		
Granite	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^7$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^8$	$4 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^2 - 2 \times 10^8$	$5 \times 10^{-9} - 10^{-2}$
<b>Sedimentary Rocks</b>		
Sandstone	$8 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-4} - 0.125$
Shale	$20 - 2 \times 10^3$	$5 \times 10^{-4} - 0.05$
Limestone	$50 - 4 \times 10^2$	$2.5 \times 10^{-3} - 0.02$
<b>Soils and waters</b>		
Clay	1 - 100	0.01 - 1
Alluvium	10 - 800	$1.25 \times 10^{-3} - 0.1$
Groundwater (fresh)	10 - 100	0.01 - 0.1
Sea water	0.2	5
<b>Chemicals</b>		
Iron	$9.074 \times 10^{-8}$	$1.102 \times 10^7$
1M Potassium chloride	0.708	1.413
1M Sodium chloride	0.843	1.185
1M acetic acid	6.13	0.163
Xylene	$6.998 \times 10^{16}$	$1.429 \times 10^{-17}$

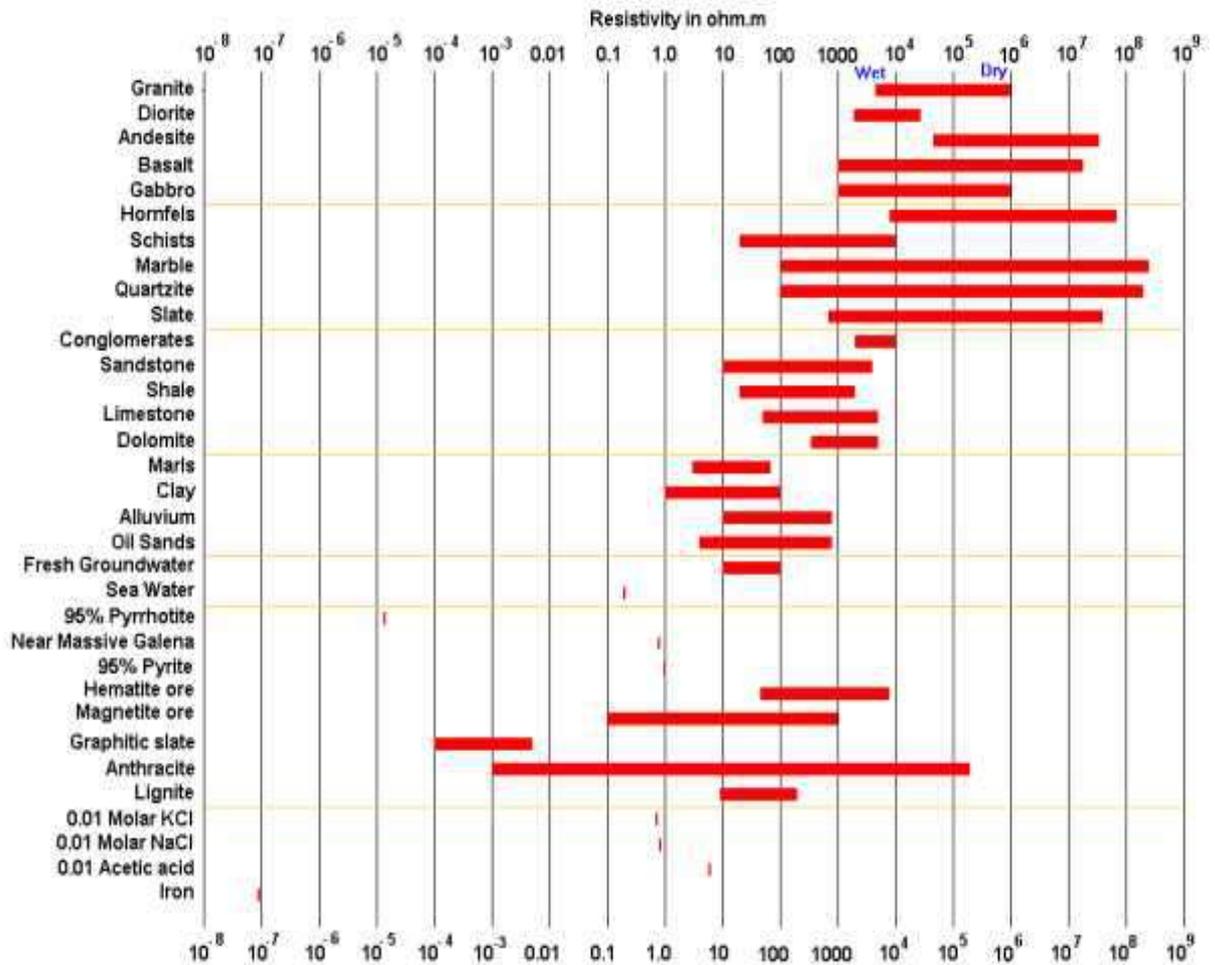


## 2. Loke (2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2004)

Nilai resistivitas beberapa kontaminan industri juga ditunjukkan pada Tabel 3. Logam, seperti besi, memiliki nilai resistivitas yang sangat rendah. Bahan kimia yang merupakan elektrolit kuat, seperti potasium klorida dan natrium klorida, dapat secara signifikan mengurangi resistivitas air tanah hingga kurang dari 1 . bahkan pada konsentrasi yang cukup rendah. Efek elektrolit lemah, seperti asam asetat, relatif lebih rendah. Hidrokarbon, seperti xylene ( $6.998 \times 10^{16}$  .m), biasanya memiliki nilai resistivitas yang sangat tinggi. Namun dalam prakteknya, persentase hidrokarbon dalam batu atau tanah umumnya cukup rendah dan mungkin tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap resistivitas bahan. Sebagai contoh, pasir minyak pada Tabel 3 memiliki kisaran ambang atas nilai resistivitas yang hampir sama dengan alluvium.



Tabel 3. Resistivitas dari Batuan, Tanah dan Mineral (Loke, 2004)



3. Reynolds (Determination of Limestone and Overburden Resistivity Values for Tropical Region Using 2-D Electrical Resistivity Imaging (2-DERI) Method, 1997).

Resistivitas air tanah bervariasi dari 10 hingga 100 ohm.m. tergantung pada konsentrasi garam terlarut. Perhatikan resistivitas rendah (sekitar 0,2 ohm.m) air laut karena kandungan garam yang relatif tinggi. Ini

kan metode resistivitas sebagai teknik yang ideal untuk kan antar muka air asin dan air tawar di daerah pesisir.



Tabel 4. Resistivitas dari beberapa bahan geologi umum (Reynolds, 1997)

<b>Rock Type</b>	<b>Resistivity Range ( <math>\Omega</math> m)</b>
Granite	$3 \times 10^2 - 10^6$
Granite (weathered)	$3 \times 10 - 5 \times 10^2$
Schist (calcareous and mica)	$20 - 10^4$
Schist (graphite)	$10 - 10^2$
Sandstones	$1 - 7.4 \times 10^8$
Limestone	$50 - 10^3$
Clays	$1 - 10^2$
Alluvium and sand	$10 - 8 \times 10^2$
Consolidated shale	$20 - 2 \times 10^3$
Sand and gravel	$30 - 225$
Fresh water	$10 - 100$

4. Jamaluddin dan Emi, 2006 (Identification of subsurface layer with Wenner-Schlumberger arrays configuration geoelectrical method, 2006).

Sebelum perhitungan,  $R$ , dan  $k$  menentukan nilai  $AB/2$ , artinya setengah jarak antara elektroda C1-C2 dan nilai  $MN/2$ , jarak dari elektroda P1-P2, menghitung nilai konstan geometri ( $k$ ) untuk konfigurasi elektroda Wenner-Schlumberger menggunakan persamaan.

Kemudian hitung nilai  $R$  dengan membagi nilai tegangan terukur dengan nilai arus terukur dan hitung resistivitas ( $\rho$ ). Dari nilai resistivitas, kita dapat menentukan jenis material pada titik ini sesuai dengan tabel (5).



Tabel 5. Resistivitas beberapa batuan dan mineral umum (Jamaluddin, dan Emi, 2006).

Material	Resistivity ( $\Omega \cdot m$ )
Air	
Phyrite	0,01 - 100
Quartz	500 – 800.000
Calcite	$1 \times 10^{12}$ - $1 \times 10^{13}$
Rock and Salt	$30 - 1 \times 10^{13}$
Granite	200 – 100.000
Andesite	$1,7 \times 10^2$ - $45 \times 10^4$
Basalt	200 – 100.000
Limestones	500 – 10.000
Sandstones	200 – 8.000
Shale	20 – 20.000
Sand	1 – 1.000
Clay	1 – 100
Ground Water	0,5 – 300
Sea Water	0,2
Magnetitite	0.01 – 1.000
Dry Gravel	600 – 10.000
Alluvium	10 – 800
Gravel	100 - 600

Dalam skala warna (*rainbow scale*) yang dihasilkan program / alat ukur Georesistivitas (detail alat pada Bab III halaman 60, bagian c.3) menyesuaikan skala terkecil sampai skala terbesar dengan range uji tanah dengan warna yang juga relatif sama.



## E. Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah perpanjangan dari logika Boolean oleh Lotfi Zadeh pada tahun 1965 berdasarkan teori matematika *set fuzzy*, yang merupakan generalisasi dari teori himpunan klasik. Dengan memperkenalkan gagasan derajat tingkat ketelitian dalam verifikasi suatu keadaan, sehingga memungkinkan keputusan atas kondisi tersebut menjadi lebih presisi dari pada sekedar benar atau salah, logika fuzzy memberikan fleksibilitas yang sangat berharga untuk bernalar, yang memungkinkan untuk memperhitungkan ketidakakuratan dan ketidakpastian. (Franck, 2013)

Fuzzy juga dapat diartikan sebagai nilai fleksibel atau samar-samar. Suatu nilai dapat bernilai relatif, benar atau salah secara bersamaan. Dalam fuzzy dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai antara 0 hingga 1. Berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai hanya 1 atau 0 (ya atau tidak).

Logika Fuzzy merupakan suatu logika yang memiliki nilai ketidakpastian atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Dalam teori logika fuzzy suatu nilai bias dapat bernilai benar atau salah secara bersamaan. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan suatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. Berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua nilai 1 atau 0, logika fuzzy

digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang sikan menggunakan bahasa (*linguistic*), misalnya besaran



kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat dan sangat cepat. Logika fuzzy menunjukkan sejauh mana suatu nilai itu benar dan sejauh mana suatu nilai itu salah. Tidak seperti logika klasik yang kaku/tegas, suatu nilai hanya mempunyai 2 kemungkinan yaitu merupakan suatu anggota himpunan atau tidak. Derajat keanggotaan 0 (nol) artinya nilai bukan merupakan anggota himpunan dan 1 (satu) berarti nilai tersebut adalah anggota himpunan.

Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input ke dalam suatu ruang output yang mempunyai nilai yang kontinyu. Fuzzy dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan tingkat kebenaran. Oleh sebab itu sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama (Kusumadewi, S, 2004).

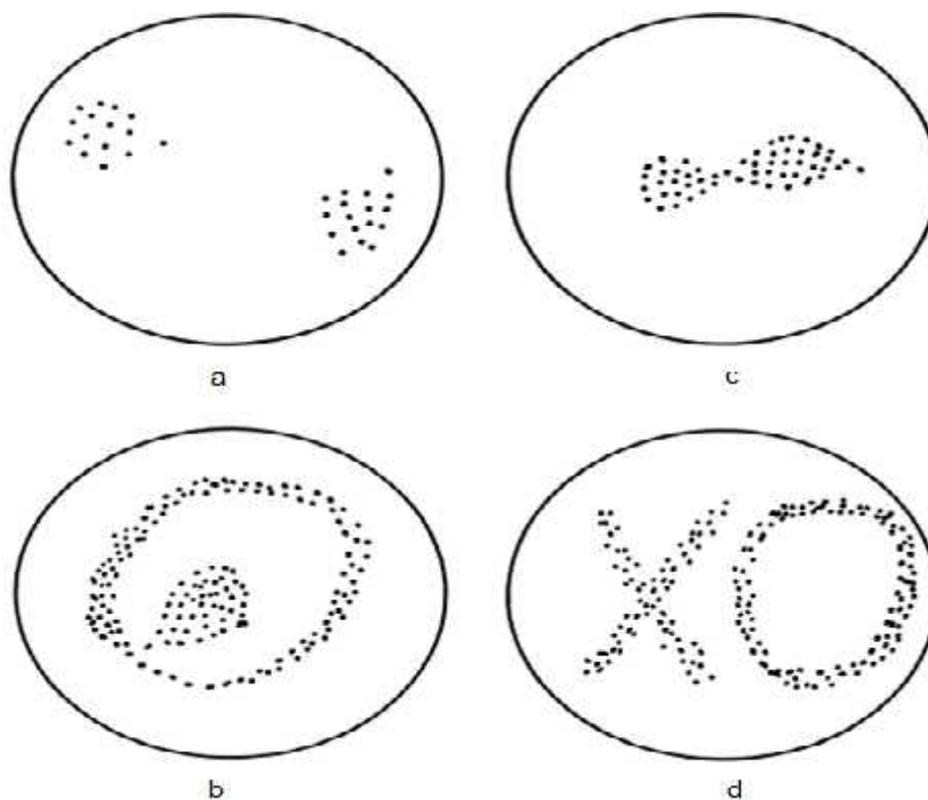
Teori lain menyatakan bahwa logika Fuzzy memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat gradasi antara hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, seperti kata "sedikit", "lumayan" dan "sangat" (Zadeh, 1965). Kelebihan dari teori logika fuzzy adalah kemampuan dalam proses penalaran secara bahasa (*linguistic reasoning*). Sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematik dari objek yang akan dikendalikan.

### Fuzzy Clustering

dengan asumsi bahwa masalah utama adalah ekstraksi variabel dalam hal ini adalah karakteristik dari proses fisik, gambaran



fenomena lain yang merupakan faktor signifikan dalam hal organisasi / pengelompokan data. Tugas kita adalah untuk membagi  $n$  objek  $x \in X$  yang ditandai sebagai indikator  $p$  menjadi  $c$ ,  $2 \leq c < n$  yang dikategorikan homogen dan disebut "cluster." Objek yang berada dalam satu cluster harus serupa dan objek-objek dari cluster yang berbeda selanjutnya juga berbeda.

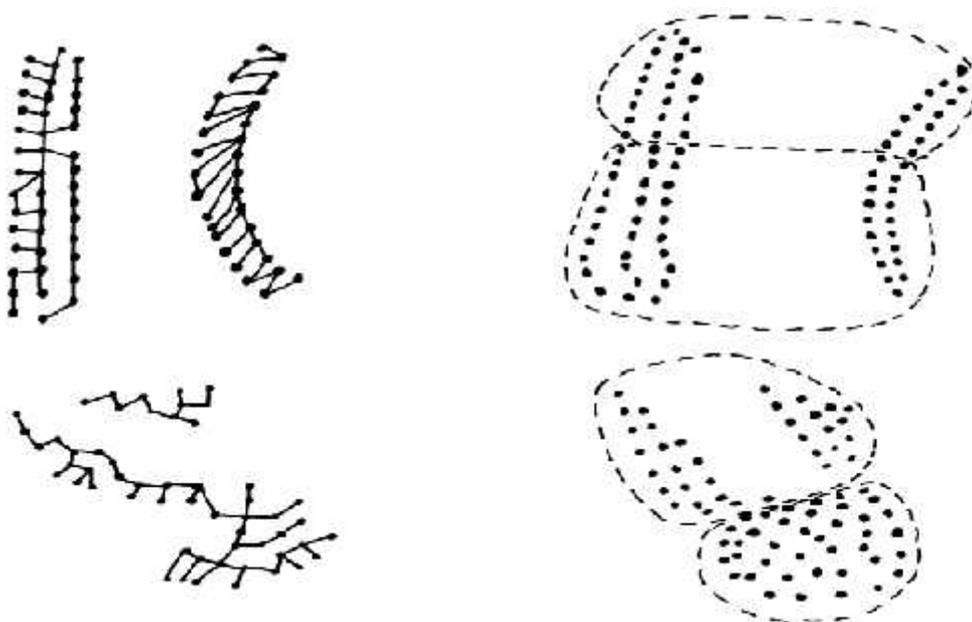


Gambar 3. Beberapa variasi struktur data cluster

Hal terpenting dalam menerapkan prosedur pengelompokan adalah merkan sifat matematis dari kumpulan data misalnya : jarak, itas, intensitas dan sejenisnya yang digunakan semestinya dalam entifikasi cluster. Pertanyaan seharusnya dapat terjawab dari



setiap set data karena tidak ada kriteria kluster dapat optimal secara universal. Gambar 3 menunjukkan beberapa kemungkinan bentuk cluster dan seharusnya nampak jelas bahwa kriteria cluster 3-a menunjukkan kinerja yang sangat buruk jika dibandingkan dengan kasus 3-b atau 3-c. Contoh lainnya dapat ditemukan di Bezdek (1981) atau Roubens (1978) dan beberapa publikasi lain tentang pengenalan pola dan analisa cluster.



Gambar 4. Kinerja kriteria cluster

Ilustrasi yang lebih jauh dapat dilihat pada Gambar 4, yang ditulis oleh Bezdek (1981), yang menjelaskan dua set data, yang dikelompokkan oleh algoritma fungsi berbasis jarak (kriteria-jumlah jarak error-dalam grup) dan dengan menerapkan metode teoritis berbasis jarak grafik (algoritma tunggal). Nampak jelas bahwa kriteria yang mengarah ke hasil yang buruk dalam satu kasus dapat saja bermakna sangat buruk dalam



kasus lain, dan sebaliknya. Metode pengelompokan (*Crisp*) umumnya dikategorikan menurut jenis kriteria pengelompokan yang digunakan dalam metode hierarki, teoritik-grafis, metode fungsi objektif (Zimmermann, 2001).



## F. Penelitian Terdahulu

No	Nama Penulis dan Tahun	Judul Penelitian	Publikasi	Hasil/Temuan
1.	Abdulrahman A.S, 2008.	Integration of Surface Seismic Data with Geoelectric Data, Earth Sciences Department King Fahd Univesity of Petroleum & Minerals	Earth Sciences Department King Fahd Univesity of Petroleum & Minerals, Saudi Arabia	Ada variasi lateral dalam kecepatan di area ini. Kisaran kecepatan yang ditemui berkisar dari 0 hingga 5000.
2.	Balasubramanian A, 2017.	Characteristics of Soil Profile	Centre for Advanced Studies in Earth Science, University of Mysore, Mysore	Pengaruh yang berbeda dari faktor - faktor ini menyebabkan cakrawala tanah yang berbeda terbentuk. Perbedaan atau kesamaan horizon tanah di gunakan untuk mengkategorikan tanah yang sama ke dalam seri tanah
3.	Berit Ensted Danielsen, 2011	The Applicability of Geoelectrical Methods in Pre-Investigation for construction in rock	Doctoral Thesis Engineering Geology Lund University, Stockholm	Pencitraan geolistrik dan geofisika borehole harus dipertimbangkan sebagai studi prospektif dari pra-investigasi dan produksi.
4.	B. Ursin and J. M. Carcione, 2007	Seismic-Velocity / Electrical-Conductivity Relations	Norges Teknik-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU)	Hubungan diterapkan pada satu shale jenuh dengan air asin (kelebihan beban) dan satu batu pasir jenuh dengan minyak (Reservoir)
5.	Indrabayu, 2013	Sistem Pakar Untuk Prediksi Curah Hujan Dengan Tinjauan Teknik Eksplorasi Terbaik Pada Deret Data	Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin	Parameter terbaik untuk pendekatan kualitatif dengan nilai deviasi dari parameter-parameter tertentu secara berturut turut



6.	Djauhari Noor. 2012	Pengantar Geologi, Program Studi Teknik Geologi Universitas Pakuan	Jalan Pakuan, PO. Box 452, Bogor, <a href="http://www.unpak.ac.id">http://www.unpak.ac.id</a>	Hasil dari tekanan kompresi pada batuan yang terlipat dan adanya penebalan kerak dapat mendorong batuan ke arah bagian bawah sehingga menjadi lebih dalam yang memiliki tekanan dan temperatur lebih tinggi
7.	Egwuonwu, G. N and Sule, P. O, 2012	Geophysical Investigation Failure of Learning Superstructure in Zaria Area	Nigeria Institute of Leather and Science Technology, P.M.B., 1034, Zaria, Nigeria	Faktor-faktor yang kemungkinan besar penyebab kegagalan struktural dan bersandar dari superstruktur yang diteliti menggunakan 2D seismic refraction tomography, tes swell bebas dan kompresibilitas terhitung
8.	Egbai, J.C, 2011	A Combination of Electrical Resistivity and Seismic Refraction Surveys for Ground Water Exploration in Basement Region of Ifo, Ondo State, Nigeria	Department of Physics, Delta State University Abraka, Nigeria	Memungkinkan penggambaran sistem akuifer dari daerah yang diamati yaitu tanah liat, pasir dari berbagai jenis, kerikil dan ruang bawah tanah kristal segar dengan resistivitas yang bervariasi
9.	Fatoba J.O, Alo J.O and Fakeye A.A, 2010	Geoelectric Imaging for Foundation Failure Investigation	Department of Earth Sciences, Olabisi Onabanjo University, Ago Iwoye, Ogun State, Nigeria.	Bangunan gagal karena lapisan tanah liat yang tidak kompeten dan desain fondasi yang tidak tepat di beberapa sisi bangunan di mana bangunan itu didirikan.
	puma,	Combining seismic and electric methods for predicting	INRA — UMR LISAH, 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2, France	Kegunaan kombinasi sensor untuk memperkirakan sifat-sifat tanah ketika



		bedrock depth along a Mediterranean soil toposequence change movement of expansive soil over time		memperkirakan ketidakpastian bervariasi dengan metode geofisika
11.	Lateef T.A. and Adegoke J.A, 2011	Geophysical Investigation of Foundation Condition of A Site in Ikere-Ekiti, Ekiti State, South-Western Nigeria	Department of Physics, University of Ado-Ekiti, Ekiti State	Analisis geologi dan geoteknik tambahan harus dilakukan pada sampel tanah di daerah penelitian. Studi lebih lanjut dalam hal ini dapat mengadopsi metode geofisika yang terintegrasi dan peningkatan cakupan area di lain untuk meningkatkan penggambaran yang tepat lapisan stratigrafi lapisan tanah di daerah studi.
12.	Loke H. M. 2004	Tutorial 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys	www.goelectrical.com	Dengan demikian, program RES2DINV memiliki sejumlah parameter yang dapat dimodifikasi oleh pengguna untuk mendapatkan hasil yang lebih dekat ke geologi yang dikenal
13.	Meju. A.M, Luis A. G. and Mohamed. A. K. 2003	Evidence for correlation of electrical resistivity and seismic velocity in heterogeneous near-surface materials	Department of Environmental Science, Lancaster University, Lancaster, UK	Kami menyarankan bahwa pencitraan 2D gabungan GEM dan data profil seismik dapat menjadi strategi yang berguna untuk meningkatkan korelasi kecepatan-resistivitas dalam studi dekat permukaan
	urtanzis Andi Impala.	Penerapan Fuzzy C-Means untuk mendeteksi dini kemampuan	Scientific Journal of Informatics. Vol. 2, No. 2, Nov 2015	Uji validitas hasil clustering sebagai evaluasi data tiap cluster dengan menggunakan



		penalaran matematis		perhitungan koefisien partisi atau partition coefficient (PC)
15.	Pepi Novianti, Dyah Setyorini, Ulfasari Refflesia. 2017	K-Means Cluster Analisis in Earthquake Epicenter Clustering	International Journal of Advance in Intelligent Informatics	Pengelompokkan pusat gempa di Prov. Bengkulu, dengan menggunakan metode Euclidean distance
16.	Philip. K, Michael. B and Ian H. 2002	An Introduction to Geophysical Exploaration Third Edition	Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH Kurfürstendamm 57 10707 Berlin, Germany	Analisis matematis dari variasi resistivitas semu pada benda berbentuk biasa atau tidak beraturan adalah rumit, tetapi persamaan tersedia untuk bentuk sederhana seperti bola atau belahan
17.	S. Friedel, A Thielen, S.M. Springman 2006	Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing	Journal of applied geophysics	Hasil Analisis resolusi konfigurasi ERT membuktikan kombinasi data Wenner, Schlumberger dan Dipole – Dipole untuk pengukuran dan akurasi model. Selanjutnya, pendekatan statistik untuk mengurangi subyektivitas dalam interpretasi model resistivitas 3D.
18.	Telford, W. M, Geldart, L.P and Sheriff, R.E. 1991	APPLIED GEOPHYSIC Second Edition	Cambridge University press New York. USA	Pemodelan Resistivitas umumnya dilakukan dalam tangki air, resistivitas cairan yang dimodifikasi oleh penambahan garam seperti NaCl atau asam seperti H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Pasir dapat digunakan sebagai pengganti cairan, asalkan kontak yang dapat dibuat antara model elektroda dan di permukaan
		Relationship	RSI, 2600 South	Hubungan linier



	Alan. J.C. 2012	Among Porosity, Permeability, Electrical and Elastic Properties	Gessner Road, Houston, TX 77063, USA	antara sifat listrik yang diukur di laboratorium dan permeabilitas dapat ditentukan jika diagenesis pasir hijau diketahui. Dengan menggabungkan, seseorang dapat membangun hubungan linear antara sifat listrik yang diukur di laboratorium dan permeabilitas jika diagenesis dari pasir hijau dapat diketahui
20.	Loke M. H. 2000	Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies	www.heritagegeophysics.com	Dipole-dipole, pole-dipole, dan Wenner-Schlumberger array melibatkan parameter tambahan dalam format data RES2DINV
21.	Jamaluddin, Emi Prasetyawati Umar. 2006	Identification of subsurface layer with Wenner-Schlumberger arrays configuration geoelectrical method	Geological Engineering Department, School of Geosciences, China University of Petroleum, Qingdao, China	Instrumen yang digunakan adalah meter resistifitas empat elektroda yang mampu membaca hasil respon tegangan sebagai arus konsekuensi yang telah disuntikkan ke permukaan pasir oleh dua elektroda potensial dan dua elektroda arus.
22.	John M. Reynolds. 1997	an introduction to applied and environmental geophysics	Reynolds Geo-Sciences Ltd, UK	Pada batuan sedimen, resistivitas cairan interstisial mungkin lebih besar dari pada batuan induk.
23.	Stanley Raj A, D. Hudson Oliver, Y. Srinivas. 2015	Geoelectrical data Inversion by clustering technique of fuzzy logic to estimate the subsurface layer model	Departement of Physics, Vel Tech University, Avadi, chennai 600062, India	Algoritma klasifikasi kurang fuzzy menghasilkan yang lebih dapat diandalkan dan menunjukkan efektivitas alat komputasi lunak dalam membalikkan

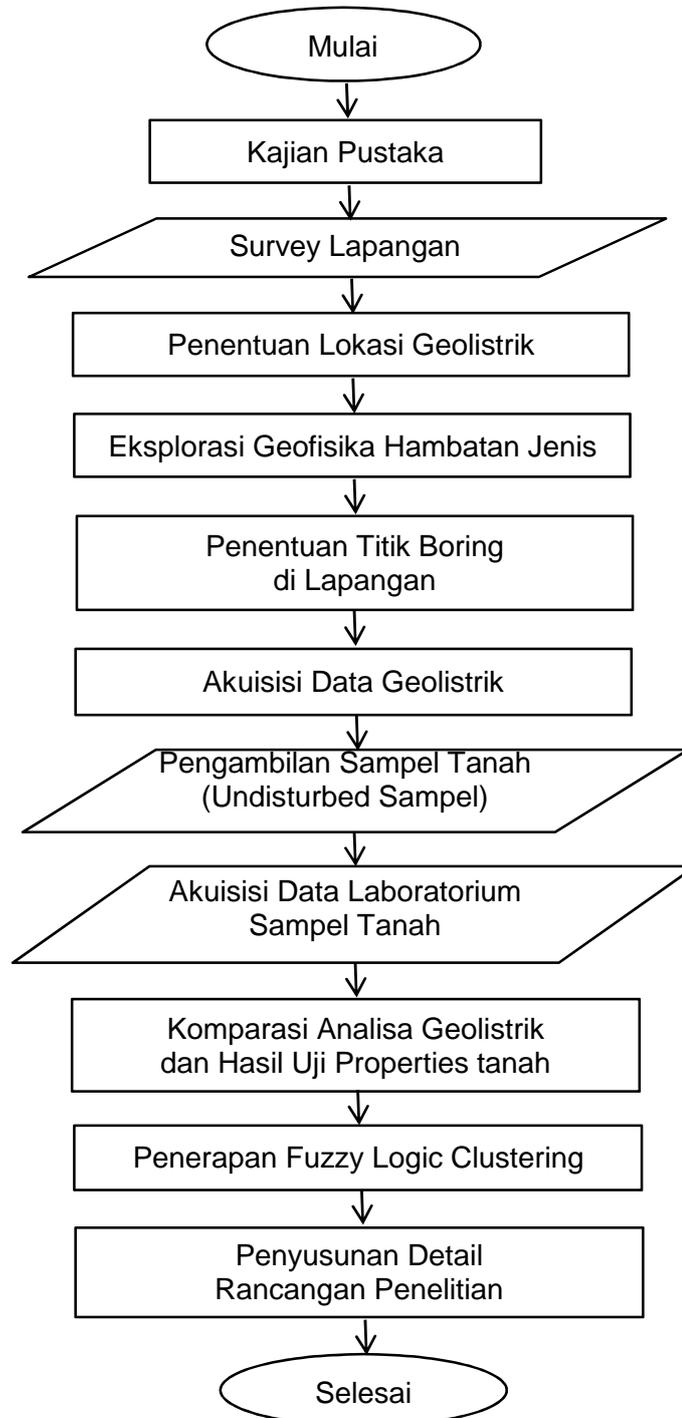


				data resistivitas geolistrik.
24.	Phogat V.K, V.S Tomar, Rita Dahiya. 2016	Soil Physical Properties	CCS Haryana Agricultural University	Sifat fisik memiliki pengaruh signifikan terhadap perilaku tanah untuk penggunaan pertanian dan teknik. Tekstur tanah dan struktur menentukan porositas total dan distribusi ukuran pori-pori yang mempengaruhi hubungan air, panas dan udara di tanah



### G. Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan beberapa uraian di atas, maka dapat dirumuskan kerangka berpikir pada penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 5. Kerangka Pikir Penelitian

