

9

by Wahyu Meriana

Submission date: 10-Jun-2022 08:30PM (UTC+0700)

Submission ID: 1854305774

File name: BUKU_ISBN_PENDEKATAN_METODE_GEOLISTRIK.pdf (4.93M)

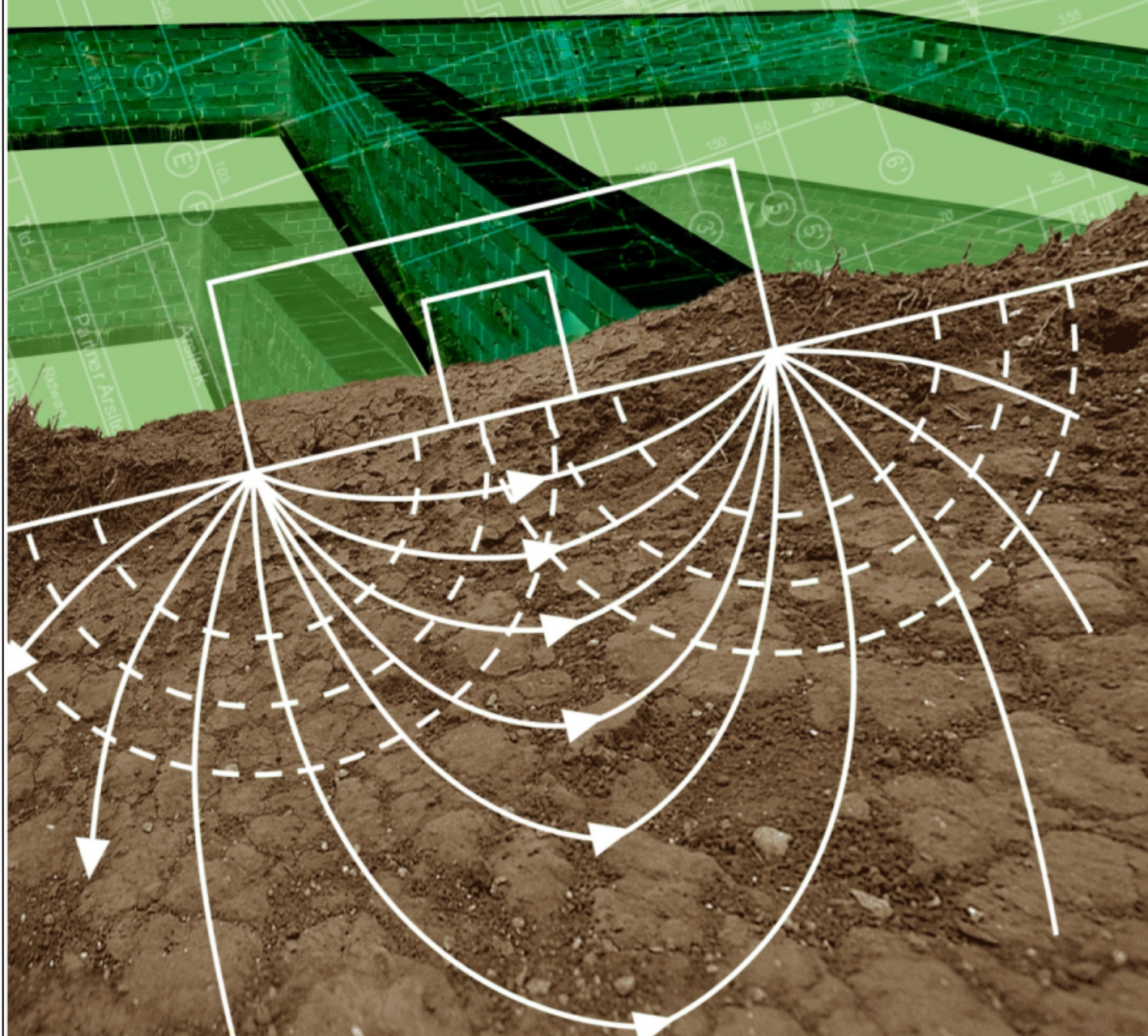
Word count: 11792

Character count: 78973



Ir. Meriana Wahyu Nugroho, ST., MT
Fatma Ayu Nuning Farida Afiatna, S.Si., MT

PENDEKATAN METODE GEOLISTRIK DALAM PERENCANAAN PONDASI



PENDEKATAN
METODE GEOLISTRIK
DALAM PERENCANAAN PONDASI

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang
Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta**

1. Hak Cipta adalah hak eksklusif pencipta yang timbul secara otomatis berdasarkan prinsip deklaratif setelah suatu ciptaan diwujudkan dalam bentuk nyata tanpa mengurangi pembatasan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. (Pasal 1 ayat [1]).
2. Pencipta atau Pemegang Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 2. memiliki hak ekonomi untuk melakukan: a. Penerbitan ciptaan; b. Penggandaan ciptaan dalam segala bentuknya; c. Penerjemahan ciptaan; d. Pengadaptasian, pengaransemenan, atau pentransformasian ciptaan; e. pendistribusian ciptaan atau salinannya; f. Pertunjukan Ciptaan; g. Pengumuman ciptaan; h. Komunikasi ciptaan; dan i. Penyewaan ciptaan. (Pasal 9 ayat [1]).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah). (Pasal 113 ayat [3]).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah). (Pasal 113 ayat [4]).

**PENDEKATAN
METODE GEOLISTRIK
DALAM PERENCANAAN PONDASI**

Ir. Meriana Wahyu Nugroho, ST., MT
Fatma Ayu Nuning Farida Afiatna, S.Si., MT



PENDEKATAN METODE GEOLISTRIK DALAM PERENCANAAN PONDASI

© Ir. Meriana Wahyu Nugroho, ST., MT
Fatma Ayu Nuning Farida Afiatna, S.Si., MT

82

xii + 76 halaman; 15,5 x 23 cm.

ISBN: 978-623-261-353-9

34

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun juga tanpa izin tertulis dari penerbit.

Cetakan I, Desember 2021

Penulis : Ir. Meriana Wahyu Nugroho, ST., MT
Fatma Ayu Nuning Farida Afiatna, S.Si., MT
Editor : Via
Sampul : Husein
Layout : Fadhal Akhyari

17

Diterbitkan oleh:

Penerbit Samudra Biru (Anggota IKAPI)

Jln. Jomblangan Gg. Ontoseno B.15 RT 12/30

Banguntapan Bantul DI Yogyakarta

Email: admin@samudrabiru.co.id

Website: www.samudrabiru.co.id

WA/Call: 0812-2607-5872

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah buku ini dapat disele⁷³kan hanya atas Shidayah dan rida Allah SWT. Buku ini diharapkan dapat memberikan sedikit sumbangan pemikiran dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil maupun di bidang ilmu pengetahuan lainnya. Buku ini di⁹⁵usun berdasarkan pada telaah pustaka beberapa buku geolistrik yang telah ada sebelumnya. Selain itu buku ini ditulis berdasarkan penelitian penulis dalam menyusun beberapa studi geolistrik di berbagai studi kasus lapangan.

Buku ini membahas tentang penerapan geolistrik untuk sebuah kajian awal maupun perencanaan di bidang teknik sipil. Metode geolistrik saat ini menjadi pilihan utama dalam eksplorasi sifat fisik bawah permukaan tanah.

⁷⁷Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang ⁴⁷ut membantu proses penerbitan buku edisi pertama ini kepada Prof. Dr. Haris Supratno selaku Rektor Uni⁴⁷versitas Hasyim Asy'ari Tebuireng, Jombang; Nur Kholis ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng, Jombang; dan Anggit Sarwendah Larasati, S.Si selaku pendamping penulis buku.

Buku ini dimungkinkan masih memiliki kekurangan, ¹⁰oleh karena itu kritik dan sumbang saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Semoga buku ini bermanfaat dan kita mampu mengamalkannya.

Jombang, Agustus 2021

Penulis

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	96
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	xi
A. Sejarah	1
B. Tujuan dan Manfaat	2
BAB II TANAH, BATUAN, DAN STRATIGRAFI	3
A. Tanah	5
B. Batuan	7
C. Stratigrafi	9
BAB III PONDASI	13
A. Syarat-Syarat Perencanaan Pondasi	13
B. Pemilihan Jenis Pondasi	14
C. Pondasi Tiang	15
D. Pondasi Dangkal (<i>Shallow Footing</i>)	20
E. Daya Dukung Pondasi Dangkal	21
F. Pengukuran Tanah untuk Mendapat Pondasi yang Tepat	23
G. Penentuan Struktur Tanah dari Sisi Geofisika	29

BAB IV SIFAT KELISTRIKAN BATUAN	33
A. Konduksi secara Elektronik	33
B. Konduksi secara Elektrolit	35
C. Konduksi secara Dielektrik	36
BAB V RESISTIVITAS BATUAN	37
A. Resistivitas dan Konduktivitas	37
B. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai Resistivitas Batuan	39
BAB VI KONSEP DASAR GEOLISTRIK	41
A. Geolistrik Pasif	41
B. Geolistrik Aktif	41
C. Resistivitas Semu	42
D. Aliran Listrik di Bumi	43
BAB VII METODE GEOLISTRIK	49
A. Metode Resistivitas / Tahanan Jenis	49
B. Metode Polarisasi Terimbas (<i>Induce Polarization</i>)	50
C. Metode Potensial Diri (<i>Self Potential/SP</i>)	52
BAB VIII KONFIGURASI GEOLISTRIK	55
A. Konfigurasi Wenner	56
B. Konfigurasi Schlumberger	57
C. Konfigurasi Dipole – Dipole	59
D. Konfigurasi Pole – Dipole	60
BAB IX PENGUKURAN DAN INTERPRETASI	63
A. Penentuan Sebaran Aliran Air Bawah Permukaan	63
B. Analisis Struktur Lapisan Bawah Permukaan	66
DAFTAR PUSTAKA	71
RIWAYAT PENULIS	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rentang Ukuran Partikel	6
Tabel 2.2 Beberapa Tipe Tanah dan Sifatnya	6
Tabel 3.1 Keruntuhan Geser Umum	22
Tabel 3.2 Klasifikasi Daya Dukung Tanah Ultimate	24
Tabel 5.1 Nilai Resistivitas Material-Material Bumi	38

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Batuan (Zuhdi, 2019)	9
Gambar 3.1 Macam-Macam Pondasi (Tomlinson, 2007)	21
Gambar 3.2 Tiga Fase Elemen Tanah (Das, 1988)	24
Gambar 3.3 Grafik Konsolidasi pada: (a) Tanah Butir Kasar dan (b) Tanah Butir Halus	29
Gambar 4.1 Silinder Konduktor (Lowrie, 2007)	34
Gambar 6.1 Konsep Resistivitas Semu pada Medium Berlapis	42
Gambar 6.2 Sumber Arus 2 Titik pada Permukaan Homogen Isotropis (Telford, 1990)	43
Gambar 6.3 Sumber Arus berupa Titik pada Permukaan Bumi Homogen (Telford, 1990)	44
Gambar 6.4 Dua Pasang Elektroda Arus dan Elektroda Potensial pada Permukaan Medium Homogen Isotropis dengan Resistivitas ρ (Telford, 1990)	45
Gambar 6.5 Perubahan Bentuk pada Bidang Equipotensial dan Garis Aliran Arus untuk Dua Titik Sumber Arus pada Permukaan Tanah Homogen (Telford, 1990)	47
Gambar 7.1 Ilustrasi Pengisian dan Pengosongan Arus yang Menunjukkan Efek IP (Syukri, 2020)	51
Gambar 7.2 Prinsip Metode <i>Induce Polarisation</i> yang Berperilaku sebagai Kapasitor (Syukri, 2020)	51

Gambar 7.3 Skema Aliran Induksi Potensi Negatif Metode Magnetotelluric (Nyquist and Corry, 2002)	53
Gambar 8.1 Susunan Elektroda Arus dan Potensial pada Konfigurasi Wenner (Loke, 1995)	56
Gambar 8.2 Konfigurasi Wenner (Milsom, 2003)	57
Gambar 8.3 Konfigurasi Elektrode Schlumberger (Maemuna, Darsono and Legowo, 2017)	58
Gambar 8.4 Elektroda Arus dan Potensial pada Konfigurasi Dipole-Dipole (Reynolds, 2005)	59
Gambar 8.5 Konfigurasi Elektrode Pole-Dipole (Andriyani, S. dan A.H. Ramelan Sutarno, 2010)	60
Gambar 9.1 Lokasi Pertama Pengambilan Data	64
Gambar 9.2 Penampang 2D Lintasan J-1, J-2 dan J-3	65
Gambar 9.3 Penampang 2D Lintasan J-4, J-2 dan J-5	66
Gambar 9.4 Lokasi Kedua Pengambilan Data	67
Gambar 9.5 Grafik Pseudo Cross – Section Lapisan Bawah Permukaan Lintasan J.01 – J.02 – J.03	68
Gambar 9.6 Grafik Resistivity Cross – Section Lapisan Bawah Permukaan Lintasan J.01 – J.02 – J.03	68
Gambar 9.7 Grafik Pseudo Cross – Section Lapisan Bawah Permukaan Lintasan J.04 – J.02 – J.05	69
Gambar 9.8 Grafik Resistivity Cross – Section Lapisan Bawah Permukaan Lintasan J.04 – J.02 – J.05	70

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB I

PENDAHULUAN

Eksplorasi geofisika dengan menggunakan metode geolistrik saat ini telah menjadi pilihan utama untuk mendapatkan informasi mengenai sifat fisik bawah permukaan tanah pada berbagai bidang. Informasi mengenai sifat fisik bawah permukaan ini kemudian menghasilkan data yang akan diolah sesuai dengan kebutuhan suatu bidang penelitian. Beberapa kegunaan data hasil eksplorasi geofisika menggunakan metode geolistrik ini dapat digunakan sebagai dasar penentuan potensi air tanah, mendeteksi keberadaan suatu mineral, menentukan situs arkeologi, mengidentifikasi zona gelincir tanah longsor, penentuan dasar pondasi, dan lain sebagainya.

Banyaknya manfaat dan kegunaan dilakukannya eksplorasi geofisika dengan geolistrik ini tidak terlepas dari perjalanan sejarah dan perkembangan geolistrik. Perkembangan metode geolistrik ini terbagi dalam beberapa paham meskipun sumber dan teorinya sama. Perbedaan tersebut terletak pada tata kerja yang meliputi perbedaan konfigurasi elektroda dan interpretasinya, alat yang digunakan dimana terdapat perbedaan daya penetrasinya, serta data prosesing.

A. Sejarah

Sejarah eksplorasi geolistrik dengan pemanfaatan sifat kelistrikan batuan sudah dilakukan sejak lebih dari dua abad lalu. Tercatat telah ada beberapa peneliti yang memelopori penggunaan metode geolistrik dalam eksplorasi geofisika. Gray dan Wheeler (1720) melakukan pengukuran kelistrikan pada batuan dan mencoba menentukan ketebalan konduktivitas batuan bawah permukaan. Pada Tahun 1746 Watson melakukan pengamatan terhadap beda potensial pada titik-titik diantara dua elektroda arus yang dipotong dengan jarak 2 mil, ternyata mempunyai nilai yang bervariasi karena adanya perbedaan kondisi geologi setempat. Hal inilah yang menjadi penemuannya bahwa tanah bersifat sebagai konduktor.

Robert W. Fox (1789 – 1877) disebut sebagai Bapak Geolistrik, karena Fox merupakan yang pertama kali mempelajari hubungan sifat kelistrikan dengan keadaan geologi suatu tempat, temperatur, listrik terestrial, dan geotermal di kawasan pertambangan Corn Wall, Inggris. Perkembangan selanjutnya diteruskan oleh Skey (1871), Charles Matteuci (1877), Cart Barus (1882), Brown (1891), Bernfield (1897), Gottchalk (1912), R.C. Wells & George Ottis (1914).

Perkembangan yang lebih pesat terjadi pada masa Conrad Schlumberger dan R.C. Well dimana geolistrik mulai berkembang di dua benua secara bersamaan dengan cara dan sejarah yang berbeda. Lalu pada akhir perkembangannya, kedua ilmuwan ini bertemu dan mendapatkan hasil dan metode yang sama, terutama dalam penggunaan konsep matematika yang sama pada penerapan teori interpretasi masing-masing. Conrad Schlumberger di Perancis dan Frank Wenner di Amerika melakukan eksperimen menggunakan listrik buatan dengan cara melakukan injeksi arus ke dalam tanah dan mengukur resultan perbedaan potensialnya (potensialnya sendiri terdiri dari komponen alamiah dan akibat injeksi) yang kemudian dikenal dengan metode *DC Resistivity*.

Perkembangan geolistrik yang terjadi tidak hanya meliputi metode yang digunakannya saja. Perkembangan terjadi pada instrumen geolistrik dari yang awalnya menggunakan peralatan besar dalam truk hingga alat sederhana yang sangat kecil dan mudah dibawa. Kemudian perkembangan juga terjadi dalam interpretasi data lengkungan resistivitas secara matematis dan pembuatan softwarena. Perkembangan terjadi adanya penggantian proses penyamaan kurva (*Matching Curve*) hingga digantikan dengan *software* yang lebih baik dari segi waktu pengolahan data, resolusi hasil, dan tingkat validitas hasil.

B. Tujuan dan Manfaat

Secara umum tujuan utama dari eksplorasi geofisika dengan metode geolistrik adalah untuk membuat model permukaan bumi dengan mengandalkan data lapangan yang diukur pada permukaan atau di dalam bumi dengan ketinggian dan kedalaman tertentu. Manfaat atau keuntungan dilakukannya eksplorasi geolistrik adalah memperoleh informasi mengenai volume tanah besar yang tidak bisa diselidiki dengan metode langsung karena kendala waktu dan biaya.

Tujuan lain berkaitan dengan sejarah perkembangan geolistrik. Pada awal perkembangannya digunakan dalam bidang pertambangan, yaitu untuk mencari keberadaan mineral biji besi oleh Schlumberger. Perkembangan selanjutnya yaitu aplikasi geolistrik di luar bidang tambang pada masa I.B Crosby dan E.G. Leonardon pada tahun 1928. Pada saat itu geolistrik digunakan untuk memetakan batuan dasar (*bedrock*) yang mempunyai resistivitas tinggi untuk diusulkan sebagai bendungan. Dengan demikian aplikasi geolistrik dapat digunakan untuk investigasi masalah lingkungan, seperti kebocoran pipa, rembesan polutan, pengusulan tanggul sungai, dan lain-lain.

Pada perkembangan selanjutnya aplikasi eksplorasi geolistrik semakin banyak digunakan pada berbagai bidang, seperti bidang

arkeologi, geoteknik dan rekayasa, bidang panas bumi (*geothermal*), bidang hidrologi, dan untuk studi penentuan zona patahan atau sesar.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB II

TANAH, BATUAN, DAN STRATIGRAFI

A. Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1988). Sedangkan dalam ilmu mekanika tanah yang disebut dengan tanah ialah semua endapan alam yang berhubungan dengan teknik sipil, kecuali batuan tetap. Endapan alam tersebut mencakup semua bahan, dari tanah lempung (*clay*) sampai berangkal (*blounder*) (G. Djatmiko Soedarmo and Purnomo, 1997)

Tanah dapat dideskripsikan berdasarkan sifat-sifatnya. Joseph E. Bowles (1991) memberikan petunjuk rincian deskripsi tanah. Berdasarkan standar tersebut, tipe-tipe dasar tanah adalah berangkal (*blunders*), dan kerakal (*cobbles*), kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*), yang didefinisikan

berdasarkan ukuran partikel seperti terlihat pada tabel 2.1: sebagai tambahan dari penamaan di atas adalah lempung organik, lanau, atau pasir, dan gambut (*peat*). Campuran dari tipe-tipe tanah dasar disebut tipe komposit.

Tabel 2.1 Rentang Ukuran Partikel

Jenis Tanah		Ukuran Partikel (mm)
Lempung		0,002
Lanau	Halus	0,002 – 0,006
	Medium	0,006 – 0,02
	Kasar	0,02 – 0,06
Pasir	Halus	0,06 – 0,2
	Medium	0,2 – 0,6
	Kasar	0,6 – 2
Kerikil	Halus	2 – 6
	Medium	6 – 20
	Kasar	20 – 60
Cobbles		60 – 200
Boundlers		>200

Sumber: Bowles, J.E (1991)

Tabel 2.2 Beberapa Tipe Tanah dan Sifatnya

Tipe Tanah	Sifat Tanah	Uji Lapangan
Pasir, Kerikil	Lepas	Dapat digali dengan sekop, pasak kayu 50 mm dapat ditancapkan dengan mudah.
	Padat	Dibutuhkan cangkul untuk menggali, pasak kayu 50 mm sulit ditancapkan.
	Sedikit terikat	Pengujian secara visual, cangkul memindahkan gumpalan – gumpalan tanah yang dapat terkikis.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Lanau	Lunak atau lepas	Mudah diremas dengan jari.
	Keras atau padat	Dapat diremas dengan tekanan yang kuat pada jari – jari tangan
Lempung	Sangat lunak	Meleleh diantara jari – jari tangan ketika diperas.
	Lunak	Dapat diremas dengan mudah
	Keras	Dapat diremas dengan tekanan jari yang kuat
	Kaku	Tidak dapat diremas dengan jari, dapat digenjet dengan ibu jari.
Organik, gambut	Sangat kaku	Dapat digenjet dengan kuku ibu jari
	Keras	Serat - serat telah tertekan
	Berongga	Sangat kompresibel dan struktur terbuka
	Plastis	Dapat diremas dengan tangan dan menyebar pada jari – jari

Sumber: Bowles, J.E (1991)

B. Batuan

Pengertian batuan menurut Muhammad Zuhdi (2019) adalah sekumpulan mineral-mineal yang menjadi saatu. Mineral merupakan senyawa anorganik yang terbentuk secara alamiah, berfase padat, mempunyai komposisi dan struktur tertentu. Secara fisik mineral memiliki sifat yang berbeda, yaitu warna, kilap, bentuk, belahan, dan kekerasan. Susunan mineral yang berbeda pada suatu batuan menyebabkan batuan tersebut juga memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda-beda. Batuan dapat tersusun oleh satu macam mineral ataupun campuran beberapa mineral.

Terdapat 3 tiga jenis batuan yang tergolong berdasarkan genesis atau proses terbentuknya batuan, yaitu:

1. Batuan Beku

Batuan beku terbentuk oleh pembekuan magma. Batuan beku dibagi menjadi batuan plutonic dan batuan vulkanik. Batuan plutonic atau intrusive terbentuk ketika magma mendingin dan terkristalisasi perlahan didalam kerak bumi. Salah satu contoh batuan beku plutonic adalah granite. Sedangkan batuan beku vulkanik atau extrusive membeku dan terbentuk pada saat magma keluar kepermukaan bumi sebagai lava atau fragment bekuan. Contoh batuan beku vulkanik adalah batu apung dan basalt.

2. Batuan Sedimen

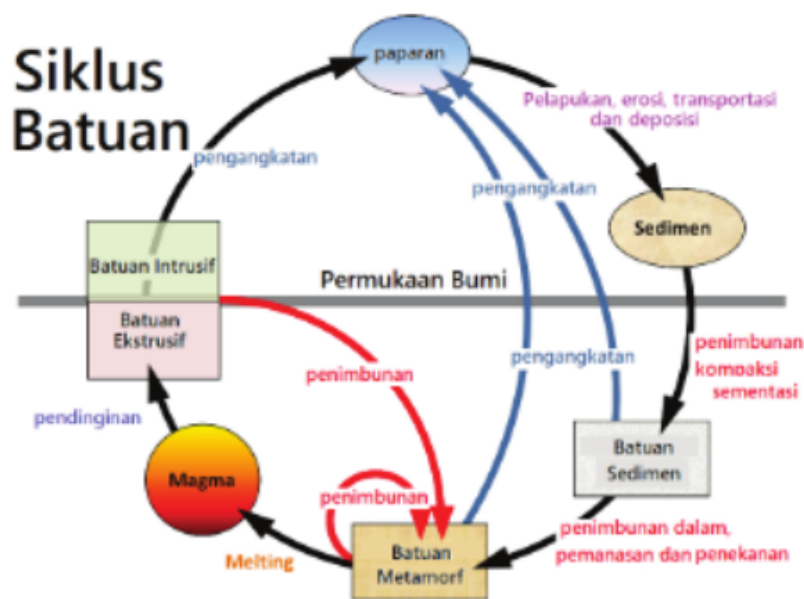
Batuan sedimen terbentuk karena endapan dari hasil pelapukan material-material batuan. Material hasil lapukan ini bisa berupa zat organik maupun mineral. Material ini kemudian terkompaksi serta tersementasi. Batuan sedimen yang terbentuk di permukaan bumi terdiri dari 65% batu lempung (*mudstone, shale dan siltstone*); 20%-25% Batu pasir dan 10%-15% batuan karbonat (*limestone dan dolostone*).

3. Batuan Metamorf

Batuan metamorf terbentuk dari hasil ubahan/alterasi dari mineral dan batuan lain karena pengaruh tekanan dan temperatur. Tekanan dan temperatur yang mempengaruhi pembentukan batuan ini sangat tinggi dibandingkan pada pembentukan batuan beku dan sedimen sehingga mengubah mineral asal menjadi mineral lain.

Batuan dapat mengalami perubahan dari satu tipe menjadi tipe batuan yang lainnya. Batuan dari jenis apapun jika tertimbun kedalam bumi mendapatkan energi panas hingga meleleh, kemudian membeku kembali, maka batuan tersebut akan menjadi batuan beku. Batuan jenis apapun jika mengalami pelapukan, transportasi, kemudian terendapkan kembali, maka batuan tersebut akan menjadi batuan sedimen. Batuan jenis apapun jika mengalami pemanasan

(pematangan termal) dan penekanan, maka batuan tersebut akan berubah menjadi batuan metamorf.



Gambar 2.1 Siklus Batuan (Zuhdi, 2019)

C. Stratigrafi

Stratigrafi merupakan ilmu yang mempelajari susunan, hubungan, dan genesa batuan-batuan yang ada di alam sehingga dengan demikian dapat diketahui proses pembentukan batuan, hubungan antarbatuan, sejarah sedimentasi, dan sejarah tektonik yang telah terjadi pada batuan-batuan tersebut. Pada hakekatnya stratigrafi terdiri dari 2 (dua) suku kata, yaitu kata "strati" berasal dari kata "*stratos*", yang artinya per lapisan dan kata "grafi" yang berasal dari kata "*graphic/graphos*" yang artinya gambar atau lukisan. Dengan demikian dalam arti sempit dapat dinyatakan sebagai ilmu pemerian lapisan-lapisan batuan (Noor, 2016). Dalam arti yang lebih luas stratigrafi dapat didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang aturan, hubungan, dan pembentukan (genes) macam-macam batuan di alam ruang dan waktu.

Stratigrafi berhubungan dengan aspek-aspek Biostratigrafi, Litostratigrafi, Sedimentologi, dan Paleontologi yang menyusun

sejarah geologi suatu daerah. Litostratigrafi yaitu suatu cara pengelompokan batuan secara bersistem menjadi satuan bernama berdasarkan lithologi. Biostratigrafi adalah pengelompokan batuan bersistem menjadi satuan bernama berdasarkan waktu terjadinya. Sedimentologi adalah ilmu yang mempelajari genesa, sifat sifat serta klasifikasi batuan sediment. Sedangkan paleontologi adalah ilmu yang mempelajari jejak serta sisa sisa kehidupan purba.

Pengelompokan batuan yang sering dipakai pada sistem satuan stratigrafi atau pengelompokan batuan adalah 4 (empat) satuan satuan stratigrafi utama, meliputi :

1. *Lithostratigraphic unit*

Pengelompokan batuan secara bersistem menjadi satuan bernama berdasarkan litologi. Pada satuan litostratigrafi penemuan satuan didasarkan pada ciri ciri batuan yang dapat diamati dilapangan. Penemuan batas penyebaran tidak tergantung kepada batas waktu. Ciri ciri litologi meliputi jenis batuan, kombinasi jenis batuan, keseragaman gejala litologi batuan dan gejala gejala lain tubuh batuan di lapangan. Batas satuan litostratigrafi adalah sentuhan antara dua satuan batuan yang berlainan ciri litologi.

Urutan tingkat satuan litostratigrafi resmi, masing masing dari besar sampai kecil meliputi Kelompok, Formasi, dan Anggota. Formasi adalah satuan dasar dalam pembagian satuan litostratigrafi. Anggota adalah bagian dari suatu formasi yang secara litologi berbeda dengan ciri umum Formasi yang bersangkutan, serta memiliki penyebaran lateral.

2. *Biostratigraphic unit*

Biostratigraphic unit menggolongkan lapisan lapisan batuan di bumi secara bersistem menjadi satuan satuan bernama berdasarkan kandungan dan penyebaran fosil. Satuan biostratigrafi adalah tubuh lapisan batuan yang

dipersatukan berdasar kandungan fosil atau ciri ciri paleontologi sebagai sendi pembeda terhadap tubuh batuan sidekitarnya. Kandungan fosil yang dimaksud di sini adalah fosil yang terdapat dalam batuan yang seumur dengan pengendapan batuan. Fosil rombakan, apabila mempunyai makna yang penting dapat dipakai dalam penentuan satuan biostratigrafi (tidak resmi). Yang dimaksud satuan biostratigrafi resmi adalah satuan yang memenuhi persyaratan sandi, sedangkan satuan biostratigrafi tak resmi adalah satuan yang tidak seluruhnya memenuhi persyaratan. Satuan biostratigrafi ditentukan oleh penyebaran kandungan fosil yang mencirikannya.

Tingkatan dan jenis satuan biostratigrafi adalah Zona. Zona adalah satuan dasar biostratigrafi. Dan yang dimaksud zona itu sendiri adalah suatu lapisan atau tubuh batuan yang dirikan oleh satu takson fosil atau lebih. Urutan tingkat satuan biostratigrafi resmi masing masing dari besar sampai kecil adalah Super Zona, Zona, Sub Zona, dan Zonula. Berdasarkan ciri paleontologi yang dijadikan sendi satuan biostratigrafi dibedakan Zona Kumpulan, Zona Kisaran, Zona Puncak, Zona Selang

3. *Chronostratigraphic Unit*

Penggolongan lapisan batuan secara bersistem menjadi satuan bernama berdasarkan peristiwa geologi atau interval waktu geologi. Interval waktu geologi ini dapat ditentukan berdasarkan geokronologi atau metode lain yang menunjukkan kesamaan waktu. Pembagian kronostratigrafi merupakan kerangka untuk menyusun urutan peristiwa geologi secara lokal, regional dan global. Tingkatannya adalah Eonotem, Eratem, Sistem, Seri dan jenjang.

Bagi setiap satuan Kronostratigrafi terdapat satuan geokronologi bandingannya Eonotem dengan Kurun, Eratem dengan Masa, Sistem dengan Zaman, seri dengan Kala dan

Jenjang dengan Umur. Dalam Kornostratigrafi dikenal Stratotipe Satuan dan *Stratotipe* Batas. Stratotipe Satuan adalah sayatan (penampang) selang stratigrafi yang dibatasi oleh *stratotipe* batas atas dan bawah di tempat asal asul nama satuan. *Stratotipe* batas adalah tipe batas bawah dan atas satuan.

4. Geokronologi

Geokronologi adalah pembagian waktu berdasarkan peristiwa geologi, yang dapat dilihat pada gejala yang terekam pada batuan. tingkatannya meliputi Kurun, Masa, Zaman, Kala, Umur. Antara Geokronologi dan *Chronostratigraphy* terdapat suatu hubungan yang ekuivalen yaitu bila Kurun ekuivalen dengan *Eonotem*, Masa ekuivalen dengan *Eratem*, Zaman ekuivalen dengan Sistem dan seterusnya.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB III

PONDASI

Pondasi merupakan bagian dari konstruksi paling dasar yang menopang bangunan secara keseluruhan kemudian meneruskannya ke lapisan tanah di bawah pondasi. Perencanaan suatu pondasi harus mempertimbangkan beban yang diteruskan agar tidak melebihi kekuatan tanah yang bersangkutan. Apabila melebihi kekuatan tanah penurunan yang berlebihan atau keruntuhan akan terjadi, maka akan berdampak buruk pada konstruksi atas. Maka dari itu perlu adanya evaluasi terhadap daya dukung tanah yang bersangkutan. Suatu pondasi akan aman apabila penurunan (*settlement*) tanah yang diakibatkan oleh beban masih dalam batas yang diperbolehkan dan keruntuhan geser dari tanah di mana pondasi berada tidak terjadi.

A. Syarat-Syarat Perencanaan Pondasi

Beberapa persyaratan yang harus diperhatikan dalam perencanaan pondasi adalah sebagai berikut:

- a. Syarat yang berhubungan dengan konstruksi dan beban yang diterima oleh pondasi.

- 1) Beban maksimum yang diterima
 - 2) Muatan sedapat mungkin merata
 - 3) Tanah dasar pondasi terlindung dari penggerusan air
- b. Syarat yang berhubungan dengan perencanaan dan perluasan pondasi.
- 1) Galian tanah sekecil kecilnya
 - 2) Lubang pondasi harus dapat dikeringkan
 - 3) Menghindari kemungkinan terjadinya kebocoran dari air tanah
 - 4) Pondasi yang terbuat dari kayu harus terletak pada muka air tanah terendah
- c. Syarat yang berhubungan dengan stabilitas dan deformasi.
- 1) Kedalaman pondasi harus cukup untuk menghindari kerusakan tanah dalam arah lateral di bawah pondasi
 - 2) Kedalaman pondasi harus di bawah daerah yang mempunyai sifat kompresibilitas tinggi
 - 3) Konstruksi harus aman terhadap guling, geser, rotasi dan keruntuhan geser tanah
 - 4) Konstruksi diharapkan mudah dimodifikasi jika terdapat perubahan geometri konstruksi.
 - 5) Pondasi harus dapat memberikan toleransi terhadap pergerakan diferensial akibat pergerakan tanah
 - 6) Pondasi harus memenuhi persyaratan standar
 - 7) Pondasi harus ekonomis dalam pelaksanaan

B. Pemilihan Jenis Pondasi

Sifat karakteristik tanah merupakan faktor pokok dalam pemilihan jenis pondasi selain faktor ekonomi dan situasi lingkungan. Jenis-jenis pondasi berdasarkan keadaan tanah pendukung yang bersangkutan adalah:

- a. Bila lapisan tanah keras terletak pada kedalaman 2-3 m di bawah permukaan tanah lunak (*soft soil*), maka dipakai:

- 1) Pondasi telapak
 - 2) Pondasi menerus
 - 3) Pondasi rakit
- b. Bila lapisan tanah keras terletak pada kedalaman 10-20 m di bawah permukaan tanah lunak (*soft soil*), maka dipakai
- 1) Pondasi tiang beton atau tiang kayu
 - 2) Pondasi tiang apung
 - 3) Atau perbaikan tanah dasar
- c. Bila lapisan tanah keras terletak pada kedalaman 20 – 30 m di bawah permukaan tanah lunak (*soft soil*), maka dipakai
- 1) Pondasi tiang gesek (bila penurunan yang terjadi masih diizinkan)
 - 2) Pondasi tiang baja, tiang beton yang dicor di tempat
 - 3) Pondasi kaison (*caisson*)
- d. Bila lapisan tanah keras terletak pada kedalaman 30 – 40 m di bawah permukaan tanah lunak (*soft soil*), maka dipakai:
- 1) Pondasi kaison (*caisson*)
 - 2) Pondasi tiang baja atau tiang beton yang dicor ditempat
- e. Jika lapisan tanah keras terletak pada kedalaman > 40 m, maka lebih baik menggunakan pondasi baja atau tiang beton yang dicor di tempat.

Ada beberapa jenis konstruksi yang erat hubungannya dengan teknik pondasi yaitu dinding penahan tanah atau turap seperti dinding kantilever (turap kaku) dan turap kayu, turap baja, turap beton, dan lain-lain (turap lentur), dan bendung elak sementara seperti penurapan pada pembuatan pilar jembatan di dasar sungai.

C. Pondasi Tiang

Pondasi merupakan bagian dari konstruksi paling dasar yang menopang bangunan secara keseluruhan. Pondasi yang berfungsi meneruskan beban kepada tanah baik dari arah vertikal atau

horizontal adalah pondasi tiang. Namun secara penerapan, pondasi tiang memiliki fungsi lebih dari itu, diantaranya:

- a. Untuk memikul beban struktur atas
- b. Untuk menahan gaya angkat (*up-lift*) pada pondasi atau dok dibawah air
- c. Untuk memadatkan tanah pasiran dengan cara penggetaran, mudian dapat ditarik lagi
- d. Untuk mengurangi penurunan (sistem tiang – rakit dan cerucuk)
- e. Untuk pondasi mesin, mengurangi amplitudo getaran dan frekuensi alamiah dari sistem
- f. Untuk memberikan tambahan faktor keamanan, khususnya pada kaki jembatan yang dapat mengalami erosi
- g. Untuk menahan longsoran
- h. Sebagai soldier piles

Berdasarkan metode instalasinya, pondasi tiang secara umum diklasifikasikan menjadi:

- a. Tiang Pancang

Tiang pancang merupakan sebuah tiang yang dipancang kedalam tanah sampai kedalaman yang cukup untuk menimbulkan tahanan gesek pada selimutnya atau tahanan ujung. Pемancangan dapat dilakukan dengan memukul kepala tiang dengan palu atau getaran atau dengan penekanan secara hidrolis. Pondasi tiang yang dipancang umumnya akan memberikan desakan kedalam tanah sehingga mencapai tegangan kontak antara selimut tiang dengan tanah yang relatif lebih besar. Jenis – jenis pondasi tiang pancang adalah pondasi tiang kayu, pondasi tiang baja, pondasi tiang beton pracetak, pondasi tiang beton pratekan, pondasi tiang komposit.

1) Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang

Kapasitas dukung tiang merupakan kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban. Kapasitas ultimit tiang yang dipancang dalam tanah kohesif, merupakan jumlah tahanan gesek sisi tiang dan tahanan ujungnya. Besar tahanan gesek tiang bergantung dari bahan dan bentuk tiang. Umumnya, jika tanah homogen, tahanan gesek dinding yang berupa adhesi antara sisi tiang dan tanah akan berpengaruh besar pada kapasitas ultimitnya. Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum yaitu

$$Q_u = Q_b + Q_s$$

$$Q_b = A_b f_b$$

$$Q_s = A_s f_s$$

dengan :

Q_u : kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

Q_b : tahanan ujung ultimit (kN)

Q_s : tahanan gesek ultimit (kN)

A_b : luas ujung bawah tiang (m^2)

A_s : luas selimut tiang (m^2)

f_b : tahanan ujung satuan tiang (kN/m^2)

f_s : tahanan gesek satuan tiang (kN/m^2)

2) Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Terzaghi dan Peck (1948) menyebutkan bahwa kapasitas ultimit dalam persamaan:

$$Q_g = 2D (B+L)c + 1,3c_b N_c BL$$

dengan :

Q_g : kapasitas ultimit kelompok tiang, nilainya harus tidak melampaui nQ_u (dengan n = jumlah tiang dalam kelompoknya) (kN)

- c : kohesi tanah di sekeliling kelompok tiang (kN/m^2)
- c_b : kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m^2)
- B : lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang – tiang (m)
- L : panjang kelompok tiang (m)
- D : kedalaman tiang di bawah permukaan tanah (m)
- N_c : faktor kapasitas dukung

Faktor pengali 1,3 pada suku persamaan kedua adalah untuk luasan kelompok tiang yang berbentuk persegi panjang. Untuk berbagai bentuk luasan yang lain dapat disesuaikan dengan persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi pada pondasi dangkal.

3) Kapasitas Ijin Tiang

64

Untuk mendapatkan kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Fungsi faktor aman adalah:

- a) Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai kuat geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah.
- b) Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.
- c) Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
- d) Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
- e) Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.

Sehubungan dengan poin ke 4 dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang ataupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5. Besarnya beban kerja (*working load*) maupun kapasitas dukung tiang ijin (Q) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai. Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan tiang pancang:

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5}$$

dengan:

Q_a : kapasitas dukung tiang ijin

Q_u : kapasitas ultimit

2,5 : nilai faktor aman yang disarankan

(Tomlinson, 2007)

b. Tiang Bor

Sebuah tiang bor dikonstruksikan dengan cara penggalian sebuah lubang bor, lalu diisi dengan material beton dengan memberikan penulangan terlebih dahulu. Penggunaan tiang bor saat ini semakin luas, diantaranya adalah pondasi jembatan, menara transmisi listrik, fasilitas dok, *soldier pile*, kestabilan lereng, dinding penahan tanah, pondasi bangunan ringan pada tanah lunak, dan pondasi bangunan tinggi serta struktur yang membutuhkan gaya lateral yang cukup besar, dan lain – lain.

Jenis – jenis tiang diatas dibedakan karena mekanisme pemikulan beban yang relatif tidak sama, secara empirik menghasilkan daya dukung yang berbeda, pengendalian mutu yang berbeda, cara evaluasi yang tersendiri untuk

masing – masing tiang tersebut. Syarat – syarat yang harus dimiliki oleh suatu pondasi tiang yaitu:

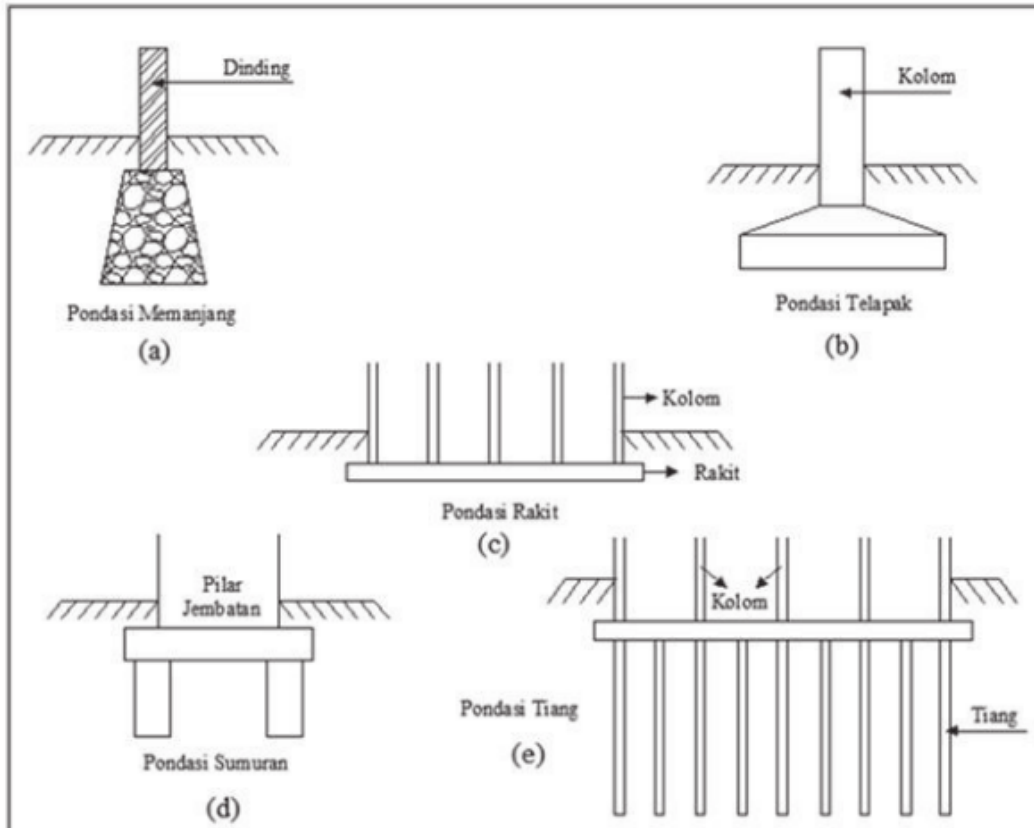
- 1) Beban yang diterima oleh pondasi tidak melebihi daya dukung tanah maupun tegangan yang melebihi kekuatan bahan tiang untuk menjamin keamanan bangunan.
- 2) Pembatasan penurunan yang terjadi pada bangunan dengan nilai penurunan maksimum yang dapat diterima dan tidak merusak struktur.
- 3) Pengendalian atau pencegahan efek dari pelaksanaan konstruksi pondasi seperti misalnya getaran saat pemancangan atau galian maupun pekerjaan pondasi yang lain untuk membatasi pergerakan bangunan atau struktur lain disekitarnya.

31
Penyelidikan tanah dilakukan untuk menentukan pilihan jenis pondasi, daya dukungnya, dan untuk metode konstruksi yang efisien. Karakteristik tanah amat bervariasi dan dapat berubah drastis hanya dalam jarak beberapa meter.

D. Pondasi Dangkal (*Shallow Footing*)

72
Secara umum adalah pondasi yang memiliki perbandingan antara kedalaman dengan lebar pondasi sekitar kurang dari 4. Pondasi ini digunakan apabila lapisan tanah keras yang mampu mendukung beban bangunan di atasnya terletak dekat dengan permukaan. Beberapa jenis pondasi dangkal adalah pondasi telapak (*square footing*), pondasi menerus (*continus footing*), pondasi lingkaran (*circle footing*), pondasi rakit (*raft footing*).

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU



Gambar 3.1 Macam-Macam Pondasi (Tomlinson, 2007)

E. Daya Dukung Pondasi Dangkal

Terzaghi (1948) menganalisis daya dukung tanah dengan anggapan pondasi berbentuk memanjang tak terhingga dengan lebar B yang terletak di atas tanah homogen.

$$q_{ult} = c N_c + D_f \gamma N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma$$

dengan:

- q_{ult} : daya dukung ultimit/batas
- c : kohesi
- D_f : kedalaman pondasi
- B : lebar pondasi
- γ : berat volume tanah
- N_c, N_q, N_γ : faktor daya dukung tanah

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Untuk pondasi berbentuk bujur sangkar dan lingkaran, persamaan daya dukung batas yang disarankan oleh Terzaghi adalah:

a. Pondasi bujur sangkar: $q_{ult} = 1,3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma$

b. Pondasi lingkaran: $q_{ult} = 1,3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma$

dengan B adalah diameter pondasi (untuk lingkaran).

Persamaan tersebut digunakan dengan anggapan bahwa jenis keruntuhan tanah di bawah pondasi adalah keruntuhan geser umum (*general shear failure*). Untuk kondisi keruntuhan geser setempat (*local shear failure*) persamaan untuk pondasi memanjang dinyatakan dengan:

$$q'_{ult} = c'' N''_c + D_f \gamma N''_q + 0,4 \gamma B N''_\gamma$$

$$\text{dengan } c'' = -\frac{2}{3}c$$

Sedangkan daya dukung batas dari tanah untuk pondasi dengan bentuk bujur sangkar dan lingkaran untuk kondisi keruntuhan geser setempat adalah:

a. Pondasi bujur sangkar: $q_{ult} = 1,3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0,4 \gamma B N_\gamma$

b. Pondasi lingkaran: $q_{ult} = 1,3 c N_c + D_f \gamma N_q + 0,3 \gamma B N_\gamma$

Tabel 3.1 Keruntuhan Geser Umum

φ	Keruntuhan Geser Umum		
0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	35
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4

45	172,3	173,3	297,5
48	258,3	287,9	780,1
50	347,6	415,1	1153,2

Sumber: Terzaghi (1948)

F. Pengukuran Tanah untuk Mendapat Pondasi yang Tepat

Tanah memiliki peran penting dalam suatu konstruksi, yaitu sebagai penahan beban konstruksi. Bagian paling bawah suatu konstruksi yaitu pondasi, dimana pondasi ini yang meneruskan beban konstruksi ke lapisan tanah dibawahnya. Pengukuran tanah perlu dilakukan untuk menentukan pondasi yang tepat berdasarkan daya dukung tanahnya. Banyaknya kegagalan konstruksi bangunan sipil disebabkan oleh pemanfaatan tanah yang melebihi batas daya dukung tanah secara umum, seperti pemanfaatan lahan gambut, rawa dan tambak untuk pemukiman dapat menyebabkan penurunan tanah yang berlebihan, pembangunan jalan raya dengan timbunan yang melebihi tinggi kritis dapat menyebabkan sliding atau kelongsoran, dan pemanfaatan lahan perbukitan atau lereng yang cukup terjal.

Daya dukung tanah merupakan tekanan maksimal yang dapat ditahan oleh massa tanah tanpa kehilangan ketahanannya (Gul Y.dan Ceylanoglu A., 2013). Apabila suatu beban melebihi kemampuan tanah, maka tanah dapat kehilangan ketahanannya. Daya dukung tanah digunakan sebagai perencanaan suatu pondasi untuk menunjukkan apakah tanah cukup kuat dalam menahan beban pondasi tanpa terjadi keruntuhan karena penggeseran.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Tabel 3.2 Klasifikasi Daya Dukung Tanah Ultimate

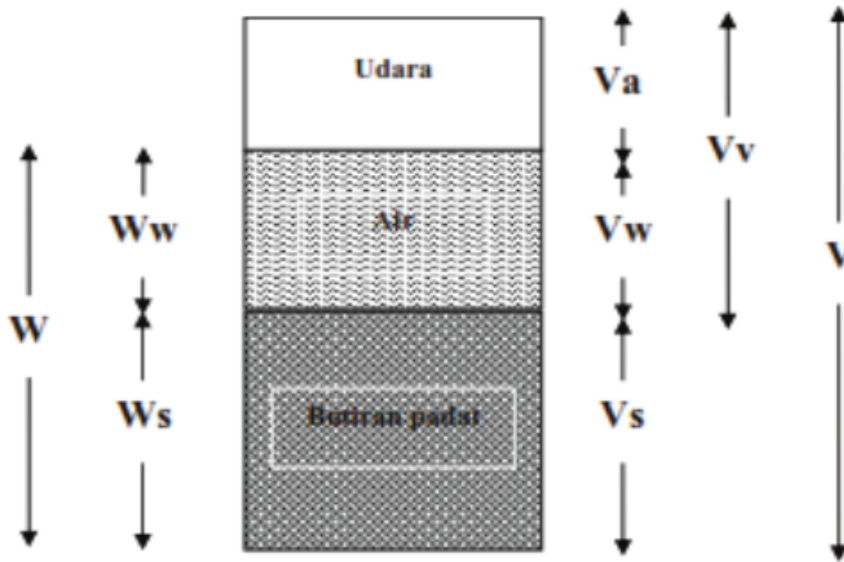
Class	Description	Range of Bearing Capacity (Kg/cm ²)
I	Very Good	>120
II	Good	81 – 120
III	Fair	41 – 80
IV	Poor	0 – 40

Sumber: Gul dan Ceylanoglu (2013)

Sebelum menentukan dasar suatu pondasi perlu diketahui karakteristik material penyusun tanah di bawahnya. Hal tersebut dapat diketahui dengan melakukan beberapa pengujian sampel tanah di laboratorium. Menurut Arif Ghazali Ritonga (2016), pengujian sifat material tanah meliputi:

1. Sifat Fisik Tanah

Tanah terdiri dari tiga fase elemen, yaitu butiran padat (*solid*), air, dan udara. Sehingga sifat fisik tanah digolongkan berdasarkan komposisi tanahnya. Pengukuran atau pengujian sifat fisik tanah meliputi bobot isi, *specific gravity*, porositas, absorpsi, dan *void ratio*.



Gambar 3.2 Tiga Fase Elemen Tanah (Das, 1988)

Bobot isi berhubungan dengan 3 sifat fisik tanah lainnya, yaitu porositas, void ratio, dan saturasi atau derajat kejenuhan. Bobot isi atau volume total tanah terdiri dari volume butiran padat dan volume pori, dimana volume pori ini terdiri dari volume udara dan volume air dalam pori. Secara Matematis, persamaan untuk bobot isi adalah sebagai berikut:

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Dimana:

V : Volume tanah total

V_s : Volume butiran padat

V_v : Volume pori

V_w: Volume air dalam pori

V_a : Volume udara dalam pori

Apabila udara dianggap tidak memiliki berat, maka berat total dapat dirumuskan:

$$W = W_s + W_w$$

Dimana:

83 W : Berat total

W_s: Berat butiran padat

W_w : Berat air

79

Void Ratio atau angka pori merupakan perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat. Persamaan untuk Void Ratio adalah sebagai berikut:

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Dimana:

e : Void Ratio

59 V_v : Volume pori

V_s : Volume butiran padat

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Porositas merupakan perbandingan antara volume pori dengan volume tanah total yang dinyatakan dalam persen. Berikut persamaan untuk Porositas tanah:

$$n = \frac{V_v}{V}$$

Dimana:

n : Porositas (%)

V_v : Volume pori

V : Volume total

Derajat kejenuhan atau saturasi didefinisikan sebagai perbandingan antara volume air dengan volume pori yang dinyatakan dalam persen. Berikut rumus untuk derajat kejenuhan:

$$s = \frac{V_w}{V_v}$$

Dimana:

s : Derajat kejenuhan

V_w: Volume air dalam pori

V_v : Volume pori

Selain Void ratio, porositas, dan derajat kejenuhan, specific gravity juga sangat berhubungan dengan volume tanah. Specific gravity adalah perbandingan antara berat satuan butir dengan berat satuan volume. Persamaan Specific Gravity adalah sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_w}{\gamma_v}$$

Dimana:

G_s : Specific Gravity

γ_w : Berat satuan butir

γ_v: Berat satuan volume

Absorpsi pada sifat tanah yaitu besarnya permeabilitas tanah. Permeabilitas tanah memiliki defnisi yaitu kemampuan tanah untuk mengalirkan tanah atau udara dinyatakan dalam cm/jam (Handayanto, 2009). Permeabilitas tanah juga dapat diartikan

sebagai kualitas tanah untuk meloloskan air atau udara yang diukur berdasarkan besarnya aliran melalui satuan tanah yang telah dijenuhi terlebih dahulu per satuan waktu tertentu (Susanto, 1994).

Besarnya tingkat permeabilitas tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \text{ dengan } A = \pi r^2$$

Dimana:

K : Permeabilitas

Q : Air yang keluar

L : Tebal contoh tanah

A ; Luas permukaan tanah

h : Tinggi muka air tanah

t : Waktu yang dibutuhkan untuk meloloskan air

2. Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanik tanah meliputi uji kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, modulus elastisitas, dan nisbah poisson. Uji kuat tekan (*Unconfined Compressive Strength*) dilakukan dengan menempatkan sebuah contoh batuan yang berbentuk silinder (Panjang : lebar = 2:1) dalam sebuah bangku tekan dan kemudian perlahan diberi tekanan hingga contoh tersebut hancur (Verhoef, 1994). Sebuah silinder batuan tersebut bidang atas maupun bawahnya harus rata dan sejajar satu sama lain. Untuk menghitung kuat tekan suatu material dapat menggunakan persamaan berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

dimana:

f_c' : Kuat tekan (Mpa)

P : Berat beban maksimum yang menyebabkan benda uji hancur (N)

A : Luas penampang benda uji (m²)

Hak Publikasi
SAMUDRA PERU

Uji kuat geser dilakukan untuk menghitung daya dukung tanah, tegangan tanah, tegangan tanah terhadap dinding penahan, dan kestabilan lereng. Kuat geser sendiri merupakan perlawanan internal tanah terhadap tegangan yang bekerja sepanjang bidang geser dalam tanah tersebut, yang dipengaruhi oleh karakteristik intrinsik dan faktor eksternal (Ritonga, Rauf and Jamilah, 2016). Kekuatan geser tanah terdiri dari bagian yang bersifat kohesi dan bagian yang memiliki sifat gesekan. Berikut persamaan untuk mengetahui besarnya kuat geser:

$$S = c' + (\sigma - U) \tan \phi$$

dimana:

S : Kuat geser

c' : Tegangan air pori

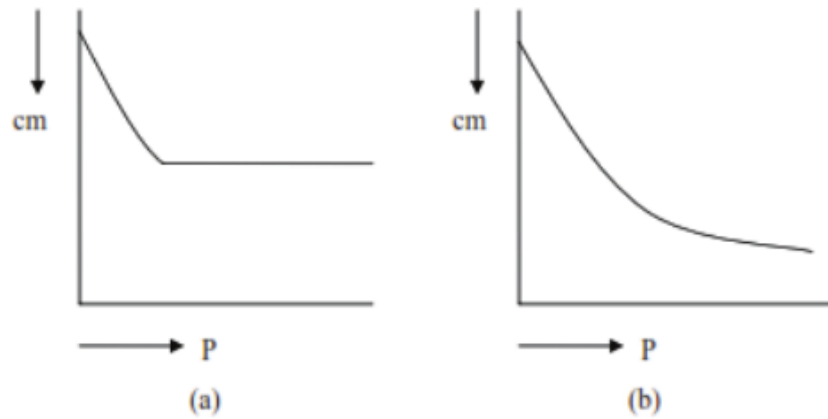
σ : Kohesi

U : Tegangan total

Φ : Sudut geser dalam

Pengukuran tanah pada penentuan pondasi dilakukan untuk memperhitungkan daya dukung tanah agar tidak terjadi konsolidasi. Konsolidasi adalah suatu peristiwa penurunan (*compression*) karena mendapat beban dari atasnya secara tetap atau kontinyu yang diakibatkan oleh suatu konstruksi atau timbunan tanah sehingga terjadi proses pengeluaran air dari pori-porinya. Keadaan ini bisa terjadi apabila tanah dalam keadaan jenuh atau hanya sebagian saja yang jenuh. (Darwis, 2018)

Tanah butir kasar (*granular soil*) terutama pasir akan mengalami kejadian konsolidasi yang cepat dan penuh apabila mendapat tekanan (beban) sehingga grafiknya akan menurun tajam, akhirnya berhenti dan lurus horisontal. Sedangkan Pada tanah berbutir halus (*fine granular soil*) terutama lanau dan lempung akan mengalami penurunan yang lama (*lamban*) apabila mendapat beban sehingga akan berlangsung terus berkonsolidasi. Oleh karena penyelidikan konsolidasi diutamakan untuk tanah berbutir halus (*silt/ lanau, clay/ lempung*).



Gambar 3.3 Grafik Konsolidasi pada: (a) Tanah Butir Kasar dan (b) Tanah Butir Halus

Tingkatan Proses Konsolidasi:

1. Konsolidasi Permulaan (*Initial Consolidation*), yaitu pengurangan volume tanah yang tidak jenuh, pada waktu mendapat beban yang dipergunakan untuk mengeluarkan udara dari rongga udara.
2. Konsolidasi Pertama (*Primary Consolidation*), yaitu pengurangan terus terhadap volume tanah, untuk mengeluarkan air dari rongga yang disertai dengan penggantian beban sehingga menimbulkan tekanan air pori.
3. Konsolidasi Kedua (*Secondary Consolidation*), merupakan pemampatan tanah secara perlahan-lahan sesudah terjadi pengurangan tekanan pori sampai mencapai nol.

G. Penentuan Struktur Tanah dari Sisi Geofisika

Prinsip dari geolistrik adalah metode eksplorasi geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan dibawah permukaan tanah dengan mengalirkan arus dari sumber DC (*Direct Current*) atau arus searah. Batuan memiliki sifat kelistrikan yang menunjukn kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas maka semakin sulit material tersebut dalam menghantarkan arus listrik, begitu pula berlaku sebaliknya. (Hendrajaya and Arif, 1990)

Bumi terdiri dari beberapa lapisan batuan dengan jenis yang berbeda, ³⁶ka masing-masing lapisan mempunyai harga resistivitas tertentu. Tiap-tiap lapisan batuan mempunyai sifat kelistrikan yang berbeda-beda, sifat kelistrikan tersebut tergantung dari kandungan logam ataupun non logam, komposisi mineral, kandungan air, permeabilitas, tekstur, suhu dan umur geologi dari masing-masing lapisan penyusun bumi.

1. Geolistrik untuk Mendeteksi Sebaran Mineral

³Metode Geolistrik resistivitas bertumpu pada analisa distribusi resistivitas batuan. Data yang diperoleh merupakan data nilai resistivitas bawah permukaan. Berdasarkan data tersebut kemudian dilakukan perhitungan *inverse* sehingga diperoleh variasi resistivitas dari suatu pelapisan tanah yang berasosiasi dengan struktur geologi di bawah permukaan (Loke, 1995).

¹⁵Geolistrik ini dapat mendeteksi adanya lapisan tambang yang mempunyai kontras resistivitas dengan lapisan batuan pada bagian atas dan bawahnya. Bisa juga untuk mengetahui perkiraan kedalaman bedrock untuk fondasi bangunan. Metode geolistrik juga dapat untuk ⁸menduga adanya panas bumi atau geotermal di bawah permukaan. Berdasarkan letak (konfigurasi) elektroda-elektroda arus, dikenal beberapa jenis metode geolistrik resistivitas.

Data pengamatan yang diperoleh hasil pengukuran adalah nilai arus (I), beda potensial (V), dan jarak spasi (n). Dari data tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai faktor geometri (K) dan resistivitas (R) sehingga nilai resistivitas semu (ρ) didapatkan dari persamaan 2.12 dan 2.13 dengan menggunakan software Res2Dinv untuk memodelkan kondisi bawah permukaan tanah secara 2 dimensi.

Dari hasil pengolahan data diperoleh penampang lintang resistivitas. Penampang lintang ini berisi sebaran nilai resistivitas yang diwakili oleh warnawarna yang berbeda. Dengan demikian

analisa data dilakukan secara kualitatif terhadap peta penampang lintang resistivitas 2D, sehingga akan diperoleh sebaran mineral yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas.

2. Geolistrik untuk Mendeteksi Potensi Terjadinya Longsor

Perubahan parameter fisik tanah dapat diidentifikasi adanya pergerakan tanah. Gerakan berlangsung dalam lapisan geologi yang homogen, tetapi mengubah karakter fisik lapisan tanah. Survei geofisika yang diterapkan pada kasus pergerakan tanah dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat lateral longsor, kedalaman permukaan longsor dan juga untuk mendeteksi zona jenuh air.

Pengukuran geolistrik dilakukan untuk mengetahui susunan lapisan bawah permukaan tanah, sehingga dapat diketahui penggambaran pergerakan massa tanah, tingkat lateral longsor serta adanya zona bidang gelincir yang memiliki kedalaman serta arah tertentu yang ada pada daerah longsor. Geolistrik berguna dalam mendeteksi zona rek dan pelapukan, seperti dalam rekayasa dan survei tanah. Batuan sedimen yang biasanya lebih berpori dan memiliki kadar air yang lebih tinggi, biasanya memiliki nilai resistivitas rendah dibandingkan dengan batuan beku dan metamorf. Nilai resistivitas sangat tergantung pada porositas batuan dan saturasi air.

Penampang struktur bawah permukaan yang diperoleh dari pengolahan data survei geolistrik resistivitas menunjukkan, bidang gelincir terlihat dari contrast resistivity antar dua batuan yang saling berdekatan. Bila resistivitas lapisan atasnya jauh lebih rendah dari resistivitas lapisan bawahnya, maka sangat memungkinkan terjadi longsor hal ini dikarenakan lapisan tersebut akan gampang terkikis dan mengalir, apalagi bila didukung oleh bidang yang cukup terjal dan curah hujan di wilayah tersebut cukup tinggi. Curah hujan yang tinggi mengakibatkan air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah

kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng dan keluar lereng.

3. Geolistrik untuk Mendeteksi Kandungan Air Tanah

Air tanah secara umum berisi campuran terlarut yang dapat menambah kemampuannya untuk menghantar listrik, meskipun air tanah bukan konduktor listrik yang baik. Harga tahanan jenis batuan tergantung macam-macam materialnya, densitas, porositas, ukuran dan bentuk pori-pori batuan, kandungan air, kualitas dan suhu, dengan demikian tidak ada kepastian harga tahanan. Jenis untuk setiap macam batuan pada akuifer yang terdiri atas material lepas mempunyai harga tahanan jenis yang berkurang apabila makin besar kandungan air tanahnya atau makin besar kandungan garamnya (misal air asin). Mineral lempung bersifat menghantarkan arus listrik sehingga harga tahanan jenis akan kecil.

Keterdapatannya cairan (larutan) atau air dalam sistem rekahan atau ruang antar butir dapat menurunkan nilai tahanan jenis batuan tersebut. Jenis batuan beku, ubahan (metamorf), atau batuan sedimen termampatkan umumnya memiliki tahanan jenis yang tinggi, sebaliknya, jenis batuan lepas seperti pasir, kerikil, apabila jenuh air tawar akan memiliki tahanan jenis sedang, tahanan jenis itu akan lebih rendah lagi apabila air payau atau air asin di dalamnya. Batu lempung yang mengandung air dan larutan berbagai ion di dalamnya mempunyai tahanan jenis rendah. Batuan yang keras, padat dan kering akan menunjukkan nilai tahanan jenis yang tinggi, sedangkan batuan yang lunak mempunyai porositas yang tinggi nilai tahanan jenisnya lebih rendah (Subagyo, H., Nata and Agus, 2000)

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB IV

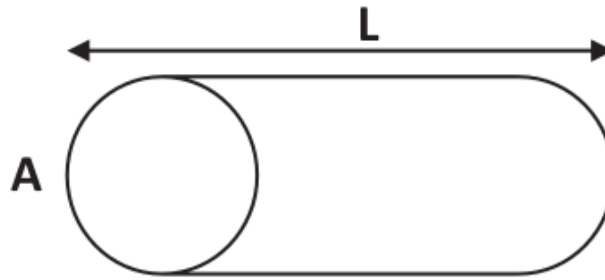
SIFAT KELISTRIKAN BATUAN

Aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral menurut Telford (1990) digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolit, dan konduksi secara dielektrik. Penggolongan tersebut didasarkan pada porositas batuan dan jumlah air yang terperangkap dalam pori-pori batuan.

A. Konduksi secara Elektronik

Konduksi secara elektronik terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis). Resistivitas adalah karakteristik bahan yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Sebaliknya, semakin rendah resistivitas bahan maka semakin mudah bahan tersebut menghantarkan arus listrik (Sulistyowati, 2009).

Konduksi secara elektronik dapat dijelaskan melalui sebuah silinder yang memiliki Panjang L , luas penampang A , dan resistensi R sebagaimana pada gambar berikut:



Gambar 4.1 Silinder Konduktor (Lowrie, 2007)

Berdasarkan silinder konduktor tersebut, maka didapat rumus sebagai berikut:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

Keterangan: 69

ρ : resistivitas (Ωm)

L : Panjang silinder konduktor (m)

A : luas penampang silinder konduktor (m^2)

R : resistensi (Ω)

Resistensi dirumuskan berdasarkan hukum ohm berikut:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dimana: 88

R : resistensi (Ω)

V : beda potensial (volt)

I : kuat arus (ampere)

Rumus resistivitas (ρ) kemudian didapat berdasarkan kedua rumus di atas, yaitu:

$$\rho = \frac{VA}{IL}$$

Berdasarkan rumus resistivitas yang telah didapat tersebut dapat diketahui rumus konduktivitas, dimana konduktivitas batuan merupakan kebalikan dari resistivitas. Sehingga satuan yang digunakan adalah Ω/m .

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{IL}{VA} = \left(\frac{I}{A}\right) \left(\frac{L}{V}\right) = \frac{J}{E}$$

dimana:

J : rapat arus (ampere/m²)

E : medan listrik (volt/m)

(Lowrie, 2007)

B. Konduksi secara Elektrolit

Sebagian besar batuan memiliki resistivitas yang tinggi, sehingga menjadi konduktor yang buruk. Batuan biasanya bersifat porous dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Air tersebut mengandung ion-ion elektrolit yang membawa konduksi arus listrik sehingga batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolit. Konduktivitas dan resistivitas batuan dipengaruhi oleh volume dan susunan pori-porinya. Jika kandungan air dalam batuan semakin banyak maka konduktivitas semakin tinggi, sebaliknya resistivitas akan semakin rendah.

Berikut merupakan Persamaan Archie:

$$\rho_e = \alpha \varphi^{-m} s^{-n} \rho_w$$

dimana:

ρ_e = resistivitas batuan (ohm meter)

φ = porositas

s = fraksi pori-pori berisi air

ρ_w = resistivitas air

α, m, n = konstanta

(Sulistiyowati, 2009)

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

C. Konduksi secara Dielektrik

Konduksi pada batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar maka elektron dalam bahan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti, sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini tergantung pada konduksi dielektrik masing-masing batuan yang bersangkutan (Sulistyowati, 2009).

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB V

RESISTIVITAS BATUAN

A. Resistivitas dan Konduktivitas

16

Batuan dan mineral memiliki sifat fisika yang menunjukkan kemampuan bahan dalam menghantarkan listrik yang bervariasi. Hal ini bergantung pada tingkat konduktivitas dan resistivitas batuan. Resistivitas batuan adalah karakteristik bahan yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka akan semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik. Sebaliknya semakin besar nilai konduktivitas batuan maka semakin mudah untuk menghantarkan arus listrik.

16

Resistivitas pada mineral-mineral logam harganya berkisar $10^5 \Omega\text{m}$, batuan seperti gabbro berkisar $10^7 \Omega\text{m}$. Nilai resistivitas pada batuan lain dengan komposisi yang bermacam-macam akan bervariasi. Range resistivitas maksimum yang mungkin adalah dari $1,6 \times 10^8 \Omega\text{m}$ (perak asli) hingga $10^{16} \Omega\text{m}$ (belerang murni) (Sulistiyowati, 2009). Batuan yang memiliki resistivitas kurang dari $10^5 \Omega\text{m}$ disebut dengan konduktor, sedangkan yang memiliki nilai resistivitas lebih dari $10^7 \Omega\text{m}$ disebut dengan isolator.

Berdasarkan nilai hambatan jenisnya, batuan dibedakan menjadi tiga, yaitu:

- Konduktor baik, yaitu batuan yang memiliki nilai resistivitas antara $10^{-8} < \rho < 1 \Omega\text{m}$.
- Konduktor pertengahan, yaitu batuan yang memiliki nilai resistivitas antara $1 < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$.
- Isolator, yaitu batuan yang memiliki nilai resistivitas antara $\rho > 10^7 \Omega\text{m}$.

Berikut merupakan nilai resistivitas berbagai batuan menurut Telford (1990):

Tabel 5.1 Nilai Resistivitas Material-Material Bumi

No.	Material	Resistivitas (Ωm)
1	Pirit (<i>Pyrite</i>)	0,01 - 100
2	Kwarsa (<i>Quartz</i>)	$500 - 8 \times 10^5$
3	Kalsit (<i>Calcite</i>)	$10^{12} - 10^{13}$
4	Batuan Garam	$30 - 10^{13}$
5	Granit	$200 - 10^5$
6	Andesit (<i>Andesite</i>)	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
7	Gamping (<i>Limestone</i>)	$500 - 10^4$
8	Batu Pasir (<i>Sandstone</i>)	$200 - 8000$
9	Serpit (<i>Shales</i>)	$20 - 2000$
10	Pasir (<i>Sand</i>)	$1 - 1000$
11	Lempung (<i>Clay</i>)	$1 - 100$
12	Air Tanah (<i>Ground Water</i>)	$0,5 - 300$
13	Air Asin (<i>Sea Water</i>)	0,2
14	Kerikil Kering (<i>Dry Gravel</i>)	$600 - 10^3$
15	Aluvium (<i>Alluvium</i>)	$10 - 800$
16	Kerikil (<i>Gravel</i>)	$100 - 600$

Sumber: (Telford, 1990)

B. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Nilai Resistivitas Batuan

Tahanan jenis batuan yang ada di berbagai macam komposisi mineral di bumi tidak mempunyai harga tahanan jenis tertentu akan tetapi nilainya mempunyai jangkauan (*range*) tertentu. Secara teoritis setiap batuan mempunyai daya hantar listrik dan harga tahanan jenisnya masing - masing. Batuan yang sama belum tentu memiliki nilai tahanan jenis yang sama. Sebaliknya harga tahanan jenis yang sama bisa dimiliki oleh batuan yang berbeda jenis. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai tahanan jenis antara lain: komposisi mineral pada batuan, kondisi batuan, komposisi benda cair pada batuan, dan faktor eksternal lainnya. Beberapa hal yang berpengaruh pada tahanan jenis suatu batuan adalah:

- a. Batuan sedimen yang bersifat lepas (urai) memiliki nilai tahanan jenis lebih rendah jika dibandingkan dengan batuan sedimen padat dan kompak.
- b. Batuan beku dan metamorf (ubahan) mempunyai nilai tahanan jenis yang tergolong tinggi.
- c. Batuan yang basah dan mengandung air, nilai tahanan jenisnya rendah, dan semakin lebih rendah lagi bila air yang dikandungnya bersifat payau atau asin.

Selain faktor tersebut dalam pengambilan data lapangan perlu diperhitungkan faktor luar seperti: kabel, tiang listrik, dan saluran pipa logam dapat mempengaruhi akurasi data lapangan.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB VI

KONSEP DASAR GEOLISTRIK

A. Geolistrik Pasif

Geolistrik Pasif merupakan metode geolistrik yang tidak perlu menginjeksikan arus listrik pada permukaan bumi. Metode Geolistrik pasif memanfaatkan kelistrikan alam atau energi yang telah ada. Prinsip kerja pada geolistrik pasif adalah partikel-partikel bermuatan di Ionosfer akibat emisi matahari diduga sebagai penyebab adanya arus bolak-balik yang mengalir di bagian atas bumi. Metode geolistrik pasif ini meliputi Metode Potensial Diri (*Self Potential*) dan Metode *Magnetotelluric*

B. Geolistrik Aktif

Geolistrik aktif merupakan metode yang menggunakan sumber arus listrik untuk eksplorasi bawah permukaan bumi. Metode ini dilakukan dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah atau batuan, kemudian efek potensial yang diukur pada dua titik permukaan tanah tersebut akan menunjukkan tingkat resistivitas batuan yang berbeda tiap jenis batuan. Beberapa metode geolistrik aktif, yaitu Metode Resistivitas dan Polarisasi terimbas.

C. Resistivitas Semu

Bumi diasumsikan mempunyai sifat homogen isotropis yang digunakan sebagai dasar dalam metode geolistrik tahanan jenis. Tahanan jenis yang terukur merupakan tahanan jenis yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Karenanya, harga resistivitas yang diukur seolah-olah merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja, Resistivitas terukur sebenarnya adalah resistivitas semu (ρ_a) (Reynolds, 2005).

Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Sebagai contoh medium berlapis yang ditinjau misalnya terdiri dari dua lapis yang mempunyai resistivitas berbeda (ρ_1 dan ρ_2) dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang mempunyai satu harga resistivitas yaitu sebesar ρ_a , jadi ρ_a ini merupakan harga semu. Demikian juga dengan konduktansi lapisan fiktif sama dengan jumlah konduktansi masing-masing lapisan $\sigma_a = \sigma_1 + \sigma_2$.



Gambar 6.1 Konsep Resistivitas Semu pada Medium Berlapis

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Nilai resistivitas semu dapat dinyatakan dalam persamaan:

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

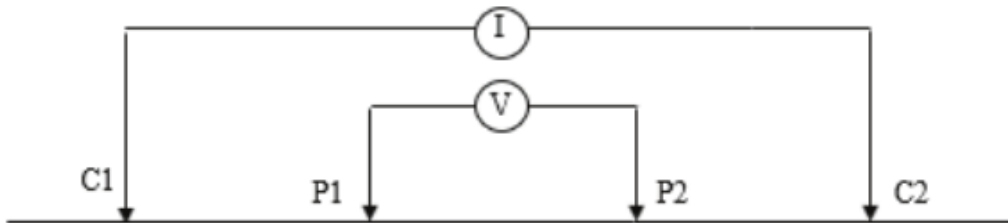
$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]}$$

106 Dimana K adalah faktor geometri, yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus. Dengan mengukur ΔV dan I, maka dapat ditentukan nilai resistivitas (Reynolds, 2005).

D. Aliran Listrik di Bumi

Aliran listrik di dalam bumi dapat diketahui dengan memasukkan dua elektroda dengan potensial yang dekat pada titik permukaan akan dipengaruhi oleh kedua arus elektroda tersebut. Elektroda yang akan menginjeksikan arus ke bawah permukaan bumi adalah C_1 dan C_2 . Perbedaan potensial yang dihasilkan kemudian akan ditangkap oleh elektroda potensial, yaitu P_1 dan P_2 .

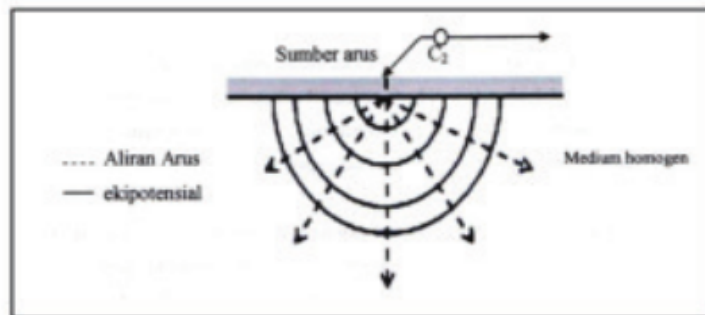


Gambar 6.2 Sumber Arus 2 Titik pada Permukaan Homogen Isotropis (Telford, 1990)

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

a. Titik Arus Tunggal di Permukaan Bumi

Metode pendekatan yang paling sederhana dalam mempelajari secara teoritis mengenai aliran arus listrik di dalam bumi adalah bumi dianggap homogen dan isotropis. Jika sebuah elektroda tunggal dialiri arus listrik diinjeksikan pada permukaan bumi yang homogen isotropis, maka akan terjadi aliran arus yang menyebar dalam tanah secara radial dan apabila udara di atasnya memiliki konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola (Telford, 1990)



Gambar 6.3 Sumber Arus Berupa Titik pada Permukaan Bumi Homogen (Telford, 1990)

Aliran arus yang keluar dari titik sumber membentuk medan potensial dengan kontur ekuipotensial berbentuk permukaan setengah bola di bawah permukaan. Sehingga arus mengalir melalui permukaan setengah bola, maka arus yang mengalir melewati permukaan tersebut adalah:

$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -2\sigma A$$

Dimana:

J = rapat arus listrik,

$$J = -\sigma \frac{dv}{dr}$$

Konstanta integrasi A dalam setengah bola adalah:

$$A = \frac{I\rho}{2\pi}$$

Maka diperoleh:

$$V = -\frac{A}{r} \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right)$$

dimana:

ΔV = beda potensial

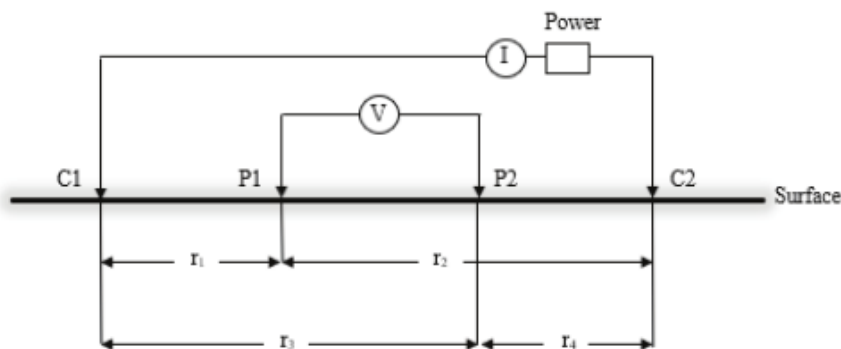
I = kuat arus yang dilalui oleh bahan (Ampere)

Maka persamaan ekuipotensial permukaan setengah bola yang tertanam di bawah permukaan tanah diketahui melalui nilai resistivitas listrik yang diberikan oleh medium, yaitu:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I}$$

b. Dua titik arus di Permukaan Bumi

Elektroda arus C1 yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus C2, dan diantaranya terdapat dua elektroda potensial P1 dan P2 yang dibuat dengan jarak tertentu, maka potensial yang berada di dekat titik elektroda tersebut bisa dipengaruhi oleh kedua elektroda arus.



Gambar 6.4 Dua Pasang Elektroda Arus dan Elektroda Potensial pada Permukaan Medium Homogen Isotropis dengan Resistivitas ρ (Telford, 1990)

Potensial P1 yang disebabkan oleh arus C1, adalah:

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1}$$

Dimana

$$A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi}$$

Arus pada kedua elektroda adalah sama dan arahnya berlawanan, sehingga potensial P1 yang disebabkan arus di C2 adalah:

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2}$$

Dimana

$$A_2 = -A_1 = \frac{I\rho}{2\pi}$$

Arus pada dua elektroda besarnya sama dan berlawanan arah, sehingga diperoleh potensial total di P1:

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

Potensial total di P2 dihitung dengan cara yang sama, yaitu:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right)$$

Dengan demikian dapat diperoleh beda potensial antara titik P1 dan P2, yaitu:

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

Dimana:

ΔV : beda potensial antara P1 dan P2

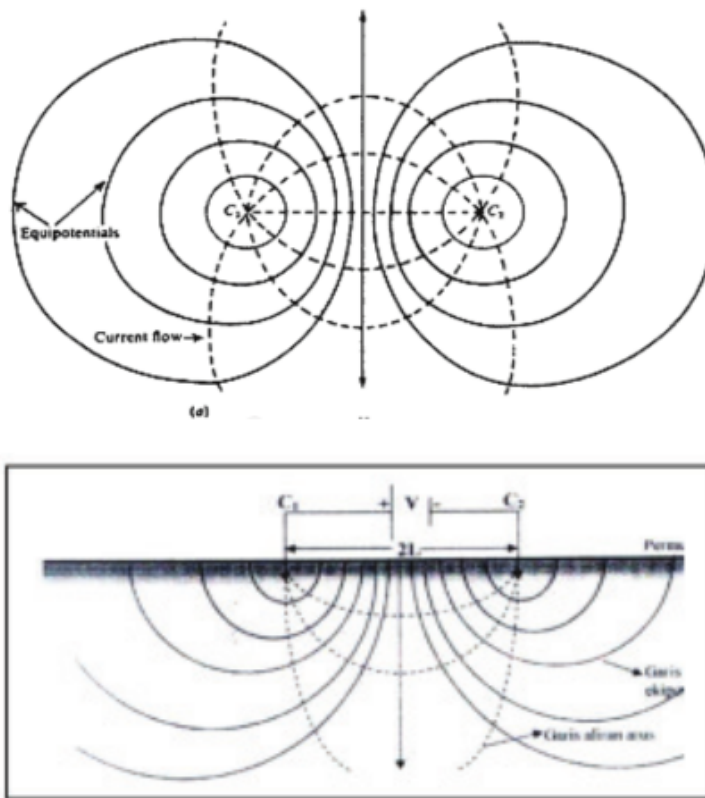
I : arus (A)

ρ : resistivitas (Ωm)

r_1 : jarak C1 ke P1 (m)

- r2 : jarak C2 ke P1 (m)
- r3 : jarak C1 ke P2 (m)
- r4 : jarak C2 ke P2 (m)

Susunan empat elektroda yang menyebar secara normal digunakan dalam resistivitas medan gaya. Garis aliran arus dan bidang equipotensial yang berubah bentuk pada konfigurasi ini disebabkan oleh dekatnya elektroda arus yang kedua C2. Berikut merupakan gambar perubahan bentuk dari equipotensial dalam wilayah diantara arus elektroda dengan garis arus orthogonal.



Gambar 6.5 Perubahan Bentuk pada Bidang Equipotensial dan Garis Aliran Arus untuk Dua Titik Sumber Arus pada Permukaan Tanah Homogen (Telford, 1990)

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB VII

METODE GEOLISTRIK

⁶²
Geolistrik merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menyelidiki struktur bawah permukaan tanah dengan menggunakan sifat-sifat kelistrikan batuan, formasi batuan, atau satuan batuan di dalam permukaan bumi. Terdapat beberapa metode geolistrik menurut (Reynolds, 2005)

A. Metode Resistivitas / Tahanan Jenis

¹⁴
Metode geolistrik resistivitas merupakan salah satu dari metode geolistrik yang mempelajari sifat resistivitas dari lapisan batuan di dalam bumi. Pada metode ini arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus dan dilakukan pengukuran beda potensial melalui dua buah elektroda potensial, hasilnya berupa beda potensial yang terukur pada elektroda di permukaan. Dari beda potensial yang diukur dapat ditentukan variasi resistivitas masing-masing lapisan di bawah titik pengukuran (Reynolds, 2005).

Di dalam metode geolistrik resistivitas ini terdapat 2 macam metode dalam pengambilan datanya, yaitu: metode geolistrik resistivitas mapping dan metode geolistrik resistivitas sounding.

Metode resistivitas mapping merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas lapisan tanah bawah permukaan secara horizontal. Sedangkan metode geolistrik resistivitas sounding bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di dalam permukaan bumi secara vertikal.

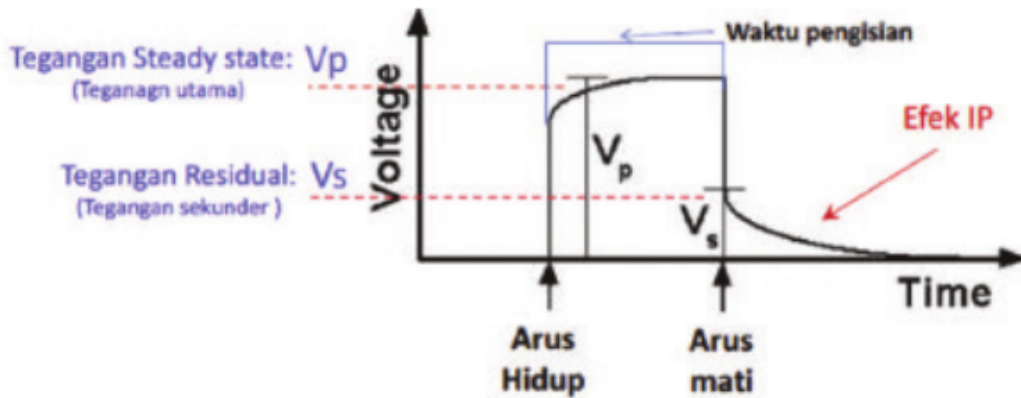
B. Metode Polarisasi Terimbas (*Induce Polarization*)

Metode Polarisasi Terimbas (*Induce Polarization*) merupakan metode geolistrik aktif yang prinsip kerjanya dilakukan dengan cara memutuskan arus listrik yang diinjeksikan ke dalam permukaan bumi. Metode Polarisasi terimbas memiliki kemiripan dengan Metode Geolistrik Resistivitas dalam pemakaian arus listrik yang dikirimkan transmitter ke dalam tanah melalui dua buah elektroda arus dan perbedaan tegangan (*Voltage*) diukur diantara dua elektroda potensial.

Pada tanah yang tidak mengandung mineral, jika aliran arus diputus, tegangan antara elektroda potensial dengan segera turun menjadi nol. Akan tetapi jika tanah mengandung sejumlah mineral, kebanyakan mineral sulfide (seperti *pyrite*, *calcoppyrite*, *galena*) tegangan yang diperoleh tidak langsung nol tetapi turun perlahan-lahan menuju nol setelah beberapa detik. Efek tersebut diketahui sebagai efek *Induced Polarization* (IP). Mineral yang menyebabkannya disebut *Polarizable*. Amplitudo dari penurunan tegangan itu secara kasar sebanding dengan kualitas mineral yang terpolarisasi di sekitar 4 (empat) elektroda tersebut.

Mekanisme Metode Polarisasi terimbas dijelaskan melalui mekanisme pergerakan arus listrik yang melewati mineral logam. Polarisasi elektroda terjadi pada permukaan mineral logam, dimana arus listrik yang mengalir akan berubah dari elektrolit menjadi elektronik. Kumpulan muatan menghasilkan tegangan yang cenderung berlawanan aliran arus listrik yang melewati *interface* dan partikel yang disebut terpolarisasi. Ketika arus diputus, potensial residual masih ada pada partikel, karena ikatan muatan ionik, tetap

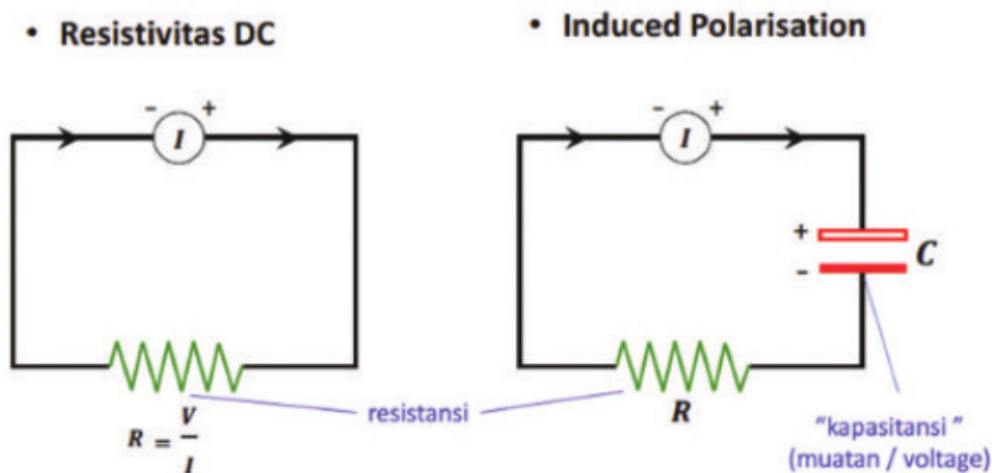
terus berkurang secara kontinu, dan secara perlahan ion berdifusi kembali ke pori elektrolit, yang memberikan efek polarisasi terinduksi (Parasnis, 1973).



Gambar 7.1 Ilustrasi Pengisian dan Pengosongan Arus yang Menunjukkan Efek IP (Syukri, 2020)

26

Metode ini mengukur variasi transient jangka pendek sebagai respon potensial dari arus yang awalnya diinjeksikan lalu dihilangkan dari dalam tanah. Bila arus listrik diinjeksikan pada tanah, maka tanah berperilaku seperti sebuah kapasitor. Maka nilai atau hasil yang dapat diamati adalah polarisasi hasil induksi arus (Reynolds, 2005)



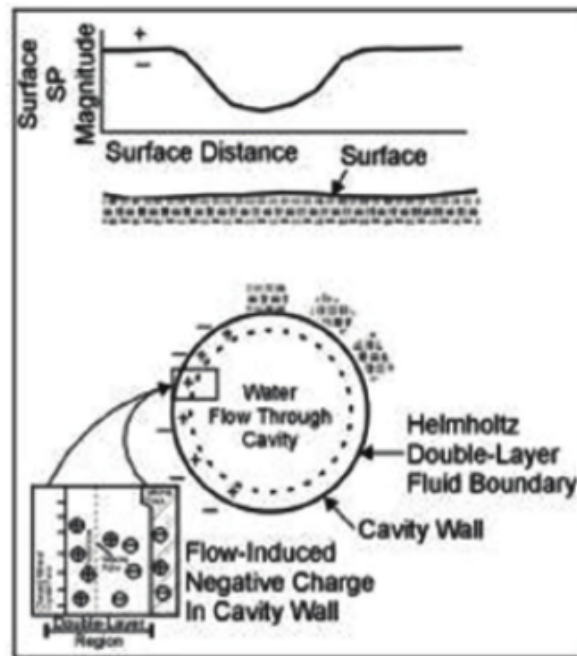
Gambar 7.2 Prinsip Metode *Induce Polarisation* yang Berperilaku sebagai Kapasitor (Syukri, 2020)

C. Metode Potensial Diri (*Self Potential/ SP*)

Metode Potensial Diri (*Self Potential/ SP*) merupakan metode pasif, karena pengukurannya dilakukan tanpa menginjeksikan arus listrik melalui permukaan tanah. Perbedaan potensial alami tanah diukur melalui dua titik permukaan tanah. Potensial yang dapat diukur berkisar antara beberapa milivolt (mV) hingga 1 volt. Metode Potensial Diri (*Self Potential-SP*) merupakan metode geofisika yang paling tua tanpa menginjeksikan arus, pertama kali ditemukan pada tahun 1830 oleh Robert Fox dengan menggunakan elektrode tembaga yang dihubungkan ke sebuah galvanometer untuk mendeteksi lapisan coppersulfida di Carnwall (*England*) (Syukri, 2020).

Prinsip dasar pengukuran dengan metode SP adalah untuk mengukur tegangan statis alam (*Static Natural Voltage*) yang berada pada titik-titik di permukaan tanah. Pengukuran menggunakan Metode Potensial Diri ini cukup sederhana, karena hanya menggunakan alat ukur tegangan yang peka dan dua elektroda khusus (*Porous Pot Electrode*). Elektroda yang bersentuhan dengan permukaan tanah harus merupakan jenis nonpolarisasi yang disebut dengan Porous Pot. Sedangkan prinsip kerja pada percobaan metode SP yaitu dengan memanfaatkan empat elektrode, dimana dua elektroda dihubungkan dengan voltmeter melalui kabel sebagai base (elektroda tetap), dan elektroda lainnya dihubungkan dengan voltmeter sebagai rover (elektroda bergerak).

Metode *Self Potential* banyak digunakan untuk meneliti air tanah, panas bumi, dan untuk membantu pendeteksian patahan dekat permukaan. Suatu proses mekanik yang menghasilkan potensial elektrolisis, terdiri dari tiga elektrokimia yang terdiri dari potensial *liquid-junction*, potensial shale, dan potensial mineralisasi yang merupakan suatu proses yang menjelaskan mekanisme dari Self Potential (Reynolds, 2005).



Gambar 7.3 Skema Aliran Induksi Potensi Negatif Metode Magnetotelluric (Nyquist and Corry, 2002)

Metode *Magnetotelluric* merupakan metode geofisika yang memanfaatkan medan elektromagnetik alami sebagai sumber gelombang atau sumber energi untuk mengetahui struktur tahanan jenis bawah permukaan. Metode ini merupakan metode sounding yang mengukur secara pasif medan elektromagnetik alam yang dipancarkan oleh bumi. Medan elektromagnetik yang digunakan mempunyai rentang frekuensi panjang, sehingga mampu menyelidiki bawah permukaan dari kedalaman hingga ribuan meter.

Medan listrik dan medan magnet berhubungan dengan arus telurik yang mengalir di bumi sebagai akibat dari variasi medan elektromagnetik alami bumi yang bergantung pada sifat kelistrikan terutama konduktivitas medium. Gelombang elektromagnetik yang sampai di permukaan tanah, akan menginduksi arus pada lapisan-lapisan di bawah permukaan bumi yang dianggap konduktor. Arus hasil induksi ini disebut arus telluric atau arus eddy.

Arus telluric pada lapisan-lapisan bumi menyebabkan timbulnya medan elektromagnetik sekunder yang kemudian akan

dipancarkan kembali ke seluruh arah sampai di permukaan bumi. Medan elektromagnetik inilah yang akan dicatat oleh penerima untuk memperoleh informasi tentang pengukuran lapisan di bawah permukaan bumi. Informasi yang diperoleh adalah fluktuasi medan listrik dan fluktuasi medan magnet yang dihasilkan rapat arus telluric pada masing-masing lapisan.

Metode *Magnetotelluric* memanfaatkan suatu medan elektromagnetik alam dengan frekuensi antara 10 Hz hingga 10^{-4} Hz. Semakin kecil frekuensi yang digunakan, maka informasi kedalaman yang diperoleh semakin dalam. Maka metode ini dapat digunakan untuk kepentingan investigasi bawah permukaan dengan kedalaman hingga ribuan meter.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB VIII

KONFIGURASI GEOLISTRIK

Terdapat beberapa konfigurasi elektroda yang dapat digunakan dalam pengukuran geolistrik. Konfigurasi merupakan susunan eleroda yang digunaan dalam metode Geolistrik. Masing-masing konfigurasi memiliki kelebihan dan kekurangan sesuai dengan karakteristik konfigurasi tersebut. Sebelum melakukan pengukuran, harus diketahui dengan jelas tujuan pengukuran dan kondisi medan atau tipe struktur yang akan dipetakan. Menurut Loke (1995), karakteristik yang perlu diperhatikan dalam pemilihan konfigurasi elektroda adalah sensitivitas konfigurasi, kedalaman investigasi, dan cakupan data horizontal.

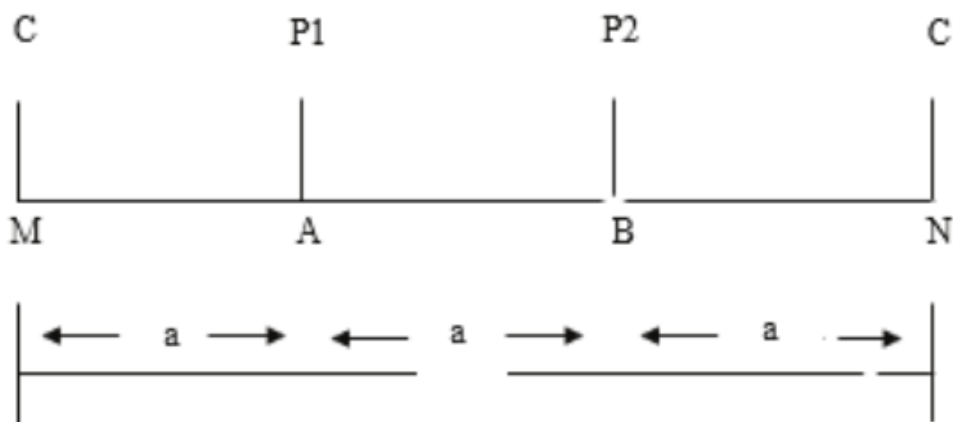
Sensitivitas konfigurasi adalah suatu koefisien yang menggambarkan tingkat perubahan nilai tahanan jenis bawah permukaan dan akan mempengaruhi potensial terukur. Koefisien sensitivitas bergantung pada faktor geometri elektroda yang digunakan. Kedalaman investigasi merupakan kemampuan konfigurasi elektroda dalam memetakan kedalaman maksimum yang dapat diukur. Kedalaman maksimum yang dapat dipetakan dapat diperoleh dengan cara mengalikan spasi elektroda "a" maksimum atau Panjang bentangan maksimum "L" dengan faktor kedalaman.

Cakupan data horizontal adalah kemampuan konfigurasi elektroda untuk menghasilkan banyaknya data secara lateral atau horizontal.

A. Konfigurasi Wenner

Metode konfigurasi geolistrik ini diperkenalkan oleh Wenner. Konfigurasi Wenner cukup populer digunakan dalam pengambilan data geolistrik, baik 1D atau VES (*Vertical Electrical Sounding*) maupun mapping 2D atau ERT (*Electrical Resistivity Tomography*). Konfigurasi ini digunakan dalam pengambilan data secara lateral atau mapping dan membutuhkan tempat yang sangat luas.

Konfigurasi Wenner tersusun atas dua elektroda arus dan dua elektroda potensial. Elektroda potensial ditempatkan pada bagian dalam dan elektroda arus ditempatkan pada bagian luar. Jarak antar elektroda sebesar a . Pengukuran dilakukan dengan memindahkan semua elektroda secara bersamaan ke arah luar dengan jarak a selalu sama ($AM = NB = a$ dan $AN = MB = 2a$). Jarak antara elektroda arus adalah tiga kali jarak elektroda potensial dengan titik sounding sebesar $a/2$, sehingga jarak masing-masing elektroda arus dengan titik soundingnya adalah $3a/2$. Akuisisi data lapangan susunan elektroda arus dan potensial diletakkan simetri dengan titik sounding.



Gambar 8.1 Susunan Elektroda Arus dan Potensial pada Konfigurasi Wenner (Loke, 1995)

Berdasarkan gambar tersebut, maka didapat persamaan:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)\right]}$$

$$K = 2\pi\alpha$$

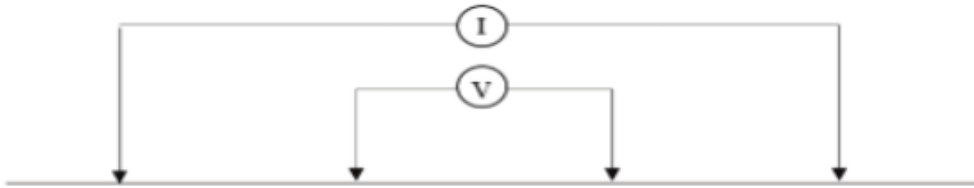
Sehingga faktor geometri untuk konfigurasi Wenner adalah:

$$K_w = 2\pi\alpha$$

$$\rho = K_w R$$

Kemudian nilai tahanan jenis semu pada konfigurasi Wenner adalah sebagai berikut:

$$\rho_a = 2\pi\alpha \Delta V/I$$



Gambar 8.2 Konfigurasi Wenner (Milsom, 2003)

Pengambilan geolistrik yang ideal dilakukan pada permukaan tanah yang memiliki topografi landai, namun kenyataan di lapangan topografi bervariasi. Maka dari itu kemiringan permukaan tanah dapat diabaikan jika kemiringan $< 15^\circ$ (Milsom, 2003).

B. Konfigurasi Schlumberger

Metoda geolistrik konfigurasi Schlumberger merupakan metoda yang banyak digunakan untuk mengetahui karakteristik lapisan batuan bawah permukaan dengan biaya survei yang relatif murah. Konfigurasi Schlumberger merupakan teknik sounding, jarak antar arus dan elektrode bervariasi, sehingga yang di pindahkan hanya bentangan arus. Konfigurasi ini paling sering digunakan untuk mencari sumber air. Idealnya jarak MN (potensial) dibuat

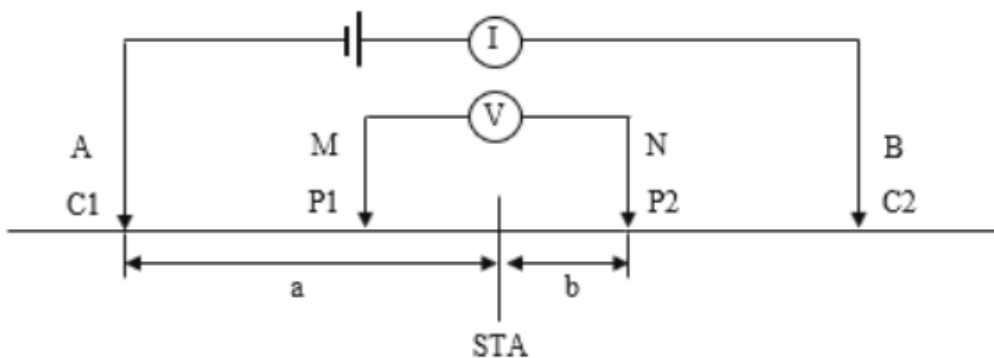
sekecil – kecilnya, sehingga jarak MN secara teoritis tidak berubah, dikarenakan keterbatasan kepekaan alat ukur, maka ketika jarak AB (arus) sudah relatif besar maka jarak MN hendaknya diubah.

Perubahan jarak MN hendaknya tidak lebih besar seperlima jarak AB. Kelebihan konfigurasi Schlumberger sebagai berikut :

- Mampu mendeteksi adanya non-homogenitas lapisan batuan pada permukaan (membandingkan nilai resistivitas semu ketika terjadi perubahan jarak electrode MN/2).
- Mudah untuk digunakan untuk pemula (pemindahan elektrode relatif lebih praktis).

Kelemahan konfigurasi Schlumberger sebagai berikut:

- Pembacaan tegangan pada elektrode MN lebih kecil ketika jarak AB yang relative jauh, sehingga diperlukan multimeter yang mempunyai karakteristik '*high impedance*' dengan akurasi tinggi (mendisplay tegangan minimal empat digit atau 2 digit di belakang koma).
- Memerlukan peralatan pengirim arus yang mempunyai tegangan listrik DC yang sangat tinggi untuk mengatasi pembacaan tegangan MN yang kecil.



Gambar 8.3 Konfigurasi Elektrode Schlumberger
(Maemuna, Darsono and Legowo, 2017)

C. Konfigurasi Dipole – Dipole

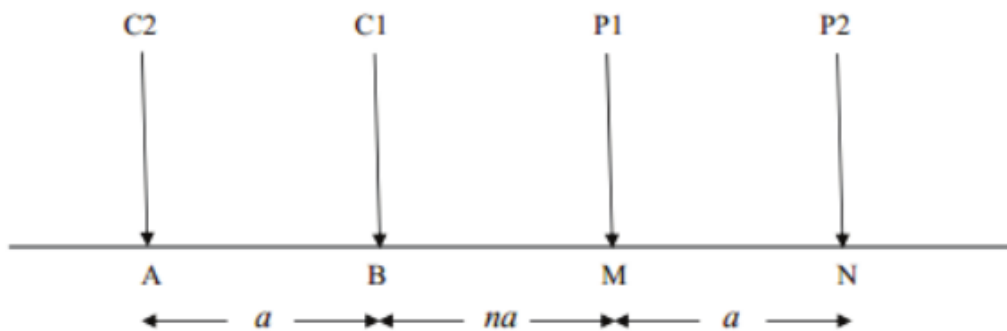
52

Metode geolistrik resistivitas konfigurasi dipole-dipole dapat diterapkan untuk tujuan mendapatkan gambaran bawah permukaan pada obyek yang penetrasinya relatif lebih dalam dibandingkan dengan metode sounding lainnya seperti konfigurasi wenner dan konfigurasi schlumberge. Metode ini sering digunakan dalam survei resistivitas karena rendahnya efek elektromagnetik yang ditimbulkan antara sirkuit arus dan potensial (Loke, 1995).

103

Susunan elektroda konfigurasi dipole-dipole dapat dilihat pada gambar 7.3. Spasi antara dua elektroda arus dan elektroda potensial sama yaitu a . Konfigurasi ini mempunyai faktor lain yaitu n yang merupakan rasio jarak antara elektroda C1 dan P1 ke C2 – C1 atau P1 – P2 dengan jarak pisah a .

Pengukuran ini dilakukan dengan memindahkan elektroda potensial pada suatu penampang dengan elektroda arus tetap, kemudian pemindahan elektroda arus pada spasi n berikutnya diikuti oleh pemindahan elektroda potensial sepanjang penampang seterusnya hingga pengukuran elektroda arus pada titik terakhir di penampang itu.



Gambar 8.4 Elektroda Arus dan Potensial pada Konfigurasi Dipole-Dipole (Reynolds, 2005)

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Nilai resistivitas semu dari konfigurasi dipole-dipole adalah:

$$\rho = K.R$$

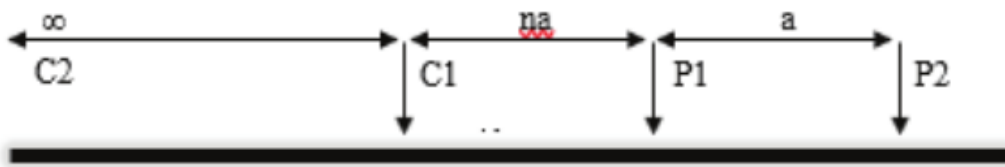
dengan K adalah faktor geometri

$$K = n(n+1)(n+2)\pi a$$

D. Konfigurasi Pole – Dipole

Pole-dipole merupakan salah satu konfigurasi yang dapat digunakan jika ingin melakukan pendugaan atau investigasi geologi bawah permukaan yang kurang dari 500m dibawah permukaan tanah. Konfigurasi pole-dipole memiliki penetrasi yang lebih dalam $\pm 65\%$ dibandingkan konfigurasi dipole-dipole, kelemahan dari konfigurasi pole-dipole adalah tingkat akurasi dari posisi benda atau obyek yang kurang akurat dibandingkan konfigurasi dipole-dipole, hal ini disebabkan oleh konfigurasi elektrode yang tidak simetris.

Konfigurasi pole dipole jarak antar arus dan antar elektrode berada dalam satu garis dimana jarak antar elektrode arus tidak terbatas. Pada konfigurasi pole ipole digunakan satu elektrode arus dan dua elektrode potensial. Untuk elektrode arus C2 ditempatkan pada sekitar lokasi penelitian dengan jarak minimum 5 kali spasi terpanjang C1-P1



Gambar 8.5 Konfigurasi Elektrode Pole-Dipole
(Andriyani, S. dan A.H. Ramelan Sutarno, 2010)

Pada gambar 7.4 dimana C1 dan C2 adalah elektrode arus P1 dan P2 adalah elektrode potensial, a adalah spasi elektrode, n adalah perbandingan jarak antara elektrode C1 dan P1 atau banyaknya lapisan pengukuran dengan spasi "a", ∞ adalah jarak elektrode arus (C2) yang dipasang tidak terhingga. Faktor geometri adalah besaran

koreksi posisi kedua elektrode potensial terhadap⁹⁰ letak kedua electrode arus. Berdasarkan letak elektrode maka faktor geometri untuk konfigurasi pole dipole adalah

$$K = 2 \pi n (n^2 + n)$$

Konfigurasi pole-dipole ini menghitung arus yang digunakan dari jarak tidak terhingga, sehingga tegangan yang diperoleh nilainya bervariasi. Gambar 4.2 merupakan ilustrasi penempatan awal elektrode untuk konfigurasi Pole Dipole di mana elektrode arus C2 terletak jauh di luar jalur rencana pengukuran. Sebagai contoh, jika kita melakukan pengukuran resistivity dari titik 0 ke arah kanan dari gambar ilustrasi di bawah ini sepanjang 1000 m, maka penempatan electrode arus C2 bisa diletakkan di sisi kiri dari titik 0 sejauh 1000 m pula ke arah kiri.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

BAB IX

PENGUKURAN DAN INTERPRETASI

Pengukuran Geolistrik sangat bermanfaat dalam berbagai bidang seperti hidrologi, geologi, Teknik sipil, dan lain-lain. Melalui pengukuran geolistrik ini bisa diketahui informasi kondisi bawah permukaan tanah. Pada bidang Teknik Sipil, UNHASY Jombang telah melakukan pengukuran geolistrik untuk menentukan prakiraan keberadaan akuifer air tanah pada lokasi rencana pembangunan Gedung Teknik UNHASY Jombang.

A. Penentuan Sebaran Aliran Air Bawah Permukaan

Gedung B UNHASY dibangun di atas tanah³² dengan struktur pondasi tiang pancang kedalaman sampai meter. Tahap penimbunan merupakan tahapan yang tidak pernah lepas dari proses konstruksi. Akibat penimbunan ini maka air pori dalam tanah akan mengalir dan mengakibatkan volume dari tanah tersebut mengecil, istilah ini sering disebut dengan konsolidasi. Selain konsolidasi tanah perlu juga diketahui kondisi permukaan bawah tanah (sub surface), terutama untuk menentukan perkiraan keberadaan akuifer airtanah.

Waktu pengukuran adalah pada tanggal 15 Juli 2018. Pengukuran geolistrik ini dilakukan sebanyak lima titik VES (Vertical Vertical

Electrical Sounding). Metode Geolistrik yang digunakan pada pengukuran ini adalah Metode Resistivitas. dengan konfigurasi Wenner Schlumberger.



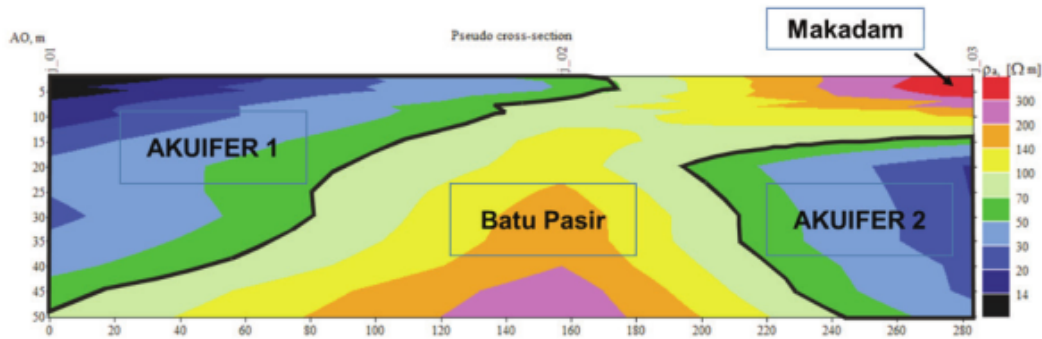
Gambar 9.1 Lokasi Pertama Pengambilan Data

Pengukuran geolistrik pada lima titik VES (*Vertical Vertical Electrical Sounding*) dibuat menjadi 2 buah lintasan, yaitu lintasan J-1, J-2, J-3 dan lintasan J-4, J-2, J-5. Lintasan tersebut yang akan dibuat model penampang dalam 2D.

1. Lintasan J-1, J-2 dan J-3

Lintasan J-1, J-2 dan J-3 berarah barat – timur dengan panjang lintasan 283 meter dan kedalam vertical 50 meter. Pada lintasan ini diperkirakan ada dua buah akuifer air tanah dengan nilai resistivitas 14 – 70 Ω m. Akuifer airtanah 1 terdapat pada titik J-1 dengan kedalam

maksimal sekitar 50 m di bawah permukaan tanah dan pada titik J-2 dengan kedalaman maksimal sekitar 10 meter di bawah permukaan tanah. Akuifer 2 berada di titik J-3 dengan kedalaman antar 15 – 50 meter dibawah permukaan tanah dengan arah pelamparan 80 meter ke arah barat dari titik J-3. Litologi akuifer di dominasi oleh satuan batu pasir.



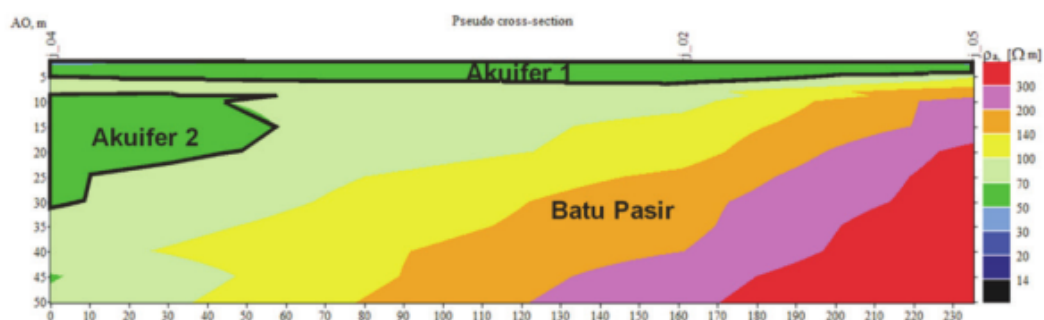
Gambar 9.2 Penampang 2D Lintasan J-1, J-2 dan J-3

2. Lintasan J-4, J-2 dan J-5

43

Lintasan J-4, J-2 dan J-5 berarah utara – selatan dengan panjang lintasan 235 meter dengan kedalaman vertical 50 meter dari bawah permukaan tanah. Lintasan J-4, J-2 dan J-5 mempunyai arah lintasan utara – selatan, seperti lintasan J-1, J-2 dan J-3, lintasan J-4, J-2 dan J-5 diperkirakan mempunyai 2 akuifer dengan nilai resistivitas antara 14 – 70 Ωm . Akuifer 1 pada lintasan ini terdapat sepanjang titik J-4, J-2 dan J-5 dengan kedalaman antar 1 – 5 meter dari permukaan tanah. Akuifer 2 diperkirakan terletak pada titik J-4 dengan kedalaman antara 10 – 3 meter dari bawah permukaan tanah dengan arah pelamparan makin menipis ke arah selatan sejauh 60 meter dari titik J-4. Litologi akuifer di dominasi oleh satuan batu pasir.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU



Gambar 9.3 Penampang 2D Lintasan J-4, J-2 dan J-5

B. Analisis Struktur Lapisan Bawah Permukaan

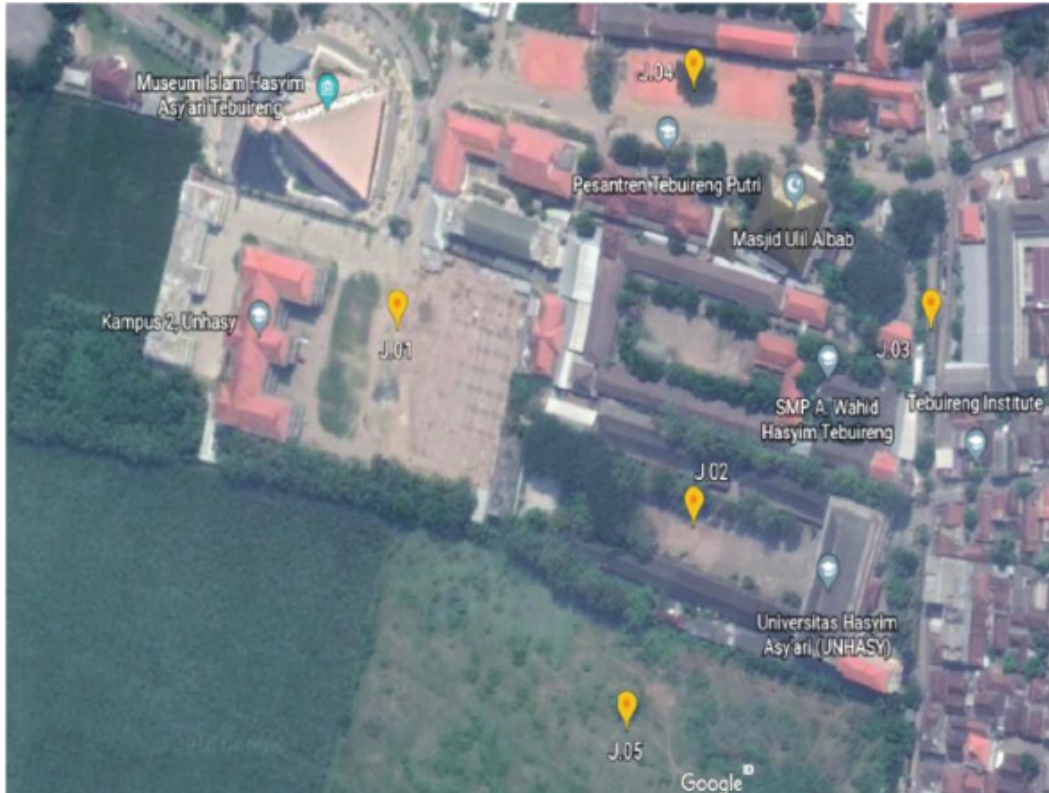
Penelitian ini dilatarbelakangi oleh meningkatnya jumlah mahasiswa, sehingga kebutuhan ruangan juga meningkat. Pembangunan gedung baru harus dilakukan dengan merancang bangunan yang kuat, tahan lama, dan tepat guna. Terdapat dua syarat utama yang harus ditekankan dalam pembuatan pondasi, yaitu pondasi harus mencapai tanah keras dan apabila tidak ditemukan tanah keras maka harus dilakukan pemadatan atau perbaikan tanah.

45

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah Metode Geolistrik. Pengambilan data dilakukan dengan alat resistivity meter di lima titik lintasan dengan bentang 100 m² perlintasan. Hasil pengambilan data berupa nilai arus (I) dan beda potensial (V) diolah menggunakan pengolahan data geolistrik, yaitu IPI2WIN.

101

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU



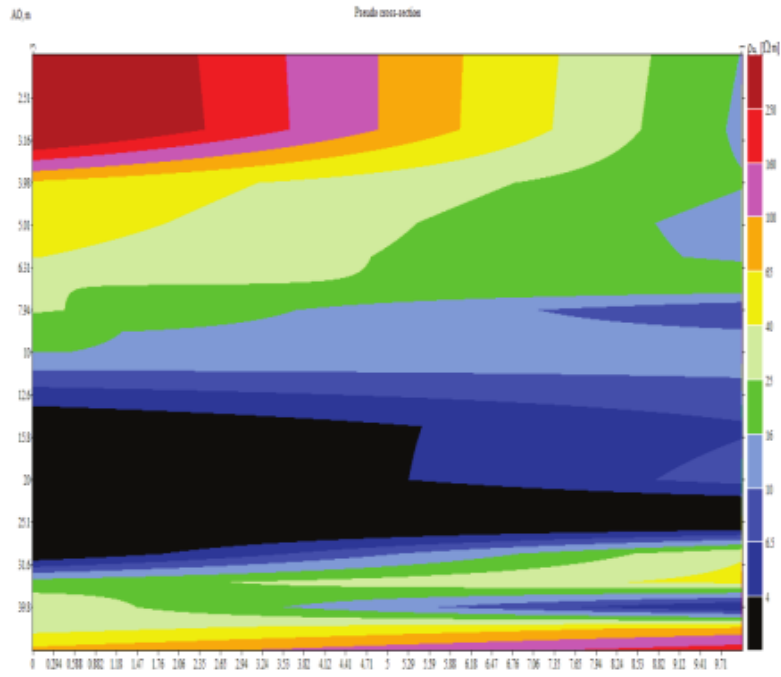
Gambar 9.4 Lokasi Kedua Pengambilan Data

Hasil Interpretasi dibagi menjadi dua penampang lintasan yaitu J.01 – J.02 – J.03 dan J.04 – J.02 – J.05. Lokasi J.01 berada pada titik koordinat $S07^{\circ}36'33,5''$ dan $E112^{\circ}14'5,9''$ sepanjang 50 m ke utara dan 50 m ke selatan. Lokasi J.02 terletak koordinat $S07^{\circ}36'35,8''$ - $E112^{\circ}14'10,3''$ sepanjang 50m ke barat dan 50m ke timur. Lokasi J.03 terletak di koordinat $S07^{\circ}36'33,5''$ - $E112^{\circ}14'13,8''$ sepanjang 50 m ke utara dan 50 m ke selatan. Lokasi J.04 terletak di koordinat $S07^{\circ}36'30,7''$ - $E112^{\circ}14'10,3''$ sepanjang 50 m ke barat dan 50 m ke timur. Lokasi J.05 terletak di koordinat $S07^{\circ}36'38,2''$ – $E 112^{\circ}14'9,3''$ sepanjang 50 m ke barat dan 50 m ke timur.

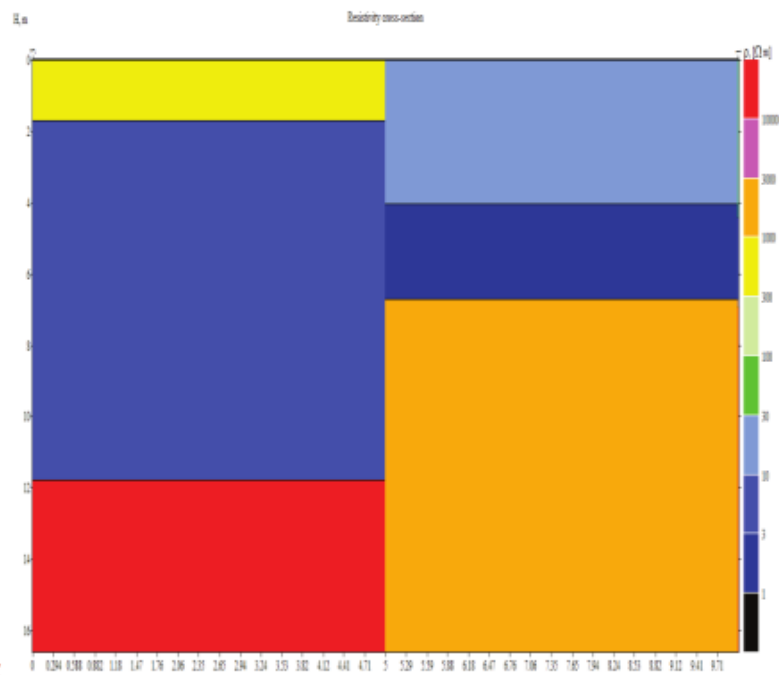
Hasil penelitian diperoleh beda potensial (V) dan arus (I) dua penampang lintasan cross-section. Penampang lintasan pertama yaitu J.01 – J.02 – J.03 dan lintasan ke-2 yaitu J.04 – J.02 – J.05.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

a) Lintasan J.01 – J.02 – J.03



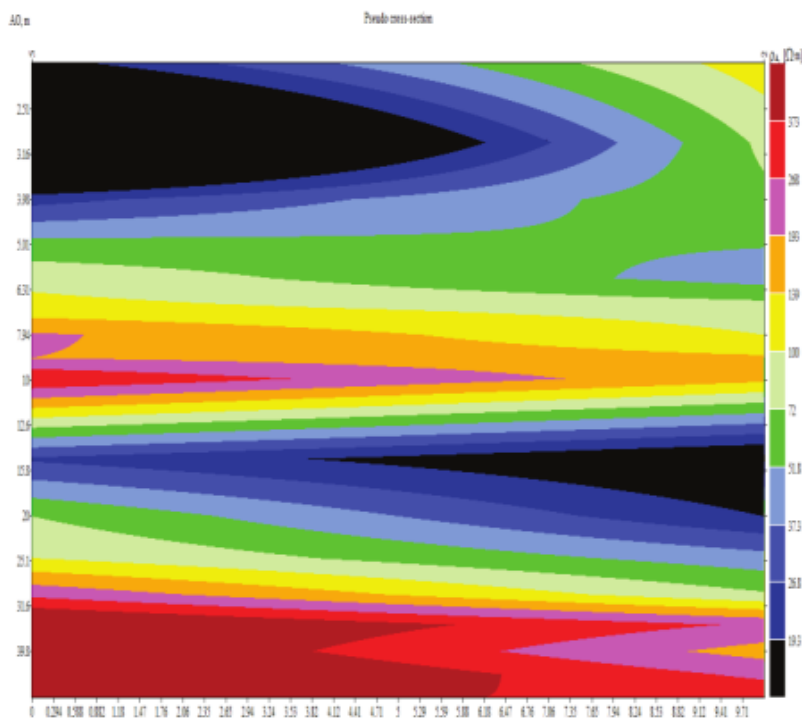
Gambar 9.5 Grafik Pseudo Cross – Section Lapisan Bawah Permukaan Lintasan J.01 – J.02 – J.03



Gambar 9.6 Grafik Resistivity Cross – Section Lapisan Bawah Permukaan Lintasan J.01 – J.02 – J.03

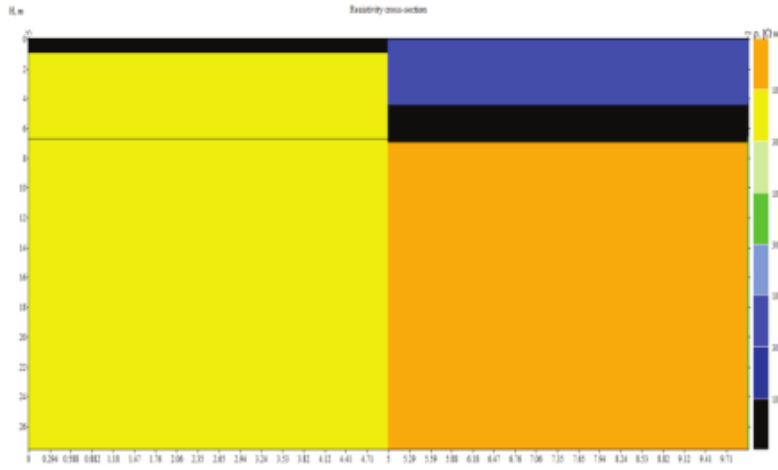
Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa rentang nilai resistivitas lapisan berkisar antara 1 – 10.000 Ωm dengan kedalaman mencapai 16m. Pada kedalaman 0 – 2 m dengan resistivitas 300 – 1000 terdapat lapisan batuan serpih (limestone), namun juga terdapat lapisan air permukaan dengan nilai resistivitas 10 – 30 Ωm hingga kedalaman 4 m. Pada kedalaman 4 m hingga kedalaman 10 m terdapat lapisan air tanah dengan nilai resistivitas 3 – 10 Ωm . Lapisan ini juga terdapat lapisan lempung dengan nilai resistivitas 3 – 10 Ωm hingga kedalaman 6m. Lalu juga terdapat lapisan batuan basalt hingga kedalaman 16 m dan lapisan batuan granit pada kedalaman 16m dengan nilai resistivitas $\geq 10^4 \Omega\text{m}$.

b) Lintasan J.04 – J.02 – J.05



Gambar 9.7 Grafik Pseudo Cross – Section Lapisan Bawah Permukaan Lintasan J.04 – J.02 – J.05

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU



Gambar 9.8 Grafik Resistivity Cross – Section Lapisan Bawah Permukaan Lintasan J.04 – J.02 – J.05

Rentang nilai resistivitas lapisan berkisar antara 10 – 10.000 Ωm dengan kedalaman mencapai 26m. Berdasarkan hasil pendugaan menunjukkan pada kedalaman 0 – 4 m terdapat lapisan air dengan nilai resistivitas 30 – 100 Ωm . Pada kedalaman 2 – 26 m juga terdapat lapisan batuan konglomerat dengan nilai resistivitas 300 – $10^4 \Omega\text{m}$. Lapisan batuan Basalt terdapat pada kedalaman 7 – 26 m dengan nilai resistivitas $\geq 10^4$.

Berdasarkan hasil pendugaan Metode Geolistrik pada penelitian ini disimpulkan bahwa lokasi penelitian dapat digunakan untuk perencanaan pondasi tiang. Lintasan J.01 – J.02 – J.03 didominasi oleh batuan basalt dan air, serta ditemukan lapisan tanah keras pada kedalaman 12 m. Pada lintasan J.04 – J.02 – J.05 didominasi oleh batuan konglomerat dan batuan basalt, serta pada kedalaman 7 m sudah ditemukan tanah keras yang dapat digunakan untuk perencanaan pondasi tiang.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani, S. and A.H. Ramelan Sutarno (2010) 'Metode Geolistrik Imaging Konfigurasi Dipole-Dipole Digunakan untuk Penelusuran Sistem Sungai bawah Tanah pada Kawasan Karst di Pacitan, Jawa Timur', *Jurnal Ekosains*, 2, pp. 46–54.
- Bowles, J. E. (1991) *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Darwis, H. (2018) *Dasar-dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- Das, B. M. (1988) *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- G. Djatmiko Soedarmo, I. and Purnomo, S. J. E. (1997) *Mekanika Tanah Jilid 1*. Yogyakarta: Kanisius.
- Gul Y. dan Ceylanoglu A. (2013) 'Evaluation of Plate Loading Tests On Some. Rock Formations for Assessing the Ground Bearing Capacity.', *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, pp. 131–136.
- Handayanto (2009) *Biologi Tanah*. Yogyakarta: Pustaka Adipura.
- Hendrajaya, L. and Arif, I. (1990) *Geolistrik Tahanan Jenis. Monografi: Metoda Eksplorasi*. Bandung: ITB.
- Loke, M. H. (1995) 'Least Squares Deconvolution of Apparent Resistivity Pseudosection', *Geophysics*, Vol 60, pp. 1682–1690.

- Lowrie, W. (2007) *Fundamental of Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Maemuna, S., Darsono, D. and Legowo, B. (2017) 'Identifikasi Akuifer di Sekitar Kawasan Karst Gombang Selatan Kecamatan Buayan Kabupaten Kebumen dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger', *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 13(2), p. 44.
- Milsom, J. (2003) *Field Geophysics*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Noor, D. (2016) *Prinsip-prinsip Stratigrafi*. Cetakan Pe. Depok: Khalifah Mediatama.
- Nyquist, J. E. and Corry, C. E. (2002) 'Self-potential: The ugly duckling of environmental geophysics', *The Leading edge*, 21(5), pp. 409–512.
- Parasnis, D. S. (1973) 'Mining Geophysics', *Elsevier Scientifics*.
- Reynolds, J. M. (2005) *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. USA: Jhon Wiley & Sons.
- Ritonga, A. G., Rauf, A. and Jamilah (2016) 'Karakteristik Biologi Tanah pada Berbagai Penggunaan Lahan di Sub DAS Petani Kabupaten Deli Serdang Sumatera Utara', *Jurnal Agroekoteknologi* ., Vol.4. No., pp. 1983–1988.
- Subagyo, H., Nata, S. and Agus, B. S. (2000) *Tanah-tanah pertanian di Indonesia*. Bogor: Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Sulistyowati (2009) 'Penentuan Letak Dan Kedalaman Akuifer Air Tanah Dengan Geolistrik Metode Tahanan Jenis (Studi Kasus di Desa Karangsembung, Kecamatan Karangsembung, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah)', *Under Graduates thesis, Universitas Negeri Semarang*
- Susanto, T. (1994) *Fisiologi dan Teknologi Pasca Penen*. Yogyakarta: Akademika.
- Syukri, M. (2020) *Dasar-Dasar Metode Geolistrik*. I. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Telford, W. M. et al. (1990) *Applied Geophysics*. Second Edi. London: Cambridge University Press.

- Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley.
- Tomlinson, M. J. (2007) *Pile Design and Construction Practice*. CRC Press.
- Verhoef, P. N. W. (1994) *Geologi Untuk Teknik Sipil*. Jakarta: PT. Erlangga.
- Zuhdi, M. (2019) *Buku Ajar Pengantar Geologi*. Mataram: Duta Pustaka Ilmu.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

RIWAYAT PENULIS



Ir. Meriana Wahyu Nugroho, ST., MT dilahirkan pada tanggal 16 Januari 1983. Penulis menekuni pendidikan Perguruan Tinggi pada Program Studi Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dengan bidang keahlian Instrumentasi dan dinyatakan lulus akhir tahun 2006. Selanjutnya penulis menyelesaikan studi pada Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas 17 Agustus Surabaya pada tahun 2014 dengan bidang keahlian Manajemen Konstruksi.



Fatma Ayu Nuning Farida Afiatna, S.Si., MT dilahirkan pada tanggal 25 November 1991. Penulis menekuni pendidikan Perguruan Tinggi pada Program Studi Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan bidang keahlian Pemodelan dan dinyatakan lulus akhir tahun 2013. Selanjutnya penulis pada tahun 2016 menyelesaikan studi pada Program Studi Magister Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dengan bidang keahlian Manajemen Kualitas dan Manufaktur.

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

Hak Publikasi
SAMUDRA BIRU

PENDEKATAN METODE GEOLISTRIK DALAM PERENCANAAN PONDASI

Metode geolistrik saat ini menjadi pilihan utama dalam eksplorasi sifat fisik bawah permukaan tanah. Metode geolistrik memanfaatkan sifat kelistrikan batuan dengan konduktivitas dan resistivitas yang bervariasi. Pendekatan metode geolistrik dapat digunakan sebagai dasar dalam penentuan bentuk fondasi yang tepat melalui deteksi sebaran batuan dasar fondasi dan sebaran air tanah. Hal tersebut dilakukan untuk memperhitungkan daya dukung tanah berdasarkan sifat mekanika tanah (uji kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, modulus elastisitas, dan nisbah *poisson*) agar tidak terjadi konsolidasi ataupun adanya potensi longsor maupun retakan pada bangunan.

Penerapan dari pengukuran geolistrik digunakan dalam analisis struktur lapisan bawah permukaan dan penentuan sebaran aliran air bawah permukaan pada lokasi rencana pembangunan Gedung Kampus C Unhasy Jombang. Metode yang digunakan yaitu Metode Resistivitas dengan konfigurasi Wenner Schlumberger. Hasil pengukuran menunjukkan adanya dua akuifer pada dua lintasan. Struktur bawah permukaan terdiri dari lapisan batuan serpih, lapisan lempung, batuan basalt, granit, dan konglomerat sehingga untuk perencanaan struktur fondasi dapat menggunakan fondasi tiang.



SAMUDRA BIRU
Menyebarkan Ilmu Pengetahuan

Pod Samudra Biru
@samudrabiru_group
www.samudrabiru.co.id

ISBN 978-623-261-353-9



9 786232 613539

ORIGINALITY REPORT

19%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

7%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	mbojoblogger.blogspot.com Internet Source	<1 %
2	doku.pub Internet Source	<1 %
3	asharphysics19.blogspot.com Internet Source	<1 %
4	car-get-put.icu Internet Source	<1 %
5	id.scribd.com Internet Source	<1 %
6	pdfcoffee.com Internet Source	<1 %
7	teknikpertanianunsri07.blogspot.com Internet Source	<1 %
8	one-geo.blogspot.com Internet Source	<1 %
9	jurnal.uns.ac.id Internet Source	<1 %
10	www.coursehero.com Internet Source	<1 %
11	jurnal.ar-raniry.ac.id Internet Source	<1 %
12	www.digilib.its.ac.id Internet Source	<1 %
13	Raid R. al-Omari, Mohammed Y. Fattah, Abbas M. Kallawi. "Bearing capacity of piles in	<1 %

unsaturated soil from theoretical and experimental approaches", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020

Publication

14	komikfisika.blogspot.com Internet Source	<1 %
15	masadepansejarah.blogspot.com Internet Source	<1 %
16	son-show.xyz Internet Source	<1 %
17	eprints.ubhara.ac.id Internet Source	<1 %
18	www.itep.ws Internet Source	<1 %
19	www.neliti.com Internet Source	<1 %
20	media.neliti.com Internet Source	<1 %
21	ojs.umsida.ac.id Internet Source	<1 %
22	indriyantipmantugeografi015.blogspot.com Internet Source	<1 %
23	journal.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
24	ejurnal.its.ac.id Internet Source	<1 %
25	you-gonever.icu Internet Source	<1 %
26	legowo.staff.uns.ac.id Internet Source	<1 %

27	Mimin Setiadi, . Apriansyah, Joko Sampurno. "Identifikasi Sebaran Batuan Beku Di Bukit Koci Desa Sempalai Kabupaten Sambas Kalimantan Barat Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas", POSITRON, 2016 Publication	<1 %
28	eprints.unmer.ac.id Internet Source	<1 %
29	risal96.blogspot.com Internet Source	<1 %
30	jim.unsyiah.ac.id Internet Source	<1 %
31	pengantarsipil.blogspot.com Internet Source	<1 %
32	repository.usu.ac.id Internet Source	<1 %
33	jurnal.saburai.id Internet Source	<1 %
34	iks.uin-suka.ac.id Internet Source	<1 %
35	adoc.pub Internet Source	<1 %
36	jfu.fmipa.unand.ac.id Internet Source	<1 %
37	dekliliput.blogspot.com Internet Source	<1 %
38	ejurnal.poliban.ac.id Internet Source	<1 %
39	Yavuz Gül, Atilla Ceylanoğlu. "Evaluation of plate loading tests on some rock formations for assessing the ground bearing capacity",	<1 %

Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2013

Publication

40	digilib.uin-suka.ac.id Internet Source	<1 %
41	simantu.pu.go.id Internet Source	<1 %
42	jormix.co.id Internet Source	<1 %
43	Dino Gunawan Pryambodo, Joko Prihantono, Rudhy Akhwady. "MODEL KARAKTERISTIK LAPISAN BAWAH PERMUKAAN TANAH PULAU LUSI SIDOARJO JAWA TIMUR MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK UNTUK MENDUKUNG WISATA BAHARI", Jurnal Kelautan Nasional, 2021 Publication	<1 %
44	nspkjembatan.pu.go.id Internet Source	<1 %
45	ocs.unud.ac.id Internet Source	<1 %
46	repository.trisakti.ac.id Internet Source	<1 %
47	uipmcenter.net Internet Source	<1 %
48	jasonwalkerpanggabean.blogspot.com Internet Source	<1 %
49	look-better.fun Internet Source	<1 %
50	hesipramuwidita.blogspot.com Internet Source	<1 %
51	kr4s.wordpress.com Internet Source	<1 %

52	repository.unp.ac.id Internet Source	<1 %
53	wahyurishandi.blogspot.co.id Internet Source	<1 %
54	jurnal.fmipa.unila.ac.id Internet Source	<1 %
55	kreasitekno.blogspot.com Internet Source	<1 %
56	vdocuments.net Internet Source	<1 %
57	Shalaho Dina Devy, Ibnu Hasyim. "An investigation of groundwater condition by geoelectrical resistivity method: A case study in Bengalon, East Kutai, East Kalimantan Province Indonesia", PROMINE, 2021 Publication	<1 %
58	desdm.bantenprov.go.id Internet Source	<1 %
59	eprints.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
60	jgsm.geologi.esdm.go.id Internet Source	<1 %
61	Muhammad Bahrudin, Agata Iwan Candra, Sigit Winarto. "Pemanfaatan Limbah Galvalum Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Jobmix Beton", Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil, 2020 Publication	<1 %
62	Adhika Junara Karunianto, Dwi Haryanto, Heri Syaeful, Dhatu Kamajati. "Interpretasi Bawah Permukaan Berdasarkan Distribusi Nilai Tahanan Jenis di Daerah Puspiptek, Serpong", EKSPLORIUM, 2019 Publication	<1 %

63	Gita Purna Rae Wanudya, Syamsurijal Rasimeng, Rustadi Rustadi, Noor Muhammad Indragiri. "IDENTIFIKASI CEKUNGAN HIDROKARBON "RAE" BERDASARKAN DATA MAGNETOTELURIK DI DAERAH BULA, MALUKU", Jurnal Geofisika Eksplorasi, 2020 Publication	<1 %
64	R. Hidayat, Irdhiani Irdhiani. "Alternatif Fondasi Tiang Pancang Pada Gedung Pengendalian Penduduk dan Keluarga Berencana (P2KB) Palu", REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development, 2021 Publication	<1 %
65	e-journals.unmul.ac.id Internet Source	<1 %
66	ecea.teopol.it Internet Source	<1 %
67	jurnal.batan.go.id Internet Source	<1 %
68	moam.info Internet Source	<1 %
69	Bowo Eko Cahyono, Misto Misto, Holili Nur Arivah. "Analisa Kualitas Semen Melalui Pengukuran Konstanta Dielektrik Dan Resistivitas", R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal, 2018 Publication	<1 %
70	vbook.pub Internet Source	<1 %
71	Asrafil Asrafil, Muslimin U Botjing, Sitti Rugayya. "Pendugaan Lapisan Akuifer Menggunakan Metode Geolistrik dengan Teknik Vertical Electrical Sounding (VES) di Lokasi TPA Sampah Desa Jononunu, Parigi,	<1 %

Sulawesi Tengah", Natural Science: Journal of Science and Technology, 2019

Publication

72	anzdoc.com Internet Source	<1 %
73	cooliwani.wordpress.com Internet Source	<1 %
74	journal.unismuh.ac.id Internet Source	<1 %
75	jurnal.unsyiah.ac.id Internet Source	<1 %
76	nanopdf.com Internet Source	<1 %
77	id.123dok.com Internet Source	<1 %
78	natural-b.ub.ac.id Internet Source	<1 %
79	repository.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
80	geohazard009.wordpress.com Internet Source	<1 %
81	ikhsangnr.wordpress.com Internet Source	<1 %
82	repository.ptiq.ac.id Internet Source	<1 %
83	www.ilmutekniksipil.com Internet Source	<1 %
84	Adey Tanauma, Herling Daud Tangkuman, Mesike Sangi. "Investigasi Air Tanah di Daerah Sea Kabupaten Minahasa Dengan Menggunakan Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Dipol-Dipol", Jurnal MIPA, 2019 Publication	<1 %

-
- 85 Adi Gunawan Muhammad, Frederikus Dian Indrastomo, I Gde Sukadana. "Pola Tahanan Jenis dan Konduktivitas Batuan Mengandung Mineral Radioaktif di Botteng dan Takandeang, Mamuju, Sulawesi Barat", EKSPLORIUM, 2017
Publication <1 %
-
- 86 Thevitha Refiani Viola, As'ari As'ari, Seni Herlina Juita Tongkukut, Zetly Estefanus Tamod et al. "Hidrologi Bawah Permukaan Tanah: Studi kasus di Lokasi Pra TPA Kawasan Ilo Ilo Kecamatan Wori Kabupaten Minahasa Utara", Jurnal MIPA, 2020
Publication <1 %
-
- 87 alchemiststar.blogspot.com
Internet Source <1 %
-
- 88 ejournal.ft.unsri.ac.id
Internet Source <1 %
-
- 89 eprints.uny.ac.id
Internet Source <1 %
-
- 90 journal.unilak.ac.id
Internet Source <1 %
-
- 91 ojs.uho.ac.id
Internet Source <1 %
-
- 92 repository.unhas.ac.id
Internet Source <1 %
-
- 93 repository.unib.ac.id
Internet Source <1 %
-
- 94 Sri Cahyo Wahyono, Krisologus Genesa Atmadja, Simon Sadok Siregar. "IDENTIFICATION OF ANDESITE ROCK BASED ON THE RESISTIVITY VALUE IN SATUI AREA, SOUTH KALIMANTAN", Jurnal Geofisika Eksplorasi, 2020 <1 %

95	akbargafar.blogspot.com Internet Source	<1 %
96	ar.scribd.com Internet Source	<1 %
97	beton.belibangunan.com Internet Source	<1 %
98	download.garuda.ristekdikti.go.id Internet Source	<1 %
99	jurnal.fmipa.unmul.ac.id Internet Source	<1 %
100	jurnal.unej.ac.id Internet Source	<1 %
101	rizqidiaz.blogspot.com Internet Source	<1 %
102	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
103	Jefriyanto Utiya, As'ari As'ari, Seni HJ Tongkukut. "METODE GEOLISTRIK RESTIVITAS KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER DAN KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE UNTUK IDENTIFIKASI PATAHAN MANADO DI KECAMATAN PAALDUA KOTA MANADO", JURNAL ILMIAH SAINS, 2015 Publication	<1 %
104	laskarimpiansite.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
105	Fitri Astari Asril, Rika Ratna Permata, Tasya Safiranita Ramli. "Perlindungan Hak Cipta pada Platform Digital Kreatif YouTube", Jurnal Jurisprudence, 2021 Publication	<1 %
106	ojs.uniska-bjm.ac.id	

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On