

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DENGAN MENGGUNAKAN GEOLISTRIK KONFIGURASI
WENNER- SCHLUMBERGER DAN DATA SPT
(*STANDART PENETRATION TEST*)
(Studi Kasus: Jalan Tol Manado-Bitung)**

SKRIPSI

Oleh:
SITI SHOBIHAH
NIM. 14640022



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

**IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DENGAN MENGGUNAKAN GEOLISTRIK KONFIGURASI
WENNER-SCHLUMBERGER DAN DATA SPT
(*STANDART PENETRATION TEST*)
(Studi Kasus: Jalan Tol Manado-Bitung)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

**Jurusan Fisika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**SITI SHOBIHAH
NIM. 14640022**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2018**

HALAMAN PERSETUJUAN

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DENGAN MENGGUNAKAN GEOLISTRIK KONFIGURASI
WENNER- SCHLUMBERGER DAN DATA SPT
(STANDART PENETRATION TEST)
(Studi Kasus: Jalan Tol Manado-Bitung)

SKRIPSI

Oleh:
Siti Shobihah
NIM. 14640022

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Pada Tanggal 24 Oktober 2018

Pembimbing I

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Pembimbing II

Umayyatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

HALAMAN PENGESAHAN

IDENTIFIKASI STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN
DENGAN MENGGUNAKAN GEOLISTRIK KONFIGURASI
WENNER- SCHLUMBERGER DAN DATA SPT
(STANDART PENETRATION TEST)
(Studi Kasus: Jalan Tol Manado-Bitung)

SKRIPSI

Oleh:
Siti Shobihah
NIM.14640022

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal 20 November 2018

Penguji Utama	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP. 19740513 200312 1 001	
Sekretaris Penguji	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji	<u>Umaiatus Syarifah, MA</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Shobihah
NIM : 14640022
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dengan Menggunakan Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Data SPT (*Standart Penetration Test*) (Studi Kasus: Jalan Tol Manado-Bitung)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis merupakan hasil karya saya sendiri, bukan tulisan atau pikiran dan pengambil alihan data orang lain. Skripsi ini benar-benar hasil tulisan dan pikiran saya sendiri, kecuali dalam pengambilan sumber cuplikan dan mencantumkan pada daftar pustaka. apabila dikemudian hari terbukti skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan saya tersebut.

Malang, 24 Oktober 2018
Yang Membuat Pernyataan,



Siti Shobihah
NIM.14640022

MOTTO

Dibalik kesuksesan pasti ada USAHA dan DOA

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyiroh [94]: 6)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Ku persembahkan karya tulis ini untuk keluargaku, terkhusus kedua orang tuaku tercinta

Ibu Asi'ah dan Bapak Yaskan,

yang selalu memberikan motivasi dan dukungan dalam mengerjakan skripsi ini dan tak lupa selalu mendoakan anaknya agar sukses dalam melakukan apapun. Semoga ananda selalu mendapat ridho dari keberkahan dari bapak dan ibu dan semoga Allah SWT selalu memberikan kesehatan jasmani dan rohani serta memberikan rezeki yang banyak kepada mereka.

Aamiin ya robbal'alamiin...



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi di Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada Nabi kita, Nabi Muhammad SAW, para sahabat, dan seluruh umat yang mengikuti jejak Nabi.

Penulisan dan penyusunan laporan yang berjudul “Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dengan Menggunakan Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Data SPT (*Standart Penetration Test*) (Studi Kasus: Jalan Tol Manado-Bitung)” ini disusun dalam rangka menyelesaikan skripsi yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pada kesempatan kali ini, penulis sangat berterimakasih kepada pihak yang telah membantu, memberi pengarahan, dan bimbingan agar supaya skripsi ini selesai dengan baik, maka penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Prof. Dr. Abdul Haris selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

4. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku pembimbing skripsi yang memberi arahan dan petunjuk dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Segenap Civitas Akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, laboran, dan staf karyawan yang bersedia membantu, menyediakan waktu bagi penulis untuk berbagi ilmu dan memberikan bimbingan.
6. Kedua orang tua yaitu bapak Yaskan dan Ibu Asi'ah, serta kakak Nur Qomaruddin, adik Kholifatur Rosyidah dan Fenny Nafilatul Izziyah yang mendoakan dan memberikan motivasi yang baik kepada penulis.
7. Abah KH. Marzuki Mustamar dan Umi Hj. Saidah Mustaghfiroh selaku pengasuh Pondok Pesantren Sabilurrosyad Gasek Malang.
8. Rika Mayasyafa, S.Si dan Mohammad Abdurrahman Wafi, S.Si selaku pembimbing lapangan skripsi.
9. Teman-teman Jurusan Fisika, teman-teman geofisika dan teman-teman bidikmisi angkatan 2014 serta teman-teman pondok dan semua pihak yang telah banyak membantu dan menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan demi kemajuan bersama. Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat menambah khazanah ilmu pengetahuan bersama, baik itu penulis atau pembaca. *Amin Amin ya Mujibassailin.*

Malang, 01 Oktober 2018

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah.....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Metode Geolistrik.....	7
2.1.1 Sifat Kelisrikan Batuan	10
2.1.2 Aliran Listrik dalam Bumi	14
2.1.2.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan.....	14
2.1.2.2 Dua Titik Arus di Permukaan	16
2.1.3 Konsep Resistivitas Semu	19
2.1.4 Konfigurasi Wenner-Schlumberger	20
2.2 Penyelidikan Tanah dan Pondasi	21
2.3 SPT (<i>Standart Penetration Test</i>).....	24
2.3.1 Prosedur Pengujian SPT (<i>Standat Penetration Test</i>)	25
2.3.2 Parameter Tanah Hasil Pengujian SPT (<i>Standart Penetration Test</i>) ...	27
BAB III METODOLOGI	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Diagram Alir Penelitian	32
3.3 Tahap Penelitian.....	33
BAB IV PEMBAHASAN	36
4.1 Pengolahan Data Geolistrik.....	39
4.2 Interpretasi Data	41
4.2.1 Interpretasi Data Geolistrik	41
4.2.2 Interpretasi Data SPT (<i>Standart Penetration Test</i>).....	47
4.3 Korelasi Data Geolistrik dengan SPT (<i>Standart Penetration Test</i>)	50
4.3.1 Korelasi Data Lintasan Geolistrik 1 dengan SPT	50
4.3.2 Korelasi Data Lintasan Geolistrik 2 dengan SPT	53
4.3.3 Analisa Hasil Korelasi antara Geolistrik dengan SPT	56
4.4 Struktur Lapisan Bawah Permukaan Tanah dalam al-Quran dan Hadits.....	61

BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran.....	66
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

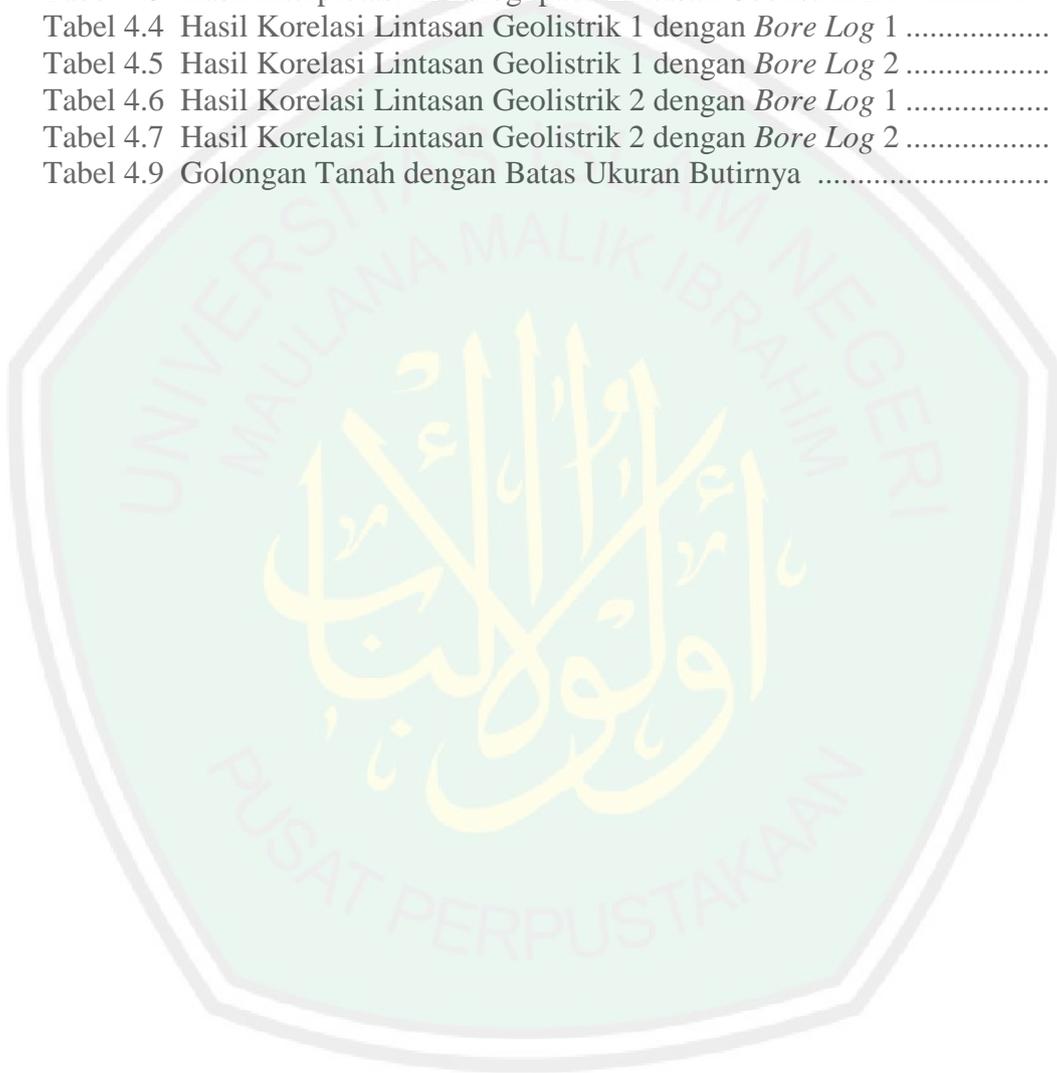


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Silinder Konduktor	12
Gambar 2.2 Sumber Arus Tunggal pada Permukaan Homogen Isotropis	15
Gambar 2.3 Dua Pasang Elektroda Arus dan Elektroda Potensial pada Permukaan Medium Homogen Isotropis dengan Resistivitas ρ	17
Gambar 2.4 Perubahan Bentuk pada Bidang Equipotensial dan Garis Aliran Arus Untuk Dua Titik Sumber Arus Pada Permukaan Tanah Homogen	18
Gambar 2.5 Pengaturan Elektroda Konfigurasi Wenner-Schlumberger	20
Gambar 2.6 Alat Uji SPT (<i>Standart Penetration Test</i>)	25
Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengamatan Geolistrik dan <i>Bore Logging</i>	31
Gambar 3.2 Skema Penelitian	32
Gambar 4.1 Model Penampang Resistivitas 2D Lintasan Geolistrik 1	43
Gambar 4.2 Model Penampang Resistivitas 2D Lintasan Geolistrik 2	45
Gambar 4.3 Hasil N-SPT <i>Bore Log</i> 1	48
Gambar 4.4 Hasil N-SPT <i>Bore Log</i> 2	49
Gambar 4.5 Korelasi Hasil Penampang 2D Lintasan Geolistrik 1 dengan <i>Bore Log</i> SPT	50
Gambar 4.6 Korelasi Hasil Penampang 2D Lintasan Geolistrik 2 dengan <i>Bore Log</i> SPT	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Material-Material Bumi.....	10
Tabel 2.2 Parameter Jenis-Jenis Tanah dan Kepadatannya	27
Tabel 4.1 Tabel Klasifikasi Batuan dan Nilai Resisitivitas	42
Tabel 4.2 Hasil Interpretasi Lithologi pada Lintasan Geolistrik 1.....	44
Tabel 4.3 Hasil Interpretasi Lithologi pada Lintasan Geolistrik 2.....	46
Tabel 4.4 Hasil Korelasi Lintasan Geolistrik 1 dengan <i>Bore Log</i> 1	51
Tabel 4.5 Hasil Korelasi Lintasan Geolistrik 1 dengan <i>Bore Log</i> 2	52
Tabel 4.6 Hasil Korelasi Lintasan Geolistrik 2 dengan <i>Bore Log</i> 1	54
Tabel 4.7 Hasil Korelasi Lintasan Geolistrik 2 dengan <i>Bore Log</i> 2	57
Tabel 4.9 Golongan Tanah dengan Batas Ukuran Butirnya	57



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Geolistrik Konfigurasi Wenner Schlumberger Lintasan 1
Lampiran 2 Data Geolistrik Konfigurasi Wenner Schlumberger Lintasan 2



ABSTRAK

Siti Shobihah, 2018. **Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dengan Menggunakan Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Data Spt (*Standart Penetration Test*) (Studi Kasus: Jalan Tol Manado-Bitung)**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (1) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Umaiyatus Syarifah, M.A

Kata Kunci: Geolistrik, Uji Tanah SPT (*Standart Penetration Test*), Struktur Batuan Bawah Permukaan Tanah

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data sekunder yang berupa pengamatan data geolistrik dan uji tanah SPT (*Standart Penetration Test*) yang dilakukan oleh peneliti dari perusahaan X di daerah *overpass* jalan tol Manado-Bitung. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bawah permukaan dengan menggunakan data geolistrik dan SPT (*Standart Penetration Test*). Metode Geolistrik merupakan metode geofisika untuk mengetahui struktur batuan dengan menggunakan sifat kelistrikan bumi (nilai resistivitas), sedangkan SPT (*Standart Penetration Test*) merupakan metode geoteknik yang dilakukan untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah dengan cara pengeboran tanah dan mengetahui nilai tekanan tiap lapisan tanah. Penelitian tersebut dilakukan hingga kedalaman 20 meter dan diperoleh data resistivitas sekitar $>300 \Omega\text{m}$ dan nilai N-SPT >50 . Oleh karena itu, jika nilai resistivitas batuan semakin besar, maka nilai N-SPT yang diperoleh juga semakin besar. Adapun struktur lapisan bawah permukaan daerah tersebut dapat teridentifikasi bahwa lapisan terdiri dari *gravel*, *gravelly clay*, *gravelly silt*, dan *gravelly sand* hasil pelapukan dari batuan beku (*andesite dan basalt*) dan batuan sedimen (*sandstone, alluvium*). Struktur batuan yang teridentifikasi tersebut merupakan jenis tanah padat yang baik dan cocok untuk dilakukan pondasi dalam pembangunan *overpass* di jalan tol Manado-Bitung.

ABSTRACT

Siti Shobihah, 2018. **Identification of Subsurface Structures Using Wenner-Schlumberger Configuration Geo electric and SPT (*Standard Penetration Test*) (Case Study: Toll Road of Manado-Bitung)**. Final Project. Department of Physics, Faculty of Science and Technology of the State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Supervisor: (1) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Umayyatus Syarifah, M.A

Keywords: Geo electric, SPT (Standard Penetration Test) Soil Test, Ground Surface Rock Structure

This research was conducted using secondary data in the form of observations of geo electric data and SPT (Standard Penetration Test) soil tests conducted by researchers from company X in the overpass area of the toll road of Manado-Bitung. This study aims to identify subsurface structures using geo electric data and SPT (Standard Penetration Test). Geo electric method is a geophysical method to determine the rock structure using the electrical properties of the earth (resistivity value), while SPT (Standard Penetration Test) is a geotechnical method that is carried out to determine the subsurface structure of the soil by drilling the soil and knowing the pressure value of each soil layer. The research carried out a drilling depth of 20 meters and obtained resistivity data around $>500 \Omega\text{m}$ and the value of N-SPT >50 . Therefore, if the rock resistivity value is greater, then the value of N-SPT obtained is also greater. The structure of the subsurface layer can be identified that the layer consists of gravel, gravelly clay, gravelly silt, and gravelly sand weathering results from igneous rocks (andesite and basalt) and sedimentary rocks (sandstone, alluvium). The identified rock structure is a good and suitable type of solid soil for foundation in overpass construction on the toll road of Manado-Bitung.

المستخلص

ستي صبيحة، 2018. تعرف الترتيب تحت البسيطة باستخدام بنية الكهربية الأرضية ونير-شلومبيرغير والبيانات من تجربة الاختراق القياسي (دراسة الحالة: الطريق السريع منادو-بيتونج). بحث جامعي. قسم فيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج. المشرف: (١) عبد الباسط، الماجستير؛ (٢) أمية الشريفة، الماجستير

الكلمات المفتاحية: الكهربية الأرضية، تجربة الاختراق القياسي، ترتيب الحجارة تحت الأرض

أقيم هذا البحث باستخدام البيانات الإضافية بملاحظة البيانات من الكهربية الأرضية وتجربة الاختراق القياسي الذي قامت به الباحثة في شركة X في منطقة اجتياز طريق سريع منادو-بيتونج. يهدف هذا البحث لتعرف الترتيب تحت السطح باستخدام بنية الكهربية الأرضية ونير-شلومبيرغير والبيانات من تجربة الاختراق القياسي. طريقة الكهربية الأرضية هي طريقة جيوفيزياء لمعرفة ترتيب الحجارة باستخدام صفات كهربية الأرض (قيمة المقاومة)، أما تجربة الاختراق القياسي هي طريقة جيوتقنية لمعرفة الترتيب تحت الأرض بطريق تثقيب الأرض ومعرفة قيمة الضغط من كل طبقة الأرض. أقيم هذا البحث بتثقيب الأرض حتى في عمق 20 مترا وتكسب البيانات المقاومة على حسب $300 \Omega m >$ بنتيجة $N-SPT > 50$. إذا ارتفعت قيمة المقاومة من الحجارة فترتفع قيمة N-SPT. أما ترتيب طبقة تحت سطح الأرض يستطيع أن يعرفه أنه يتكوّن من الحجارة بوجود الحصباء ورواسب النهرية الذي كان من جزئي الحجارة الرسوبية. و تلك الحجارة هي الحجارة الزاخرة الجيدة الموافقة لتبني قواما في بناء نطاق اجتياز في طريق سريع منادو-بيتونج.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Manado adalah kota terbesar di Pulau Sulawesi setelah Kota Makassar. Kota ini memiliki potensi pembangunan wilayah yang cukup pesat, seperti pelabuhan, bandara dan pembangunan jalan tol. Meningkatnya volume kendaraan di kota Manado menjadikan kemacetan jalan. Kemacetan ini terjadi di daerah kota Manado ke pelabuhan Bitung atau arus baliknya. Arus jalan tersebut merupakan arus vital distribusi kebutuhan masyarakat Manado, sehingga pemerintah membangun jalan tol sekitar 40 kilometer di luar kota untuk mengurangi kemacetan dan mempercepat jarak tempuh perjalanan dari kota Manado ke Pelabuhan Bitung.

Selanjutnya di sebagian lokasi jalan tol Manado-Bitung tersebut dibangun *overpass* yang bertujuan untuk memberikan persimpangan jalan lokal dengan jalan tol bagi masyarakat. *Overpass* tersebut letaknya berada diatas jalan tol, sehingga dalam pembangunannya membutuhkan tiang pondasi sekitar 20 meter di bawah permukaan tanah sebagai penyangga *overpass*. Oleh karena itu, dalam pembangunan tiang pondasi maka dibutuhkan eksplorasi tanah yang tepat untuk melakukan pondasi tanah.

Eksplorasi tanah itu dilakukan untuk melakukan pondasi tanah dalam pembangunan jembatan layang (*overpass*) di jalan tol Manado-Bitung. Manusia tidak boleh asal-asalan dalam melakukan eksplorasi tanah, namun harus sesuai dengan kaidahnya karena akan mengakibatkan kegagalan dan kerugian bagi

manusia itu sendiri. Hal ini telah disebutkan dalam al-Qur'an surah ar-Ruum [30]: 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ۝

“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Q.S ar-Ruum [30]: 41).

Ayat ini menguraikan tentang banyak kerusakan yang terjadi akibat perbuatan manusia. Kata *الْفَسَادُ* yang artinya “kerusakan” memiliki makna yang berbeda-beda menurut ulama. Menurut Qatadah dan As-Suddi kerusakan diartikan kemusyrikan. Ulama lain ada yang berpendapat bahwa kerusakan adalah kemaksiatan, perampokan dan kedholiman yang artinya perbuatan tersebut menjadi penghalang bercocok tanam, pembangunan dan perniagaan. Sedangkan menurut ulama Ibnu Abbas RA bahwa kata *الْبَرِّ* (daratan) merupakan kota dan desa yang tidak berada di dekat sungai dan *الْبَحْرِ* (lautan) merupakan kota dan desa yang berada di pesisir laut (Al-Qurthubi, 2009).

Kerusakan atau kemaksiatan yang dilakukan oleh manusia di bumi dan di lautan tersebut mengakibatkan bencana besar bagi manusia itu sendiri. Secara kasat mata, manusia melakukan eksplorasi yang ada di bumi ini tanpa memperhatikan dampak sesudahnya dan memanfaatkan lahan tanpa kontrol yang ujung-ujungnya mengalami kegagalan, sehingga alam ini menjadi rusak dan berdampak buruk pada manusia itu sendiri. Semua itu ditakdirkan oleh Allah SWT sebagai pengingat bahwa manusia meremehkan syari'atNya dan tidak melaksanakan hukum-hukumNya.

Dalam dunia pembangunan, sering terjadi kegagalan karena pemanfaatan tanah yang kurang efektif termasuk dalam pembangunan jembatan layang (*overpass*). Pemanfaatan tanah yang seharusnya dilakukan adalah dengan tidak melebihi batas yang diijinkan, memperkecil potensi kegagalan pembangunan yaitu dengan melakukan kontrol soil yang teliti pada perancangan dan pelaksanaan pembangunan tersebut. Menurut Muhrozi (2009) dalam Virman (2013), salah satu penentu keberhasilan pelaksanaan dalam suatu pembangunan yaitu dengan melakukan input data yakni berupa data penyelidikan tanah. Penyelidikan tanah ini dilakukan dengan melakukan penelitian langsung yakni dengan melakukan uji lubang bor data SPT (*Standart Penetration Test*) serta interpretasi geolistrik.

Metode pengujian tanah dengan SPT (*Standart Penetration Test*). SPT merupakan alat penetrometer yang digunakan untuk memperoleh nilai kondisi bawah permukaan tanah dengan melakukan pengeboran terhadap tanah sesuai kedalaman yang diinginkan tercapai, kemudian *split spoon sampler* dimasukkan ke dalam dasar lubang bor dan dipancang dengan menggunakan palu dan dijatuhkan dengan ketinggian tertentu. Setelah dipancang selanjutnya dicatat jumlah pukulannya (nilai N atau *Standart Penetration Resistance Value*) (Virman, 2013). Pengeboran tanah tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama dalam sekali pengeboran, namun data atau nilai yang dihasilkan oleh SPT tersebut dapat membaca kondisi bawah permukaan tanah secara jelas.

Metode geolistrik merupakan metode yang sering digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan seperti penyelidikan tanah, identifikasi

litologi batuan dan menduga keberadaan jenis material di bawah permukaan bumi. Metode geolistrik dilakukan dengan menggunakan susunan elektroda yang mengalirkan arus dan tegangan ke dalam bumi untuk mengetahui nilai resistivitas batuanya. Metode geolistrik ini menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger untuk mengetahui struktur bawah permukaan secara horizontal dan vertikal. Posisi pengambilan data geolistrik pada daerah tersebut adalah melintasi sisi tepi pembangunan jembatan dengan dua lintasan yang sejajar dan melintasi *bore log 1* dan *bore log 2*.

Geolistrik dan uji SPT (*Standart Penetration Test*) memiliki tujuan yang sama yaitu mengetahui struktur permukaan bawah tanah. Data hasil pengolahan geolistrik yang akan dilihat itu berupa nilai resistivitas batuan, sedangkan untuk hasil pengolahan data SPT itu berupa nilai tekanan SPT. Oleh karena itu, keduanya dapat dihubungkan atau dikorelasikan dan diinterpretasi bahwa keduanya memiliki hubungan untuk mengetahui struktur permukaan bawah tanah dengan cara yang berbeda, sehingga diharapkan dapat memperkuat hasil penelitian.

Dalam upaya pembangunan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung, maka geolistrik dan uji SPT (*Standart Penetration Test*) tersebut sangatlah bermanfaat untuk lembaga atau berbagai instansi dalam proyek pembangunan, khususnya dalam peningkatan kewaspadaan dan keamanan dalam pembangunan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana model struktur bawah permukaan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung berdasarkan data geolistrik?
2. Bagaimana korelasi data geolistrik dengan data SPT (*Standart Penetration Test*) dalam penentuan struktur bawah permukaan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui model struktur bawah permukaan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung dari data geolistrik.
2. Mengidentifikasi hubungan dan korelasi data geolistrik dengan data SPT (*Standart Penetration Test*) yaitu hubungan nilai resistivitas dan tekanan SPT dalam menentukan struktur bawah permukaan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi tentang kondisi struktur bawah permukaan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung dengan geolistrik dan SPT.
2. Menambah pengetahuan terkait hubungan atau korelasi data geolistrik dengan data SPT (*Standart Penetration Test*) berupa nilai resistivitas dan tekanan SPT dalam menentukan struktur bawah permukaan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung sehingga dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam bidang geoteknik.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data geolistrik dan data SPT (*Standart Penetration Test*). Data sekunder geolistrik ini merupakan data mentah yang akan diolah, sedangkan data sekunder SPT (*Standart Penetration Test*) merupakan data sudah jadi sebagai data pembanding dari data geolistrik yang diperoleh dari perusahaan X.
2. Pengambilan data geolistrik ini menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger untuk mengetahui sebaran dan kedalaman struktur bawah permukaan di daerah *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung.
3. Lokasi pengukuran hanya dilakukan di titik tertentu saja yaitu di lokasi pembangunan *overpass* pada jalan tol Manado-Bitung.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Metode Geolistrik

Metode geolistrik adalah salah satu metode yang digunakan untuk menyelidiki tanah, geolistrik merupakan ilmu yang mempelajari struktur bawah permukaan tanah dengan menggunakan sifat-sifat listrik batuan, formasi batuan atau bagian dari suatu batuan di dalam permukaan bumi.

Segala sesuatu yang diciptakan oleh Allah SWT di langit dan bumi itu memiliki manfaat masing-masing. Manusia sebagai makhluk Allah SWT yang menetap di bumi memiliki keterbatasan dalam melihat, menggunakan atau memanfaatkan. Oleh karena itu, diperlukan sebuah ilmu pengetahuan untuk bisa melihat atau memanfaatkannya. Adapun salah satu cara untuk memanfaatkan atau mengeksplorasi segala sesuatu itu membutuhkan ilmu tersendiri seperti pada bidang geofisika yaitu dengan menggunakan metode geolistrik untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah. Sebagaimana dijelaskan pada surah ar-Rahman [55]: 33:

يُعْشِرَ الْجِنَّ وَالْإِنْسِ إِنَّ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ فَانْفُذُوا لَا تَنْفُذُونَ
إِلَّا بِسُلْطَانٍ ۝

“Wahai golongan jin dan manusia! Jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka tembuslah. Kamu tidak akan mampu menembusnya kecuali dengan kekuatan (dari Allah)” (QS. Ar-Rohman [55]: 33).

Ayat di atas menjelaskan tentang makhluk Allah SWT yang tidak mampu melintasi penjuru langit dan bumi, namun Allah mengecualikan pada lafadz بِسُلْطَانٍ “dengan kekuatan” bahwa Makhluk Allah SWT dapat menembus dengan

kemampuan dan kekuatan yang dimiliki yaitu berupa ilmu pengetahuan atau sains dan teknologi. Manusia dapat mengenal, mengetahui dan memahami apa yang ada di alam ini serta mampu menembus sekat-sekat yang selama ini belum terkuak dengan ilmu pengetahuan yang dimiliki.

Hal tersebut dapat diketahui bahwa Allah SWT telah memberikan keluasan dan kebebasan pada manusia untuk melakukan eksplorasi alam baik di langit ataupun di bumi, namun ayat tersebut memberikan pengecualian yaitu dengan kekuatan yakni kekuatan dari pikiran berupa ilmu pengetahuan. Manusia sebagai makhluk Allah SWT yang memiliki ilmu pengetahuan dan teknologi hendaknya berupaya untuk melakukan eksperimen dan memanfaatkan segala sesuatu yang ada di langit dan di bumi ini dengan ilmu pengetahuan, sehingga nantinya akan memberikan banyak manfaat bagi manusia seperti mencari minyak dan gas bumi, menemukan fenomena alam dan juga sebagai mitigasi bencana alam (Hurun, 2016). Dalam hal ini dapat dihubungkan dengan ilmu geofisika. Bahwa dengan menggunakan metode geofisika, manusia mampu untuk melakukan eksplorasi di bumi dengan menggunakan teknik atau metode geofisika untuk dimanfaatkan, contohnya metode geolistrik untuk menentukan struktur bawah permukaan tanah.

Metode geolistrik dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam berdasarkan sumber arus listrik yaitu (Burger, 1992):

- a. Metode aktif yaitu sumber arus listrik yang digunakan dialirkan ke dalam tanah atau batuan bumi, kemudian efek potensialnya diukur di dua titik

permukaan tanah *Self Potensial* atau *Spontaneous Potensial* (SP) dengan jalan menggunakan aktivitas elektrokimia alami.

- b. Metode pasif yaitu menggunakan arus listrik yang terjadi akibat adanya aktivitas elektrokimia dan elektromekanik dalam material-material penyusun batuan. Metode geolistrik yang memanfaatkan adanya arus listrik alami antara lain *Self Potensial* (SP) dan *Magnetotelluric*.

Metode geolistrik resistivitas merupakan sebuah metode yang digunakan untuk mengetahui sifat resistivitas di dalam bumi. Metode resistivitas ini bekerja dengan menggunakan suatu konfigurasi elektroda dengan menginjeksikan arus listrik DC ke dalam bumi melalui elektroda-elektroda arus dan diukur melalui elektroda-elektroda potensial. Metode ini mengasumsikan bahwa geolistrik sebagai sebuah resistor yang besar (Kearey, 2002).

Metode geolistrik resistivitas ini memiliki dua teknik pengukuran yaitu metode geolistrik resistivitas *mapping* dan *sounding*. *Mapping* merupakan sebuah metode yang mempelajari macam-macam resistivitas lapisan bawah permukaan secara horizontal. Metode ini menggunakan jarak spasi elektroda yang tetap pada semua titik *sounding* (titik amat) di permukaan bumi. Sedangkan metode geolistrik resistivitas *sounding* merupakan sebuah metode yang bertujuan untuk mempelajari macam-macam resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal. Pengukuran pada titik *sounding* dilakukan dengan jalan mengubah-ubah atau memvariasikan jarak elektroda yaitu dari jarak elektroda kecil kemudian membesar secara gradual. Jarak elektroda yang

semakin besar, maka lapisan batuan yang terdeteksi semakin dalam (Reynolds, 2005).

2.1.1 Sifat Kelistrikan Batuan

Batuan merupakan materi-materi yang memiliki sifat kelistrikan. Sifat listrik tersebut merupakan karakteristik dari batuan yang besarnya tergantung dari media pembentuk batuan tersebut. Sifat listrik bisa berasal dari alam atau dari gangguan keseimbangan atau sengaja dimasukkan arus listrik ke dalam batuan, sehingga terjadi ketidakseimbangan muatan di dalam batuan tersebut (Dobrin, 1981).

Setiap batuan dan mineral dalam bumi itu memiliki nilai tahanan jenis yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan ada beberapa faktor yakni kepadatan batuan, umur batuan, jumlah mineral yang dikandung, kandungan elektrolit, permeabilitas, porositas dan lain sebagainya, sehingga tidak ada nilai dari harga tahanan jenis yang pasti. Adapun variasi material bumi dapat dilihat pada tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Material-Material Bumi (Telford, 1990)

No	Material	Resistivitas (Ωm)
1	Pirit (<i>Pyrite</i>)	0,01 - 100
2	Kwarsa (<i>Quartz</i>)	500 - 8×10^5
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 - 8.000
9	Serpilh (<i>Shales</i>)	20 - 2.000
10	Pasir (<i>Sand</i>)	1 - 1.000
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

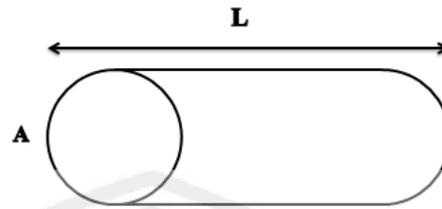
Aliran listrik dalam batuan dan mineral dapat dibedakan menjadi 3 macam diantaranya adalah konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolit dan konduksi secara dielektrik (Milson, 2003).

a. Konduksi secara elektronik

Konduksi secara elektronik merupakan peristiwa konduksi yang terjadi pada batuan atau mineral yang aliran arus listriknya dialirkan melalui elektron-elektron bebas yang terdapat pada batuan atau mineral tersebut. Aliran listrik tersebut dipengaruhi oleh karakteristik setiap batuan atau mineral yang dilewati arus (Kunetz, 1966).

Sifat atau karakteristik batuan tersebut merupakan resistivitas yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas batuan maka semakin sulit batuan tersebut mengalirkan dan menghantarkan arus listrik. Apabila nilai resistivitasnya rendah maka batuan tersebut akan mudah mengalirkan dan menghantarkan arus listrik (Lowrie, 2007).

Apabila dilihat dari sebuah silinder dengan panjang L , luas penampang A dan resistansi R dapat dilihat pada gambar 2.1,



Gambar 2.1 Silinder Konduktor (Lowrie,2007)

pada hukum ohm dapat diperoleh rumus:

$$R = \rho L / A \quad (2.1)$$

Dimana R adalah resistansi (Ω), ρ adalah resistivitas (Ωm), L adalah panjang silinder konduktor atau panjang penghantar (m), A adalah luas penampang silinder konduktor atau penghantar (m^2) (Lowry, 2007).

Resistivitas itu berbeda dengan resistansi. Resistivitas merupakan kemampuan bahan untuk menghantarkan arus listrik yang bergantung pada besarnya medan listrik dan kerapatan arus listrik. Sedangkan resistansi merupakan kemampuan benda untuk menahan arus listrik yang mengalir dan bersifat merubah energi listrik menjadi energi kalor. Resistansi ini berbanding terbalik dengan arus listrik, namun berbanding lurus dengan potensial listrik. Sehingga menurut hukum ohm, resistansi R dapat dirumuskan sebagai berikut (Lowry, 2007):

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

Dimana R adalah resistansi (Ω), V adalah beda potensial (volt), I adalah kuat arus (ampere). Dari kedua rumus tersebut diperoleh nilai resistivitas (ρ) yaitu (Lowrie, 2007):

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.3)$$

Sifat konduktivitas batuan yang sering digunakan itu merupakan kebalikan dari resistivitas (ρ) dengan satuan ohm/m (Lowrie, 2007).

$$\sigma = I/\rho = \frac{IL}{VA} = \frac{J}{E} \quad (2.4)$$

Dimana σ adalah konduktivitas, J adalah rapat arus (ampere/m³) dan E adalah medan listrik (volt/m) (Lowrie, 2007).

b. Konduksi secara elektrolit

Konduksi secara elektrolit merupakan konduksi yang terjadi pada suatu batuan atau mineral yang dapat mengalirkan arus listrik dikarenakan batuan atau mineral tersebut dapat menyimpan dan meloloskan fluida terutama air (Vebrianto, 2016). Kandungan air dalam batuan yang semakin banyak akan mengakibatkan konduktivitas semakin besar. Adapun jika kandungan air dalam batuan tersebut berkurang, maka resistivitas akan semakin besar. Hal ini dirumuskan pada rumus Archie yaitu:

$$\rho_e = a \phi^{-m} S^{-n} \rho_w \quad (2.5)$$

Dimana ρ_e adalah resistivitas batuan, ρ_w adalah resistivitas air, S adalah fraksi pori-pori yang berisi air, ϕ adalah porositas dan a , m dan n adalah konstanta (Lowrie, 2007).

c. Konduksi secara dielektrik

Konduksi secara dielektrik adalah peristiwa konduksi yang terjadi pada suatu batuan atau mineral yang memiliki elektron bebas sedikit atau tidak memiliki elektron bebas yang dapat memiliki sifat dielektrik terhadap aliran arus listrik (Lowry, 2007). Elektron yang berada dalam batuan tersebut dapat berpindah dan berkumpul terpisah dengan batuan karena

dipengaruhi oleh medan listrik dari luar yang mengakibatkan terjadi polarisasi. Namun peristiwa konduksi secara dielektrik ini sangatlah bergantung pada kemampuan dielektrik batuan (Vebrianto, 2016).

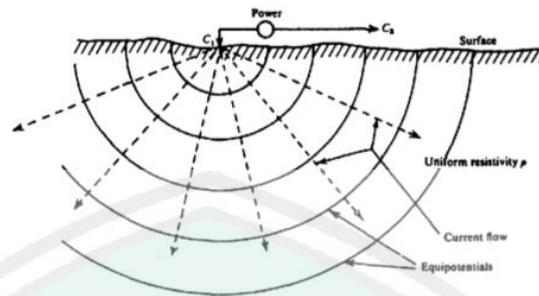
2.1.2 Aliran Listrik dalam Bumi

Setiap batuan memiliki karakter tersendiri dalam meneruskan arus listrik yang melewatinya. Bumi dan batuan penyusunnya itu memiliki sifat heterogen dan umumnya tidak memiliki sifat homogen. Padahal sifat homogen batuan tersebut menjadi syarat dalam pengukuran geolistrik (Kunetz, 1966). Sifat homogen dalam batuan itu sangatlah berpengaruh pada hasil pengukuran beda potensial pengukuran geolistrik dan dapat membuat data geolistrik tersebut menyimpang dari nilai sebenarnya.

Asumsi bahwa bumi itu homogen adalah dimana bumi yang memiliki banyak lapis itu dianggap hanya memiliki satu lapisan saja, sedangkan bumi di diasumsikan dengan sifat isotropik ini adalah bahwa jika bumi diukur gradien panas buminya setiap tempat akan memiliki temperatur yang sama. Keadaan homogen isotropik ini merupakan keadaan bumi yang ideal (Vebrianto, 2016).

2.1.2.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan

Elektroda tunggal yang diinjeksikan ke permukaan bumi homogen isotropik dan dialiri listrik akan menjadi aliran arus yang menyebar secara radial di dalam tanah. Apabila udara yang berada di atasnya memiliki konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola. Hal ini dapat diketahui pada gambar 2.2 (Telford, 1990).



Gambar 2.2 Sumber Arus Tunggal Pada Permukaan Bumi Homogen Isotropis (Telford, 1990)

Aliran arus tersebar merata ke dalam bumi pada elektroda yang lain. Jika konduktivitas udara diabaikan dan permukaan tanah diasumsikan bumi sebagai medium homogen, maka yang keluar dari titik sumber tersebut membentuk medan potensial dengan kontur equipotensial berbentuk permukaan setengah bola di bawah permukaan seperti gambar 2.2 diatas. Hal ini berlaku persamaan Laplace yaitu (Telford, 1990):

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi} \right) \frac{1}{r} \quad (2.6)$$

dengan V adalah potensial (mV), I adalah arus (mA), ρ adalah resistivitas semu medium (Ωm), r adalah kedalaman medium (m) dan 2π adalah konstanta. Adapun nilai resistivitas yang dapat diperoleh oleh medium adalah sebagai berikut (Telford, 1990):

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.7)$$

Kedalaman batuan yang diukur itu menentukan besar kecilnya nilai potensial yang terukur, semakin dalam lapisan batuan, maka semakin tinggi nilai resistivitas batuan yang terukur. Arus listrik yang mengalir pada bumi dapat mengalami pembelokan jika melewati dua medium yang memiliki

nilai resistivitas yang berbeda. Jika persamaan Laplace berlaku untuk potensial listrik V terhadap jarak r , maka (Telford, 1990):

$$V = -\frac{A}{r} \quad (2.8)$$

Dengan $-\frac{A}{r}$ adalah suatu batuan dengan nilai resistivitas yang dipengaruhi oleh kedalaman r dan V adalah nilai potensial listrik pada elektoda tunggal. Adapun jika arus listrik menyebar radial pada medium homogen isotropik maka jarak kedalaman $r \rightarrow \infty$ dan $V = 0$, berarti arus dapat dirumuskan (Telford, 1990):

$$|I| = A \cdot J \quad (2.9)$$

Dimana $J =$ rapat arus listrik $= -\sigma \frac{dv}{dr}$, dan $A = 4\pi r^2$, dan (Telford, 1990):

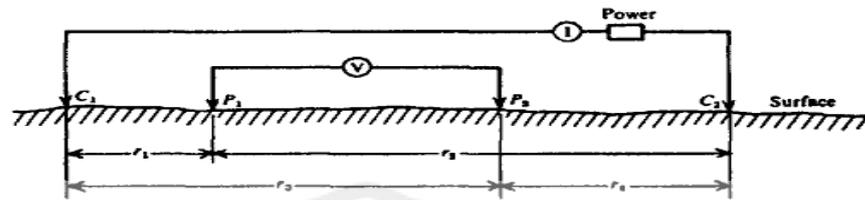
$$I = -4\pi r^2 \cdot \sigma \frac{dv}{dr} \quad (2.10)$$

$$I = -4\pi r^2 \cdot \sigma \frac{A}{r^2} \quad (2.11)$$

$$I = -4\pi \sigma A \quad (2.12)$$

2.1.2.2 Dua Titik Arus di Permukaan

Arah arus listrik pada sebuah elektroda itu memiliki batas jangkauan arus listrik. Batas jangkauan arus tersebut tergantung pada jarak antar kedua elektroda arus yang memperhatikan kerapatan arus listrik dalam bumi, sehingga resistivitas semu akan dipengaruhi arus listrik yang diinjeksikan oleh dua buah elektroda arus ke dalam medium yang tidak terhingga (Kearey, 2002). Adapun konfigurasi elektroda arus ganda dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Dua Pasang Elektroda Arus dan Elektroda Potensial pada Permukaan Medium Homogen Isotropis dengan Resistivitas ρ (Telford, 1990)

Kesimpulan yang diperoleh dari gambar 2.3 yaitu elektroda potensial pertama P_1 dipengaruhi oleh elektroda arus pertama C_1 dan kedua C_2 , sedangkan elektroda potensial kedua P_2 dipengaruhi oleh elektroda arus pertama C_1 dan kedua C_2 . Adapun nilai potensial listrik pada potensial pertama P_1 dipengaruhi oleh elektroda arus pertama C_1 itu sama seperti pada aliran listrik pada elektroda tunggal. Oleh karena itu potensial P_1 yang disebabkan arus di C_1 adalah (Telford, 1990):

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1}, \text{ dimana } A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.13)$$

Karena arus pada kedua elektroda tersebut adalah sama dan arahnya berlawanan, maka potensial P_1 yang disebabkan oleh arus di C_2 adalah (Telford, 1990):

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2}, \text{ dimana } A_2 = -A_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.14)$$

Karena arus pada dua elektroda besarnya sama dan berlawanan arah sehingga diperoleh potensial total di P_1 (Telford, 1990):

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.15)$$

Dengan cara yang sama diperoleh potensial total di P_2 yaitu (Telford, 1990):

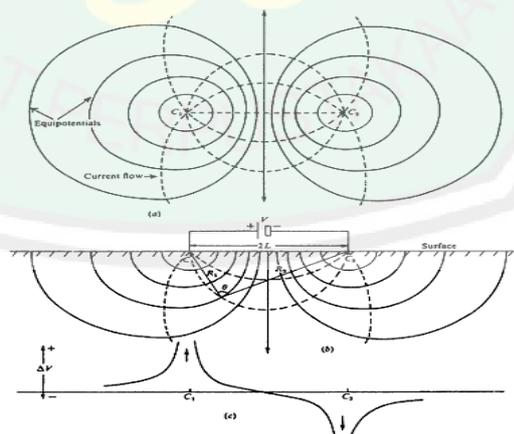
$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.16)$$

Sehingga diperoleh nilai dari beda potensial antara titik P_1 dan P_2 yaitu (Telford, 1990):

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.17)$$

Dimana ΔV adalah beda potensial antara P_1 dan P_2 , I adalah arus (A), ρ adalah resistivitas (Ωm), r_1 adalah jarak C_1 ke P_1 (m), r_2 adalah jarak C_2 ke P_1 (m), r_3 adalah jarak C_1 ke P_2 (m) dan r_4 adalah jarak C_2 ke P_2 (m) (Telford, 1990).

Susunan empat elektroda tersebut merupakan susunan elektroda yang biasanya digunakan dalam metode geolistrik resistivitas. Pada konfigurasi ini garis-garis aliran arus dan equipotensial diubah oleh dekatnya kedua elektroda arus. Perubahan dari garis-garis ekuipotensial yang melingkar tersebut lebih jelas ada daerah antara elektroda arus sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.4 (Reynolds, 2005).



Gambar 2.4 Perubahan Bentuk pada Bidang Equipotensial dan Garis Aliran Arus untuk Dua Titik Sumber Arus pada Permukaan Tanah Homogen (Telford, 1990)

Keempat elektroda yang sudah dipasang di permukaan bumi dan diinjeksikan ke dalam bumi ini akan menghasilkan permukaan equipotensial dan arah arus listrik berupa ortogonal dengan arah yang menyimpang dari C_1 (Kearey, 2002). Pertemuan permukaan equipotensial dengan arah menuju arus listrik tersebut ternyata memotong secara tegak lurus.

2.1.3 Konsep Resistivitas Semu (*Apparent Resistivity*)

Metode geolistrik tahanan jenis itu memiliki sifat homogen isotropis. Hal tersebut dapat diasumsikan bahwa tahanan jenis yang terukur merupakan tahanan jenis yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun, pada kenyataannya bumi memang tersusun dari lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda pula, sehingga potensial yang terukur tersebut merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan itu. Oleh karena itu, harga resistivitas yang diperoleh itu bukanlah nilai resistivitas yang sebenarnya, namun resistivitas yang terukur adalah resistivitas semu (ρ_a) (Reynold, 2005).

Berdasarkan pada persamaan (2.16) besar resistivitas semu dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.18)$$

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.19)$$

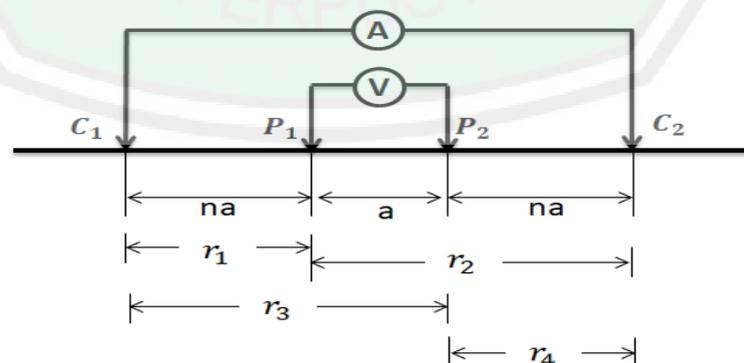
$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \quad (2.20)$$

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 harga resistivitas ρ (Reynolds, 2005).

2.1.4 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Konfigurasi Wenner-Schlumberger merupakan metode geolistrik yang berasal dari perpaduan konfigurasi Wenner dan konfigurasi Schlumberger. Konfigurasi ini digunakan karena atas dasar penataan elektroda-elektrodanya. Konfigurasi dari keduanya memiliki kesamaan urutan elektroda, namun terdapat perbedaan dalam pengukurannya. Pengukuran potensial yang pertama ($n=1$) berlaku konfigurasi Wenner. Sedangkan pengukuran selanjutnya ($n \geq 2$) berlaku konfigurasi Schlumberger (Vebrianto, 2016).

Konfigurasi Wenner-Schlumberger merupakan konfigurasi dengan sistem aturan spasi yang konstan dengan catatan faktor “n”. Pada konfigurasi ini perbandingan jarak antara elektroda C1-P1 (atau C2-P2) dengan spasi antara P1-P2 ditunjukkan seperti pada gambar 2.5. Jika jarak antar elektroda potensial (P1 dan P2) adalah a maka jarak antar elektroda arus (C1 dan C2) adalah $2na + a$. Proses penentuan resistivitas menggunakan 4 buah elektroda yang diletakkan dalam sebuah garis lurus (Sakka, 2001).



Gambar 2.5 Pengaturan Elektroda Konfigurasi Wenner-Schlumberger (Loke, 2000)

Berdasarkan pada gambar 2.5, setiap r itu memiliki nilai, diantaranya adalah sebagai berikut (Vebrianto, 2016):

$$\begin{aligned} r_1 &= P_1 - C_1 & r_2 &= P_1 - C_2 \\ r_1 &= na & r_2 &= na + a \\ & & r_2 &= a + na \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_3 &= P_2 - C_1 & r_4 &= P_2 - C_2 \\ r_3 &= a + na & r_4 &= na \\ r_3 &= na + a & & \end{aligned}$$

Adapun faktor geometrinya adalah sebagai berikut (Vebrianto, 2016):

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (2.21)$$

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

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

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

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

$$K = 2\pi \frac{(n+n^2)a}{2}$$

$$K = \pi a(n + n^2), \text{ jadi}$$

$$K = n(n + 1)\pi a \quad (2.22)$$

Dengan a adalah jarak antar masing-masing elektroda, n adalah jarak antar elektroda potensial dan π adalah konstanta.

2.2 Penyelidikan Tanah dan Pondasi

Tanah pondasi merupakan bahan yang memiliki susunan yang sangat rumit dan beraneka ragam. Perubahan tersebut terjadi berdasarkan prinsip-

prinsip geologi. Sehingga dalam hal ini peta topografi dan peta geologi sangat dibutuhkan untuk mengetahui pengertian mengenai gambaran umum tanah pondasi tersebut. Walaupun terdapat sifat fisik dan mekanik yang sudah diketahui dengan penyelidikan tanah, tetapi hasilnya bisa tidak sesuai dengan kenyataannya.

Penyelidikan tanah diperlukan untuk menentukan stratifikasi (pelapisan) tanah dan karakteristik tanah, sehingga perancangan dan konstruksi pondasi dapat dilakukan dengan ekonomis. Penyelidikan tanah ini memiliki tujuan diantaranya adalah sebagai berikut (Rahardjo, tanpa tahun):

- a. Mendapatkan informasi mengenai pelapisan tanah dan batuan.
- b. Mendapatkan informasi mengenai kedalaman muka air tanah.
- c. Mendapatkan informasi sifat fisis dan sifat mekanis tanah atau batuan.
- d. Menentukan parameter tanah untuk analisis (berdasarkan uji lapangan berupa SPT atau CPT).

Tanah yang akan digunakan untuk pondasi memiliki klasifikasi tertentu dalam perencanaan pembangunan yaitu perkiraan terhadap hasil eksplorasi tanah, perkiraan standart kemiringan lereng dari penggalian tanah atau tebing, perkiraan pemilihan bahan, perkiraan muai dan susut, pemilihan jenis konstruksi dan peralatan untuk konstruksi, perkiraan kemampuan peralatan untuk konstruksi, rencana pekerjaan pembuatan lereng dan tembok penahan tanah, dll (Sosrodarsono, 2000).

Prosedur dalam penyelidikan tanah dan studi pondasi ini adalah berupa informasi yang harus diperoleh sebelum melakukan penyelidikan tanah yaitu

berupa informasi mengenai keadaan di lapangan mengenai topografi, vegetasi, bangunan, jalan akses, dan lain-lain. Informasi lainnya juga yaitu berupa kondisi geologi, kegempaan regional, peraturan setempat, dan besarnya beban dari struktur (Rahardjo, tanpa tahun).

Hal-hal yang perlu diobservasi dan disurvei selain peta geologi atau keterangan-keterangan pembangunan, diantaranya adalah (Sosrodarsono, 2000):

- a. Letak singkapan-singkapan dan eksplorasi tanah
- b. Topografi dan geografi
- c. Letak jalan-jalan dan bangunan-bangunan yang ada
- d. Kondisi permukaan tanah dan tumbuhan
- e. Keadaan air tanah dan letak mata air
- f. Keadaan saluran-saluran yang ada

Perencanaan penyelidikan tanah ini juga meliputi penentuan jumlah titik bor, kedalaman bor, jumlah sampel, dll. Apabila kondisi tanah saat dilakukan pemboran itu homogen, maka jumlah titik bor harus dikurangi dan jika pelapisan tanah itu acak, maka sejumlah titik bor dibutuhkan untuk dapat menggambarkan potongan melintang melalui titik-titik bor tersebut (Rahardjo, tanpa tahun).

Pemboran tanah tersebut diasumsikan bahwa pemboran harus dilakukan hingga kedalaman (nilai $N_{spt} > 50$) yaitu lapisan tanah keras yang dicapai beberapa meter (sekurang-kurangnya 3 kali pembacaan nilai SPT). Apabila lapisan kerasnya masih terdapat tanah kompresibel, maka pemboran diteruskan

kecuali jika lapisan tersebut tidak akan mengakibatkan penurunan yang berlebihan. (Rahardjo, tanpa tahun).

2.3 SPT (*Standart Penetration Test*)

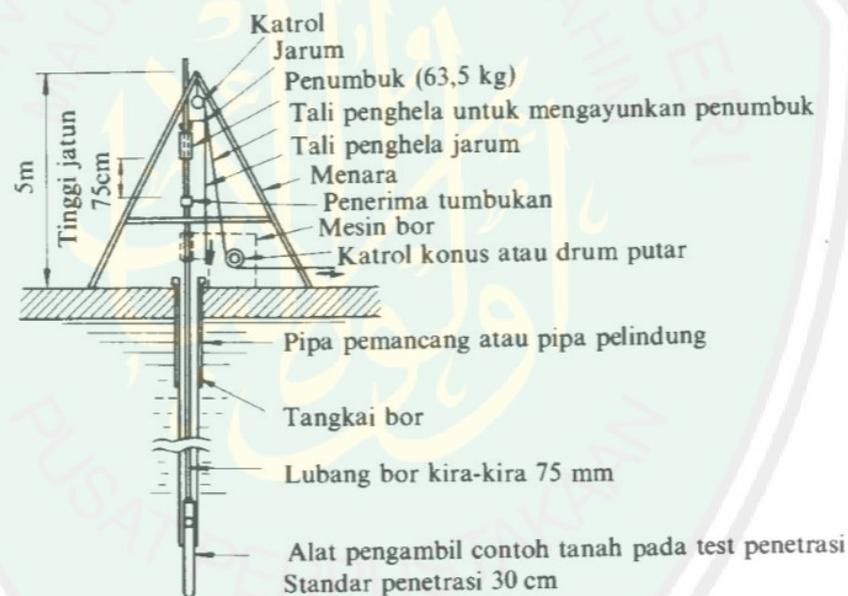
Pada pembangunan teknik sipil terdapat potensi kegagalan dalam pembangunan sehingga dapat didukung dengan melakukan *control soil test* yang baik. Menurut Muhrozi (2009) dalam Virman (2013), dalam melakukan atau melaksanakan proyek sipil adalah dengan melakukan input data berupa data penyelidikan tanah secara rinci dan teliti. Adapun dalam melakukan penyelidikan tanah di lapangan dapat digunakan metode geofisika yaitu metode geolistrik dan geoteknik berupa SPT (*Standart Penetration Test*) serta dilakukan penyelidikan tanah di laboratorium untuk mengetahui sifat dan karakteristik tanah.

Metode pengujian tanah dengan SPT (*Standart Penetration Test*) termasuk cara yang cukup ekonomis dan relatif mudah untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan tanah dan diperkirakan 85% dari desain pondasi menggunakan cara ini. SPT merupakan alat uji tanah yang memiliki kelebihan karena terdiri dari beberapa komponen yang sederhana, mudah dipasang, mudah ditransformasikan dan dapat diandalkan dalam penyelidikan tanah. Pengujian SPT dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu sesuai kedalaman yang diinginkan, kemudian *split spoon sampler* dimasukkan ke dalam lubang bor, selanjutnya ditumbuk palu seberat 63,5 kg dan dijatuhkan dari ketinggian 75 cm. Setelah ditumbuk sedalam 15 cm, maka selanjutnya dicatat jumlah

pukulan (nilai N-SPT) yang diperlukan untuk menumbuk sedalam 30 cm (Wiraga, 2011).

2.3.1 Prosedur Pengujian SPT (*Standart Penetration Test*)

Alat yang digunakan dalam pengujian tanah ini adalah tabung yang dapat dibelah (*split, tube, split spoon*) yang memiliki *driving shoe* untuk penetrasi agar tidak cepat rusak. Bagian atas SPT dilengkapi dengan *coupling* agar dapat disambungkan dengan batang bor (*drill rod*) ke permukaan tanah.



Gambar 2.6 Alat Uji SPT (*Standart Penetration Test*)
(Sosrodarsono, 2000)

Pengujian tanah SPT dilakukan dengan melakukan pengambilan tanah dengan menggunakan alat tersebut seperti gambar 2.6. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan mengebor tanah terlebih dahulu pada titik yang akan dilakukan uji tanah yaitu dengan merangkai mata bor dan meletakkan pada titik yang ditentukan untuk melakukan pengeboran hingga kedalaman uji.

Setelah bor sudah terisi dengan tanah, kemudian bor diangkat dan diperiksa serta dicatat jenis tanah, warna dan kedalaman lapisan tanah tersebut (Virman, 2013).

Pemboran tanah yang sudah dilakukan, maka akan dikombinasi dengan melakukan uji SPT (*Standart Penetration Test*) yaitu dengan memasukkan alat *split spoon sampler* secara tegak kemudian ditumbuk dengan menggunakan *hammer* dan mencatat jumlah tumbukan setiap 15 centimeter. Uji SPT ini dilakukan dengan melakukan standart penetrasi yaitu penumbuk memiliki berat yang distandarisasi yaitu 63,5 kilogram dan dijatuhkan dari ketinggian yang sama yaitu 75 centimeter. Selanjutnya nilai tumbukan dicatat 3 kali (N_1, N_2, N_3) dimana harga $N = N_2 + N_3$, setelah itu *split spoon sampler* diangkat dan dimasukkan kedalam plastik untuk dilakukan uji laboratorium. Secara konvensional, uji SPT ini dilakukan dengan interval kedalaman 15 centimeter sampai 3 meter dan sampelnya akan diklarifikasi. Identifikasi jenis tanah tersebut harus dilakukan karena interpretasi dari data SPT hanya dapat dilakukan dengan baik bila dikaitkan dengan kondisi tanah tersebut (Rahardjo, tanpa tahun).

Adapun variasi hasil uji SPT dapat disebabkan oleh berbagai macam alasan diantaranya adalah sebagai berikut (Rahardjo, tanpa tahun):

- a. Alat yang digunakan dibuat dengan kombinasi yang berbeda.
- b. Konfigurasi hammer.
- c. Panjang batang penghubung (*drill rod*) yang panjang lebih berat dan memperkecil energi yang diterima oleh batang sampel.

- d. Cara pemboran dan metode stabilisasi dinding lubang bor berpengaruh terhadap N-SPT.
- e. Lubang bor yang tidak bersih akan mengakibatkan terperangkapnya lumpur kedalam sampel dan dapat menyebabkan kenaikan N-SPT.
- f. Ukuran lubang bor, dll.

2.3.2 Parameter Tanah Hasil Pengujian SPT (*Standart Penetration Test*)

Adapun parameter tanah yang diketahui dari hasil uji SPT dan uji laboratorium dapat diklarifikasi sebagai berikut:

Tabel 2.2 Parameter Jenis-Jenis Tanah dan Kepadatannya (Indarto, 2013)

Jenis Tanah	\bar{v}_s (m/det)	\bar{N} / \bar{N}_{ch}	\bar{s}_u (kPa)
SA (Batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (Batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (Tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (Tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (Tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 meter tanah dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ 3. Kuat geser niralir 		
SF (Tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah 2. Lempung sangat organik dan atau gambut (ketebalan $H > 3$ meter) 3. Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ meter dengan indeks plastisitas $PI > 75$) 4. Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35$ meter dengan $\bar{s}_u < 50$ kPa 		

Catatan: N/A = tidak dapat dipakai

Penetapan nilai jenis tanah dapat dilakukan dengan menggunakan hasil pengukuran dua dari tiga parameter diantaranya adalah sebagai berikut (Indarto, 2013) :

a. Metode \bar{v}_s

Metode \bar{v}_s didefinisikan sebagai kecepatan rambat gelombang geser rata-rata (\bar{v}_s) pada regangan geser yang kecil di dalam lapisan 30 meter teratas. Adapun untuk menentukan nilai \bar{v}_s dapat digunakan rumus sebagai berikut (Indarto, 2013):

$$\bar{v}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_{si}}} \quad (2.23)$$

Dimana:

d_i = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter

v_{si} = kecepatan gelombang geser lapisan dinyatakan dalam meter per detik (m/detik)

$$\sum_{i=1}^n d_i = 30 \text{ meter}$$

b. Metode \bar{N}

Metode \bar{N} didefinisikan sebagai tahanan standart rata-rata (\bar{N}) dalam lapisan 30 meter paling atas atau \bar{N}_{ch} tahanan penetrasi standart rata-rata tanah non kohesif ($PI < 20$) di dalam lapisan 30 meter paling atas. Adapun untuk menentukan nilai \bar{N} dan \bar{N}_{ch} dapat digunakan rumus sebagai berikut (Indarto, 2013):

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} \quad (2.24)$$

Dengan:

$$\sum_{i=1}^n d_i = d_1 + d_2 + d_3 + \dots \quad (2.25)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i} = \frac{d_1}{N_1} + \frac{d_2}{N_2} + \frac{d_3}{N_3} + \dots \quad (2.26)$$

Dimana:

N_i = tebal setiap lapisan antara kedalaman 0 sampai 30 meter

d_i = tahanan penetrasi standart 60% energi (N_{60}) yang terukur langsung di lapangan tanpa koreksi

N_i dan d_i dalam persamaan 2.24 berlaku untuk tanah non-kohesif, tanah kohesif dan lapisan batuan (Indarto, 2013).

$$\overline{N_{ch}} = \frac{d_s}{\sum_{i=1}^m \frac{d_i}{N_i}} \quad (2.27)$$

Dimana N_i dan d_i dalam persamaan 2.27 berlaku untuk lapisan tanah non-kohesif saja dan $\sum_{i=1}^m d_i = d_s$, dimana d_s merupakan ketebalan total dari lapisan tanah non kohesif di 30 meter lapisan paling atas (Indarto, 2013).

c. Metode \bar{s}_u

Metode \bar{s}_u didefinisikan sebagai kuat geser niralir rata-rata (\bar{s}_u) untuk lapisan tanah kohesif ($PI < 20$) di dalam lapisan 30 meter paling atas. Adapun untuk menentukan nilai \bar{s}_u dapat digunakan rumus sebagai berikut (Indarto, 2013):

$$\bar{s}_u = \frac{d_c}{\sum_{i=1}^k \frac{d_i}{s_{ui}}} \quad (2.28)$$

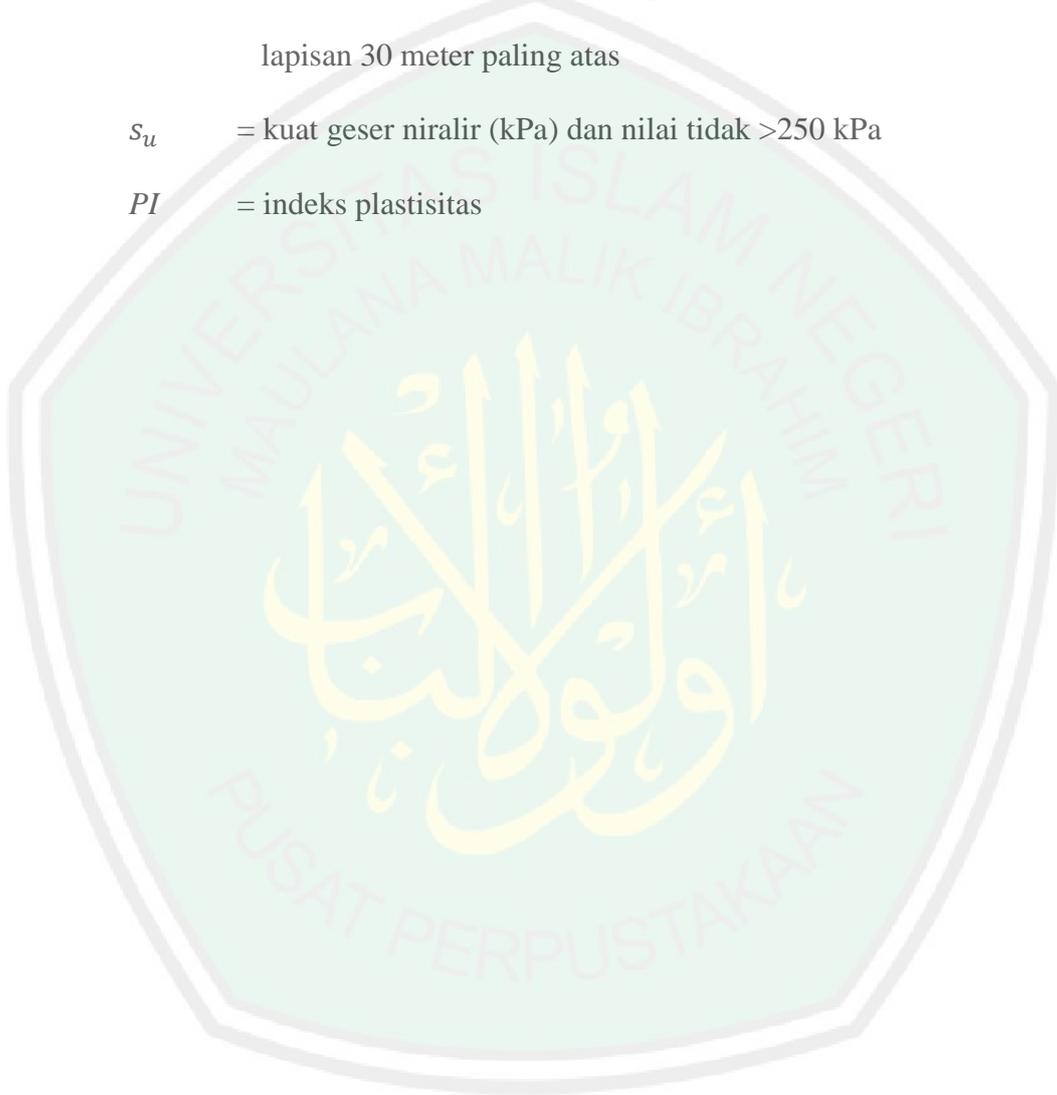
Dimana:

$$\sum_{i=1}^k d_i = d_c$$

d_c = ketebalan total dari lapisan–lapisan tanah kohesif di dalam lapisan 30 meter paling atas

s_u = kuat geser niralir (kPa) dan nilai tidak >250 kPa

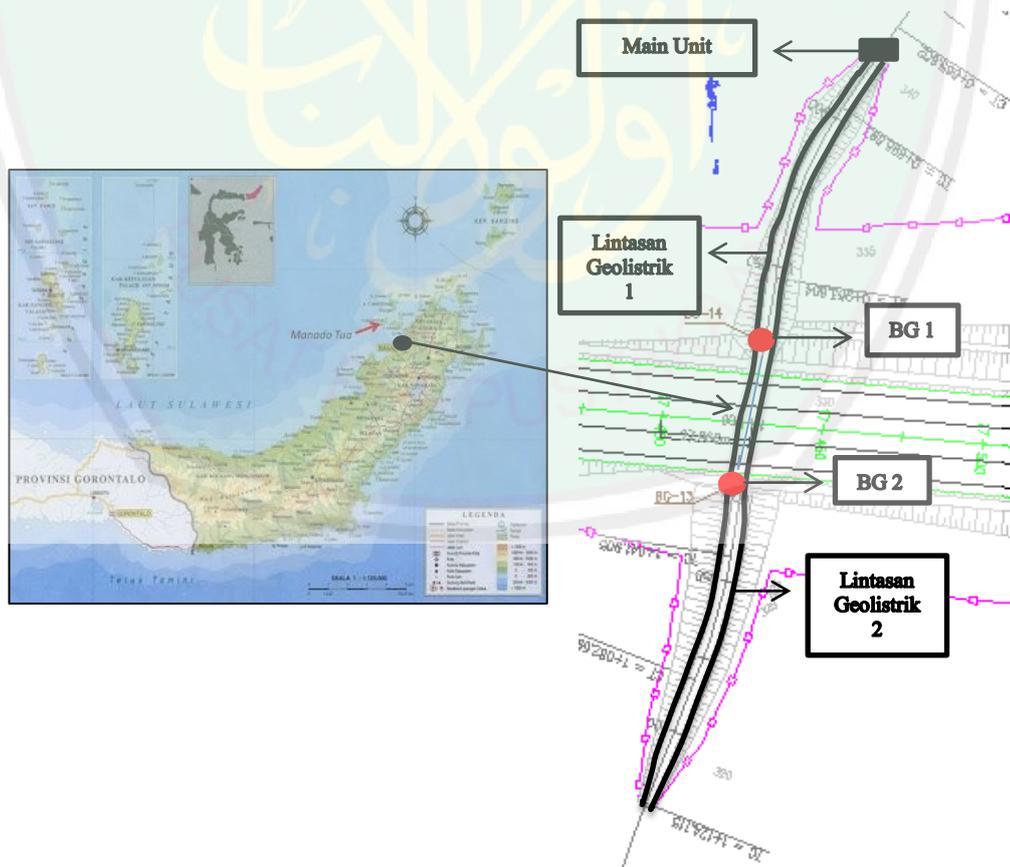
PI = indeks plastisitas



BAB III METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

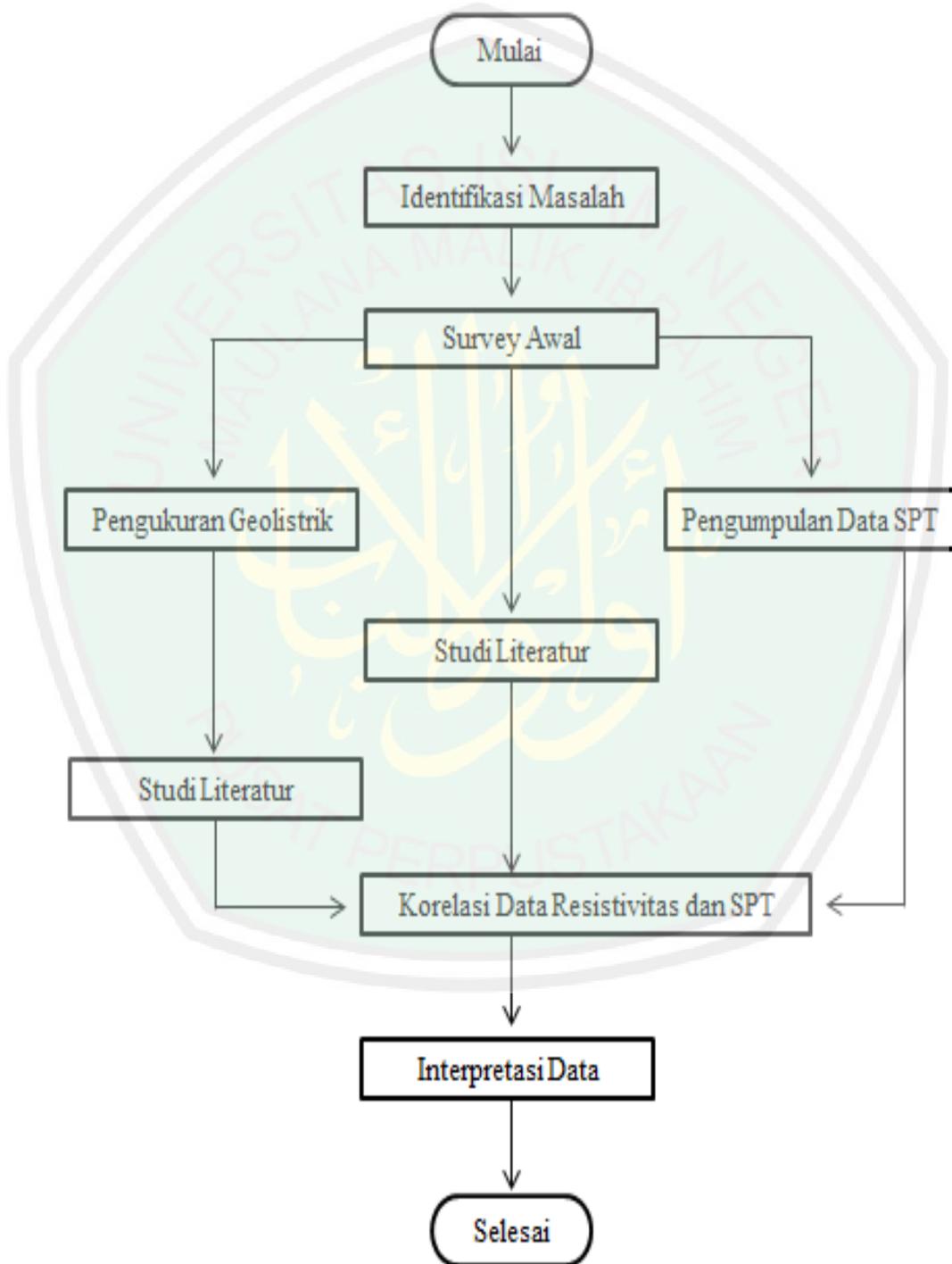
Penelitian ini menggunakan data sekunder yang akan diolah. Data penelitian ini diperoleh dari perusahaan X di Kota Manado Sulawesi Utara yang dilakukan pada bulan Oktober 2017 di Jalan Tol Manado-Bitung daerah kaki Gunung Klabat Kaima. Pengolahan data geolistrik bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.



Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengamatan Geolistrik dan *Bore Logging*

3.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 3.2 Skema Penelitian

3.3 Tahap Penelitian

Berikut penjelasan terhadap tahapan proses pengerjaan penelitian ini:

1. Identifikasi Masalah

Langkah awal yakni mengidentifikasi permasalahan penelitian ini. Permasalahan yang ada adalah perlunya mengidentifikasi struktur permukaan tanah yang berada pada lokasi yang akan digunakan untuk pembangunan *overpass* yang merupakan jalan lokal alternatif masyarakat untuk menghubungkan desa yang satu dengan lainnya.

2. Studi Kasus

Tahap studi kasus ini sangat penting karena akan mengetahui kasus pembangunan *overpass* dan cara mengatasi dengan melakukan penelitian, teknik akuisisi data dan pengolahan data untuk menyelesaikan masalah. Hal ini dapat dilakukan dengan mengolah data geolistrik dan juga data SPT untuk melihat struktur bawah permukaan daerah tersebut.

3. Pengumpulan Data Sekunder Geolistrik dan Data Hasil SPT (*Standart Penetration Test*)

Tahapan ini diperoleh data sekunder geolistrik dan data SPT. Data geolistrik yang diperoleh merupakan data mentah yang akan diolah, data geolistrik ini berisi nilai jarak elektroda, arus (I), tegangan (V), dan resistivitas (R). Adapun data SPT yang diperoleh merupakan data yang sudah jadi dan sudah diolah yang di dalamnya sudah ada nilai-nilai tekanan N-SPT yang menjelaskan struktur bawah permukaan berupa batuan dan tingkat kepadatannya.

4. Pengolahan Data Geolistrik

Pengolahan data dilakukan setelah dilakukan pengumpulan data, maka dapat diketahui hasil tentang resistivitas dari tiap-tiap titik, kemudian data tersebut dikalikan dengan faktor geometri untuk mendapatkan harga resistivitas semu (ρ_a) yang akan digunakan dalam membuat kontur dengan menghubungkan tiap-tiap nilai ρ_a tersebut. Dalam tahap pengolahan data geolistrik ini dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk mengolah data dan dijadikan dalam bentuk grafik. Digunakan juga *software* Res2dinv yang digunakan untuk memodelkan secara 2-D dengan menggunakan *inverse Robust*, program inversi ini menggambarkan dan membagi keadaan bawah permukaan secara vertikal dan horizontal. Model inversi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuadrat terkecil (*least square*).

Pengolahan data Res2dinv ini jika didapatkan nilai RMS error yang sangat besar, maka dilakukan perlakuan dengan menambahkan metode inversi model *Discretazation* lalu memilih pilihan *Use model Refinement*, Setelah itu data yang ada di inversi *least square* dahulu untuk mendapatkan format dengan akhiran .INV, setelah mendapatkan data dengan format akhiran .INV, kemudian masuk ke menu *Display* lalu masuk ke edit RMS *setting* untuk membuang data-data yang memiliki nilai error yang tidak wajar. Kemudian data disimpan dan dirunning awal ditambahi metode inversi *robust* sehingga akan diperoleh nilai error yang tidak tinggi.

5. Interpretasi Data Geolistrik dan Data SPT (*Standart Penetration Test*)

Interpretasi data adalah pemberian pandangan teoritis atau penafsiran suatu data. Interpretasi data merupakan tahapan terakhir dari pengolahan data geolistrik yang berupa pencitraan 2 dimensi dengan perbedaan warna akan diinterpretasikan letak zona lemah yang dikorelasi dengan nilai tekanan SPT dan juga hubungan nilai resistivitas dengan tekanan SPT.

6. Korelasi Hasil Interpretasi Data Geolistrik dan Data SPT (*Standart Penetration Test*)

Tahapan ini dimulai dengan menempelkan grafik titik pengeboran ke dalam gambar penampang geolistrik yang telah didapatkan. Penempelan ini bertujuan untuk meletakkan posisi sumur SPT di area lintasan pengukuran geolistrik yang nantinya untuk mengetahui hubungan keduanya. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai tekanan SPT dan resistivitas pada kedalaman tertentu. Data yang sudah didapatkan dibuat *plotting* untuk mendapatkan hubungan nilai resistivitas dengan nilai tekanan SPT.

BAB IV PEMBAHASAN

Jembatan layang (*overpass*) dalam penelitian ini merupakan sebuah jalan yang dibangun secara melayang diatas jalan tol. Jalan ini dibangun untuk mengurangi kemacetan lalu lintas yang ada di bawahnya dan juga berfungsi sebagai persimpangan jalan lokal dengan jalan tol bagi masyarakat untuk menghubungkan desa yang satu dengan yang lain.

Penelitian ini dilakukan di daerah Kaima dan daerah tersebut memiliki struktur geologi yang cukup baik, memiliki struktur bawah tanah yang cocok untuk dilakukan pondasi tiang dalam pembangunan *overpass*. Daerah penelitian merupakan daerah yang dikelilingi oleh pegunungan, sehingga daerah tersebut memiliki struktur batuan berupa batuan beku dari lelehan magma.

Menurut peta geologi, secara umum kota Manado memiliki struktur geologi yang terdiri dari batuan gunung api muda tipe Qv (*Quarter Volcanic*) yang memiliki komposisi batuan andesit yang diperoleh dari lava gunung yang terdapat di daerah tersebut dengan ketinggian 500 mdpl. Andesit merupakan jenis batuan beku kategori menengah sebagai hasil bentukan lelehan magma diorit. Jenis magma diorit merupakan salah satu magma terpenting dalam golongan kapur alkali sebagai sumber terbentuknya andesit. Batuan andesit tersebut berwarna abu-abu kehitaman, sedangkan warna dalam keadaan lapuk berwarna abu-abu kecoklatan. Butirannya andesit itu halus sampai kasar dan memiliki kuat tekan sekitar 600–2400 kg/cm² dan berat jenis antara 2,3–2,7 serta bertekstur porfiritik, keras dan kompak. Dari penjabaran peta geologi daerah penelitian memiliki

karakteristik batuan Andesit yang merupakan batuan beku sehingga bisa disimpulkan menurut peta geologi daerah Kauditan memiliki struktur daerah aluvium hasil dari pelapukan lava gunung yang terdapat di sekitar daerah Kauditan.

Pembangunan *overpass* akan dilakukan perancangan yang tepat untuk mencegah timbulnya perubahan bentuk yang mengakibatkan penurunan pembangunan. Oleh karena itu harus memperhatikan struktur tanah dan tata lingkungannya agar tidak terjadi kerusakan yang beresiko besar seperti akibat penurunan tanah ataupun gempa. Kondisi bawah permukaan tanah tersebut harus diketahui jenis tanah dan kedalaman batuan dasarnya (*bedrock*) yang belum mengalami pelapukan pada wilayah itu, maka perencanaan pembangunan pondasi dan kekuatannya bisa ditentukan (Kurniasari, 2008).

Struktur lapisan bawah permukaan daerah *overpass* Kaima tersebut dapat dilakukan dengan melakukan penelitian geoteknik dan juga geofisika berupa metode geolistrik dan SPT (*Standart Penetration Test*). Geolistrik dilakukan dengan cara mengalirkan tegangan arus listrik ke dalam tanah untuk mengetahui nilai resistivitas batuan di dalam tanah. Sedangkan SPT (*Standart Penetration Test*) dilakukan dengan cara mengebor tanah dengan mengetahui nilai N-SPT setiap kedalaman dan mengambil sampel tanah untuk diuji tingkat kepadatannya.

Data yang diperoleh merupakan data sekunder, dimana data SPT yang diperoleh adalah data sekunder yang sudah ada hasilnya, sedangkan untuk data geolistrik yang diperoleh merupakan data sekunder yang masih perlu diolah dan diinterpretasi hasilnya, kemudian akan dilakukan korelasi antara keduanya untuk

menguatkan hasil. Penelitian geolistrik yang dilakukan itu mengambil 2 lintasan yang setiap lintasannya memiliki panjang 240 meter. Geolistrik hanya diambil 2 lintasan saja, hal ini karena mengikuti jalan *overpass* yang akan dibangun dan mengikuti letak dari pengeboran tanah yang sudah dilakukan. Adapun konfigurasi yang digunakan pada geolistrik ini adalah konfigurasi Wenner-Schlumberger yang berfungsi untuk mengetahui struktur permukaan bawah tanah secara vertikal dan horizontal yaitu perpaduan antara konfigurasi Wenner Alpha dan konfigurasi Schlumberger. Metode tersebut digunakan karena untuk mengetahui kedalaman dan juga sebaran strukturnya di daerah *overpass* tersebut.

Penelitian geolistrik ini dilakukan menggunakan geolistrik *multichannel* yang posisi elektroda arus (C) dan elektroda potensial (P) tersebut berurutan C1 P1 P2 C2, dengan spasi elektrodanya adalah 10 meter. Adapun data yang diambil terdiri dari 2 lintasan geolistrik dengan panjang lintasan masing-masing adalah 240 meter dan panjang spasi elektrodanya adalah sebagai berikut:

- a. n_1 = Panjang spasi antar elektroda 10 meter dan diperoleh 21 *datum point*
- b. n_2 = Panjang spasi antar elektroda 20 meter dan diperoleh 19 *datum point*
- c. n_3 = Panjang spasi antar elektroda 30 meter dan diperoleh 17 *datum point*
- d. n_4 = Panjang spasi antar elektroda 40 meter dan diperoleh 15 *datum point*
- e. n_5 = Panjang spasi antar elektroda 50 meter dan diperoleh 13 *datum point*
- f. n_6 = Panjang spasi antar elektroda 60 meter dan diperoleh 11 *datum point*
- g. n_7 = Panjang spasi antar elektroda 70 meter dan diperoleh 9 *datum point*
- h. n_8 = Panjang spasi antar elektroda 80 meter dan diperoleh 7 *datum point*

Total jumlah data *datum point* yang diperoleh setiap lintasan adalah 112 data *datum point* dan jumlah keseluruhan data 2 lintasan geolistrik tersebut adalah 224 data *datum point*.

4.1 Pengolahan Data Geolistrik

Metode geolistrik resistivitas dilakukan untuk mengidentifikasi susunan permukaan bawah tanah dengan menggunakan sifat kelistrikan setiap batuan, sehingga mampu mengenali jenis-jenis batuan di bawah permukaan tersebut. Prinsip dari geolistrik tahanan jenis ini adalah dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui elektroda dan mengukur tegangan pada elektroda potensial pada susunan (konfigurasi) tertentu (Minarto, 2009).

Batuan di bawah permukaan tanah memiliki nilai resistivitas yang berbeda-beda, hal ini terjadi karena semakin besar nilai resistivitas batuan, semakin sulit batuan tersebut menghantarkan arus listrik. Oleh karena itu, resistivitas berbanding terbalik dengan konduktivitas. Metode geolistrik tersebut berasumsi bahwa bumi itu memiliki satu lapisan batuan saja (homogen isotropis), sehingga potensial yang terukur seolah-olah adalah harga resistivitas untuk satu lapisan saja. Oleh karena itu resistivitas yang terukur adalah resistivitas semu (ρ_a) (Reynold, 2005). Untuk mengetahui nilai resistivitas semu tersebut dapat dihitung dengan mengalikan data resistansi dengan faktor geometri.

Proses pengolahan data penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Res2dinv. *Software* tersebut digunakan untuk menampilkan data 2D penampang geolistrik. Adapun dalam mengolah data melalui Res2dinv ini

memerlukan beberapa input data diantaranya adalah *datum point*, spasi elektroda, variasi n dan nilai resistivitas.

Hasil pengolahan data geolistrik pada *software* Res2dinv ini ditampilkan dalam 3 tahapan antara lain *measured apparent pseudosection*, *calculated apparent resistivity pseudosection* dan *inverse model resistivity section*. Pada tahap *inverse model resistivity section* dapat ditampilkan model yang menerangkan kondisi bawah permukaan tanah dengan menampilkan nilai RMS errornya. Nilai error yang dihasilkan itu berupa persentase yang dihasilkan karena terdapat data yang error yang didapatkan karena kesalahan dalam pengambilan data ataupun kondisi alam. Nilai error yang diperoleh pada data geolistrik ini merupakan rata-rata error, bukan error yang terbaik karena dalam pengambilannya dilakukan 3 kali injeksi, sehingga diambil rata-rata errornya. Hal ini dikarenakan jika yang diambil nilai error terbaik, maka hal tersebut diidentifikasi bukan kondisi ideal dan saat dilakukan injeksi data itu kondisi lapisannya berbeda-beda (heterogen).

Tahap pengolahan data geolistrik pada *software* *res2dinv* ini dilakukan dengan menggunakan algoritma pencocokan model kurva dan menggunakan kurva standart dengan nilai error sekecil mungkin, karena error semakin kecil diasumsikan sudah mendekati nilai resistivitas sebenarnya. Menurut Asmaranto (2012) bahwa data hasil analisis akan menampilkan tingkat kesalahan yang mungkin dilakukan oleh peneliti, pada saat pengolahan data atau pada saat pengambilan data di lapangan. Pengolahan data yang baik disarankan agar nilai error $\leq 15\%$. Apabila melebihi batas tersebut diperlukan editing data.

Adapun dalam pengolahan data geolistrik pada penelitian ini, diperoleh nilai eror yang berada dibawah 10%, sehingga dapat dikatakan bahwa hasil struktur penampang daerah tersebut sudah mendekati nilai resistivitas yang sesungguhnya atau mendekati struktur yang sesungguhnya.

4.2 Interpretasi Data

Interpretasi yang akan dilakukan ini akan menjelaskan jenis dan struktur batuan/mineral yang diperoleh dari hasil pengolahan data dari geolistrik maupun SPT dengan panduan literatur dan parameter-parameter yang ada sebagai penguat hasil.

4.2.3 Interpretasi Data Geolistrik

Menentukan jenis dan struktur lapisan dari hasil geolistrik ini dapat dilihat dari nilai resistivitas batuan dan macam-macam warna yang dihasilkan dari penampang hasil pengolahan data geolistrik dan akan disesuaikan dengan tabel resistivitas dan data pendukung lainnya seperti data geologi daerah tersebut. Hasil interpretasi ini merupakan hasil penafsiran kualitatif untuk menafsirkan struktur geologi bawah permukaan daerah tersebut. Namun, dalam interpretasi ini terdapat ambiguitas karena beragam model yang dapat dihasilkan karena adanya parameter faktor geometri, rapat massa dan kedalaman yang tidak pasti (Hurun, 2016). Oleh karena itu, maka untuk menginterpretasi data ini diperlukan data pendukung berupa data geologi dan data nilai tahanan jenis batuan untuk menentukan gambaran struktur bawah permukaan daerah penelitian yang mengacu pada literaturnya sebagai berikut:

Tabel 4.1 Tabel Klasifikasi Batuan dan Nilai Resistivitas (Loke, 2000)

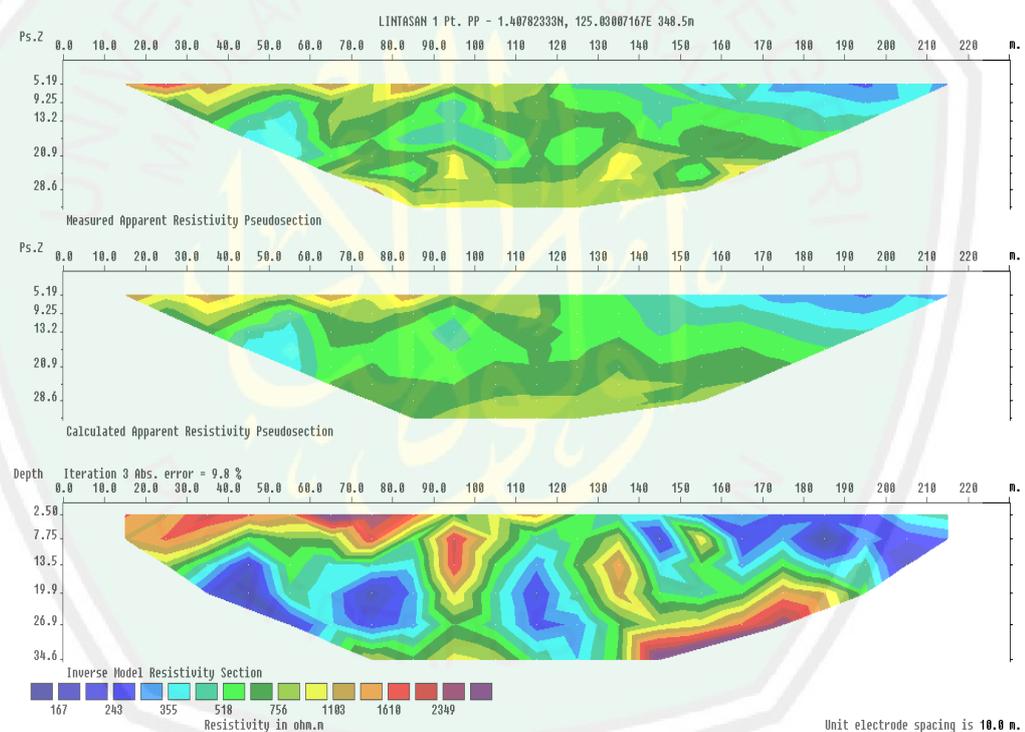
Material	Resistivity (Ohm.m)	Conductivity (Siemen/m)
Metamorphic Rocks		
Granite	$5 \times 10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2 \times 10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Slate	$6 \times 10^2 - 4 \times 10^3$	$2.5 \times 10^{-8} - 1.7 \times 10^{-3}$
Marble	$10^2 - 2.5 \times 10^3$	$4 \times 10^{-9}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

Hasil penelitian geolistrik yang diperoleh pada lintasan geolistrik 1 dan lintasan geolistrik 2 ini memiliki panjang yang sama yaitu 240 meter dengan spasi elektroda 10 meter, memiliki data *datum point* sebanyak 112 dan diperoleh kedalaman maksimum 34,6 meter yang dapat dilihat dalam bentuk penampang 2D dengan macam-macam warna yang menunjukkan nilai resistivitas yang berbeda.

Perlu diketahui bahwa keterangan warna pada geolistrik dapat dibaca atau dilihat bahwa semakin ke kanan, maka tingkat kepadatan struktur semakin padat yang mengarah struktur batuan beku. Adapun yang

mempengaruhi nilai resistivitas tersebut adalah semakin kecil besar butiran batuan maka kelolosan arus akan semakin baik dan mereduksi nilai tahanan jenis, apabila semakin meningkatnya kandungan mineral lempung akan mengakibatkan menurunkan nilai resistivitas dan semakin padat batuan yang teridentifikasi maka akan semakin tinggi nilai resistivitasnya.

Hasil model penampang 2D pada lintasan geolistrik 1 diperoleh gambar sebagai berikut:



Gambar 4.1 Model Penampang Resistivitas 2D Lintasan Geolistrik 1

Pengamatan hasil geolistrik pada lintasan 1 dilakukan 3 kali iterasi dan didapatkan nilai eror sebesar 9,8%. Berdasarkan hasil penampang 2D tersebut dapat terlihat bahwa dapat diperoleh hasil interpretasi lithologi yang disesuaikan dengan nilai resistivitas sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Interpretasi Lithologi pada Lintasan Geolistrik 1 (Sumber acuan: Telford, 1990; Loke, 2000)

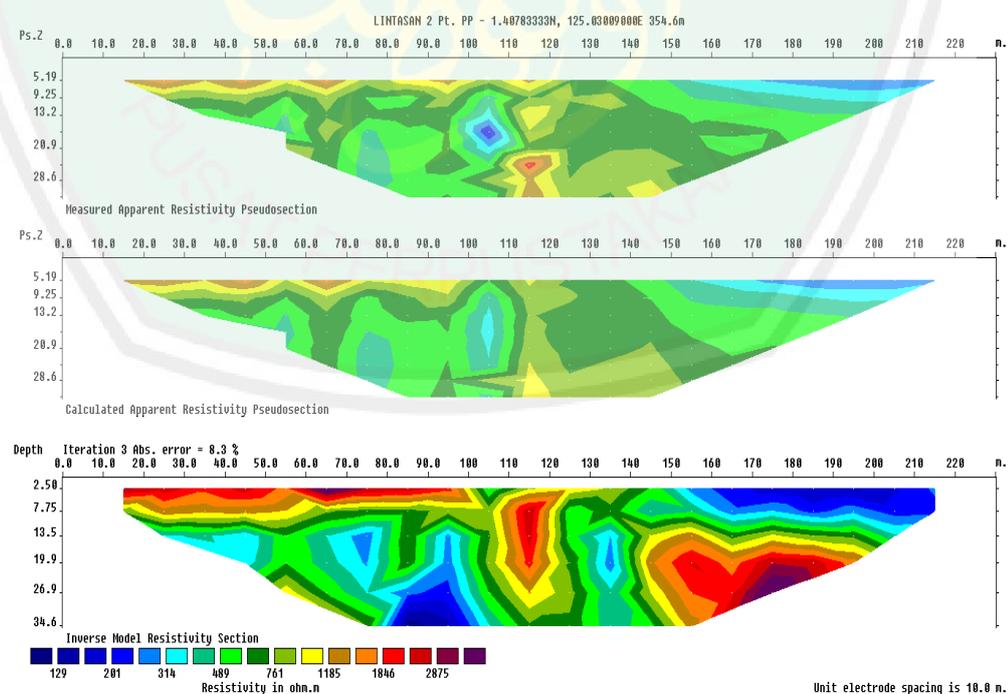
No.	Skala Warna	Nilai Tahanan Jenis ($\Omega.m$)	Jenis Batuan/material
1.		167 - 355	Gravelly silt dan gravelly clay (clay, silt, sand, alluvium)
2.		355 - 1000	Gravel, gravelly clay, gravelly silt, gravelly sand (alluvium, sandstone,)
3.		1000 - 2349	Gravelly silt (sandstone, andesite, basalt)

Perlu diketahui bahwa daerah penelitian merupakan daerah yang berada di daerah pegunungan dan terdiri dari endapan gunung. Dalam hal ini pembagian warna dan jenis material, untuk tingkat material lunak dengan nilai resistivitas <100 ohm meter, kemudian pada struktur sedang dengan nilai resistivitas antara 100-1000 ohm meter, sedangkan pada struktur padat/keras dengan nilai resistivitas <1000 ohm meter.

Pendugaan hasil struktur bawah permukaan daerah pada lintasan geolistrik 1 tersebut dapat diketahui bahwa pada lintasan 1 ini didominasi oleh warna biru tua ke biru muda, hijau ke kuning dan jingga ke ungu. Warna biru tua ke biru muda mewakili nilai resistivitas antara 100-355 ohm meter, maka daerah tersebut diduga terdiri dari struktur berupa *gravelly silt* (lanau kerikilan) dan *gravelly clay* (lempung kerikil) dari pelapukan batuan campuran dari *clay, silt, sand dan alluvium*. Lapisan tersebut ditemukan pada penampang dari bentangan 30-85 pada kedalaman 19,9 meter, pada bentangan 105-215 kedalaman 7,75 meter, pada bentangan 135-215 kedalaman 2,25 meter. Adapun warna hijau ke kuning itu mewakili nilai resistivitas antara

355-1000 ohm meter yang terletak dari bentangan 25-195 meter, maka daerah tersebut dapat diidentifikasi strukturnya sedang berupa *gravel*, *gravelly clay*, *gravelly silt*, *gravelly sand* dari pelapukan dan pengendapan dari *alluvium* dan *sandstone*. Ditemukan pula struktur dengan nilai resistivitas lebih dari 1000 ohm meter. Daerah tersebut mewakili warna jingga ke ungu dan dapat diidentifikasi *gravelly silt* hasil pelapukan dari batuan *sandstone*, *andesit* dan *basalt*. Batuan tersebut terdapat pada bentangan 15-80 meter pada kedalaman 2,50 meter, pada bentangan 95 meter kedalaman 7,75 meter, pada bentangan 110-140 meter pada kedalaman diatas 20 meter dan pada bentangan 135-185 meter pada kedalaman 20 meter.

Hasil penampang 2D lintasan geolistrik 2 diperoleh rata-rata nilai error sebesar 8,3% sebagai berikut:



Gambar 4.2 Model Penampang Resistivitas 2D Lintasan Geolistrik 2

Berdasarkan pemodelan 2D pada lapisan geolistrik 2 ini diperoleh hasil interpretasi lithologi sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil Interpretasi Lithologi pada Lintasan Geolistrik 2 (Sumber acuan: Telford, 1990; Loke, 2000)

No.	Skala Warna	Nilai Tahanan Jenis ($\Omega.m$)	Kepadatan Batuan
1.		129 - 314	Gravelly silt dan gravelly clay (clay, sand, silt, alluvium)
2.		314 - 1000	Gravel, gravelly clay, gravelly silt, gravelly sand (alluvium, sandstone)
3.		1000 - 2875	Gravelly silt (sandstone, andesit, basalt)

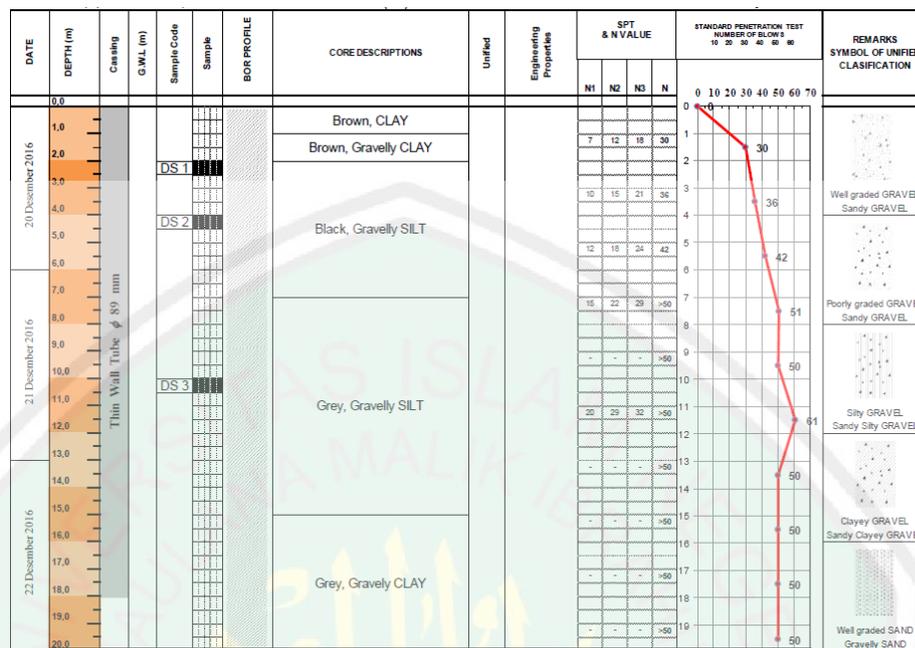
Pengamatan hasil geolistrik pada lintasan 2 diperoleh hasil bahwa pada lintasan 2 ini didominasi oleh warna biru tua ke biru muda, warna hijau ke kuning dan jingga ke ungu. Warna biru tua ke biru muda ini mewakili nilai resistivitas dari 129-314 ohm meter dan dapat diidentifikasi bahwa strukturnya adalah *gravelly silt* dan *gravelly clay* yang berasal dari pelapukan dari *clay, sand, silt, alluvium*. Lapisan tersebut terletak pada bentangan 70-100 meter kedalaman 7,75 meter, pada bentangan 130 meter kedalaman 7,75 meter dan pada bentangan 150-215 meter kedalaman 2,25 meter. Warna hijau dan kuning ini mewakili nilai resistivitas antara 314-1000 ohm meter, sehingga daerah tersebut dapat diduga bahwa strukturnya berupa *gravel, gravelly clay, gravelly silt, gravelly sand* yang berasal dari pelapukan dari *alluvium, sandstone* yang terletak dari bentangan 15-205 meter. Ditemukan struktur dengan nilai resistivitas lebih dari 1000 Ohm meter yang mewakili warna jingga ke ungu. Warna tersebut diidentifikasikan sebagai batuan keras yang

terdiri dari *gravelly silt* hasil pelapukan dari batuan *sandstone*, *andesit* dan *basalt*. Batuan tersebut terdapat pada bentangan 15-95 meter dengan kedalaman 2,50 meter, pada bentangan 110-120 meter kedalaman 7,75 meter dan pada bentangan 145-170 meter kedalaman diatas 20 meter.

4.2.4 Interpretasi Data SPT (*Standart Penetration Test*)

Hasil pengeboran tanah dan pengolahan data yang dilakukan oleh peneliti dari perusahaan X ini sudah dapat diketahui dan diidentifikasi bahwa hasil pengeboran tanah menggunakan SPT (*Standart Penetration Test*) pada *overpass* di jalan tol Manado-Bitung terdapat 2 data pengeboran yaitu *bore log 1* dan *bore log 2*. Pengeboran pada 2 lubang bor tersebut dilakukan hingga kedalaman 20 meter ke bawah tanah. Hal ini dikarenakan dalam kedalaman 20 meter tersebut sudah memenuhi untuk dilakukan pondasi dan jika dilakukan lebih dalam lagi, maka biaya yang dikeluarkan akan semakin mahal karena kedalaman batuan semakin keras. Oleh karena itu, perlu melihat geologi daerah terlebih dahulu kemudian dilakukan uji tanah SPT dengan cara menumbukkan alat bor berstandarisasi ke dalam tanah dengan mengambil nilai N-SPT perkedalaman 2 meter, setelah itu dapat diidentifikasi struktur bawah permukaannya berupa kedalaman tanah dan struktur kepadatan tanah menurut nilai N-SPT yang diperoleh. Adapun untuk mengetahui lebih detail jenis dan bentuk material batuan dapat dilakukan uji laboratorium.

Adapun hasil dari penelitian pengeboran tanah menggunakan SPT (*Standart Penetration Test*) di daerah *overpass* pada *bore log 1* adalah sebagai berikut:

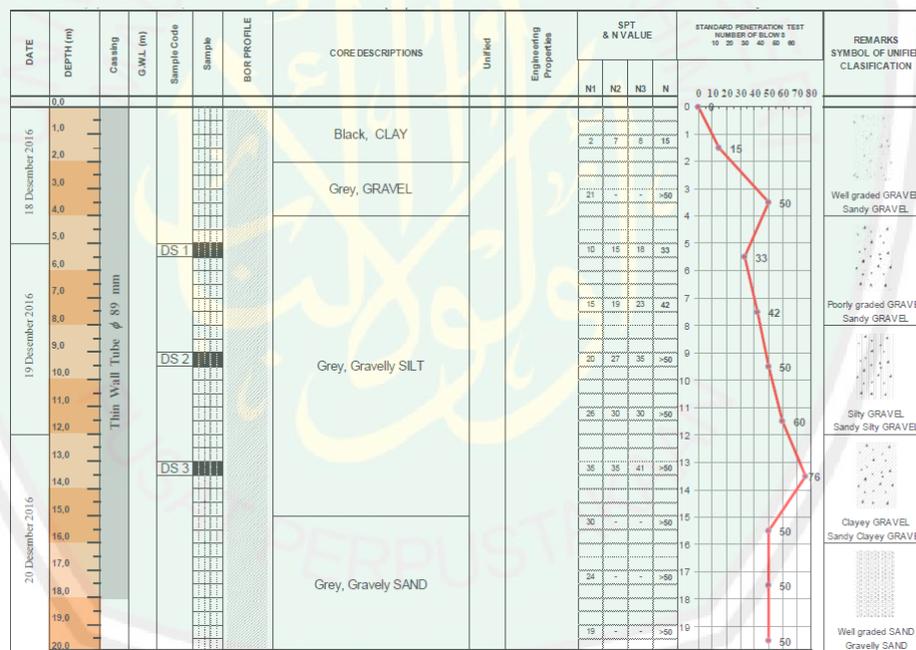
Gambar 4.3 Hasil N-SPT *Bore Log* 1

Hasil gambar 4.3 dapat diketahui bahwa kekerasan struktur batuan dapat diklasifikasikan bahwa nilai N-SPT <4 , maka strukturnya termasuk tanah sangat lunak. Jika N-SPT 4-10, maka strukturnya lunak, jika nilai N-SPT 10-30 strukturnya adalah sedang, jika N-SPT 30-50 strukturnya adalah padat dan jika nilai N-SPT >50 , maka strukturnya adalah sangat padat atau keras (Wesley, 2012).

Hasil penelitian data SPT pada *bore log* 1 tersebut dapat diidentifikasi bahwa kondisi pada daerah titik SPT didominasi oleh struktur sedang dan padat. Titik pengeboran *bore log* 1 dapat diketahui bahwa pada kedalaman 2 meter struktur dibawahnya merupakan struktur sedang karena nilai N-SPT adalah 30. Lapisan pada kedalaman 4, 6, 10, 14, 16, 18 dan 20 meter merupakan struktur padat karena nilai N-SPT adalah 30-50. Lapisan pada kedalaman 8 dan 12 meter termasuk struktur sangat padat atau keras dengan

nilai N-SPT >50 , dengan demikian untuk struktur di *bore log 1* didominasi struktur sedang dan padat. Struktur lapisan bawah permukaan yang dapat teridentifikasi pada struktur sedang adalah tanah lempung (*clay*) dan yang teridentifikasi pada struktur padat adalah lempung kerikilan (*gravelly clay*), pasir kerikilan (*gravelly sand*), dan lanau kerikilan (*gravelly silt*).

Adapun hasil dari penelitian pengeboran tanah menggunakan uji SPT (*Standart Penetration Test*) di daerah *overpass* pada *bore log 2* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4 Hasil N-SPT *Bore Log 2*

Hasil penelitian SPT pada *bore log 2* ini didapatkan hasil bahwa kondisi daerah struktur bawah permukaan pada titik bor tersebut didominasi oleh struktur lunak, sedang dan padat. Hasil *bore log 2* pada kedalaman 2 meter diperoleh nilai N-SPT 15 termasuk kategori tanah lunak. Lapisan pada kedalaman 4, 6, 8, 10, 16, 18 dan 19 meter didapatkan nilai N-SPT 30-50

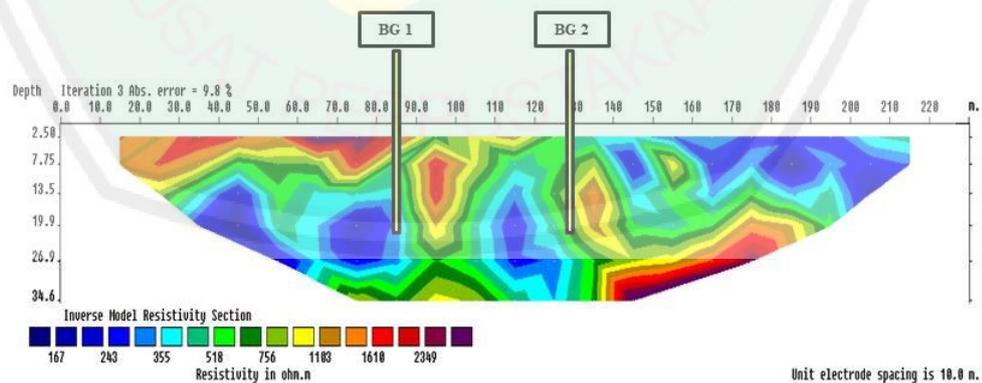
dimana pada nilai ini termasuk kategori struktur padat. Struktur pada kedalaman 12 dan 14 meter didapatkan nilai N-SPT >50, sehingga dapat diklasifikasikan bahwa struktur batumannya itu sangat padat/keras.

4.3 Korelasi Data Geolistrik dengan Data SPT (*Standart Penetration Test*)

Korelasi data dilakukan dengan cara menggabungkan hasil interpretasi data geolistrik dan SPT (*Standart Penetration Test*) bertujuan untuk memperkuat hasil penelitian. Korelasi data tersebut dapat digambarkan bahwa data bor berada di tengah-tengah-tengah antara lintasan geolistrik 1 dan lintasan geolistrik 2. Adapun data yang akan dikorelasikan itu hanya pada kedalaman sekitar 20 meter ke bawah permukaan tanah dan pada titik tertentu saja.

4.3.1 Korelasi Data Lintasan Geolistrik 1 dengan SPT

Adapun korelasi hasil pengolahan data lintasan geolistrik 1 dengan SPT (*Standart Penetration Test*) dapat diketahui sebagai berikut:



Gambar 4.5 Korelasi Hasil Penampang 2D Lintasan Geolistrik 1 dengan *Bore Log* SPT

Hasil korelasi pada gambar 4.5 dapat dilakukan pendugaan jenis batuan/mineral berdasarkan data lintasan geolistrik 1 dan lintasan geolistrik 2 dengan SPT pada tiap kedalaman sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hasil Korelasi Lintasan Geolistrik 1 Dengan *Bore Log* 1

Depth (m)	Soil Layer	Description	Depth (m)	Description
0.0			0.0	
1.0		Tak Terdefinisi	1.0	Brown, CLAY
2.0			2.0	Brown, Gravelly CLAY
3.0		Gravel Silt (Sandstone, Andesite, Basalt)	3.0	
4.0			4.0	Black, Gravelly SILT
5.0			5.0	
6.0		Gravel Silt (Sandstone, Alluvium)	6.0	
7.0			7.0	
8.0			8.0	
9.0			9.0	
10.0			10.0	
11.0			11.0	Grey, Gravelly SILT
12.0			12.0	
13.0			13.0	
14.0			14.0	
15.0		Gravel Silt, Gravelly Clay (Clay, Sand, Silt)	15.0	
16.0			16.0	
17.0			17.0	
18.0			18.0	Grey, Gravelly CLAY
19.0			19.0	
20.0			20.0	

Hasil dari table 4.4 dapat diketahui bahwa pada kedalaman 2,5 meter lapisan geolistrik tak terdefinisi karena merupakan lapisan teratas (*topsoil*), namun pada SPT sudah terbaca pada kedalaman 1 meter sudah terdefinisi bahwa lapisannya *clay* dan pada kedalaman 2 meter ditemukan *gravelly clay*. Struktur pada kedalaman 2,5-4,5 meter, didapatkan geolistrik dengan nilai resistivitas yang cukup besar sekitar >1000 ohm meter dan N-SPT sekitar 30-

50 pukulan, diduga nilai tersebut mewakili struktur *gravelly silt* (lanau kerikilan) dari pelapukan *sandstone*, *andesite*, *basalt*. Struktur pada kedalaman 4,50-12 meter pada geolistrik diperoleh nilai resistivitas sekitar 300-1000 ohm meter diduga struktur *gravelly silt* warna hitam dan abu-abu dari hasil pelapukan dari *sandstone* dan *alluvium* dengan N-SPT >50. Kedalaman 12-20 meter diduga geolistrik tersebut diperoleh nilai resistivitas sekitar 100-300 ohm meter dan N-SPT >50. Adapun struktur yang teridentifikasi adalah *gravelly silt* (lanau kerikilan) dan *gravelly clay* (lempung kerikilan) warna abu-abu hasil pelapukan dari *clay*, *sand*, *silt*, *alluvium*.

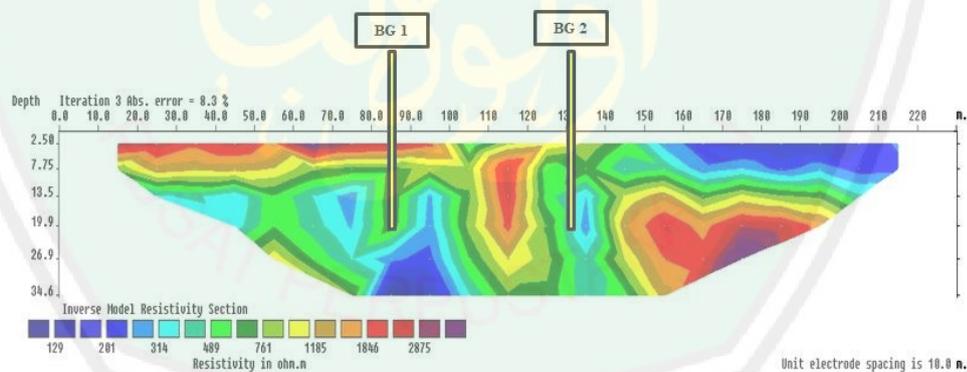
Tabel 4.5 Hasil Korelasi Lintasan Geolistrik 1 dengan *Bore Log* 2

Depth (m)	Soil Layer	Description	Depth (m)	Description
0.0			0.0	
1.0		Tak Terdefinisi	1.0	Black, CLAY
2.0			2.0	
3.0			3.0	Grey, GRAVEL
4.0			4.0	
5.0			5.0	
6.0			6.0	
7.0			7.0	
8.0			8.0	
9.0			9.0	
10.0			10.0	Grey, Gravelly SILT
11.0		Gravel, Gravelly Silt, Gravelly Sand (Sandstone, Alluvium)	11.0	
12.0			12.0	
13.0			13.0	
14.0			14.0	
15.0			15.0	
16.0			16.0	
17.0			17.0	
18.0			18.0	Grey, Gravelly SAND
19.0			19.0	
20.0			20.0	

Hasil Tabel 4.5 tersebut dapat diketahui bahwa dari kedalaman 2,5 meter lapisan geolistrik tak terdefinisi karena merupakan lapisan teratas (*topsoil*), namun pada SPT sudah terbaca pada kedalaman 2 meter terdefinisi lapisan *clay* dengan N-SPT <30. Lapisan pada kedalaman 2,5 hingga 20 meter lapisan tersebut memperoleh nilai resistivitas yang cukup besar sekitar 300-1000 ohm meter dengan N-SPT 30-50, diduga nilai tersebut merupakan struktur berupa *gravel*, *gravelly silt*, dan *gravelly sand* yang merupakan komponen penyusun hasil pelapukan dari batuan *sandstone*, *alluvium*.

4.3.2 Korelasi Data Lintasan Geolistrik 2 dengan SPT

Adapun korelasi hasil pengolahan data lintasan geolistrik 2 dengan SPT (*Standart Penetration Test*) dapat diketahui sebagai berikut:



Gambar 4.6 Korelasi Hasil Penampang 2D Lintasan Geolistrik 2 dengan *Bore Log* SPT

Hasil korelasi dari gambar 4.6 dapat dilakukan pendugaan jenis batuan/mineral berdasarkan data lintasan geolistrik 1 dan lintasan geolistrik 2 dengan SPT pada tiap kedalaman sebagai berikut:

Gambar 4.6 Hasil Korelasi Lintasan Geolistrik 2 dengan *Bore Log* 1

Depth (m)	Soil Layer	Description	Depth (m)	Description
0.0		Tak Terdefinisi	0.0	
1.0			1.0	Brown, CLAY
2.0		Gravel Silt (Sandstone, Andesite, Basalt)	2.0	Brown, Gravelly CLAY
3.0			3.0	Black, Gravelly SILT
4.0			4.0	
5.0			5.0	
6.0		Gravelly Silt, Gravelly Clay (Sandstone, Alluvium)	6.0	Grey, Gravelly SILT
7.0			7.0	
8.0			8.0	
9.0			9.0	
10.0			10.0	
11.0			11.0	
12.0			12.0	
13.0			13.0	
14.0			14.0	
15.0			15.0	
16.0		Grey, Gravelly CLAY	16.0	
17.0			17.0	
18.0			18.0	
19.0			19.0	
20.0			20.0	

Hasil dari tabel 4.6 tersebut dapat diketahui bahwa dari kedalaman 2,5 meter lapisan geolistrik tak terdefinisi karena merupakan lapisan teratas (*topsoil*), namun pada SPT sudah terbaca pada kedalaman 1 meter sudah terdefinisi bahwa lapisannya *clay* dan pada kedalaman 2 meter ditemukan *gravelly clay*. Struktur lapisan pada kedalaman 2,5 meter hingga 6 meter, geolistrik memperoleh nilai resistivitas yang cukup besar sekitar >1000 ohm meter dan N-SPT 30-50, sehingga yang teridentifikasi adalah *gravelly silt* warna hitam hasil dari pelapukan batuan *sandstone, andesite, basalt*. Adapun pada kedalaman 6 meter hingga 20 meter diduga geolistrik tersebut diperoleh

nilai resistivitas sekitar 100-1000 ohm meter dan N-SPT >50 yang struktur batumannya adalah *gravelly silt* dan *gravelly clay* berwarna abu-abu yang berasal dari pelapukan batuan *sandstone* dan *alluvium*.

Tabel 4.7 Hasil Korelasi Lintasan Geolistrik 2 Dengan *Bore Log 2*

Depth (m)	Soil Layer	Description	Depth (m)	Description
0.0		Tak Terdefinisi	0.0	
1.0			1.0	Black, CLAY
2.0		Gravel, Gravelly Silt, Gravelly Sand (Sandstone, Alluvium)	2.0	Grey, GRAVEL
3.0			3.0	Grey, Gravelly SILT
4.0			4.0	
5.0			5.0	
6.0			6.0	
7.0			7.0	
8.0			8.0	
9.0			9.0	
10.0			10.0	
11.0			11.0	
12.0			12.0	
13.0			13.0	
14.0			14.0	
15.0			15.0	
16.0			16.0	
17.0			17.0	
18.0			18.0	Grey, Gravelly SAND
19.0			19.0	
20.0		20.0		

Hasil dari tabel 4.7 dapat diketahui bahwa dari kedalaman 2,5 meter lapisan geolistrik tak terdefinisi karena merupakan lapisan teratas (*topsoil*), namun pada SPT sudah terbaca pada kedalaman 2 meter terdefinisi lapisan *clay* dengan N-SPT <30. Struktur lapisan pada kedalaman 2,5-20 meter lapisan tersebut memperoleh nilai resistivitas yang cukup besar sekitar 300-1000 ohm meter dan N-SPT 30-50, diduga strukturnya adalah *gravel*, *gravelly*

silt dan *gravelly sand* berwarna abu-abu yang merupakan hasil pelapukan dari batuan *Sandstone* dan *alluvium*.

4.3.3 Analisa Hasil Korelasi antara Geolistrik dengan SPT

Hasil struktur bawah permukaan yang terbaca pada SPT merupakan data yang sudah real, sehingga data tersebut dapat dijadikan oleh acuan data geolistrik. Sehingga hasil struktur yang diduga pada geolistrik itu dapat disinkronkan dengan SPT .

Batuan yang teridentifikasi pada lapisan di daerah *overpass* tersebut awalnya berasal dari batuan beku ekstrusif (batuan yang terbentuk dari lelehan magma hingga ke permukaan) berupa batuan andesit dan batuan basalt. Batuan andesit merupakan batuan kelompok *diorite* yang tersusun dari mineral silika kuarsa sekitar 55-66% dan mineral *mafic* kurang seimbang dengan mineral *felsic* sehingga berwarna abu-abu dominan sampai merah. Sedangkan batuan basalt itu merupakan batuan kelompok *gabro* yang tersusun dari mineral silika kuarsa sekitar 45-52% dan didominasi mineral *mafic* sehingga menunjukkan warna gelap (Subekti, 2017).

Batuan beku tersebut akan mengalami pelapukan secara klastik (proses mekanis/fisika dengan air, angin dan es dan warna mineral sebagai medianya). Pelapukan batuan beku (*andesite* dan *basalt*) akan mengalami pelapukan dan pengendapan membentuk batuan sedimen berupa beberapa komponen batuan, diantaranya adalah:

Tabel 4.8 Klasifikasi Batuan Sedimen Klastik (Plummer & McGeary, 1985)

Diameter (mm) Skala Wentworth	Nama Bahan Sedimen	Nama Batuan Sedimen
>256	<i>Boulder</i> (Bongkah)	Konglomerat bila permukaan bahan terikat halus dan bentuknya bulat bulat. Breksi bila permukaan kasar dan bentuknya runcing.
64 - 256	<i>Cobble</i> (Brangkal)	
4-64	<i>Pebble</i> (Kraikal)	
2-4	<i>Granule/Gravel</i> (Kerikil)	
0,05 – 2	<i>Sand</i> (Pasir)	<i>Sandstone</i> (Batu Pasir)
0,002 – 0,05	<i>Silt</i> (Lanau)	<i>Siltstone</i> (Batu Lanau)
<0,002	<i>Clay</i> (Lempung)	<i>Claystone</i> (batu lempung), <i>mudstone</i> (batu lumpur)

Jika batuan sedimen sudah terbentuk, maka akan mengalami pelapukan (sedimentasi) dari batuan sedimen itu sendiri sehingga menjadi material kecil-kecil berupa *gravel* (kerikil) dan *sand* (pasir), tekstur halus *silt* (lanau), dan *clay* (lempung) dengan struktur butiran sebagai berikut:

Tabel 4.9 Golongan Tanah dengan Batas Ukuran Butirnya (Wesley, 2012)

Tanah Berbutir Kasar (Tanah Non Kohesi)			Tanah Berbutir Halus (Tanah Kohesi)	
Kerikil	Pasir		Lanau	Lempung
	Kasar	Sedang		
60	2	0.6	0.2	0.06
Ukuran Butir (mm)				

Berdasarkan teori yang telah dijelaskan, dapat diketahui asal usul dari batuan yang teridentifikasi pada struktur lapisan bawah permukaan tanah di daerah *overpass* bahwa batuan yang terdiri dari *gravelly clay* (lempung kerikilan) terdiri dari 75% batuan lempung dan 25% kerikil, *gravelly silt* (lanau kerikilan) terdiri dari 75% batuan lanau dan 25% kerikil, dan *gravelly sand* (pasir kerikilan) terdiri dari 75% batuan pasir dan 25% kerikil

merupakan hasil dari sedimentasi atau pelapukan batuan beku atau pelapukan dari batuan sedimen itu sendiri. Adapun yang mempengaruhi warna batuan yang terdeteksi adalah karena terdapat mineral-mineral penyusun seperti *felsic* ataupun *mafic*. Mineral *felsic* ini cenderung berwarna merah dan mineral *mafic* ini cenderung berwarna gelap. Warna hitam menunjukkan bahwa mineral *mafic* lebih dominan dari *felsic*. Warna abu-abu menunjukkan bahwa mineral *mafic* dan *felsic* yang terkandung seimbang sedangkan warna cokelat menunjukkan bahwa mineral *felsic* lebih dominan dari pada *mafic*.

Menurut penampang geolistrik yang diperoleh, batuan yang teridentifikasi *gravel*, *gravelly clay*, *gravelly silt*, dan *gravelly sand* yang berasal dari hasil pelapukan batuan *sandstone*, *andesite* dan *basalt* tersebut merupakan struktur batuan keras, dimana batuan tersebut merupakan batuan kompak yang tidak berporos sehingga pemboran dilakukan lebih banyak untuk menembus lapisan batuan tersebut. Jika batuan berasal dari pelapukan *sandstone* dan *alluvium* dengan unsur pembentuk pasir kasar merupakan struktur tanah padat yang kompak namun berporos, sehingga bor lebih mudah untuk menembus lapisan tersebut. Jika batuan berasal dari pelapukan struktur lunak berupa *clay*, *sand*, dan *silt* dengan unsur pembentuk pasir sedang dan halus itu merupakan batuan berporos, namun tingkat kepadatannya paling rendah karena terdiri dari struktur yang lunak, sehingga pukulan bor SPT yang dihasilkan untuk menembus batuan tersebut lebih sedikit. Struktur lapisan batuan tersebut yang teridentifikasi termasuk batuan *non kohesi* (batuan yang tidak memiliki butiran-butiran yang menempel atau lengket) karena semuanya

terdapat unsur tanah yang berbutir kasar berupa kerikil, pasir kasar, pasir sedang, maupun pasir halus.

Hasil korelasi penampang geolistrik resistivitas dengan uji SPT tersebut terdapat hasil yang kurang sinkron saat korelasi pada lintasan geolistrik 1 dan lintasan geolistrik 2 pada *bore log* 1, karena pada struktur keras dengan resistivitas tinggi >1000 , namun nilai N-SPT yang dihasilkan lebih rendah daripada struktur yang resistivitasnya antara 100-1000 ohm meter. Kemungkinan besar hal ini dikarenakan dalam pengolahan data belum mendekati nilai resistivitas yang sesungguhnya, sehingga pembacaan dan penampang yang dihasilkan kurang sesuai dengan keadaan sesungguhnya di bawah permukaan daerah penelitian tersebut atau terdapat kesalahan pengolahan data dalam melakukan korelasi data geolistrik dengan data SPT tersebut.

Dapat diketahui pula bahwa pada hasil penampang lintasan geolistrik 1 dan lintasan geolistrik 2 dengan *bore log* 1 dan *bore log* 2 memiliki hasil data yang hampir sama bila dilakukan korelasi dan sinkronisasi. Data geolistrik dan SPT tersebut ternyata saling melengkapi karena terdapat kekurangan dan kelebihan masing-masing. SPT dapat menentukan struktur bawah permukaan tersebut secara khusus dan jelas, namun tidak bisa mengetahui batuan asal yang membentuk batuan tersebut, sedangkan geolistrik dapat menentukan struktur batuan dan meninjaunya secara luas material penyusun batuan tersebut dengan nilai resistivitas masing-masing batuan, namun tidak bisa menjelaskan secara khusus jenis, bentuk dan mineral batumannya.

Adapun hasil korelasi data geolistrik dengan SPT dapat diperoleh struktur permukaan bawah tanah di daerah tersebut itu berupa batuan yang memiliki nilai resistivitas yang tinggi dan juga memiliki nilai N-SPT >50 pada kedalaman 20 meter. Hal ini dapat disimpulkan bahwa hasil korelasi antara nilai resistivitas batuan dan nilai N-SPT secara empirik mengidentifikasi bahwa resistivitas batuan rendah memiliki nilai N-SPT yang rendah pula, begitupun sebaliknya bila resistivitas batuan tinggi, maka nilai N-SPT juga tinggi (Arsyad, 2013).

Hasil struktur bawah permukaan *overpass* tersebut yang telah diketahui hingga kedalaman 20 meter ke bawah permukaan sudah terlihat bahwa batuan yang teridentifikasi pada *bore hole* 1 adalah *gravelly clay* tergolong tanah berbutir halus dengan campuran kerikil, stabil dan cocok untuk inti selimut kedap air, daya dukung pondasi dapat menjadi baik dan buruk. Adapun pada *bore log* 2 adalah *gravelly sand* tergolong tanah berbutir kasar cocok digunakan untuk bagian tidak kedap air, tetapi perlu untuk pelindung lereng dan daya dukung pondasi baik (Sosrodarsono, 2000). Oleh karena itu, tanah yang teridentifikasi merupakan tanah yang padat dan juga bersifat non kohesi, setelah itu dapat direkomendasikan untuk melakukan perancangan pondasi tanah untuk pembangunan *overpass*. Adapun pondasi tiang yang cocok direkomendasikan untuk pembangunan *overpass* tersebut bisa menggunakan pondasi tiang pancang atau *bored pile* dengan bahan utamanya adalah kayu, beton, dan baja karena lapisan bawah permukaan daerah tersebut berupa tanah padat yang terletak pada kedalaman 20 meter.

Penelitian ini ternyata dapat dibuktikan bahwa penelitian geolistrik dapat dilakukan untuk memperkuat hasil data bor SPT (*Standart Penetration Test*) dalam menentukan struktur bawah tanah yang tepat dan akurat untuk melakukan pondasi tanah. Hal ini telah dibuktikan dengan adanya penelitian terdahulu yaitu penggabungan antara teknik geofisika dengan teknik sipil. Adapun penelitian terdahulu oleh Virman (2013) “Analisis Data Geolistrik dan Data Uji Tanah untuk Menentukan Struktur Bawah Permukaan Tanah Daerah Skyland Distrik Abepura Papua” yang bertujuan untuk mengetahui sifat fisis dan sifat teknis tanah untuk mengevaluasi dan juga merekomendasikan penyelesaian masalah pondasi. Penelitian tersebut dilakukan dengan mengambil data geolistrik dan mengkorelasikan dengan data uji tanah berupa N-SPT. Hasil N-SPT diperoleh kondisi tanah yang bersifat padat dan keras, memperoleh nilai resistivitas yang tinggi pula. Namun pada salah satu lapisan geolistrik terdapat ketidaksesuaian dalam mengkorelasikan data, hal ini dikarenakan di dapatkan nilai N-SPT kondisi tanahnya keras dan nilai tahanan jenisnya kondusif.

4.4 Struktur Lapisan Bawah Permukaan Tanah dalam al-Quran dan Hadits

Geolistrik dan uji SPT merupakan salah satu penelitian yang dilakukan untuk mengetahui struktur bawah permukaan tanah. Hasil dari penelitian tersebut dapat diperoleh variasi jenis, struktur tanah dan batuan berdasarkan warna dan kepadatan tanah yang ada di dalam bumi. Kedua metode tersebut memiliki fungsi yang sama, namun cara pengambilan data berbeda.

Geolistrik merupakan cara untuk mengetahui struktur tanah berdasarkan nilai resistivitas batuan dengan menggunakan sifat kelistrikan (Telford, 1990). Sedangkan SPT merupakan cara untuk mengetahui struktur bawah permukaan dengan cara melakukan pemboran tanah sesuai kedalaman yang diinginkan (Virman, 2013).

Hasil yang diperoleh dari penelitian untuk mengetahui struktur bawah permukaan *overpass* ini diperoleh berbagai macam jenis batuan dimana ditemukan 3 lapisan berupa batuan lunak, menengah dan juga padat. Struktur pada lapisan lunak itu terdapat tanah lempung, pada lapisan menengah ini terdapat batuan aluvium dan pada lapisan padat terdapat gravel yang merupakan batuan sedimen (batuan keras).

Berdasarkan studi geologi sudah dijelaskan bahwa struktur dalam bumi dibagi menjadi 3 lapisan yaitu kerak bumi, selimut bumi dan inti bumi. Namun, dalam kajian dan penelitian geofisika telah membuktikan bahwa lapisan bumi itu terdiri dari 7 lapisan, diantaranya adalah *centrosphere* (inti bumi), lapisan luar inti bumi, lapisan terbawah pita bumi (pita bawah), lapisan tengah pita bumi (pita tengah), lapisan teratas pita bumi (pita atas), lapisan bawah kerak bumi dan lapisan atas kerak bumi (Al-Jibal, tanpa tahun).

Hal ini ditegaskan dalam al-Quran surah ath-Thalaq [65]: 12:

اللَّهُ الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ مِثْلَهُنَّ يَتَنَزَّلُ الْأَمْرُ بَيْنَهُنَّ لِتَعْلَمُوا أَنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ وَأَنَّ اللَّهَ قَدْ أَحَاطَ بِكُلِّ شَيْءٍ عِلْمًا ۝

“Allah menciptakan tujuh langit dan dari (penciptaan) bumi juga serupa. Perintah Allah berlaku padanya, agar kamu mengetahui bahwa Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu, dan ilmu Allah benar-benar meliputi segala sesuatu” (Q.S ath-Thalaq [65]: 12).

Ayat diatas pada lafadz (سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَمِنَ الْأَرْضِ), kata سَبْعَ adalah kata bilangan yang artinya tujuh. Diambil kata اسبوع yang artinya satu minggu (tujuh hari). Pada mulanya kata سَبْعَ ini hanya untuk menunjukkan bilangan tertentu saja. Namun, orang arab menggunakan kata tersebut untuk menunjukkan jumlah banyak (Kementrian Agama RI, 2011). Ayat tersebut menjelaskan bahwa bumi itu terdiri dari 7 (tujuh) lapis seperti langit. Hal tersebut dapat diartikan bahwa bumi itu terdiri dari bermacam-macam struktur dan lapisan. Struktur dan lapisan tersebut tergantung dari kandungan material yang dikandung batuan penyusun masing-masing.

Adapun struktur lapisan pembentuk bumi menurut ilmuwan dibagi menjadi 7 (tujuh) macam diantaranya adalah inti bumi, luar inti bumi, lapisan terbawa pita bumi, lapisan tengah pita bumi, lapisan teratas pita bumi, lapisan bawah kerak bumi, lapisan atas kerak bumi.

Hal ini juga dikuatkan oleh hadits Nabi SAW tentang 7 lapisan penyusun bumi. Rosulullah SAW bersabda:

عَنْ سَعِيدِ بْنِ زَيْدِ بْنِ عَمْرِو بْنِ نُفَيْلٍ أَنَّهُ حَاصِمَتُهُ أَرَوَى فِي حَقِّ زَعَمَتْ أَنَّهُ انْتَقَصَهُ هَا إِلَى مَرْوَانَ فَقَالَ سَعِيدٌ أَنَا أَنْتَقِصُ مِنْ حَقِّهَا شَيْئًا أَشْهَدُ لَسَمِعْتُ رَسُولَ اللَّهِ ﷺ يَقُولُ مَنْ أَخَذَ شِبْرًا مِنَ الْأَرْضِ ظُلْمًا فَإِنَّهُ يُطَوَّقُهُ يَوْمَ الْقِيَامَةِ مِنْ سَبْعِ أَرْضِينَ □

“Dari Said bin Zaid bin Amr bin Nufail, ia dibanyah oleh para musuh terhadap hak kepemilikan sebidang tanah. kemudian Said berkata: Apakah aku mengambil sesuatu atau megurangi haknya? Aku bersaksi, aku benar-benar mendengar Rosulullah SAW bersabda: “Barangsiapa yang mengambil sejengkal tanah secara zhalim, sesungguhnya ia akan dibebani tujuh (lapis) bumi pada hari kiamat nanti.” (HR. Bukhori).

Hadist Nabi SAW diatas sangatlah menguatkan ayat yang berkaitan tentang 7 lapisan bumi (سَبْعَ أَرْضِينَ) dan juga menguatkan fakta-fakta geosains.

Secara ilmu pengetahuan, struktur dan lapisan bumi itu dapat diketahui dari lapisan kerak bumi. Lapisan pada kerak bumi dapat dilihat bentuk buminya berupa pegunungan, gunungapi, dataran, dll, sedangkan pada bawah lapisan bawah kerak tersebut dapat diketahui strukturnya yang berupa batuan yang terkandung sesuai dengan tingkat kekerasannya (Fatimatuazzahro, 2015).



BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun hasil pembahasan dari penelitian ini memiliki kesimpulan sebagai berikut:

1. Model struktur bawah permukaan overpass pada jalan tol Manado-Bitung yang dihasilkan oleh geolistrik dapat diperoleh hasil bahwa pada daerah penelitian tersebut terdiri dari struktur *gravel*, *gravelly clay*, *gravelly silt* dan *gravelly sand* dari pelapukan struktur lunak (*clay*, *silt*, *sand*, *alluvium*) dengan nilai resistivitas <300 ohm meter, struktur sedang (*sandstone*, *alluvium*) dengan nilai resistivitas 100-1000 ohm meter dan struktur keras (*sandstone*, *andesite*, dan *basalt*) dengan nilai resistivitas >1000 ohm meter.
2. Hasil korelasi dari geolistrik dengan N-SPT pada kedalaman 20 meter memiliki nilai resistivitas >500 ohm meter dan N-SPT sekitar >50. Hal ini dapat diketahui bahwa jika nilai resistivitas batuan yang diperoleh semakin tinggi, maka N-SPT yang diperoleh juga semakin tinggi. Struktur lapisan bawah permukaan yang teridentifikasi oleh geolistrik dan SPT tersebut merupakan jenis tanah berbutir kasar dan dapat dikategorikan tanah padat yang cocok digunakan untuk pondasi tanah dalam pembangunan *overpass* di jalan tol Manado-Bitung.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari hasil kesimpulan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Hasil geolistrik di daerah satu dapat dijadikan acuan untuk penelitian di daerah lain untuk digunakan sebagai studi literatur, namun tidak bisa disamakan karena kondisi daerah penelitian belum tentu sama, maka dari itu perlunya data penguat seperti data bor dan lainnya untuk memastikan detail jenis material yang terdapat pada wilayah lokasi penelitian.
2. Untuk menambah ketelitian dalam mengetahui struktur secara fisik, maka perlu dilakukan uji laboratorium agar hasil terlihat semakin rinci dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jibal Media berbagai Ilmu. Tanpa Tahun. *Tujuh (Lapis) Bumi*. (Online), (<https://waln.wordpress.com/pembuktian-sains-dalam-al-quran-dan-sunnah/tujuh-lapis-bumi/>), diakses pada 29 September 2018).
- Al-Qur'an al Karim. 2010. *Al-Qur'an dan Terjemahnya Departemen Agama RI al-Hikmah*. Bandung: Diponegoro.
- Al-Qurthubi, Syaikh Imam. 2009. *Tafsir Al-Qurthubi*. Jakarta: Pustaka Azzam.
- Arsyad, Ardy, dkk. 2013. *Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Integrasi Data Geofisika Tanah Batuan dan Geoteknik N-SPT (257G)*. Jurnal Geoteknik, 1 (1): 193-200.
- Asmaranto, Runi. 2012. *Identifikasi Air Tanah (Groundwater) Menggunakan Metode Resistivity (Geolistrik with IP2WIN Software)*. Malang: E-book Learning Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.
- Burger, Henry Robert. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface*. New Jersey: Prentice Hall.
- Dobrin, M. B. 1981. *Introduction to Geophysical Prospecting*. New York: Mc Graw-Hill.
- Fatimatuzzahroh, Siti. 2015. *Analisis Struktur Geologi Daerah Ranu Gedang Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Hurun, Nurisyadzatul. 2016. *Analisis Data Geolistrik Resistivitas untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur Bangkalan*. Skripsi. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Indarto, Hilmawan, Hanggoro Tri Cahyo A. dan Kukuh C. Adi Putra. 2013. *Aplikasi SNI Gempa 1726:2012*. Semarang: Training and Instruction Material FEMA 451B.
- Kearey, P., Brooks, M., dan Hill, I. 2002. *An Introduction to Geophysical and Exploration*. London: Blackwell Science Ltd.
- Kementrian Agama RI. 2011. *Al-Quran dan Tafsirnya*. Jakarta: Ikrar Mandiri Abadi.
- Kunetz, G. 1966. *Principles of Direct Current Resistivity Prospecting*. Berlin-Nikolasee: Gebruder Borntraeger.

- Kurniasari, P., 2008. *Identifikasi Batuan Dasar Dengan Metode Resistivitas Konfigurasi Schlumberger di Universitas Sebelas Maret Surakarta*. Tugas Akhir. Surakarta: FMIPA UNS.
- Loke, M.H. 2000. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies*. Edgbaston: The University of Birmingham.
- Lowrie, William. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. USA: Cambridge University Press, p293-320.
- Milson, John. 2003. *Field Geophysics, 3rd Edition*. England: John Willey & Sons Ltd.
- Minarto, Eko. 2009. *Pemodelan Inversi Data Geolistrik untuk Menentukan Struktur Pelapisan Bawah Permukaan Daerah Panas Bumi Matalako*. Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Plummer, Charles. C, McGreary, David, C. 1985. *Physical Geology*. New York: Mc Graw Hill Companies, Inc.
- Rahardjo, Paulus P. Tanpa Tahun. *Manual Pondasi Tiang*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Reynolds, Jhon M. 2005. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. USA: JhonWiley & Sons.
- Sakka, 2001. *Metoda Geolistrik Tahanan Jenis*. Makassar: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNHAS.
- Sosrodarsono, Suyono. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Terjemah dari "Soil Mechanics and Foundation Engineering" oleh Kazuto Nakazawa dkk. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Subekti, Imam. 2017. *Geologi Teknik*. Yogyakarta: Teknosain.
- Telford, W. M., L. P. Geldart, R. E Sheriff & D. A. Keys. 1990. *Applied Geophysic*. London: Cambridge University Press.
- Vebrianto, Suhendra. 2016. *Eksplorasi Metode Geolistrik: Resistivitas, Polarisasi, Terinduksi, dan Potensial Diri*. Malang: Universitas Brawijaya Press (UB Press).
- Virman. 2013. *Analisis Data Geolistrik dan Data Uji Tanah untuk Menentukan Struktur Bawah Permukaan Tanah Daerah Skyland Distrik Abepura Papua*. Jurnal Fisika, 3 (1): 43-50.
- Wesley, D Laurence. 2012. *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan & Residu*. Yogyakarta: Andi.

Wiraga, I. W. 2011. *Investigasi dan Uji Daya Dukung Tanah di Areal PLN Pesanggarahan dalam Rangka Pemilihan Pondasi yang Tepat Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Disel PLN*. Jurnal Matrix. 1 (3): 19-25.





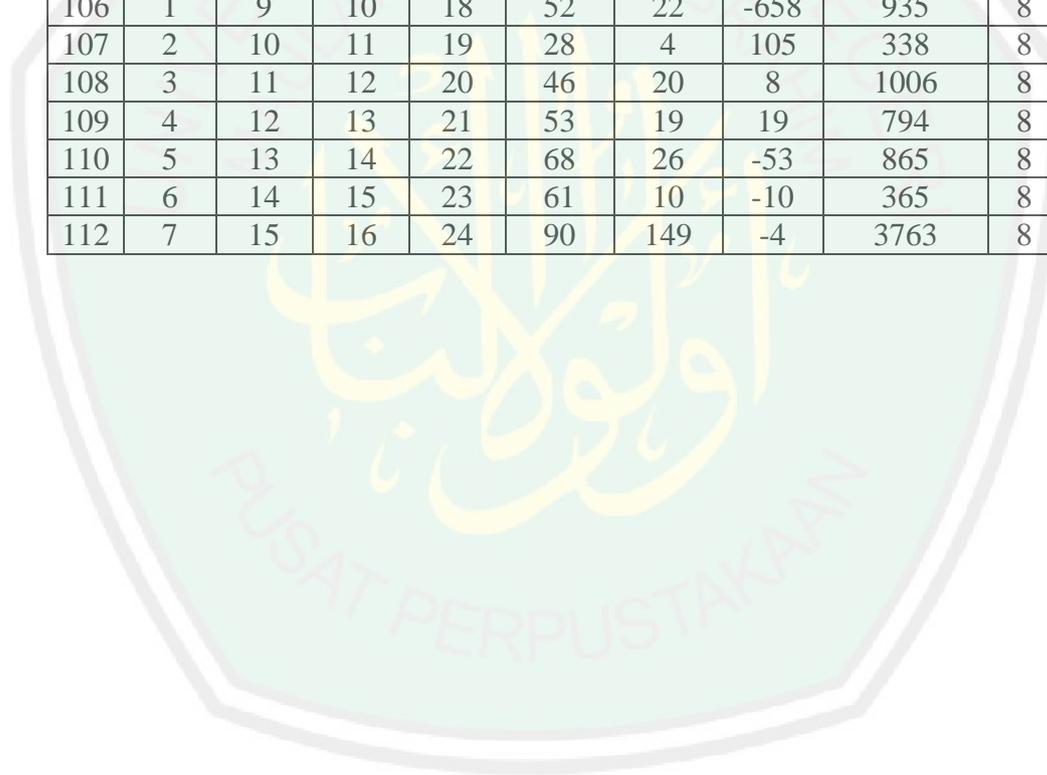
LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Geolistrik Konfigurasi Wenner Schlumberger Lintasan

No.	C1	P1	P2	C2	I (mA)	V (mV)	PS (mV)	r (Ohm.m)	n	Datum Point
1	1	2	3	4	42	900	-1	1335	1	15
2	2	3	4	5	25	785	-377	1998	1	25
3	3	4	5	6	54	1079	-375	1259	1	35
4	4	5	6	7	59	937	-91	1000	1	45
5	5	6	7	8	35	482	-328	868	1	55
6	6	7	8	9	48	1004	-226	1320	1	65
7	7	8	9	10	142	2011	-225	889	1	75
8	8	9	10	11	24	537	-481	1413	1	85
9	9	10	11	12	57	714	-80	780	1	95
10	10	11	12	13	189	2794	-268	927	1	105
11	11	12	13	14	39	521	-321	841	1	115
12	12	13	14	15	157	1220	-151	487	1	125
13	13	14	15	16	20	154	-294	482	1	135
14	14	15	16	17	24	210	-267	545	1	145
15	15	16	17	18	112	609	-370	342	1	155
16	16	17	18	19	21	184	61	548	1	165
17	17	18	19	20	22	108	-260	306	1	175
18	18	19	20	21	70	346	-214	312	1	185
19	19	20	21	22	92	406	-377	278	1	195
20	20	21	22	23	50	307	-375	383	1	205
21	21	22	23	24	77	413	-238	338	1	215
22	1	3	4	6	51	175	28	647	2	25
23	2	4	5	7	25	128	-156	971	2	35
24	3	5	6	8	30	101	-6	641	2	45
25	4	6	7	9	39	97	13	463	2	55
26	5	7	8	10	145	540	-79	703	2	65
27	6	8	9	11	37	175	37	896	2	75
28	7	9	10	12	101	359	-350	671	2	85
29	8	10	11	13	39	93	145	450	2	95
30	9	11	12	14	52	220	-52	803	2	105
31	10	12	13	15	283	1041	2	693	2	115
32	11	13	14	16	16	50	-42	592	2	125
33	12	14	15	17	25	75	-122	558	2	135
34	13	15	16	18	92	240	26	489	2	145
35	14	16	17	19	136	372	-34	516	2	155
36	15	17	18	20	77	179	-33	440	2	165
37	16	18	19	21	19	45	-140	443	2	175
38	17	19	20	22	23	47	-88	385	2	185
39	18	20	21	23	63	116	37	348	2	195
40	19	21	22	24	142	284	-110	375	2	205
41	1	4	5	8	29	51	-136	663	3	35
42	2	5	6	9	20	25	151	460	3	45
43	3	6	7	10	80	81	-10	379	3	55
44	4	7	8	11	32	68	-141	787	3	65

45	5	8	9	12	102	183	107	675	3	75
46	6	9	10	13	89	141	-345	599	3	85
47	7	10	11	14	88	116	150	497	3	95
48	8	11	12	15	42	78	-38	698	3	105
49	9	12	13	16	17	33	6	720	3	115
50	10	13	14	17	27	49	-18	682	3	125
51	11	14	15	18	37	68	2	689	3	135
52	12	15	16	19	169	219	-28	489	3	145
53	13	16	17	20	68	105	-18	589	3	155
54	14	17	18	21	75	115	48	580	3	165
55	15	18	19	22	88	122	-140	522	3	175
56	16	19	20	23	19	22	-34	439	3	185
57	17	20	21	24	25	30	6	458	3	195
58	1	5	6	10	73	46	130	396	4	45
59	2	6	7	11	19	12	-18	391	4	55
60	3	7	8	12	66	78	-78	752	4	65
61	4	8	9	13	66	65	97	625	4	75
62	5	9	10	14	89	63	-480	446	4	85
63	6	10	11	15	106	79	278	468	4	95
64	7	11	12	16	20	15	-27	490	4	105
65	8	12	13	17	18	20	-7	693	4	115
66	9	13	14	18	47	38	-17	512	4	125
67	10	14	15	19	325	364	-20	704	4	135
68	11	15	16	20	33	28	-2	541	4	145
69	12	16	17	21	83	100	23	754	4	155
70	13	17	18	22	76	78	36	646	4	165
71	14	18	19	23	68	64	-137	598	4	175
72	15	19	20	24	133	122	36	574	4	185
73	1	6	7	12	61	25	-85	385	5	55
74	2	7	8	13	26	15	-10	544	5	65
75	3	8	9	14	60	47	106	740	5	75
76	4	9	10	15	74	53	-278	668	5	85
77	5	10	11	16	20	20	120	969	5	95
78	6	11	12	17	24	11	-91	441	5	105
79	7	12	13	18	79	55	53	653	5	115
80	8	13	14	19	43	24	-40	517	5	125
81	9	14	15	20	39	40	-12	963	5	135
82	10	15	16	21	110	99	-13	851	5	145
83	11	16	17	22	35	27	5	721	5	155
84	12	17	18	23	76	56	37	700	5	165
85	13	18	19	24	107	76	-47	670	5	175
86	1	7	8	14	56	34	-54	799	6	65
87	2	8	9	15	28	13	125	599	6	75
88	3	9	10	16	18	7	-257	502	6	85
89	4	10	11	17	22	16	123	993	6	95
90	5	11	12	18	80	43	62	715	6	105

91	6	12	13	19	110	61	47	736	6	115
92	7	13	14	20	60	33	-157	728	6	125
93	8	14	15	21	34	26	-8	999	6	135
94	9	15	16	22	42	7	-28	215	6	145
95	10	16	17	23	99	38	1	505	6	155
96	11	17	18	24	40	34	38	1130	6	165
97	1	8	9	16	18	12	144	1179	7	75
98	2	9	10	17	15	6	-271	717	7	85
99	3	10	11	18	55	11	153	340	7	95
100	4	11	12	19	76	34	-54	777	7	105
101	5	12	13	20	61	27	26	776	7	115
102	6	13	14	21	66	31	-79	824	7	125
103	7	14	15	22	67	29	-7	777	7	135
104	8	15	16	23	32	14	-30	759	7	145
105	9	16	17	24	50	24	16	831	7	155
106	1	9	10	18	52	22	-658	935	8	85
107	2	10	11	19	28	4	105	338	8	95
108	3	11	12	20	46	20	8	1006	8	105
109	4	12	13	21	53	19	19	794	8	115
110	5	13	14	22	68	26	-53	865	8	125
111	6	14	15	23	61	10	-10	365	8	135
112	7	15	16	24	90	149	-4	3763	8	145

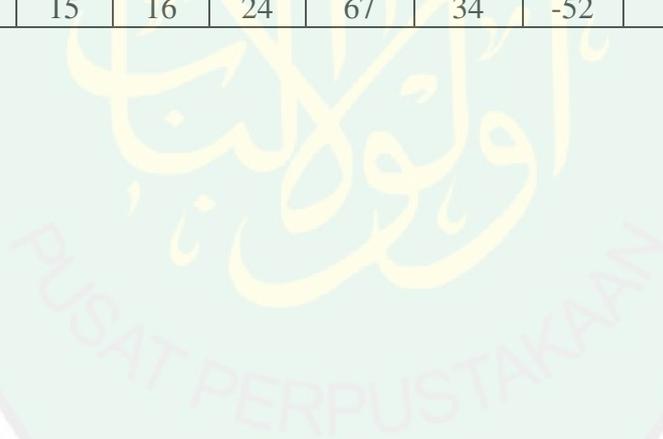


Lampiran 2 Data Geolistrik Konfigurasi Wenner Schlumberger Lintasan 2

No.	C1	P1	P2	C2	I (mA)	V (mV)	PS (mV)	r (Ohm.m)	n	Datum Point
1	1	2	3	4	35	687	140	1228	1	15
2	2	3	4	5	63	1708	-417	1705	1	25
3	3	4	5	6	22	413	51	1201	1	35
4	4	5	6	7	36	919	-275	1594	1	45
5	5	6	7	8	55	877	-320	1005	1	55
6	6	7	8	9	28	735	-211	1667	1	65
7	7	8	9	10	64	842	-180	820	1	75
8	8	9	10	11	116	1940	-540	1050	1	85
9	9	10	11	12	42	876	-73	1309	1	95
10	10	11	12	13	160	2086	-209	820	1	105
11	11	12	13	14	157	3191	-389	1277	1	115
12	12	13	14	15	37	445	-262	757	1	125
13	13	14	15	16	115	1090	-177	593	1	135
14	14	15	16	17	54	481	-502	563	1	145
15	15	16	17	18	41	253	-296	385	1	155
16	16	17	18	19	128	695	-376	342	1	165
17	17	18	19	20	51	243	-346	300	1	175
18	18	19	20	21	57	250	-287	276	1	185
19	19	20	21	22	189	771	-360	256	1	195
20	20	21	22	23	141	598	-177	267	1	205
21	21	22	23	24	194	892	-315	289	1	215
22	1	3	4	6	21	85	-21	770	2	25
23	2	4	5	7	59	236	-60	756	2	35
24	3	5	6	8	52	229	-63	825	2	45
25	4	6	7	9	60	186	-105	588	2	55
26	5	7	8	10	71	314	39	830	2	65
27	6	8	9	11	29	94	-118	606	2	75
28	7	9	10	12	30	86	-258	535	2	85
29	8	10	11	13	124	570	237	867	2	95
30	9	11	12	14	124	283	80	430	2	105
31	10	12	13	15	105	421	-239	753	2	115
32	11	13	14	16	118	486	-6	779	2	125
33	12	14	15	17	29	126	-74	813	2	135
34	13	15	16	18	57	166	-64	550	2	145
35	14	16	17	19	106	272	34	486	2	155
36	15	17	18	20	80	192	-74	455	2	165
37	16	18	19	21	136	306	-98	424	2	175
38	17	19	20	22	62	127	-59	387	2	185
39	18	20	21	23	59	114	-124	366	2	195
40	19	21	22	24	190	369	60	366	2	205
41	1	4	5	8	49	68	-103	523	3	35
42	2	5	6	9	126	217	106	647	3	45
43	3	6	7	10	68	84	-51	472	3	55
44	4	7	8	11	67	132	-39	740	3	65

45	5	8	9	12	30	51	-56	641	3	75
46	6	9	10	13	30	55	-216	686	3	85
47	7	10	11	14	59	103	235	660	3	95
48	8	11	12	15	73	68	152	348	3	105
49	9	12	13	16	101	317	-156	1187	3	115
50	10	13	14	17	58	107	-28	694	3	125
51	11	14	15	18	53	102	-38	731	3	135
52	12	15	16	19	43	79	-45	690	3	145
53	13	16	17	20	133	208	12	589	3	155
54	14	17	18	21	106	160	-23	573	3	165
55	15	18	19	22	113	164	5	546	3	175
56	16	19	20	23	140	184	-107	494	3	185
57	17	20	21	24	59	79	-111	498	3	195
58	1	5	6	10	64	7	100	68	4	45
59	2	6	7	11	157	110	-51	440	4	55
60	3	7	8	12	30	41	108	855	4	65
61	4	8	9	13	66	48	-74	462	4	75
62	5	9	10	14	63	58	-359	574	4	85
63	6	10	11	15	26	25	241	617	4	95
64	7	11	12	16	53	17	199	199	4	105
65	8	12	13	17	46	68	-249	925	4	115
66	9	13	14	18	48	51	43	665	4	125
67	10	14	15	19	160	183	46	716	4	135
68	11	15	16	20	123	141	-91	723	4	145
69	12	16	17	21	44	45	-6	633	4	155
70	13	17	18	22	184	191	-29	653	4	165
71	14	18	19	23	108	107	-42	621	4	175
72	15	19	20	24	113	99	-26	550	4	185
73	1	6	7	12	29	27	83	890	5	55
74	2	7	8	13	108	81	153	711	5	65
75	3	8	9	14	60	29	-118	448	5	75
76	4	9	10	15	47	27	-371	545	5	85
77	5	10	11	16	56	37	446	622	5	95
78	6	11	12	17	21	7	103	321	5	105
79	7	12	13	18	33	24	-597	682	5	115
80	8	13	14	19	123	91	68	699	5	125
81	9	14	15	20	102	81	15	747	5	135
82	10	15	16	21	163	130	-69	754	5	145
83	11	16	17	22	151	112	32	696	5	155
84	12	17	18	23	44	23	-24	501	5	165
85	13	18	19	24	185	128	-21	651	5	175
86	1	7	8	14	58	30	171	688	6	65
87	2	8	9	15	91	29	-88	429	6	75
88	3	9	10	16	53	22	-412	535	6	85
89	4	10	11	17	34	19	505	724	6	95
90	5	11	12	18	35	14	257	528	6	105

91	6	12	13	19	30	49	-224	2160	6	115
92	7	13	14	20	53	29	-146	733	6	125
93	8	14	15	21	124	77	-5	823	6	135
94	9	15	16	22	165	107	-47	853	6	145
95	10	16	17	23	171	95	21	737	6	155
96	11	17	18	24	152	86	-17	748	6	165
97	1	8	9	16	53	13	-13	434	7	75
98	2	9	10	17	50	15	-550	520	7	85
99	3	10	11	18	33	10	391	536	7	95
100	4	11	12	19	63	2	89	68	7	105
101	5	12	13	20	57	40	-318	1251	7	115
102	6	13	14	21	30	13	-45	764	7	125
103	7	14	15	22	67	32	11	834	7	135
104	8	15	16	23	126	68	-69	944	7	145
105	9	16	17	24	166	58	11	620	7	155
106	1	9	10	18	33	8	-467	562	8	85
107	2	10	11	19	108	30	483	618	8	95
108	3	11	12	20	55	12	148	485	8	105
109	4	12	13	21	63	40	-306	1433	8	115
110	5	13	14	22	73	27	-15	839	8	125
111	6	14	15	23	30	10	16	727	8	135
112	7	15	16	24	67	34	-52	1146	8	145





KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Siti Shobihah
NIM : 14640022
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Identifikasi Struktur Bawah Permukaan dengan Menggunakan Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger dan Data SPT (*Standart Penetration Test*)
Pembimbing I : Drs. Abdul Basid, M.Si
Pembimbing II : Umayatus Syarifah, M.A

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1	20 Februari 2018	Konsultasi Bab I, II dan III	
2	25 Maret 2018	Konsultasi Bab I, II, III dan Acc	
3	13 Juli 2018	Konsultasi Agama Bab 1 dan II	
4	31 Juli 2018	Konsultasi Agama Bab 1, II dan Acc	
5	31 Juli 2018	Konsultasi Data dan Acc	
6	13 Agustus 2018	Konsultasi Bab IV dan V	
7	05 September 2018	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	
8	18 September 2018	Konsultasi Bab IV, V dan Acc	
9	27 September 2018	Konsultasi Kajian Agama dan Acc	
10	28 September 2018	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan Acc	

Malang, 28 September 2018

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika

Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP.19650504 199003 1 003