

Skripsi Geofisika

**APLIKASI GEOLISTRIK RESISTIVITAS DALAM PERENCANAAN
PEMBANGUNAN JEMBATAN PENGHUBUNG PULAU BUTON DAN
PULAU MUNA, SULAWESI TENGGARA**



OLEH:

AYYUB ALQADRI

H221 16 515

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

**APLIKASI GEOLISTRIK RESISTIVITAS DALAM PERENCANAAN
PEMBANGUNAN JEMBATAN PENGHUBUNG PULAU BUTON DAN
PULAU MUNA, SULAWESI TENGGARA**

Skripsi ini untuk melengkapi tugas akhir dan memenuhi syarat untuk memperoleh
gelar sarjana Pada Program Studi Geofisika



Disusun dan Diajukan Oleh:

AYYUB ALQADRI

H221 16 515

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**APLIKASI GEOLISTRIK RESISTIVITAS DALAM PERENCANAAN
PEMBANGUNAN JEMBATAN PENGHUBUNG PULAU BUTON DAN
PULAU MUNA, SULAWESI TENGGARA**

Oleh:

AYYUB ALQADRI

H221 16 515

SKRIPSI

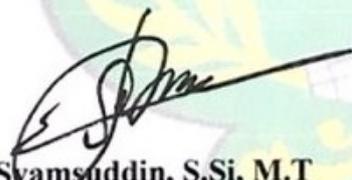
**Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Ujian Guna Memperoleh Gelar Sarjana
Sains Program Pendidikan Sarjana, Departemen Geofisika
Telah Disetujui Oleh Tim Pembimbing Pada Tanggal
Seperti Tertera Di Bawah Ini :**

Disetujui Oleh :

Makassar, 17 Agustus 2021

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama


Syamsuddin, S.Si, M.T
NIP. 197401152002121001


Sabrianto Aswad, S.Si, M.T
NIP. 197805242005011002

**Mengetahui,
Ketua Departemen Geofisika**


Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.eng
NIP. 196709291993031003

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ayyub Alqadri
NIM : H22116515
Departemen : Geofisika
Judul Tugas Akhir : Aplikasi Geolistrik Resistivitas Dalam Perencanaan
Pembangunan Jembatan Penghubung Pulau Buton
Dan Pulau Muna, Sulawesi Tenggara.

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin atau Lembaga Penelitian lain kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, karya tulis ini merupakan murni dari gagasan penelitian saya sendiri, kecuali arahan Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 17 Agustus 2021

Yang Membuat Pernyataan,



AYYUB ALQADRI

ABSTRAK

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi meneruskan jalan melalui suatu rintangan, dalam perencanaan pembangunan berskala besar perlu dilakukan identifikasi kondisi lapisan bawah permukaan guna meminimalisir kegagalan dalam pembangunan jembatan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui informasi lapisan bawah permukaan, dan menentukan lapisan yang nantinya akan bertindak sebagai lapisan pondasi. Metode yang digunakan ialah geolistrik resistivitas konfigurasi *Wenner-Schlumberger* serta didukung dengan data *Standard Penetration Test* (SPT) dan data geologi dari data bor. Hasil Interpretasi dan analisis penampang resistivitas 2D menunjukkan lapisan batu gamping klastik dengan nilai $0.362 \Omega\text{m} - 118 \Omega\text{m}$, lapisan batulempung dengan nilai $118 \Omega\text{m} - 3550.7 \Omega\text{m}$, lapisan batu gamping terumbu dengan nilai $1798 \Omega\text{m} - 138663 \Omega\text{m}$ dan yang dapat bertindak sebagai lapisan tempat pondasi didirikan ialah lapisan batulempung pada kedalaman 35-80 meter.

Kata Kunci: Geolistrik, Resistivitas, *Wenner-schlumberger*, Jembatan, Pondasi

ABSTRACT

The bridge is a construction that functions to continue the path through an obstacle, in the construction of large-scale buildings it is necessary to identify the condition of the subsurface layer in order to minimize failures in bridge construction. This research was conducted with the aim of knowing information on the subsurface layer, and determining the layer that will later act as a foundation layer. The method used is geoelectric resistivity *Wenner-Schlumberger* configuration and is supported by *Standard Penetration Test* (SPT) data and geological data from drill data. Interpretation and analysis of the 2D resistivity cross-section showed a clastic limestone layer with a value of $0.362 \Omega\text{m} - 118 \Omega\text{m}$, a claystone layer with a value of $118 \Omega\text{m} - 3550.7 \Omega\text{m}$, a reef limestone layer with a value of $1798 \Omega\text{m} - 138663 \Omega\text{m}$ and which can act as a layer where the foundation is erected is a layer of claystone at a depth of 35-80 meters.

Keywords: Geoelectric, Resistivity, *Wenner-schlumberger*, Bridge, Foundation

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil ‘alamin....

Segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa memberikan penulis kesehatan, kekuatan dan keberkahan disetiap prosesnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian skripsi yang berjudul “**Aplikasi Geolistrik Resistivitas Dalam Perencanaan Pembangunan Jembatan Penghubung Pulau Buton Dan Pulau Muna, Sulawesi Tenggara**”. Juga tiada hentinya saya mengucapkan salam dan shalawat senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah SAW.

Begitu banyak suka, duka dan proses yang harus dilalui dalam penyelesaian skripsi ini. Namun, atas dukungan dari berbagai pihak dan orang-orang baik yang tiada hentinya memberikan motivasi, do’a, dan semangat kepada saya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini memiliki kekurangan. Oleh karena itu, diharapkan kritik, saran, dan masukan yang membangun sehingga penulis bisa menyempurnakan skripsi ini nantinya.

Dalam penulisan skripsi ini tentu tidak lepas dari hambatan dan kesulitan. Namun berkat pertolongan Allah SWT disetiap kesulitan selalu ada kemudahan, penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan. Izinkan penulis untuk ucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Orang Tua tersayang dan tercinta, Ibunda **Nur Alam** dan Ayahanda **Ilyas Asis** atas do’a, dukungan, dan perhatian yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis, serta kakak **Novia Indah Pratiwi** dan **Andri Dwi Septian** yang selalu menjadi penasihat dan pendengar yang baik disaat

bimbang. Serta seluruh keluarga besar yang selalu memberikan do'a, kasih sayang yang tulus, dukungan moril maupun do'a yang tiada henti untuk penulis.

Dalam kesempatan ini pula penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dari berbagai pihak atas bantuan, nasihat, didikan, dan bimbingan yang diberikan kepada penulis selama ini. Untuk itu dengan senang hati penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak **Syamsuddin, S.Si, MT** dan **Sabrianto Aswad, S.Si, MT** selaku Pembimbing Utama dan Pembimbing Pertama yang telah banyak memberikan arahan, pembelajaran, masukan dan motivasi kepada penulis untuk selalu belajar dan jangan mudah merasa puas diri agar selalu berkembang.
2. Bapak **Dr. Muhammad Hamzah S., S.Si., M.T** dan Bapak **Dr. Erfan, M.Si** selaku tim penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan yang bersifat membangun sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak **Ir. Bambang Hari Mei, M.Si** selaku Penasehat Akademik yang banyak memberikan nasehat dan arahan kepada penulis selama masa kuliah.
4. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, S.Si., M.Si** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
6. **Bapak dan Ibu Dosen** yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan di Departemen Geofisika

7. Para **Staf Departemen Geofisika dan Staf Fakultas** atas pelayanan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis dalam proses administrasi.
8. Bapak Yuli Purwanto sebagai pembimbing selama melakukan kuliah praktik di PT. Indominco Mandiri
9. Saudara-saudaraku dalam perantauan yang senantiasa membantu dan kebersamai penulis dalam suka maupun duka selama di bangku perkuliahan **HIMAKOKUS Agung, Iksan, Aushaf, Alam, Ulla, Aso, Adit, Indra, Leo, Mufly, Oland, Arya, Arief, Fazrul.**
10. Teman-Teman Geofisika Unhas Angkatan 2016 (IGNEOUS) **Agung, Adit, Abdi, Indra, Iksan, Aushaf, Alam, Leo, Maulana, Azhari, Shabran, Mufli, Syarwan, Ervin, Raxy, Fazrul, Oland, Arya, Arief, Aldin, Sinar, Hamdah, Mappi, Tari, Adiati, Asriani, Mira, Dewi, Sadila, Ninda, Lia, Kasma, Wasti, Debby, Azizah, Wiwi, Devy, Fara, Khaeria, Nurita, Uni, Dian, Hasrina, Islamiah, Retno, Santri, Athaya, Riana, Marhaeni, Hira.** terima kasih telah kebersamai penulis dalam melaksanakan tugas akhir di Geofisika, semoga Allah menjadikan kita generasi yang berguna bagi bangsa dan Negara, Aamiin.
11. Teman-teman HIMAFI FMIPA Unhas Angkatan 2016
12. Teman-teman FMIPA Unhas Angkatan 2016.
13. Teman-teman Pejantan MIPA **Wandi, Feri, Rudy, Aci, Dion, Rully, Aril**
14. Kanda-kanda angkatan 2012 (MAPERWA), 2013 (Pengurus BEM), 2014 (Pengurus HIMAFI), 2015 (Panitia BK) yang telah memberi banyak bantuan dalam menghadapi dunia kampus.

15. Kepada adik-adik 2017, 2018, dan 2019 HMGF Unhas dan HIMAFI Unhas.
16. Teman-teman KKN Tematik Pulau Lamputang **Arfin, Andika, Rega, Pandu, Amaril, Novi, Pita, Riska, Jeje, Ica, Nana, Nun, Ulfa, Vera, Devy, Fatima.**
17. Kanda-kanda, teman-teman, dan adik-adik pengurus Society of Petroleum Engngineer Student Chapter Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, sehingga dengan segala kerendahan hati penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang bersifat membangun untuk memperbaiki kekurangan yang ada. Penulis pun tetap berharap agar tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Makassar, 17 Agustus 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.3 Ruang Lingkup.....	3
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1 Geologi Regional	5
II.2 Konsep Dasar Metode Geolistrik.....	9
II.2.1 Metode Geolistrik Tahanan Jenis	11
II.2.2 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropis	13
II.2.3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Dalam Bumi	14
II.2.4 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Permukaan Bumi	16
II.2.5 Potensial Oleh Dua Sumber Arus Di Permukaan Bumi	16
II.3 Metode <i>Electrical Resistivity Tomography</i>	19
II.3.1 Konfigurasi <i>Wenner-Schlumberger</i>	20

II.3.2 Hubungan antara Geologi dan Resistivitas Batuan.....	21
II.3.3 Metode Inversi.....	22
II.4 Identifikasi Tanah.....	27
II.4.1 Pemboran.....	28
II.4.2 Metode <i>Standard Penetration Test</i> (SPT).....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	31
III.1 Lokasi Penelitian.....	31
III.2 Alat dan Bahan.....	31
III.3 Metode Penelitian.....	32
III.3.1 Kajian Pustaka.....	32
III.3.2 Pengambilan Data.....	32
III.3.3 Pengolahan Data.....	33
III.3.4 Interpretasi.....	34
III.3.5 Bagan Alir.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
IV.1 Hasil.....	36
IV.1.1 Lintasan 1.....	37
IV.1.2 Lintasan 2.....	37
IV.1.3 Data Log Bor.....	37
IV.2 Pembahasan.....	40
IV.2.1 Interpretasi Lintasan 1.....	42
IV.2.2 Interpretasi Lintasan 2.....	44
IV.2.3 Lapisan Penempatan Pondasi.....	45
BAB V PENUTUP.....	48
V.1 Kesimpulan.....	48

V.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Lembar Buton.....	5
Gambar 2.2 Sumber arus pada dalam medium homogen seluruh-ruang.....	15
Gambar 2.3 Sumber arus pada permukaan medium homogen setengah ruang... 16	
Gambar 2.4 Distorsi garis equipotensial dan garis aliran arus pada dua titik sumber arus.....	17
Gambar 2.5 Susunan dua pasang elektroda arus dan potensial dipermukaan bumi pada medium homogen isotropik.....	18
Gambar 2.6 Susunan dua pasang elektroda arus dan potensial dipermukaan bumi pada medium homogen isotropik.....	20
Gambar 2.7 Model grid berukuran 20x20 serta nilai konduktivitas tiap sel	23
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	31
Gambar 3.2 Bagan alir penelitian.....	35
Gambar 4.1 Peta Lintasan Geolistrik.....	36
Gambar 4.2 Penampang 2D Lintasan 1	37
Gambar 4.3 Penampang 2D Lintasan 2.....	37
Gambar 4.4 Interpretasi Penampang 2D Lintasan 1.....	42
Gambar 4.5 Interpretasi Penampang 2D Lintasan 2.....	44
Gambar 4.6 Lapisan Penempatan pondasi.....	45
Gambar 4.7 Grafik SPT	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar Tahanan Jenis Beberapa Batuan dan Air	21
Tabel 2.2 Hubungan antara Klasifikasi Tanah, N-SPT, dan Tahanan Konus	30
Tabel 4.1 Hasil analisis data log bor BH 1	38
Tabel 4.1 Hasil analisis data log bor BH 2	38
Tabel 4.1 Hasil analisis data log bor BH 3	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Bor.....	53
Lampiran 2 Penampang Geolistrik.....	56
Lampiran 3 Foto Kegiatan.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan aktivitas masyarakat yang semakin pesat, menjadikan banyak kegiatan pembangunan infrastruktur yang dilakukan di hampir semua wilayah. Kebutuhan akan pembangunan infrastruktur sebagai penunjang aktivitas masyarakat tersebut terjadi di berbagai bidang seperti ekonomi, sosial, pendidikan, transportasi dan sebagainya. Salah satu pembangunan infrastruktur pada bidang transportasi yang sering kita jumpai ialah pembangunan jembatan.

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi untuk meneruskan jalan melalui suatu rintangan. Rintangan ini biasanya jalan lain (jalan air atau jalan lalu lintas biasa). Jembatan yang merupakan bagian dari jalan, sangat diperlukan dalam sistem jaringan transportasi darat yang akan menunjang pembangunan pada daerah tersebut. Perencanaan pembangunan jembatan harus diperhatikan seefektif dan seefisien mungkin, sehingga pembangunan jembatan dapat memenuhi keamanan dan kenyamanan bagi para pengguna jembatan (Struyk & Veen, 1984). Untuk memenuhi faktor keamanan tersebut maka perlu untuk dilakukan penyelidikan terhadap daerah perencanaan pembangunan jembatan sehingga dapat ditentukan pondasi yang efisien untuk mendirikan jembatan. Eksplorasi bawah permukaan dilakukan untuk menentukan pondasi dalam pembangunan jembatan.

Dalam perencanaan pembangunan suatu pondasi jembatan perlu dilakukan identifikasi kondisi lapisan bawah permukaan. Suatu bangunan yang dibangun tanpa memperhatikan kondisi litologi bawah permukaan akan menyebabkan resiko

yang besar terhadap kekuatan pondasi. Kekuatan pondasi sangat dibutuhkan dalam pembangunan termasuk pembangunan jembatan. Dengan mengetahui kondisi bawah permukaan, dapat meminimalisir kegagalan dalam pembangunan pondasi jembatan.

Untuk mengetahui kondisi lapisan bawah permukaan yang berhubungan dengan pembangunan suatu pondasi diperlukan identifikasi lapisan geologi bawah permukaan di daerah penelitian. Salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi lapisan bawah permukaan adalah dengan menggunakan metode geolistrik.

Metode geolistrik memiliki beberapa keunggulan yaitu hasil yang didapatkan lebih akurat, serta biaya yang dikeluarkan relatif murah dan waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan data juga relatif singkat. Metode geolistrik dapat digunakan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan dan menduga keberadaan jenis material dengan mempelajari sifat aliran listrik pada batuan di bawah permukaan bumi. Survei geolistrik dilakukan untuk mengetahui sifat fisika batuan terhadap arus listrik, dimana setiap sifat fisika batuan yang berbeda akan mendapatkan nilai tahanan jenis yang berbeda pula. Berdasarkan nilai resistivitas listriknya, lapisan bawah permukaan dapat diketahui material-material penyusunnya. Cara kerja dari metode geolistrik resistivitas adalah dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi dengan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial sehingga nilai resistivitas bisa didapatkan.

Beberapa penelitian telah dilakukan menggunakan metode geolistrik untuk identifikasi lapisan bawah permukaan seperti "Identifikasi Sesar Bawah Permukaan

Dengan Menggunakan Metoda Geolistrik Konfigurasi Wenner Di Sekitar Das Jene'berang, Kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan", oleh Syamsuddin dkk. pada tahun 2012, "Studi Bawah Permukaan Untuk Identifikasi Sebaran Batuan Intrusi Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner Schlumberger" oleh Hena Suri Intan Pertiwi pada tahun 2017, "Identifikasi Batuan Dasar Daerah Pantai Lumpue Kota Parepare Menggunakan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner" oleh Iswar Edis Pratama dkk. pada tahun 2019.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian dengan judul "Aplikasi Geolistrik Resistivitas Dalam Perencanaan Pembangunan Jembatan Penghubung Pulau Buton, Sulawesi Tenggara"

I.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana mengetahui informasi dari lapisan bawah permukaan tanah yang akan bertindak sebagai pondasi jembatan ?
2. Bagaimana penentuan lapisan yang bertindak sebagai tempat pondasi akan didirikan ?

I.3 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada akuisisi, pengolahan, analisis dan interpretasi data pengukuran resistivitas bawah permukaan untuk identifikasi lapisan yang akan bertindak pondasi jembatan menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner-schlumberger*. Proses interpretasi dari data resistivitas dapat didukung dengan menggunakan data pendukung lainnya yakni data *bore hole log* dan data geologi

regional daerah Buton. Penelitian ini akan dilakukan pada Kelurahan Palabusa, Kecamatan Lea-lea, Kota Bau-bau, Provinsi Sulawesi Tenggara.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

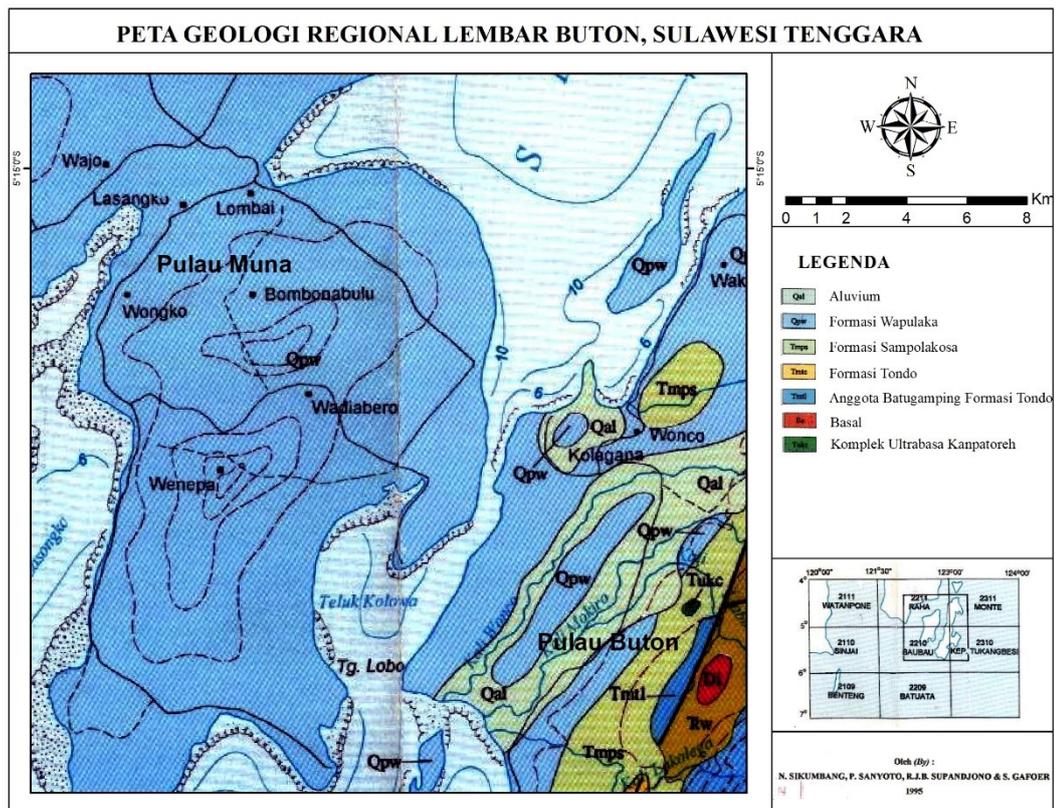
1. Untuk mengetahui informasi mengenai lapisan bawah permukaan pada wilayah rencana pembangunan jembatan berdasarkan data resistivitas yang telah diikat dengan data geologi.
2. Untuk menentukan lapisan yang bertindak sebagai tempat pondasi akan didirikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Pulau buton merupakan salah satu pulau besar yang berada di provinsi Sulawesi Tenggara yang merupakan bagian dari fragmen mikrokontinen yang terdiri dari Pulau Buton, Pulau Muna dan Pulau Tukang Besi yang saling berhubungan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1. Struktur Geologi pada Lembar Buton terdiri atas antiklin, sinklin, sesar anjak, sesar turun dan sesar geser mendatar. Sesar-sesar umumnya berarah timur laut-barat daya di Buton Selatan, utara-selatan di Buton Tenggara dan barat laut-tenggara di Buton Utara (Sikumbang, et al., 1995).



Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Lembar Buton, Sulawesi Tenggara (Sikumbang, et al., 1995).

Menurut Surono (2010), kepingan benua dengan ukuran yang beragam tersebar di bagian timur Sulawesi mulai dari Lengan Timur Sulawesi sampai Kepulauan Tukang Besi. Kepingan benua yang cukup besar adalah mulai ujung atas Lengan Timur, yakni Banggai-Sula, Matarombeo, Sulawesi Tenggara, dan Buton (Surono, 2010). Tektonika di daerah ini berkembang sejak pra-miosen (Formasi Tondo) dan berlanjut sampai Formasi Sampolakosa terendapkan. Pada akhir oligosen zona Buton bertubrukan dengan zona Sulawesi Tenggara yang menyebabkan terjadinya perlipatan kuat dan sesar naik pada batuan pra-miosen. Kegiatan ini diikuti dengan rumpang sedimentasi berlanjut hingga miosen awal. Pada miosen tengah terbentuk Formasi Tondo. Formasi ini di Buton Utara dicirikan endapan darat, sedangkan di Buton Tengah berupa endapan turbidit distal. Sedimentasi berlanjut hingga pliosen dengan terendapkannya Formasi Sampolakosa. Kegiatan tektonik pada plio-plistosen mengakibatkan terlipatnya batuan pra-pliosen dan menggiatkan kembali sesar-sesar yang terbentuk sebelumnya (Sikumbang, et al., 1995).

Stratigrafi Pulau Buton diawali dari Mesozoikum hingga Kuarter. Penyebaran batuan Mesozoikum (Pra-Tersier) terdapat di ujung utara dari Pulau Buton di sekitar Kalisusu, serta di Buton Selatan sekitar aliran Sungai Mukito. Batuan berumur Kuarter didominasi oleh satuan batugamping terumbu, yang tersebar di bagian selatan dan tengah dari pulau Buton (Tobing, 2005)

Berikut Formasi peta geologi lembar Buton:

1. **Aluvium (Qal)** terdiri atas kerikil, kerakal, pasir dan gambut, hasil endapan sungai, rawa dan pantai.

2. **Formasi Wapulaka (Qpw)** disusun oleh batugamping terumbu ganggang dan koral, memperlihatkan undak – undak pantai purba dan topografi karst, endapan hancuran terumbu, batukapur, batugamping pasir, batupasir gampingan, batulempung dan napal kaya foraminifera plankton. Diendapkan pada laguna – litoral, tebal diperkirakan 700 meter. Rembesan aspal ditemukan pada formasi ini di Buton selatan.
3. **Formasi Sampolakosa (Tmps)** disusun oleh napal, berlapis tebal sampai massif, sisipan kalkarenit pada bagian atas dan tengah. Formasi ini berumur Miosen Atas – Pliosen Awal, terendapkan dalam lingkungan neritic – bathyal. Rembesan minyak dan aspal ditemukan pada formasi ini di daerah kampung Kabungka, Pasarwajo dan Lasalimu.
4. **Formasi Tondo (Tmtc)** terdiri atas konglomerat, batupasir kerikilan, batupasir dengan sisipan batulanau dan perselingan batupasir, batulanau dan batulempung. Konglomerat disusun oleh batuan sedimen Mesozoikum dan Ofiolit. Batupasir kerikilan terpilah buruk. Perselingan batupasir, batulanau dan batulempung bercirikan runtunan turbidit distal. Formasi tondo berumur Miosen Tengah – Miosen Akhir, terendapkan dalam lingkungan neritic hingga bathyal bawah. Rembesan minyak dan aspal dijumpai di formasi ini. Tebal formasi diperkirakan lebih dari 1300 meter.
5. **Anggota Batugamping Formasi Tondo (Tmtl)** disusun oleh batugamping terumbu dan kalkarenit. Umur formasi ini adalah Miosen Awal – Miosen Tengah.

6. **Formasi Tobelo (KTt)** disusun oleh kalsilutit, berlapis baik. Formasi ini mengandung fosil *Globigerina cretacea*, *Pseudotextularia globosa* yang menunjukkan umur Kapur dan terendapkan dalam lingkungan bathyal (3000 – 5000 meter). Tebal formasi ini sekitar 300 – 400 meter.
7. **Formasi Rumu (Jr)** terdiri atas perselingan batugamping merah kaya fosil, batulumpur, napal dan kalkarenit. Perselingan batugamping merah dan batulumpur mempunyai ketebalan dari beberapa meter hingga lebih dari 10 meter; tebal lapisan kalkarenit kurang dari 1 meter. Formasi ini berumur Jura Atas dan terendapkan dalam lingkungan neritic dalam kondisi proses oksidasi berlangsung secara perlahan. Tebal formasi lebih dari 150 meter.
8. **Formasi Ogena (Jo)** terdiri atas batugamping pelagos, bersisipan klastika halus dan batugamping pasir sebagian berbitumen atau diimpregnasi oleh aspal. Formasi ini terendapkan dalam lingkungan laut dalam dengan tebal lebih dari 960 meter.
9. **Formasi Winto (TRw)** tersusun atas perselingan serpih, batupasir, konglomerat dan batugamping. Bercirikan sedimen klastika daratan dan karbona. Serpih mengandung sisa tumbuhan, kayu terarangkan dan lapisan tipis batubara, berlapis tipis hingga sedang, berstruktur kerucut. Batupasir memperlihatkan perlapisan bersusun, perairan sejajar, gelembur gelombang dan silangsilur. Umur formasi ini adalah Trias Atas dan terendapkan dalam lingkungan neritic hingga laut dalam dengan tebal sekitar 750 meter.

10. **Formasi Doole (TRd)** merupakan runtunan batuan malihan berderajat lemah, terdiri atas kuarsit mikaan berselingan filit dan batusabak. Tebal formasi ini beberapa ratus meter dan diduga berumur Trias sampai Jura.
11. **Formasi Basal (Ba)** merupakan retas basaltic yang terubah kuat. Diduga berumur.
12. **Komplek Ultrabasa Kanpatoreh (Tuke)** terdiri atas periodit, serpentit, gabro, yang tergeruskan dan terbreksikan.

II.2 Konsep Dasar Metode Geolistrik

Geolistrik ialah suatu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Survei resistivitas listrik dicapai dengan menginjeksikan arus ke bawah permukaan menggunakan sepasang elektroda arus dan mengukur tegangan pada sepasang elektroda potensial (Marsh, et al., 2013).

Untuk memahami hubungan antara besaran yang terukur dan parameter yang mendefinisikan resistivitas lapisan bawah permukaan dan juga untuk mempermudah interpretasi kuantitatif, maka perlu ditentukan potensial listrik pada permukaan bumi. Penurunan hubungan ini dilakukan secara sederhana dengan meninjau medan potensial pada permukaan dengan sebuah titik sumber arus. Selanjutnya, potensial untuk kasus yang memiliki dua elektroda arus dapat diperoleh dari penjumlahan aljabar potensial dari elektroda tunggal, potensial yang akan diturunkan didefinisikan dengan batasan sebagai berikut (Syamsuddin, 2007):

1. Lapisan bawah permukaan terdiri atas lapisan-lapisan yang jumlahnya berhingga dan terpisah satu sama lain oleh bidang batas horizontal. Lapisan yang paling dalam dianggap memiliki kedalaman yang tak berhingga dan lapisan lainnya memiliki ketebalan yang berhingga.
2. Sifat-sifat listrik pada setiap lapisan adalah homogen dan isotropik.
3. Medan potensial dibangkitkan oleh sebuah titik sumber arus yang ditempatkan pada permukaan bumi.
4. Arus yang dibangkitkan oleh sumber adalah arus searah.

Batasan di atas digunakan sebagai dasar untuk melakukan interpretasi data pengukuran resistivitas. Meskipun demikian, secara umum diakui bahwa batasan tersebut tidak sesuai dengan kondisi sesungguhnya pada lapisan bawah permukaan, mengingat bahwa kondisi di bawah permukaan sangat kompleks. Namun pendekatan di atas, diharapkan dapat merupakan suatu hasil analisis struktur geologi (Syamsuddin, 2007).

Harga resistivitas tanah atau batuan secara kelistrikan dapat dipengaruhi karena adanya gangguan kestabilan akibat pori-pori tanah terisi oleh air. Penambahan massa air pada tanah atau batuan akibat sisipan, terutama pada musim hujan, akan memberikan dampak perubahan harga resistivitas tanah. Perubahan harga resistivitas ini dapat diidentifikasi dengan cara mengalirkan listrik secara searah ataupun dengan bolak-balik dengan mengukur selisih potensial antara titik yang dipengaruhinya, kemudian dapat ditentukan harga resistivitas tanah dari daerah pengukuran (Supeno, et al., 2008)

II.2.1 Metode Geolistrik Tahanan Jenis

Metode geolistrik resistivitas adalah salah satu metode yang umum digunakan. Metode ini pada prinsipnya bekerja dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam bumi melalui dua elektroda arus sehingga menimbulkan beda potensial. Beda potensial yang ditimbulkan dari arus listrik yang diinjeksi akan terukur melalui dua elektroda potensial. Konsep dasar dari Metode Geolistrik adalah Hukum Ohm yang pertama kali dicetuskan oleh George Simon Ohm. Beda potensial yang timbul di ujung-ujung suatu medium berbanding lurus dengan arus listrik yang mengalir pada medium tersebut. Selain itu, tahanan listrik berbanding lurus dengan panjang medium dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Prinsip pelaksanaan metode resistivitas adalah mengalirkan arus listrik searah ke dalam bumi melalui dua elektroda arus yang ditancapkan pada dua titik permukaan tanah dan kemudian mengukur respon beda potensial yang terjadi antara dua titik yang lain di permukaan bumi dimana dua elektroda potensial ditempatkan dalam konfigurasi tertentu (Syamsuddin, 2007).

Setelah melakukan pengukuran, maka diperoleh data berupa nilai beda potensial dan nilai kuat arus, serta nilai resistivitas semu untuk setiap spasi elektroda yang dibentang. Dalam pendugaan resistivitas, digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- Pada bawah permukaan bumi terdiri dari lapisan-lapisan dengan ketebalan tertentu, kecuali pada lapisan terbawah dapat dianggap mempunyai ketebalan yang tidak berhingga dibandingkan dengan ketebalan lapisan di atasnya.
- Bidang batas antar lapisan adalah horizontal

- Setiap lapisan dianggap homogen isotropis, dimana ini merupakan pendekatan sederhana dalam penentuan resistivitas lapisan-lapisan batuan bumi, sehingga nilai ρ dianggap tidak bergantung pada sumbu koordinat.

Metode geolistrik tahanan jenis dapat dibagi menjadi 2 kelompok besar, yaitu :

1. Metode Resistivitas *Sounding/Drilling*

Metode resistivitas sounding juga biasa dikenal sebagai resistivitas *drilling*, resistivitas probing dan lain-lain. Hal ini terjadi karena pada metode ini bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal.

2. Metode Resistivitas *Mapping*

Merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi tahanan jenis lapisan bawah permukaan bumi secara horizontal. Oleh karena itu, pada metode ini mempergunakan konfigurasi elektroda yang sama untuk semua titik pengamatan di permukaan bumi. Setelah itu baru dibuat kontur iso-resistivitasnya.

Pada pengukuran sebenarnya, pembesaran jarak elektroda mungkin dilakukan jika mempunyai alat geolistrik yang memadai. Dalam hal ini, alat geolistrik tersebut harus dapat menghasilkan arus listrik yang cukup besar atau kalau tidak, alat tersebut harus sensitif dalam mendeteksi beda potensial yang kecil sekali. Oleh karena itu, alat geolistrik yang baik yaitu yang dapat menghantarkan arus listrik cukup besar dan mempunyai sensitivitas yang cukup tinggi (Hendrajaya & Arif, 1990).

II.2.2 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropis

Bila suatu arus kontinu dialirkan kedalam medium yang homogen isotropik, dengan dA adalah elemen luas permukaan dan J adalah rapat arus listrik (A/m^2), maka besarnya elemen arus yang melalui elemen permukaan adalah (Telford, 1990) :

$$dI = \bar{J} \cdot d\bar{A} \quad (2.1)$$

Dimana \bar{J} dan medan listrik \bar{E} yang ditimbulkan dihubungkan dengan hukum Ohm:

$$\bar{J} = \sigma \bar{E} \quad (2.2)$$

dengan \bar{E} dalam volt/meter (V/m) dan σ adalah konduktivitas medium dalam (Ω/m), karena medan listrik tidak lain adalah gradien potensial sehingga:

$$\bar{E} = -\bar{\nabla}V \quad (2.3)$$

Dimana V adalah potensial listrik, maka:

$$\bar{J} = -\sigma \bar{\nabla}V \quad (2.4)$$

Untuk arus tetap, maka berlaku persamaan :

$$\bar{\nabla} \cdot \bar{J} = 0 \quad (2.5)$$

Jika konduktivitas listrik medium konstan maka suku pertama menjadi nol dan dengan demikian diperoleh:

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

Persamaan (2.6) yang diberikan merupakan persamaan dasar pada teori penyelidikan geolistrik tahanan jenis. Sehingga pada distribusi listrik untuk arus

listrik searah dalam medium homogen isotropis memenuhi persamaan laplace (Syamsuddin, 2007).

II.2.3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Dalam Bumi

Potensial (V) akibat suatu sumber arus tunggal (I) pada medium homogen dengan (ρ) konstan pada seluruh ruang lebih sesuai jika dibahas dalam sistem koordinat bola. Karena sifat simetri (tidak berotasi dan berevolusi) dari sistem yang ditinjau maka potensial hanya merupakan fungsi dari jarak r atau V (r) sehingga persamaan (2.7) dituliskan (Telford, 1990).

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2.7)$$

Integrasi dua kali berturut-turut terhadap persamaan (2.7) menghasilkan :

$$\int r^2 \frac{dV}{dr} dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = A \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (2.8)$$

$$V = \int \frac{A}{r^2} dr = -\frac{A}{r} + B \quad (2.9)$$

Dengan A dan B adalah konstanta. Dengan menerapkan syarat batas bahwa potensial pada jarak tak-hingga memiliki nilai sama dengan nol ($V = 0, r = \infty$), maka $B = 0$. Sehingga persamaan (2.9) menjadi:

$$V = -\frac{A}{r} \quad (2.10)$$

Persamaan (2.4) dan (2.10) disubstitusikan ke persamaan (2.1) maka diperoleh :

$$I = 4\pi r^2 (-\sigma \bar{\nabla} V) = -4\pi r^2 \sigma \frac{dV}{dr} = -4\pi \sigma A \quad (2.11)$$

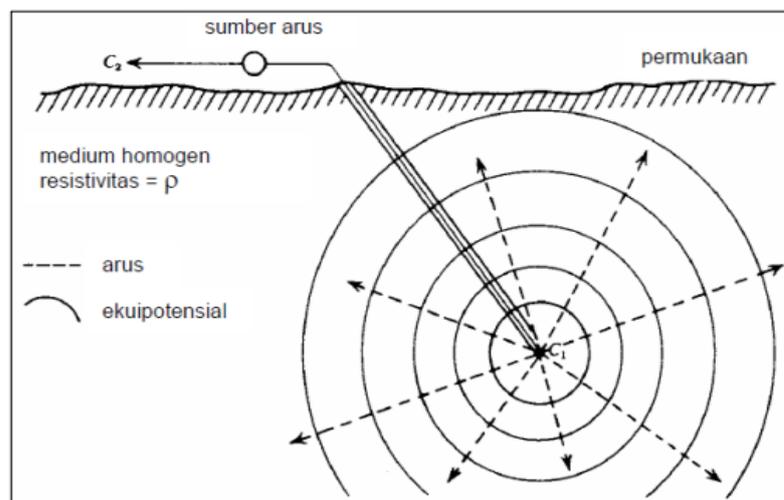
Karena $\sigma = \frac{1}{\rho}$, maka persamaan (2.11) dapat ditulis seperti berikut:

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi r} \quad (2.12)$$

Persamaan (2.12) disubstitusikan persamaan (2.10) maka diperoleh:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{1}{r} \quad \text{atau} \quad \rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad (2.13)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, permukaan ekuipotensial yaitu permukaan dengan potensial yang sama, membentuk permukaan bola konsentris dengan titik pusat terletak disumber arus. Dari titik tersebut arus listrik mengalir ke segala arah secara homogen dan membentuk lintasan yang tegak lurus terhadap permukaan ekuipotensial dimana $r = \text{konstan}$, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sumber arus tunggal C_1 dalam medium homogen seluruh-ruang (whole-space), sementara pasangan sumber arus C_2 dianggap terletak di tak hingga (Telford, 1990).

II.2.4 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal di Permukaan Bumi

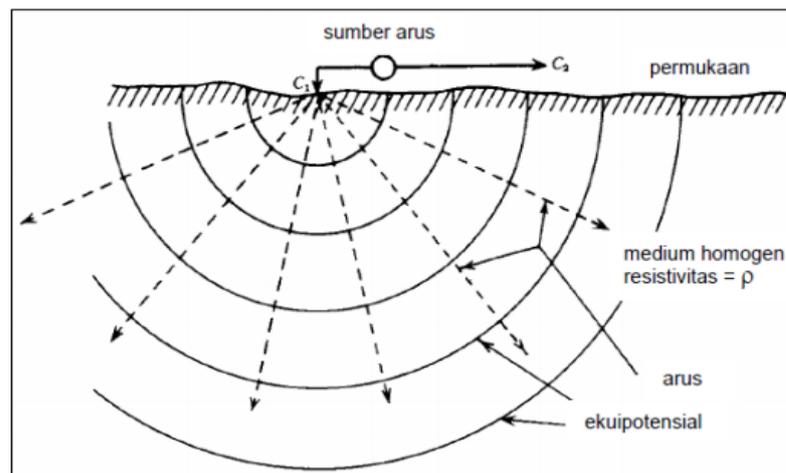
Jika sumber arus terletak di permukaan medium homogen yang membentuk medium setengah-ruang/setengah bola (half-space) dengan setengah-ruang lainnya adalah di udara ($\sigma \text{ udara} = 0$) dengan persamaan (2.14) (Telford, 1990):

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.14)$$

sehingga persamaan (2.10) menjadi :

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right)\frac{1}{r} \quad \text{atau} \quad \rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.15)$$

dimana faktor 4π menjadi 2π dikarenakan distribusi arus hanya terdapat pada setengah-ruang. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2.3.



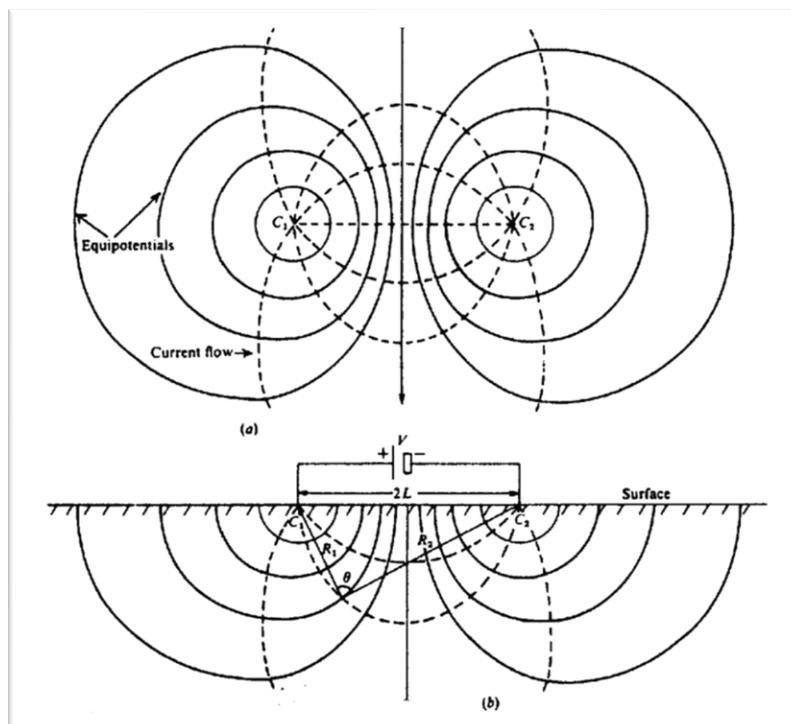
Gambar 2.3 Sumber arus tunggal C_1 di permukaan medium homogen setengah ruang (half-space), sementara pasangan sumber arus C_2 dianggap terletak di tak hingga (Telford, 1990)

II.2.5 Potensial Oleh Dua Sumber Arus Di Permukaan Bumi

Dalam eksplorasi geofisika menggunakan metode geolistrik, umumnya digunakan dua pasang elektroda yakni sepasang elektroda arus dan sepasang elektroda

potensial seperti pada gambar 2.4. Namun ada konfigurasi yang menggunakan kurang dari dua pasang elektroda, baik itu hanya satu elektroda arus atau hanya sepasang elektroda.

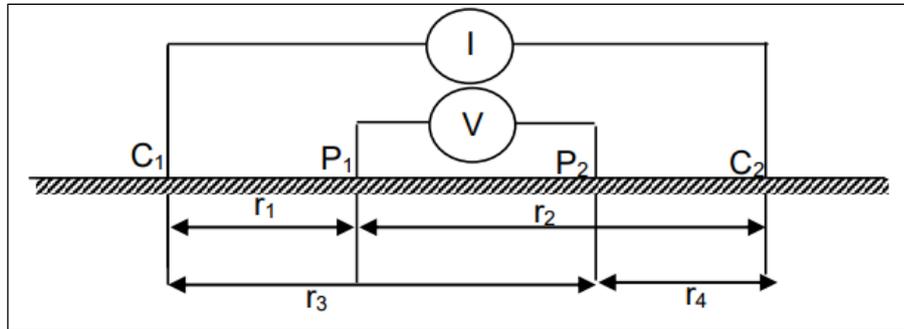
Pada Gambar 2.4 (bagian a) mengilustrasikan keseluruhan dari arus yang diinjeksikan sehingga potensial muncul dengan bentuk bola. Kemudian pada Gambar 2.4 (bagian b) merupakan penampang vertikal di permukaan tanah dengan model potensial yang muncul adalah setengah bola



Gambar 2.4 Distorsi garis equipotensial dan garis aliran arus pada dua titik sumber arus. (a) Denah ; (b) Penampang vertikal di permukaan tanah (Telford, 1990).

Model rangkaian dari alat pembacaan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.5 menampilkan P_1 dan P_2 merupakan elektroda potensial dan C_1 dan C_2 merupakan

elektroda arus. Untuk r_1 , r_2 , r_3 , dan r_4 merupakan jarak antara elektroda yang terpasang.



Gambar 2.5 Susunan dua pasang elektroda arus dan potensial dipermukaan bumi pada medium homogen isotropik (Telford, 1990).

Potensial di titik P_1 yang ditimbulkan arus C_1 dan C_2 :

$$V_{p1} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.16)$$

Potensial di titik P_2 yang ditimbulkan arus C_1 dan C_2 :

$$V_{p2} = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.17)$$

Beda potensial antara titik P_1 dan P_2 yang timbul akibat dari sumber arus C_1 dan C_2 adalah (Telford, 1990) :

$$\Delta V = V_{p1} - V_{p2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.18)$$

Sehingga, resistivitas (ρ) dapat ditulis seperti berikut:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.19)$$

Atau secara sederhana dituliskan sebagai:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.20)$$

Dengan :

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

K disebut faktor geometri elektroda.

II.3 Metode *Electrical Resistivity Tomography*

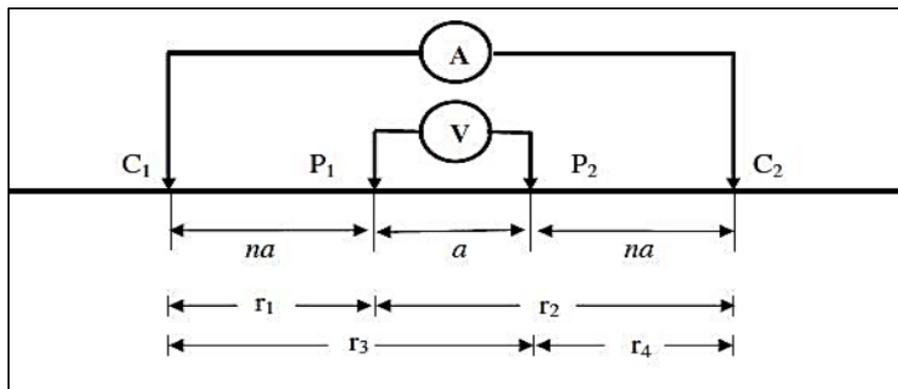
ERT adalah salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui lapisan bawah permukaan dengan mengukur perubahan tahanan jenis lapisan batuan dengan cara mengalirkan arus listrik DC (Direct Current) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah.

Prinsip ERT didasarkan pada penggunaan sistem multi-elektroda yang terbuat dari selektor elektroda dan multi-channel sistem akuisisi yang memungkinkan koneksi dengan satu set elektroda yang tertanam dan terhubung ke resistivitas meter. Resistivity meter terhubung ke laptop yang telah mempunyai program akuisisi secara berurutan yang secara otomatis memilih nomor elektroda arus dan elektroda potensial (mengukur potensial). Setiap elektroda ditentukan oleh alamat numerik yang unik dalam sistem yang dapat diidentifikasi oleh komputer. Pengukuran ini dapat secara otomatis menyimpan data dari ratusan pengukuran single-channel. Data yang disajikan dalam bentuk penampang plot, yang diperoleh dengan menempatkan setiap nilai resistivitas semu pada penampang lintasan. Titik yang

terletak dibawah elektroda ABMN dengan kedalaman setengah dari AB disebut dengan penampang kedalaman (Loke, 2000).

II.3.1 Konfigurasi *Wenner-Schlumberger*

Konfigurasi *Wenner-Schlumberger* adalah penggabungan antara konfigurasi *Schlumberger* yang sensitif terhadap penetrasi secara vertikal dengan konfigurasi *Wenner* yang baik secara horizontal. Konfigurasi ini menggunakan sistem aturan spasi yang konstan dengan catatan faktor perbandingan “n” yang merupakan perbandingan jarak antara elektroda C1 dan P1 dengan jarak antara P1 dan P2. Jika jarak antara elektroda potensial MN adalah a maka jarak antar elektroda arus (A dan B) adalah (2na + a) (Loke, 2000).



Gambar 2.6 Susunan dua pasang elektroda arus dan potensial dipermukaan bumi pada medium homogen isotropik (Telford, 1990).

Sehingga faktor geometri elektroda (K) menjadi:

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{na} - \frac{1}{na+a}\right) - \left(\frac{1}{na+a} - \frac{1}{na}\right)} \quad (2.22)$$

$$K = \pi a n (n + 1) \quad (2.23)$$

II.3.2 Hubungan antara Geologi dan Resistivitas Batuan

Survei resistivitas memberikan gambaran distribusi resistivitas bawah permukaan. Untuk mengkonversi gambaran resistivitas bawah permukaan menjadi sebuah gambaran geologi maka pengetahuan untuk membedakan tipe dari material bawah permukaan dan kenampakan geologinya berdasarkan nilai resistivitasnya sangat dibutuhkan. Resistivitas batuan tergantung dari derajat kekompakan dan besarnya persentase kandungan fluida yang mengisi batuan. Bagaimanapun nilai dari beberapa jenis batuan biasanya overlap seperti terlihat pada tabel 2.1. Hal ini disebabkan karena resistivitas dari batuan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, porositas batuan, derajat saturasi dan konsentrasi garam yang terlarut.

Tabel 2.1 Daftar Tahanan Jenis Beberapa Batuan dan Air (Telford, 1990)

Material	Resistivitas (Ωm)
Udara (Air)	~
Pirit (Pyrite)	0.01-100
Kwarsa (Quartz)	500-800000
Kalsit (Calcite)	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
Granit (Granite)	200-10000
Andesit (Andesite)	$1.7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
Basal (Basalt)	200-10.0000
Gamping (Limestone)	500-10000
Batu pasir (Sandstone)	200-8000
Batu tulis (Shales)	20-2000
Pasir (Sand)	1-1000
Lempung (Clay)	1-100
Air tanah (Ground water)	0.5-300
Air asin (Sea water)	0.2
Magnetit (Magnetite)	0.01-1000
Kerikil kering (Dry gravel)	600-10000
Aluvium (Alluvium)	10-800
Kerikil (Gravel)	100-600

II.3.3 Metode Inversi

Pada metode inversi geofisika, model yang dicari berupa representasi matematika bagian dari bumi yang memberi respon yang sesuai dengan hasil pengukuran yang kemudian model tersebut didiskritisasi. Diskritisasi model dapat dilakukan dengan tiga cara, pertama membagi model menjadi blok-blok kecil yang lebarnya sama dengan jarak terkecil antara elektroda. Selanjutnya, membagi model menjadi blok-blok yang pada beberapa lapisan pertamanya dibagi dua secara vertikal maupun horisontal dari cara yang pertama. Pada tahap ketiga, blok-blok yang pada beberapa lapisan pertamanya hanya dibagi dua secara horisontal saja. Hal ini disebabkan resolusi metode resistivitas berkurang dengan bertambahnya kedalaman, maka lebih efektif jika blok yang dibagi dua hanya lapisan pertama dan kedua saja (Loke, 2000).

Setiap titik pada diskritisasi model tersebut kemudian diberikan suatu parameter berupa nilai resistivitas yang nilainya sama dengan yang diinginkan oleh penginversi juga hasil pengukuran. Sedangkan respon model merupakan data sintetik yang dihitung dengan hubungan secara matematika berdasarkan pada model yang dengan parameter yang dimilikinya.

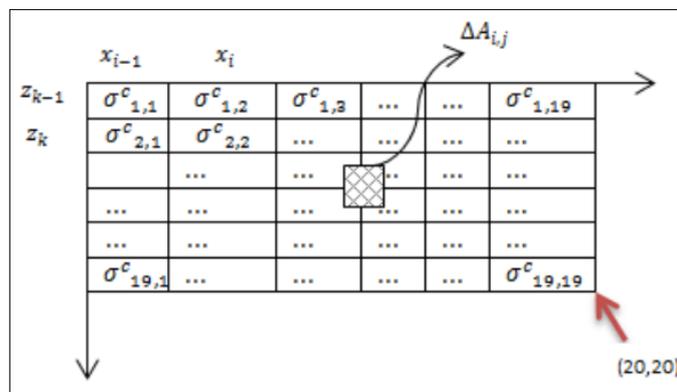
Hubungan antara model dan respon model baik untuk model dua dimensi maupun model tiga dimensi dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *finite difference* atau *finite element*. Penyelesaian dengan metode *finite difference* melibatkan persamaan diferensial geolistrik untuk memperoleh solusi berupa nilai konduktivitas pada masing-masing grid (Loke, 2000).

$$-\nabla \cdot (\sigma(x, z) \nabla V(x, z)) = I(x, z) \quad (2.24)$$

Persamaan 2.24 merupakan persamaan potensial listrik untuk kasus 2D yang merupakan persamaan diferensial poisson pada kasus homogen yang tidak mengalami perubahan potensial, dengan asumsi bahwa potensial ke arah y adalah konstan. Dimana σ merupakan nilai konduktivitas, $V(x, z)$ adalah potensial dan I merupakan arus listrik. Sehingga untuk kasus 2D diberikan batas (δ) maka persamaan 2.24 menjadi:

$$\sigma \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial \sigma}{\partial z} \frac{\partial V}{\partial z} = I \delta(x - x_s)(z - z_s) \quad (2.25)$$

Untuk memperoleh nilai potensial yang akurat maka dilakukan pendiskritisasian pada persamaan 2.25. Pada gambar 2.6 menunjukkan struktur 2D grid dengan jarak antara grid berbeda.



Gambar 2.7 Model grid berukuran 20x20 grid beserta nilai konduktivitas tiap sel (Andriani, et al., 2016).

Dimana $\sigma^c_{i,k}$ merupakan konduktivitas sel (tiap kotak) yang nantinya akan berkontribusi pada perhitungan konduktivitas masing-masing grid.

Persamaan diferensial geolistrik yang diperoleh dari persamaan 2.25 dapat diperoleh solusinya dengan menggunakan metode beda hingga (*Finite Difference Method*) metode ini mengubah persamaan differensial menjadi potensial listrik dalam bentuk persamaan linear:

$$A\vec{x} = \vec{B} \quad (2.26)$$

Dengan menggunakan ekspansi deret taylor pada turunan kedua dari potensial didapatkan persamaan:

$$\frac{\partial^2 V_{i,j}}{\partial x^2} = \frac{V_{(i+\Delta x,j)} + V_{(i-\Delta x,j)} - 2V_{(i,j)}}{\Delta x^2} \quad (2.27)$$

Hasil pendiskritisasian tersebut menghasilkan persamaan linear nilai potensial tiap grid sebagai berikut :

$$C1_{i,k}V_{i-1,k} + C2_{i,k}V_{i+1,k} + C3_{i,k}V_{i,k-1} + C4_{i,k}V_{i,k+1} - C0_{i,k} = -Q \quad (2.28)$$

Dimana Q merupakan sumber arus yang diinjeksikan dan C merupakan konduktivitas dalam grid.

Dari gambar 2.6 diketahui C1=kiri, C2=kanan, C3=atas, C4=bawah, dan C0 berada di posisi grid yang sedang ditinjau.

Kemudian Q dapat dituliskan menjadi:

$$Q = I\delta(X - X_s)(Z - Z_s) \quad (2.29)$$

Untuk kasus homogen dan jarak antar grid sama yaitu bernilai 1 maka nilai setiap konstanta menjadi :

$$C1_{i,k} = C2_{i,k} = C3_{i,k} = C4_{i,k} = \sigma_{i,k} \quad (2.30)$$

Sehingga persamaan diferensial geolistrik menjadi :

$$\sigma(V_{(i+1,j)} + V_{(i-1,j)} + V_{(i,j+1)} + V_{(i,j-1)} - 4V_{(i,j)}) = I \quad (2.31)$$

Persamaan 2.31 merupakan bentuk lengkap dari persamaan diferensial geolistrik dengan bentuk lengkap matriks koefisien A, vektor posisi \vec{x} , dan vektor sumber \vec{B} yang dituliskan pada persamaan 2.26. sehingga solusi potensial di tiap grid dapat diperoleh dengan menggunakan operasi matriks biasa yaitu:

$$\vec{x} = A^{-1} \vec{B} \quad (2.32)$$

Dari nilai konduktivitas dapat diperoleh nilai resistivitas tiap grid ($\rho = 1/\sigma$) yang merupakan nilai resistivitas kalkulasi. Nilai ini selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai resistivitas observasi yang diperoleh dari data lapangan dengan melakukan inversi dan meminimalkan kuadrat kesalahan dan selisih antara data kalkulasi dengan data lapangan (Andriani, et al., 2016).

Pada metode optimasi, sebuah model awal dimodifikasi dengan metode iterasi hingga perbedaan antara respon model dan hasil pengukuran dapat direduksi (Loke, 2000). Data yang terukur dapat ditulis dalam sebuah vektor kolom B:

$$B = col(b1, b2, \dots, bm) \quad (2.33)$$

Dimana m adalah banyaknya pengukuran. Respon model f dapat ditulis dengan cara yang sama dalam bentuk :

$$F = \text{col}(f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (2.34)$$

Pada nilai resistivitas, lebih mudah digunakan logaritma dari nilai *true resistivity* untuk hasil pengukuran respon model dan parameter model. Parameter model dapat direpresentasikan oleh vektor q berikut ini:

$$A = \text{col}(a_1, a_2, \dots, a_n) \quad (2.35)$$

Dimana n adalah banyaknya parameter model. Kemudian g diperoleh dari persamaan :

$$g = B - F \quad (2.36)$$

Dimana g merupakan selisih antara hasil pengukuran dan respon pengukuran.

Pada metode optimasi least square, model awal dimodifikasi hingga jumlah kuadrat kesalahan E dari selisih antara respon model dan hasil pengukuran dapat diperkecil:

$$E = g^T g \quad (2.37)$$

Untuk dapat mengurangi kesalahan pada persamaan 2.36 maka persamaan Gauss-Newton (persamaan 2.37) digunakan untuk menentukan perubahan dalam parameter model yang seharusnya dapat mengurangi jumlah kuadrat kesalahan (Lines & Treitel, 1984).

$$J^T J \Delta q_j = J^T g; \quad \Delta q = (J^T J)^{-1} J^T g \quad (2.38)$$

Dimana Δq adalah vektor perubahan parameter model dan J adalah turunan parsial pada matriks Jacobian. Elemen matriks Jacobian diberikan oleh persamaan :

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial q_j} \quad (2.39)$$

Persamaan 2.39 menunjukkan perubahan model pada respon model ke-I (persamaan model) yang disebabkan oleh karena perubahan parameter model ke-j (parameter model). Setelah melakukan perhitungan vektor perubahan parameter, maka didapatkan sebuah model baru :

$$q_{j+1} = q_j + \Delta q_j \quad (2.40)$$

II.4 Identifikasi Tanah

Identifikasi tanah yang memadai merupakan suatu pekerjaan yang sangat penting pada pelaksanaan sebuah konstruksi. Informasi yang cukup harus diperoleh untuk membuat suatu desain yang aman dan ekonomis untuk menghindari permasalahan saat konstruksi. Tujuan utama dari identifikasi tersebut adalah :

1. Untuk menentukan urutan, ketebalan dan lapisan tanah kearah lateral dan bila diperlukan, elevasi batuan dasar.
2. Untuk memperoleh contoh-contoh tanah dan batuan yang cukup mewakili untuk keperluan identifikasi dan klasifikasi
3. Untuk mengidentifikasi kondisi air tanah. Penyelidikan tersebut mungkin juga meliputi pengadaan uji lapangan untuk menentukan karakteristik-karakteristik tanah yang ada. Hasil-hasil dari penyelidikan tanah harus memberikan informasi

yang cukup memadai, untuk mendapatkan tipe pondasi yang paling sesuai untuk suatu usulan struktur dan sebagai petunjuk bila mungkin timbul masalah-masalah pada saat penggalian (Craig, 1987).

Sebuah kajian tentang peta dan laporan atau catatan geologis, harus memberikan indikasi tentang kemungkinan kondisi-kondisi pada tempat yang ditanyakan. Struktur-struktur yang ada perlu dipelajari untuk penandaan kerusakan akibat penurunan tanah. Semua informasi yang diperoleh lebih lanjut memungkinkan dibuatnya suatu keputusan tentang tipe identifikasi yang sesuai.

Prosedur identifikasi tergantung pada sifat alamiah lapisan daerah tersebut, tetapi lazimnya akan melibatkan penggalian lubang-lubang bor. Jumlah dan lokasi lubang bor tersebut harus mencakup penentuan struktur dasar geologis pada lokasi tersebut. Pendeteksian kondisi-kondisi yang tidak teratur cukup berperan pada struktur permukaan tanah. Makin besar tingkat keberagaman kondisi tanah, makin banyak jumlah lubang bor yang diperlukan (Craig, 1987).

II.4.1 Pemboran

Metode yang umum digunakan untuk menentukan kondisi-kondisi bawah permukaan dan pengambilan contoh ialah dengan melakukan pemboran pada titik-titik yang dipilih di areal tempat pondasi. Setiap jenis peralatan bor dengan kapasitas kedalaman yang cukup, dapat dipakai untuk membuat lubang bor.

Umumnya pemboran harus dilakukan pada lokasi-lokasi dimana informasi maksimal dapat diperoleh dengan jumlah pemboran yang minimal.

Pada umumnya, salah satu lubang bor untuk setiap pelaksanaan pemboran pada suatu wilayah harus mencapai kedalaman yang cukup untuk menjangkau batuan dasar. Dan untuk lubang bor lainnya dapat mencapai kedalaman dimana tegangan-tegangan akibat beban bangunan tidak berpengaruh pada kondisi tanah. Kedalaman tersebut didapatkan dari dua kali lebar terkecil dari bangunan yang akan dibangun. (Bowles, 1984).

II.4.2 Metode *Standard Penetration Test* (SPT)

Standard Penetration Test (SPT) merupakan suatu percobaan yang dilakukan secara langsung di lapangan untuk memperoleh daya dukung tanah dengan cara memasukkan tabung sampel (*split spoon*) atau dalam pengertian lain bahwa SPT adalah sejenis percobaan dinamis dengan memasukkan alat yang dinamakan *split spoon* yang terdiri dari sepatu pemotong besi dibagian bawah, sebuah tabung baja (dapat terbelah dua secara memanjang di tengah tabung), serta sebuah penyambung di puncaknya ke dalam tanah yang merupakan silinder baja terbuka yang membelah secara longitudinal menjadi dua bagian yang disatukan (Wiyana, et al., 2018).

Perhitungan daya dukung ataupun penurunan memerlukan pengetahuan akan sifat-sifat tanah yang ada (*soil properties*) yang akan memberikan gambaran mengenai karakteristik. Penyelidikan dengan menggunakan uji penetrasi standar (SPT) bertujuan untuk mendapatkan gambaran lapisan tanah berdasarkan jenis dan warna melalui pengamatan secara visual dan sifat-sifat tanah (Jusi, 2015).

Meyehorf mengestimasi bahwa tahanan penetrasi dari uji statis dan uji dinamis maupun uji penetrasi standar menunjukkan perubahan yang sama sejalan dengan bertambahnya kedalaman. Nilai N berdasarkan jumlah tumbukan per kedalaman 15cm dapat diperoleh setelah melakukan pemboran dalam kata lain setelah pemboran yang dilakukan telah selesai. Untuk nilai N umumnya terdiri dari N_1 , N_2 , dan N_3 .

Pada Tabel 2.2 dapat memberikan informasi mengenai klasifikasi tanah yang terdiri dari beberapa poin. Dari tabel memberikan penjelasan korelasi antara klasifikasi tanah berdasarkan nilai N-SPT dan nilai Tahanan Konus (q_c) yang diperoleh setelah melakukan pemboran, kemudian dalam penentuan klasifikasi tanah berdasarkan N-SPT dapat diperoleh:

$$N_{value} = N_2 + N_3 \quad (2.41)$$

Untuk Nilai N_1 tidak dijumlahkan karena masih merupakan bekas galian dari hasil pemboran.

Tabel 2.2 Hubungan antara Klasifikasi Tanah, N-SPT, dan Tahanan Konus (Legrans, 2011)

No	N (Spt)	Klasifikasi Tanah	Tahanan Konus (Q_c) (Kg/Cm ²)
1	<4	Sangat Lepas	<20
2	4-10	Lepas	20-40
3	10-30	Agak Lepas	40-120
4	30-50	Padat	120-200
5	>50	Sangat Padat	>200