TUGAS AKHIR - SF 141501

APLIKASI METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER, MASW (*MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE*), DAN DATA MEKANIKA TANAH UNTUK ANALISIS GERAKAN TANAH (STUDI KASUS: JEMBATAN CISOMANG, TOL CIPULARANG KM 100 JAWA BARAT)

ADDINAL FIKRIYAH
NRP 01111440000023

Dosen Pembimbing
Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si
Lestari Agustiningtyas, S.T

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

TUGAS AKHIR - SF 141501

APLIKASI METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER, MASW (*MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE*), DAN DATA MEKANIKA TANAH UNTUK ANALISIS GERAKAN TANAH (STUDI KASUS: JEMBATAN CISOMANG, TOL CIPULARANG KM 100 JAWA BARAT)

ADDINAL FIKRIYAH
NRP 01111440000023

Dosen Pembimbing
Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si
Lestari Agustiningtyas, S.T

Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

FINAL PROJECT – SF 141501

APPLICATION OF GEOELECTRIC METHOD WITH WENNER-SCHLUMBERGER CONFIGURATION, MASW (*MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE*), AND SOIL MECHANICS DATA FOR SOIL MOVEMENT ANALYSIS (STUDY CASE: CISOMANG BRIDGE, TOL CIPULARANG KM 100 WEST JAVA)

ADDINAL FIKRIYAH
NRP 01111440000023

Advisor
Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si
Lestari Agustiningtyas, S.T

Physics Departement
Faculty of Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

APLIKASI METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER, MASW (*MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE*), DAN DATA MEKANIKA TANAH UNTUK ANALISIS GERAKAN TANAH (STUDI KASUS: JEMBATAN CISOMANG, JALAN TOL CIPULARANG KM 100JAWA BARAT)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains
Pada
Bidang Studi Geofisika
Program Studi 1 Departemen Fisika
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ADDINAL FIKRIYAH
01111440000023

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si .....(Pembimbing 1)
   (NIP. 1975020 199903 1 004)

2. Lestari Agustiningtyas, S.T .....(Pembimbing 2)
   (NIP. 19880828 201402 2 003)

SURABAYA
JULI 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

APLIKASI METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER-SCHLUMBERGER, *MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE)*, DAN DATA MEKANIKA TANAH UNTUK ANALISIS GERAKAN TANAH (STUDI KASUS: JEMBATAN CISOMANG, TOL CIPULARANG KM 100 JAWA BARAT)

Nama	**: Addinal Fikriyah**
NRP	**: 01111440000023**
Departemen	**: Fisika, FIA-ITS**
Pembimbing	**: Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si**
	Lestari Agustiningtyas, S.T

Abstrak

Gerakan tanah sering kali disebabkan oleh struktur bawah permukaan. Penelitian ini dilakukan untuk penyelidikan bawah permukaan di Jembatan Cisomang yang sebelumnya terjadi pergeseran jembatan pada pilar P0, P1 dan P2. Metode pertama yang digunakan yaitu metode geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger untuk mengetahui jenis lapisan bawah permukaan melalui nilai distribusi resistivitas terukur hasil pemodelan 2D menggunakan software Res2dinv. Metode kedua yaitu metode MASW untuk mengetahui tingkat lapisan bawah permukaan melalui kecepatan gelombang geser (V_{S30}). Metode ketiga yaitu melalui data mekanika tanah untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng dengan membuat pemodelan lereng software Geostudio 2016 SLOPE/W. Pengukuran metode geolistrik menggunakan sistem multichannel, panjang lintasan 180 m, 36 titik elektroda, jarak masing-masing elektroda 5 m. Dari hasil pemodelan diperoleh distribusi nilai resistivitas terdiri dari 5 lapisan, lapisan pertama 0,868 Ωm - 2.45 Ωm, lapisan ke-2 6.89

Ωm - 19.4 Ωm, lapisan ke-3 54.8 Ωm - 154 Ωm, lapisan ke-4 435 Ωm, dan lapisan ke-5 1226 Ωm. Pengukuran metode MASW dengan panjang lintasan 48 m, 24 geofon jarak masing-masing geofon 1 m, diperoleh hasil kecepatan gelombang geser (V_{S30}) antara lain 40-175 m/s, 175-350 m/s, dan 350-500 m/s. Dari metode geolistrik diketahui terdapat 2 bidang gelincir di kedalaman ±18m pada titik pengukuran 45 m - 110 m dan 45 m - 156 m. Dari metode MASW bidang gelincir di kedalaman ± 18 m. Hasil pemodelan menggunakan 2 sampel tanah yang diuji di laboratorium, berdasarkan bidang gelincir 1 dan 2 metode geolistrik diperoleh nilai faktor keamanan (FK) lereng 0.786 dan 0.518 yang menunjukkan bahwa lereng tersebut dalam kondisi tidak aman. Dari hasil pemantauan menggunakan GPS Trimle terjadi pergeseran setiap periodenya. Pada periode Mei 2017 dan Agustus 2017 pergeseran terbesarnya yaitu 0.133 m, pada periode Agustus 2017 dan Februari 2018 pergeseran terbesarnya yaitu 0.02018 m.

***Kata kunci**: geolistrik, gerakan tanah, masw, mekanika tanah*

APPLICATION OF GEOELECTRIC METHOD WITH WENNER-SCHLUMBERGER CONFIGURATION, MASW (*MULTICHANNEL ANALYSIS 0F SURFACE WAVE*), AND SOIL MECHANICS DATA FOR SOIL MOVEMENT ANALYSIS (STUDY CASE: CISOMANG BRIDGE, TOL CIPULARANG KM 100 WEST JAVA)

Name	**: Addinal Fikriyah**
NRP	**: 01111440000023**
Major	**: Physics, FIA-ITS**
Advisor	**: Dr.rer.nat. Eko Minarto, M.Si**
	Lestari Agustiningtyas, S.T

Abstract

Soil movement is often caused by subsurface structures. This research was conducted for subsurface investigation at Cisomang Bridge which previously happened bridge shift on pillar P0, P1 and P2. The first method used is geoelectric method with Wenner-Schlumberger configuration to determine the type of subsurface through the measured resistivity distribution value of 2D modeling results using Res2dinv software. The second method is the MASW method to determine the subsurface layer level through the shear wave velocity (V_{S30}). The third method is through soil mechanics data to know the slope factors value by making the modeling through Geostudio 2016 SLOPE / W software. Geoelectric measurements using multichannel system, 180 m length path, 36 electrode point, distance of each 5 m electrode. From the modeling results obtained the resistivity value distribution consists of 5 layers, first layer 0.868 Ωm - 2.45 Ωm, 2nd layer 6.89 Ωm - 19.4 Ωm, 3rd layer 54.8 Ωm - 154 Ωm, the layer to -4 435 Ωm, and the 5th layer of 1226 Ωm. MASW

measurement method with path length 48 m, 24 geofon distance of each geofon 1 m, obtained the result of shear wave velocity (V_{S30}), among others 40-175 m / s, 175-350 m / s, and 350-500 m / s. From the geoelectric method it is known that there are two slip fields at depth of ± 18m at the measuring point of 45 m - 110 m and 45 m - 156 m. From the MASW method the field of slip at a depth of ± 18 m. The results of modeling using two soil samples tested in the laboratory, based on the slip fields 1 and 2 geoelectric method obtained the value of the safety factor (FK) slopes 0.786 and 0.518 indicating that the slope is unsafe. From the monitoring result using GPS Trimle done every period. In the period May 2017 and August 2017 the largest shift of 0.133 m, in the period August 2017 and February 2018 the largest shift of 0.02018 m.

***Keywords**: geoelectric, masw, soil mecanics, soil movement*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul "**Aplikasi Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger, MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*), dan Data Mekanika Tanah untuk Analisis Gerakan Tanah (Studi kasus: Jembatan Cisomang, Tol Cipularang KM 100 Jawa Barat)**". Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) atas kesempatan yang diberikan dalam pemerolehan dan pemrosesan data untuk penyusunan tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa penelitian dan penyusunan laporan ini tidak mungkin terlaksana dengan baik tanpa adanya dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak, diantaranya:

1. Dr.rer.nat Eko Minarto, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah bersedia memberikan ilmu, arahan, bimibingan, serta saran yang membangun selama penelitian,
2. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan baik secara moril serta doa-doanya sehingga kegiatan dan penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan,
3. Lestari Agustinityas, S.T selaku selaku pembimbing di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), bagian mitigasi gerakan tanah, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan diskusi pembelajaran, arahan dan bimibingan selama di institusi,
4. Bapak Iskandar, Bapak Imam, Bapak Yohandi, Ibu Yukni, Bapak Nizar, Bapak Anjar, Ibu Widya, Ibu Novi, Bapak Kibar, Bapak Agus Budianto dan segenap pegawai Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) lainnya yang telah meberikan dukungan dan bimbingan kepada penulis selama masa pengerjaan di Kantor PVMBG,

5. Partner Tugas Akhir Ahmad Afifur Rohman dan Okinawa Riekenata Aida Islamiyah yang selalu membantu dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,
6. Teman seperjuangan Alfu Alfin Nadhifatul Ummah yang telah membantu dalam proses koreksi penulisan Tugas Akhir ini serta membantu dalam pembuatan PPT presentasi.
7. Segenap Dosen Program Studi Geofisika dan teman-teman Laboratorium Geofisika yang telah membantu dan memberikan saran dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,
8. Teman-teman ANTARES yang telah memberi dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,
9. Rekan-rekan yang memberikan dukungan (Icha, Ega, Dwi Wahyu, Irma, Dita Maulinda) yang selalu memberikan dukungan dan motivasi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini,
10. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat, baik bagi diri penulis sendiri, maupun bagi pengembangan dan pengayaan materi di keilmuan geofisika, khususnya di bidang geofisika. Penulis juga menerima kritik dan saran yang membangun untuk penulisan karya yang lebih baik kedepannya. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i

TITLE PAGE iii

LEMBAR PENGESAHAN..... **Error! Bookmark not defined.**
ABSTRAK vii
ABSTRACK..... ix
KATA PENGANTAR x
DAFTAR ISI xii
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR TABEL xx
DAFTAR LAMPIRAN..... xxii
BAB I.....1
PENDAHULUAN.....1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian.....4
1.4 Manfaat Penelitian.....5
1.5 Batasan Masalah.....5
1.6 Sistematika Penulisan Laporan 6
BAB II.....9
TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 Gerakan Tanah 9
2.2 Geolistrik 11
2.2.1 Hukum Ohm 13
2.2.2 Konsep Resistivitas Batuan 14
2.3 Konsep Penjalaran Arus Pada Pengukuran Geolistrik.17
2.4 Konfigurasi Wenner-Schlumberger.....19
2.5 Inversi Geofisika 22

2.5.1 Pemodelan Ke Depan (*Forward Modeling*).....23
2.5.2 Pemodelan Inversi (*Inverse Modeling*).....25
2.5.3 Metode Least Square Inversion (LSQ).....27
2.6 Kestabilan Lereng.....30
2.6.1 Faktor Keamanan Lereng.....31
2.6.2 Metode Kestabilan Lereng 32
2.7 MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*).....33
2.8 Gelombang Rayleigh 36
2.9 Transformasi Fourier 39
2.10 Modulus Geser 40
BAB III 43
METODELOGI.....43
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....43
3.2 Kondisi Umum Daerah Penelitian.....43
3.2.1 Lokasi Penelitian 43
3.1.1 Morfologi 44
3.1.2 Geologi.....45
3.1.3 Keairan.....46
3.1.4 Tata Guna Lahan.....46
3.1.5 Kondisi Kerentanan Tanah.....46
3.3 Peralatan 51
3.4 Diagram Alir Penelitian.....53
3.4.1 Alir Penelitian.....53
3.1.1 Alir Pengolahan Data.....54
3.5 Pengambilan Data.....55

3.5.1 Pengambilan Data Geolistrik.....55
3.5.2 Pengambilan Data MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*).....56
3.5.3 Pengambilan data Mekanika Tanah.....57
3.6 Pengolahan Data.....58
3.6.1 Pengolahan Data Geolistrik.....58
3.6.2 Pengolahan Data MASW.....59
3.6.3 Pengolahan Data Mekanika Tanah.....62
BAB IV.....65
HASIL PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN.....65
4.1 Hasil Pengolahan Data.....65
4.1.1 Hasil Geolistrik.....65
4.1.2 Hasil MASW.....68
4.1.3 Hasil Mekanika Tanah.....73
4.2 Pembahasan.....75
4.2.1 Analisa dari Metode Geolistrik.....75
4.2.2 Analisa dari Metode MASW.....78
4.2.3 Analisa dari Mekanika Tanah.....80
BAB V.....89
KESIMPULAN DAN SARAN.....89
5.1 Kesimpulan.....89
5.2 Saran.....90
DAFTAR PUSTAKA.....91
LAMPIRAN.....97
BIODATA.....127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambaran slump-earth flow yang biasa digunakan untuk memberi nama bagian dari suatu longsoran. (Varnes, 1978 dalam USGS, 2004) 9

Gambar 2.2 Komponen gaya yang bekerja pada lereng (Sears, Francis,W. Dkk. 1993).....10

Gambar 2.3 Rangkaian listrik yang terdiri dari baterai dan resistor dimana resistor menghambat aliran arus, ada perubahan dalam potensial (V) di resistor yang

sebanding dengan (i) dan resistansi (r) (Robinson, 1988:448). 13
Gambar 2.4 Konduktor silinder (Daud, 2007) 14
Gambar 2.5 Ilustrasi konsep metoda geolistrik (Jones, 1992) ...18
Gambar 2.6 Pola aliran arus pada pemasangan 4 buah elektroda pada Metode (Bahri, 2005) 18
Gambar 2.7 Susunan elektroda beserta faktor geometri pada konfigurasi Wenner-Schlumberger (Sakka, 2002) 20
Gambar 2.8 Bagian sensitivitas 2D untuk konfigurasi Wenner-Schlumberger(Dr. M.H. Locke, 2004).....20
Gambar 2.9 Pola dari titik titik data dalam pseudosection untuk konfigurasi wenner dan konfigurasi schlumberger. Konfigurasi wenner schlumberger memiliki nilai sensitivitas secara horizontal lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi wenner. Cakupan data secara horizontal lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi wenner, tetapi lebih sempit daripada konfigurasi dipole-dipole (Dr. M.H. Locke, 2004) 22
Gambar 2. 10 Alur Pemodelan Forward Modeling (Supriyanto, 2007) 23
Gambar 2. 11 Alur Pemodelan Inversi Modeling 26
Gambar 2. 12 Skema survei lapangan MASW aktif (Park et.al.,1999).....36
Gambar 2. 13 Gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008). 37
Gambar 2. 14 Sifat penetrasi partikel gelombang Rayleigh (Rosyidi et al., 2006).....38
Gambar 3.1 Peta lokasi gerakan Tanah di Jembatan Cisomang, Tol Cipularang KM 100+700 (Bakosurtanal, 1990 dan PVMBG,2017).....44

Gambar 3. 2 Peta Geologi jembatan Cisomang, Tol Cipularang dan sekitarnya (PVMBG, 2017) 45
Gambar 3. 3 Peta Zona Kerentanan Tanah Tol Cipularang dan sekitarnya (PVMBG, 2017) 47
Gambar 3. 4 Prakiraan Wilayah Potensi Terjadi Gerakan Tanah Pada Bulan Februari 2018, Kabupaten Bandung Barat (PVMBG, 2018).....48
Gambar 3. 5 Foto udara Jembatan Cisomang (PVMBG, 2017).49
Gambar 3. 6 Peta sketsa situasi Jembatan Cisomang (PVMBG, 2017).....50
Gambar 3. 7 Penampang Jembatan Cisomang dan foto (A) breksi vulkanik (Qob) (simbol segitiga) serta batu lempung sisipan batupasir (simbol garis miring putus-putus) dari Formasi Jatiluhur (Mdm) yang mendasari fondasi pilar jembatan Cisomang (PVMBG, 2017) 50
Gambar 3.8 Diagram alir penelitian 53
Gambar 3. 9 Diagram alir pengolahan data 55
Gambar 3. 10 Penampang resistivitas 2D hasil inversi dengan Res2dinv.....58
Gambar 3. 11 Gelombang Rayleigh titik pengukuran ke-3 60
Gambar 3. 12 Proses Edit Geometri pada McSeislmager modul Pickwin.....61
Gambar 3. 13 Kurva travel time setelah picking.....61
Gambar 3. 14 Model lereng dengan Geostudio 2016 SLOPE/W 63
Gambar 3. 15 Model lereng dengan pembagian region menggunakan Geostudio 2016 SLOPE/W 63
Gambar 3. 16 Model lereng dengan pembagian region dan Pore Water Preasure (PWP) menggunakan Geostudio 2016 SLOPE/W 64

Gambar 4. 1 Model penampang 2D geolistrik resistivitas 66
Gambar 4. 2 Model penampang 2D geolistrik resistivitas dengan koreksi topografi.....66
Gambar 4. 3 Bidang Gelincir 1 hasil model penampang 2D resistivitas 67
Gambar 4. 4 Bidang Gelincir 2 hasil model penampang 2D resistivitas 67
Gambar 4. 5 Geometri CMP Cross Correlation (CMPCC) gathers dengan *software* Pickwin 69
Gambar 4. 6 Kurva Dispersi hasil setelah picking 70
Gambar 4. 7 Proses inversi berbasis iterasi lintasan.....71
Gambar 4. 8 Profil kecepatan gelombang S terhadap kedalaman 71
Gambar 4. 9 Hasil model 2D MASW.....72
Gambar 4. 10 Hasil analisa kestabilan lereng denganSlope/W untuk bidang gelincir 1 74
Gambar 4. 11 Hasil analisa kestabilan lereng denganSlope/W untuk bidang gelincir 2 75

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe-tipe gerakan tanah (Varnes, 1978).....11
Tabel 2. 2 Nilai Resistivitas Dari Berbagai Tipe Batuan (Telford, 1990) 16
Tabel 2.3 Klasifikasi tanah menurut SNI 1726-2012.....34
Tabel 4. 1 Data param mekanika tanah hasil uji laboratorium. 73
Tabel 4. 2 Data param mekanika tanah hasil uji laboratorium setelah dikonversi.....73
Tabel 4. 3 Hasil analisa nilai pergeseran dati titik ukur pemantauan pergerakan tanah Periode Mei 2017 dan Agustus 2017

di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat 85

Tabel 4. 4 Hasil analisa nilai pergeseran dati titik ukur pemantauan pergerakan tanah Periode Agustus 2017 dan Februari 2018 di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat 86

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

A.1 Kondisi Daerah penelitian

LAMPIRAN B

B.1 Data penelitian Metode Geolistrik

B.2 Dokumentasi Akuisisi Metode Geolistrik

LAMPIRAN C

C.1 Data penelitian Metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*)

C.2 Peralatan dan akuisisi data Metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*)

LAMPIRAN D

D.1 Data hasil Uji Laboratorium Mekanika Tanah (Sampel 1, lapisan atas)
D.2 Data hasil Uji Laboratorium Mekanika Tanah (Sampel 2, lapisan bawah)
LAMPIRAN E
E.1 Data hasil pemantauan menggunakan GPS Trimble
E.2 Lokasi pemantauan menggunakan GPS Trimble

"Halaman ini semgaja dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Indonesia dikenal sebagai wilayah yang mempunyai tatanan geologi yang unik dan rumit yaitu terletak pada pertemuan tiga lempeng dunia antara lain lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Australia yang bergerak saling menumbuk. Konsekuensi dari tumbukan itu maka terbentuk palung samudera, lipatan, punggungan dan patahan di busur kepulauan, sebaran sumber gempa bumi, dan sebaran gunung api. Gunung api yang ada di Indonesia berjumlah 129. Dengan demikian Indonesia rawan terhadap bencana letusan gunung api dan gempa bumi. Letusan gunung api menghasilkan tanah jenis pelapukan yang merupakan jenis tanah yang sering dijumpai di Indonesia. Tanah ini memiliki komposisi sebagian besar lempung dengan sedikit pasir dan bersifat subur. Tanah pelapukan yang berada di atas batuan kedap air pada perbukitan atau punggungan dengan kemiringan sedang hingga terjal berpotensi mengakibatkan gerakan tanah pada musim hujan dengan curah hujan berkuantitas tinggi. Jika perbukitan tersebut tidak ada tanaman keras berakar kuat dan dalam, maka kawasan tersebut rawan adanya pergerakan tanah atau sering dikenal sebagai bencana tanah longsor. Gerakan tanah menjadi bahaya yang mendominasi di Indonesia, terutama di Pulau Jawa. Salah satu daerah di Indonesia yang rawan akan bencana gerakan tanah, yaitu Provinsi Jawa Barat (VSI, 2005).

Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tahun 2016 setidaknya ada 83 kasus kejadian tanah longsor di Jawa Barat. Kejadian gerakan tanah di Jawa Barat salah satunya terjadi di Jembatan Cisomang Jalan Tol Cipularang Jawa Barat. Jembatan

Cisomang berlokasi di jalan tol Cipularang KM 100 pada perbatasan antara Kabupaten Bandung Barat dan Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat. Jembatan ini digunakan untuk menghubungkan antara kota Bandung dan Kota Jakarta. Pada akhir bulan Desember 2016 muncul retakan pada pilar P0, P1 dan P2 yang menyebabkan jembatan bergeser sejauh 53 cm dan bronjong penahan erosi pada dinding sungai Cisomang yang berada di bawah jembatan mengalami pergeseran. Sungai Cisomang yang masih aktif hingga saat ini dan disertai dengan curah hujan yang tinggi juga menyebabkan tanah mengalami *swelling* sehingga pilar yang terletak di sudut miring mudah tergelincir

(Iskandar, dkk, 2017).

Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) mengungkapkan bahwa pergeseran Jembatan Cisomang dengan tinggi jembatan 40 m yang berada di KM 100 terjadi karena akumulasi pergerakan tanah yang tipenya lambat. Gerakan tanah di wilayah jalur jalan ini masih terus berkembang sampai pada saat ini. Gerakan tanah ini mengakibatkan terbentuknya dua pola retakan pada pilar penyangga tubuh Jembatan Cisomang. Yang pertama adalah pola retakan atau kekar vertikal dimana pola retakan atau kekar vertikal ini dijumpai pada P0, P1 dan P2. Yang kedua adalah pola retakan horizontal dimana pola retakan horizontal dominan dijumpai pada pilar P1 dan pilar P2, bronjong penahan erosi sungai untuk fondasi pilar jembatan mengalami pergeseran, dan lalu lintas jalan tol Cipularang Jakarta-Bandung pada KM 100 dibatasi bagi lalu lintas kendaraan kecil, sementara untuk kendaraan besar dan berat dialihkan melalui jalur jalan Provinsi (PVMBG, 2017).

Gerakan massa tanah (*soil mass movement*) atau sering disebut tanah longsor (*landslide*) sebagai salah satu bencana alam yang sering melanda daerah perbukitan dengan kondisi lereng yang terjal yang berada di daerah tropis basah. Gerakan tanah sendiri

merupakan proses perpindahan massa batuan dan tanah, ataupun percampuran dari keduanya, dari tempat asalnya ketempat yang lebih rendah (oleh gaya gravitasi) akibat proses gangguan keseimbangan lereng. Gerakan tanah adalah jenis bahaya geologi yang sering terjadi karena fenomena alam tersebut ditimbulkan oleh proses-proses geologi baik oleh gaya-gaya yang bekerja dalam bumi endogen, maupun yang berasal dari luar bumi eksogen. Faktor yang mempengaruhi terjadinya gerakan tanah adalah kondisi geologi, morfologi, keairan, dan tata guna lahan. Dalam hal penyelidikan pergerakan tanah keberadaan bidang gelincir menjadi salah satu faktor yang akan dilakukan pengajian lebih lanjut (Varnes, 1978).

Pemantauan gerakan tanah dapat dilakukan dengan analisis Geofisika bawah permukaan, kejadian gerakan tanah terdahulu maupun data sekunder lainnya yang terkait dengan daerah pemantauan. Gerakan tanah sendiri banyak disebebakan oleh kondisi bawah permukaan, oleh karena itu untuk mengetahui keadaan bawah permukaan, dapat digunakan survei dengan beberapa metode geofisika. Salah satu metode geofisika yang digunakan dalam pencarian keberadaan bidang gelincir adalah metode geolistrik resistivitas. Dimana metode tersebut digunakan untuk menganalisis pergerakan tanah di daerah penelitian yaitu Jembatan Cisomang, Tol Cipularang menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger. Metode tersebut dapat menghasilkan gambaran lapisan bawah permukaan secara 2D berdasarkan nilai resistivitas (tahanan jenis) bawah permukaan yang terukur. Metode geofisika lainnya juga memiliki peranan penting dalam mendukung pendugaan bidang gelincir gerakan tanah seperti MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) yang digunakan untuk mengetahui lapisan yang dianggap sebagai bidang lemah berdasarkan nilai kecepatan penjalaran

gelombang geser Vs30. Metode tersebut nantinya digunakan sebagai data pendukung dalam model 2D bawah permukaan geolistrik resistivitas guna mendapatkan struktur bawah permukaan khususnya bidang gelincir gerakan tanah yang lebih akurat. Data pendukung lainnya yaitu Data Mekanika Tanah diperoleh dari hasil sampel tanah dan di uji Laboratorium yang nantinya akan dimodelkan dalam 2D untuk menentukan bidang gelincir serta untuk mengetahui nilai FK atau faktor keamanan. Serta digunakan data pendukung hasil dari beberapa kali pemantauan menggunakan GPS Trimble untuk menentukan pergeseran lereng antara referensi dan titik patok pemantauan.

(Varnes, 1978).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang ditemukan dalam penelitian setelah dilakukan analisa lapangan berdasarkan latar belakang yang dibahas, antara lain:

1. Bagaimanakah cara mengetahui nilai distribusi tahanan jenis dari hasil pengukuran metode Geolistrik?
2. Bagaimanakan cara mengetahui kecepatan gelombang geser V_{S30} dari hasil pengukuran metode MASW?
3. Bagaimanakah cara menentukan kedalaman bidang gelincir?
4. Bagaimanakah cara mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) lereng?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai distribusi resistivitas dari hasil penampang 2D metode Geolistrik yang terukur di daerah penelitian.

2. Mengetahui kecepatan gelombang geser V_{S30} dari hasil penampang 2D metode MASW yang terukur di daerah penelitian.
3. Menentukan kedalaman bidang gelincir pada daerah penelitian.
4. Menganalisis nilai Faktor Keamanan (FK) lereng berdasarkan uji laboratorium data mekanika tanah dan hasil pemodelan *software* Geostudio 2016 Slope/W.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian Tugas Akhir ini membantu dalam menganalisa pergerakan tanah dan menentukan letak bidang gelincir di Jembatan Cisomang. Adapun manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui struktur bawah permukaan yang menyebabkan adanya potensi gerakan tanah di daerah penelitian.
2. Mengetahui bidang gelincir yang mengakibatkan gerakan tanah di daerah penelitian.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Jembatan Cisomang Jalan Tol Cipularang KM 100 pada perbatasan antara Kabupaten Bandung Barat dan Kabupaten Purwakarta Provinsi Jawa Barat
2. Metode yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode geolistrik tahanan jenis dua dimensi (2D) konfigurasi Wenner-Schlumberger.

3. Pada penelitian ini menggunakan data tambahan, yaitu data MASW (*Multichannel Analysis of SurfaceWave*) serta data Mekanika Tanah sebagai data dukung digunakan data hasil pemantauan menggunakan GPS Trimble Statik.
4. Penelitian dilakukan sampai pendugaan bidang gelincir berdasarkan hasil pemodelan penampang 2D serta hasil perhitungan Faktor Keamanan (FK) lereng menggunakan *software* Geostudio 2016 Slope/W.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika yang digunakan penulis dalam penulisan laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan dalam laporan Tugas Akhir ini yaitu berisi tentang Latar Belakang penelitian, Rumusan Masalah pada penelitian, Tujuan dari penelitian, Batasan Masalah penelitian dan Sistematika Penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab Tinjauan Pustaka berisi tentang konsep dasar dan teori penunjang penelitian mengenai metode geofisika yang digunakan dalam penelitian meliputi metode geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger, metode MASW dan Mekanika Tanah.

BAB II : Metodelogi

Bab Metodelogi berisi tentang Geologi Regional daerah penelitian serta menguraikan prosedur kerja tentang dalam penelitian.

BAB IV : Analisa dan Pembahasan

Bab Analisa dan Pembahasan merupakan inti dari penulisan laporan Tugas Akhir yang berisi pengolahan data serta analisa tentang hasil dari penelitian dengan metode yang telah digunakan.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Bab Kesimpulan dan Saran yaitu berisi kesimpulan umum dari analisa yang berdasarkan pada tujuan penelitian dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka merupakan sumber referensi pengambilan bahan atau literatur pada penuliasan laporan Tugas Akhir

LAMPIRAN

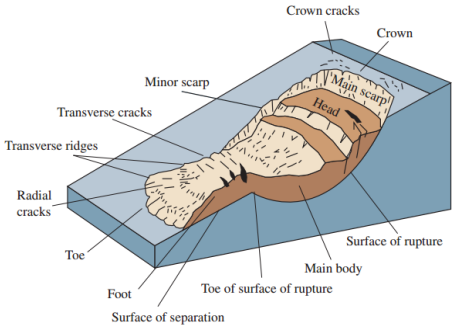
Lampiran merupakan sebagian data data penelitian yang dilakukan serta dapat mencantumkan gambar dokumentasi selama pelaksanaan kegiatan penyusunan laporan Tugas Akhir

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gerakan Tanah

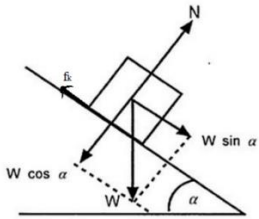
Dalam (SNI 13-6982.2) tentang pemeriksaan lokasi bencana gerakan tanah, gerakan tanah merupakan perpindahan material pembentuk lereng, berupa batuan, bahan timbunan, tanah, atau material campuran yang bergerak ke arah bawah dan keluar lereng. Gambar (2.1) mengilustrasi gerakan tanah, yang secara umum menjelaskan terminologi gerakan tanah.



Gambar 2.1 Gambaran *slump-earth flow* yang biasa digunakan untuk memberi nama bagian dari suatu longsoran. (Varnes, 1978 dalam USGS, 2004)

Dari gambar di atas bagian yang paling penting pada gerakan tanah adalah *Surface of repture* (bidang gelincir), yang merupakan bidang lemah penggerak material penyusun lereng. Dua faktor yang menyebabkan pergerakan tanah yaitu faktor pemicu dan faktor pemacu. Faktor pemicu gerakan tanah adalah air hujan dan gempa. Faktor pemacu gerakan tanah adalah kegiatan yang dilakukan oleh aktivitas manusia. Misalnya, lereng yang semula tahan terhadap gerakan, karena kakinya (*toe*) dipotong untuk jalan atau untuk perumahan, akhirnya memiliki kecenderungan lebih besar untuk bergerak (Purbo, 1992).

Pergerakan tanah dianalogikan dengan bergeraknya suatu balok pada bidang miring. Apabila gaya akibat gravitasi (beban bergerak) melebihi kuat geser penahan lereng, maka material akan bergerak. Adapun analogi gerakan tanah adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Komponen gaya yang bekerja pada lereng (Sears, Francis,W. Dkk. 1993).

Dari gambar di atas, ketika benda bergerak kebawah dengan percepatan tetap, maka gaya yang bekerja jika sejajar dengan bidang miring yaitu:

$$\Sigma F = m.a \quad (1)$$

$$W sin\alpha - f_k = m.a \quad (2)$$

$$W sin\alpha = m.a + f_k \quad (3)$$

$$W = \frac{m.a + f_k}{sin\alpha} \quad (4)$$

Dan jika gaya yang bekerja tegak lurus dengan bidang miring, maka:

$$\Sigma F = 0 \ (a = 0) \quad (5)$$

$$N - W = 0 \quad (6)$$

$$N = W = W cos\ \alpha \quad (7)$$

Seperti Gambar (2.2), pada bidang miring yang sudut kemiringinnya (α), komponen gaya berat (W) menurut arah bidang miring adalah (W sin α) dengan nilai yang lebih kecil dari (W). Semakin kecil sudut (α), makin kecil nilai pada komponen tersebut. Secara teoritis untuk menarik benda dengan laju tetap (tanpa percepatan) searah dengan arah bidang miring dapat menjadikan

nilainya kecil sekali. Akan tetapi, jarak yang harus dilalui menjadi lebih besar. Pada praktiknya gaya yang diperlukan selalu lebih besar daripada W sin α, karena selalu ada gesekan yang menghambat gerak (Sears, 1993).

Gerakan tanah dapat diklasifikasikan pada Tabel (2.1) yang merupakan Klasifikasi para peneliti berdasarkan kepada jenis gerakan dan materialnya.

Tabel 2.1 Tipe-tipe gerakan tanah (Varnes, 1978)

TYPE OF MOVEMENT		***TYPE OF MATERIAL***		
		BEDROCK	***SOILS***	
			Predominantly coarse	***Predominantly fine***
FALLS		*Rock fall*	*Devris fall*	*Earth fall*
TOPPLES		*Rock topple*	*Debris topple*	*Earth topple*
SLIDES	*ROTATIONAL*	*Rock slide*	*Debris spread*	*Earth slide*
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		*Rock spread*	*Debris spread*	*Earth spread*
FLOWS		*Rock flow*	*Debris flow*	*Earth flow*
		(deep creep)	*(soil creep)*	
COMPLEX		*Combination of two or more principal types of movement*		

Pada Tabel (2.1) menjelaskan bahwa gerakan tanah dibedakan menjadi 6, antara lain *Falls* (jatuhan), *Topples* (robohan), *Slides* (longsoran) yang dibedakan menjadi dua yaitu longsoran translasi dan longsoran rotasi. *Lateral spreads* yang merupakan longsoran akibar material penyusun lereng yang jenuh air, *Flows* yang merupakan longsoran akibat terbawa air hujan, serta *Complex* yang merupakan longsoran terdiri dari beberapa jenis longsoran.

2.2 Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik dalam bumi dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi kedalam tanah. Metode geolistrik

digunakan untuk menentukan distribusi resistivitas bawah permukaan dalam penentuan jenis lapisan batuan yang dapat berperan sebagai bidang gelincir dan kedalamannya dari permukaan bumi dimana metode tersebut dapat menghasilkan citra lapisan batuan bawah permukaan bumi secara dua dimensi berdasarkan nilai tahanan jenis batuan penyusun lapisan tersebut (Telford, 1976).

Metode geolistrik dibedakan menjadi dua yaitu pasif dan aktif. Metode geolistrik pasif pada dasatnya energi yang dibutuhkan telah ada secara alamiah sehingga tidak perlu adanya injeksi arus terlebih dahulu. Sedangkan, metode geolistrik aktif pada dasarnya energi membutuhkan penginjeksian arus ke dalam bumi terlebih dahulu oleh elektroda arus. Jenis geolistrik yang bersifat aktif, resistivitas yang dimiliki oleh setiap media berbeda-beda, sehingga setiap media mempunyai respon sifat yang berbeda terhadap aliran listrik yang melaluinya. Keuntungan dari metode geolistrik tahan jenis yaitu dapat membedakan macam macam batuan tanpa melakukan pengeboran, biaya relatif murah dan pengoperasiannya mudah (Santoso, 2002).

Berdasarkan teknik pengukuran geolistrik digunakan dua teknik pengukuran *mapping* dan *sounding*. Metode geolistrik *mapping* bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas lapisan bawah permukaan secara horizontal. Pada metode ini digunakan jarak spasi elektroda yang tetap untuk semua titik pengamatan di permukaan bumi. Metode geolistrik *sounding* bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal. Pada metode ini, pengukuran pada suatu titik pengamatan dilakukan dengan mengubah-ubah jarak elektroda. Jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Semakin besar jarak elektroda, semakin dalam

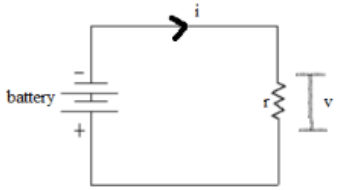
lapisan batuan yang terdeteksi. Konsep geolistrik dijelaskan menggunakan Hukum Ohm dan konsep resistivitas batuan (Reynolds, 1997).

2.2.1 Hukum Ohm

Hukum Ohm didefinisikan sebagai hubungan antara arus listrik yang mengalir disebuah kawat dengan beda tegangan, yaitu:

$$V = IR \tag{8}$$

Hukum Ohm dapat diilustrasikan dengan gambar sebagai berikut.



Gambar 2.3 Rangkaian listrik yang terdiri dari baterai dan resistor dimana resistor menghambat aliran arus, ada perubahan dalam potensial (V) di resistor yang sebanding dengan (i) dan resistansi (r) (Robinson, 1988:448).

Dari Gambar (2.3), di dalam hukum Ohm dijelaskan bahwa arus (I) sebanding dengan tegangan (V) (Daud, 2007).

$$R = \frac{V}{I} \tag{9}$$

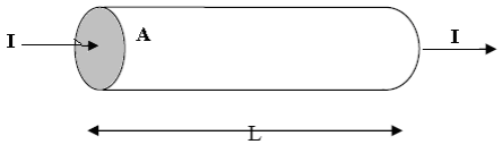
Dari rumus diatas dapat dijelaskan bahwa jika nilai resistansi besar, maka dibutuhkan beda potensial yang besar untuk mengalirkan arus tertentu. Aliran arus listrik didalam batuan dan mineral dapat terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik di alirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut

untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya (Alaydus, 2014).

2.2.2 Konsep Resistivitas Batuan

Aliran listrik dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis) yang menunjukkan kemampuan bahan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya. Resistivitas memiliki pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya bergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebuut, sedangkan resistivitas tidak bergantung pada geometri. Adapun resistivitas berbalik dengan konduktivitas, dimana konduktivitas dapat dijelaskan dengan Gambar (2.4) yang merupakan konduktivitas silinder

(Telford, 1974 dalam Rahma, 2009).



Gambar 2.4 Konduktor silinder (Daud, 2007)

Dari gambar di atas ditinjau sebagai silinder dengan panjang L, luas penampang A, dan resistansi R, sehingga dapat dirumuskan:

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{11}$$

Dimana secara fisis rumus tersebut dapat diartikan jika nilai panjang silinder konduktor (L) besar, maka resistansi akan semakin besar, dan apabila diam silinder konduktor diturunkan yang berarti

luas penampang (A) berkurang maka resistansi juga meningkat. Dimana ρ adalah risistivitas (tahanan jenis) dalam Ω.m. Dengan resistansi R dirumuskan:

$$R = \frac{V}{I} \tag{12}$$

Sehingga didapatkan nilai resistivitas (ρ):

$$\rho = \frac{VA}{IL} \tag{13}$$

Adapun sifat konduktivitas (σ) batuan yang merupakan kebalikan dari resistivitas (ρ) dengan satuan ohms/m, nilai konduktivitas adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{IL}{VA} = \frac{I}{A}\frac{L}{V} = \frac{J}{E} \tag{14}$$

Dari perumusan di atas untuk medium kontinu, maka Hukum Ohm dapat dituliskan sebagai $J = \sigma E$. Dimana J adalah rapat arus (*ampere/m*^{2}) dan E adalah medan listrik (*volt/m*). Jika ada medan magnet yang mengenai pembawa muatan, maka pembawa muatan ini akan bergerak memiliki kecepatan rata-rata (v) dan memiliki mobilitas μ, yang merupakan kecepatan persatuan medan listrik dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$\mu = \frac{v}{E} \tag{15}$$

dengaan:

devinisi arus, $$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{nqAv\Delta t}{\Delta t} = nqAv \tag{16}$$

rapat muatan, $$J = \frac{I}{A} = nqv = nq\mu E \tag{17}$$

maka, $$\rho = \frac{1}{nq\mu} \tag{18}$$

Dari persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa material yang memiliki resistivitas rendah jika banyak pembawa muatan dan memiliki mobilitas yang tinggi (Telford, 1976).

Geolistrik tahanan jenis memanfaatkan sifat konduktivitas batuan untuk mendeteksi keadaan bawah permukaan. Sifat dari resistivitas batuan memiliki tiga macam yaitu medium konduktif, medium semikonduktif dan medium resistif. Medium konduktif yang mudah untuk menghantarkan arus listrik dimana besar resistivitasnya adalah 10^{-8} ohm.m sampai dengan 1 ohm.m. Medium semikonduktif merupakan medium yang cukup mudah untuk menghantarkan arus litrik dimana resitivitasnya yaitu 1 ohm m sampai dengan 10^{7} ohm.m. Medium resistif merupakan medium yang sukar untuk menghantarkan arus listrik dimana besar resistivitasnya yaitu lebih besar dari 10^{7} ohm.m. Sifat konduktivitas listrik tanah dan batuan pada permukaan bumi sangat dipengaruhi oleh jumlah air. Batuan berpori atau tanah yang terekadung semakin banyak air, nilai resistivitas listriknya berkurang. Sebaliknya, nilai resistivitas listriknya akan bertambah dengan berkurangnya kandungan air. Adapun nilai tahanan jenis masing masing batuan/tanah dapat dibedakan pada Tabel (2.2) (Milsom, 2003).

Tabel 2. 2 Nilai Resistivitas Dari Berbagai Tipe Batuan (Telford, 1990)

Jenis Batuan/Tanah/Air	Tingkat Resistivitas (Ωm)
Clay/lempung	1-100
Silt/lanau	10-200
Marls/batulumpur	3-70
Kuarsa	$10\text{-}2\text{x}10^{8}$
Sandstone/BatuPasir	50-500
Limestone/Batukapur	100-500
Lava	$100\text{-}5\text{x}10^{4}$

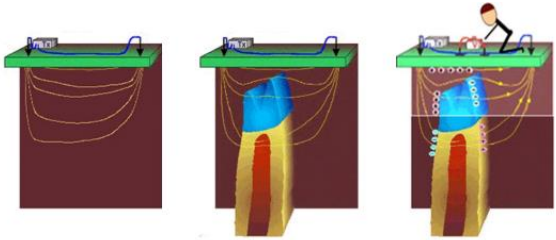
Air tanah	0,5-300
Air laut	0,2
Breksi	75-200
Andesit	100-200
Tufa vulkanik	20-100
Konglomerat	$2x10^3$-10^4

Dari Tabel (2.2) menjelaskan bahwa ketika nilai resistivitas suatu material (batuan/tanah) kecil maka material tersebut mengandung banyak air atau jenuh air. Untuk material dengan nilai resistivitas besar makan material tersebut semakin sedikit kandungan airnya.

2.3 Konsep Penjalaran Arus Pada Pengukuran Geolistrik

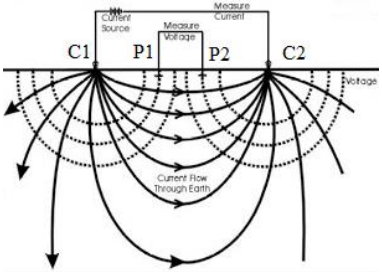
Peralatan geolistrik *multichannel* yang digunakan untuk survei penggunaan konfigurasi elektroda terhadap hasil pengukuran yang akan di hasilkan. Pengukuran geolistrik dilakukan dengan 2 buah elektroda sebagai penginjeksi arus listrik ke dalam bumi dan 2 buah elektroda untuk mengukur beda potensial di permukaan akibat dari injeksi atau pemberian arus listrik. Jarak elektroda menentukan kedalaman lapisan yang diukur. Pada spasi elektroda kecil, harga beda potensial terukur ditentukan hanya oleh lapisan pertama (seolah sebagai medium homogen), sedangkan pada spasi elektroda yang lebih lebar lebih dipengaruhi oleh lapisan kedua (berikutnya). Teknik pengukuran geolistrik di lapangan dilakukan dengan berbagai geometri atau susunan elektroda arus dan potensial. Konfigurasi elektroda ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing tergantung dari target apa yang ingin dicapai dalam pengukuran geolistrik. Metoda geolistrik merespon sifat konduktivitas batuan dan mineral bawah permukaan dengan mengamati bagaimana arus mengalir di dalam bumi. Konduktivitas batuan dan mineral adalah fenomena

yang kompleks. Kandungan air dapat meningkatkan konduktivitas dan sangat mempengaruhi nilai konduktivitas yang terukur. Resistansi akan berubah apabila geometri pengukuran atau volume material berubah. Konsep dari pengukuran geolistrik dapat diilustrasikan dengan gambar berikut.



Gambar 2.5 Ilustrasi konsep metoda geolistrik (Jones, 1992)

Dari Gambar (2.5) ketika melakukan akuisisi dengan geolistrik, rangkaian listrik dibuat dengan bumi sebagai resistor dan dihubungkan dengan elektroda sebagai penghantar listrik. Jika ada dua elektroda arus dipermukaan sumber +I di titik C1 dan –I dititik C2 (gambar 1) dan persamaan (yang V) memungkinkan jumlah distribusi potensial dari kombinasi sumber masukan ditemukan disetiap tempat. Pada metode geolistrik menggunakan dua sumber arus, dengan demikian arah arus listrik dan equipotensialnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.6 Pola aliran arus pada pemasangan 4 buah elektroda pada Metode (Bahri, 2005)

Pada Gambar (2.6) menjelaskan pengukuran metode geolistrik tahanan jenis dalam praktiknya bertujuan untuk membandingkan potensial di suatu titik tertentu, sehingga diperlukan dua buah elektroda arus di permukaan yang berfungsi untuk memberikan dan merespon arus, baik dari sumber medium atau sebaliknya. Beda potensial di permukaan dipengaruhi oleh kedua elektroda arus tersebut (Hendrajaya, 1990).

Persamaan untuk potensial dititik P1 diberikan sebagai berikut:

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_2}\right) \tag{19}$$

Dari persamaan diatas untuk nilai potensial diantara P1 dan P2 kemudian menjadi:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi}\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2}\right) \tag{20}$$

sehingga diperoleh resistivitas rho (ρ) ditulis:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I}\, x \left[\frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2}\right)\right]^{-1} \tag{21}$$

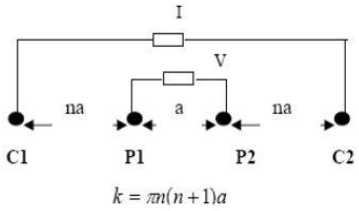
dengan diketahui nilai:

$$K = \left[\frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{C_1P_1} - \frac{1}{C_2P_1} - \frac{1}{C_1P_2} + \frac{1}{C_2P_2}\right)\right]^{-1} \tag{22}$$

Faktor geometri (K) bergantung pada posisi semua empat titik (posisi elektroda dalam penelitian) (Santoso, 2002).

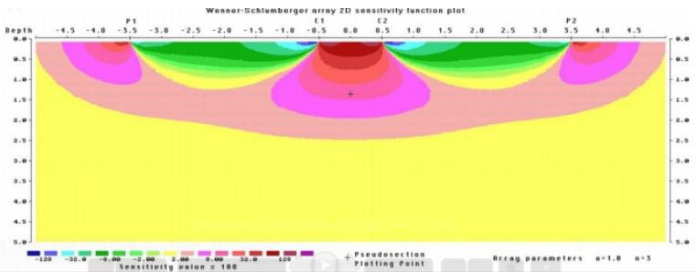
2.4 Konfigurasi Wenner-Schlumberger

Konfigurasi Wenner-Schlumberger adalah konfigurasi dengan aturan jarak spasi yang tetap dengan faktor n untuk konfigurasi Wenner-Schlumberger dengan perbandingan jarak antara elektroda C1-P2 dengan spasi antara P1-P2. Sehingga 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 dapat dilihat pada Gambar (2.8) (Sakka, 2002).



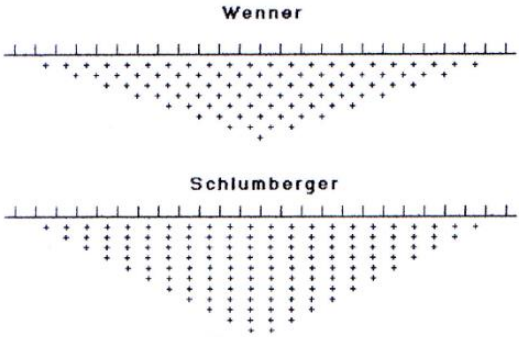
Gambar 2.7 Susunan elektroda beserta faktor geometri pada konfigurasi Wenner-Schlumberger (Sakka, 2002)

Gambar diatas menjelaskan susunan geometri elektroda pada konfigurasi Wenner-Schlumberger dimana konfigurasi Wenner-Schlumberger adalah penggabungan antara konfigurasi Wenner dan konfigurasi Schlumberger yang muncul dari pekerjaaan yang relatif baru dalam survei geolistrik. Konfigurasi Schlumberger klasik adalah konfigurasi yang paling umum dipakai untuk surve resistivitas *sounding*. Pendigitalan dari konfigurasi ini yang dapat digunakan dalam sistem dengan elektroda diatur dengan jarak yang tetap. Faktor n dari konfigurasi ini adalah rasio dari jarak antara elektroda C1-P1 (atau P2-C2) dengan spasi antar P1-P2. Perhatikan bahwa pada konfigurasi Wenner nilai n adalah 1 (Dr. M.H. Locke, 2014).



Gambar 2.8 Bagian sensitivitas 2D untuk konfigurasi Wenner-Schlumberger(Dr. M.H. Locke, 2004)

Gambar diatas menunjukkan pola sensitivitas dari konfigurasi Wenner-Schlumberger meningkat dari 1 (konfigurasi Wenner) sampai 6 (konfigurasi Schlumberger). Area dari nilai sensitivitas positif yang tinggi berada di bawah pusat dari konfigurasi menjadi lebih terkonsentrasi di bawah elektroda P1-P2 ketika nilai n meningkat. Di dekat lokasi titik perencanaan di kedalaman tengah area investigasi, kontur sensitive agak sedikit vertikal dibawah pusat dari konfigurasi. Saat n=6, sensitivitas positif yang bernilai tinggi berada pada elektroda P1-P2 menjadi lebih terpisah dari nilai sensitivitas positif yang sangat tinggi didekat elektroda C1 dan C2. Ini artinya konfigurasi wenner-schlumberger cukup sensitive baik secara horizontal (untuk n dengan nilai rendah) dan struktur vertikal (dengan nilai n tinggi). Di area dimana ada struktur geologi baik yang vertikal maupun horizontal, konfigurasi ini adalah kompromi yang baik antara konfigurasi Wenner (lateral) dan konfigurasi Dipole-Dipole (vertikal). Kedalaman investigasi rata rata dari konfigurasi ini lebih besar 10% dari konfigurasi Wenner untuk jarak C1 dan C2 yang sama dengan nilai n lebih besar dari 3. Kekuatan sinyal dari konfigurasi ini lebih lemah dari konfigurasi Wenner tetapi lebih besar daripada konfigurasi Dipole-Dipole dan kekuatan sinyalnya dua kali lebih kuat daripada konfigurasi Dipole-Dipole. Untuk data lapangan yang teramati pada lapangan menggunakan konfigurasi Wenner dan Schlumberger dapat dijelaskan dari gambar berikut ini (Dr. M.H. Locke, 2004).



Gambar 2.9 Pola dari titik titik data dalam pseudosection untuk konfigurasi wenner dan konfigurasi schlumberger. Konfigurasi wenner schlumberger memiliki nilai sensitivitas secara horizontal lebih baik dibandingkan dengan konfigurasi wenner. Cakupan data secara horizontal lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi wenner, tetapi lebih sempit daripada konfigurasi dipole-dipole (Dr. M.H. Locke, 2004)

Dari Gambar (2.9) dapat dilihat bahwa Wenner mempunyai hasil data yang teramati yaitu rata secara lateral dan untuk Schlumberger sendiri data yang akan teramati fokus terhadap kedalaman. Dari kedua konfigurasi tersebut, maka penggabungan 2 konfigurasi tersebut dilakukan agar hasil data yang teramati lebih baik.

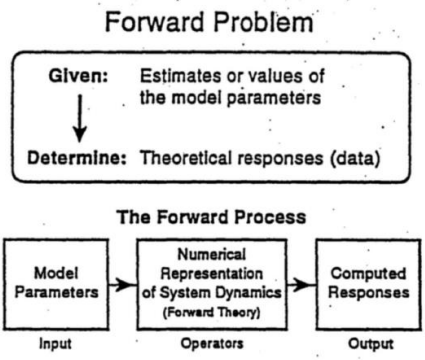
2.5 Inversi Geofisika

Dalam geofisika, pengukuran data di permukaan bumi dilakukan berdasarkan prosedur yang digunakan untuk memperkirakan kondisi bawah permukaan. Data pengamatan kondisi bawah permukaan disebut data observasi atau data lapangan. Untuk memperoleh distribusi sifat fisis bawah permukaan umumnya dilakukan melalui pembuatan model. Model adalah representasi keadaan geologi bawah permukaan. Dalam beberapa referensi, model tidak hanya menyatakan representasi

kondisi geologi oleh besaran fisis tetapi mencakup pula hubungan matematik atau teoritik antara param model dengan respons model.

2.5.1 Pemodelan Ke Depan (*Forward Modeling*)

Pemodelan ke depan (*forward modeling*) menyatakan proses perhitungan data yang secara teoritis akan teramati di permukaan bumi jika diketahui harga param model bawah permukaan dimana proses ini digunakan untuk memperoleh data prediksi hasil pengukuran berdasarkan param fisis yang sudah diketahui, pemodelan ke depan dapat lihat gambar berikut:



Gambar 2. 10 Alur Pemodelan *Forward Modeling* (Supriyanto, 2007)

Dalam pemodelan data geofisika Gambar (2.10), dicari suatu model yang menghasilkan respons yang cocok atau fit dengan data observasi atau data lapanagan. Dengan demikian, model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan ditempat pengukuran data. Untuk memeperoleh keseseuain antara data dengan teori (*respons model*) dengan data lapangan dapat dilakukan prosese coba-coba (*trial and error*) dengan mengubah-ubah harga param model. Seringkali istilah pemodelan ke depan (*forward modeling*) digunakan untuk menyatakan pemodelan data

geofisika dengan cara coba-coba. Formulasi yang bisa menjelaskan sistem geofisika dideskripsikan oleh persamaan integral berikut:

$$d_i = \int_0^z K_i(z)\, p(z) dz \tag{23}$$

dimana di adalah respon atau data yang terukur, p(z) adalah suatu fungsi yang berkaitan denganparam fisis yang hendak dicari (misalnya: hambatan jenis, densitas, kecepatan, dan lain-lain) yang selanjutnya disebut param model, dan Ki disebut data kernel. Data kernel menjelaskan hubungan antara data dan param model p(z). Param model (misalnya kecepatan, resistivitas dan densitas) bisa jadi merupakan fungsi yang kontinyu terhadap jarak atau posisi. Sebagai contoh, waktu tempuh t antara sumber gelombang seismik dengan penerimanya sepanjang lintasan L dalam medium, yang distribusi kecepatan gelombangnya kontinyu $v(x, z)$, ditentukan oleh:

$$t = \int_L^0 \frac{1}{v(x,z)} dx \tag{24}$$

Deskripsi matematika terhadap sistem geofisika seperti contoh di atas disebut *forward modelling*. Dimana *forward modelling* digunakan untuk memprediksi data simulasi berdasarkan hipotesa kondisi bawah permukaan. Data simulasi tersebut biasanya dinamakan data teoritik atau data sintetik atau data prediksi atau data kalkulasi. Cara seperti ini disebut pendekatan forward atau lebih dikenal sebagai pemodelan forward. Dalam banyak kasus, model bumi selalu fungsi kontinyu terhadap jarak dan kedalaman. Diambil kasus massa dan momen inersia bumi. Keduanya terkait dengan densitas bawah permukaan sesuai rumus-rumus berikut:

$$Massa = 4\pi \int_0^R r^2 \rho(r) dr \tag{25}$$

$$Moment\ inersia = \frac{8\pi}{3} \int_0^R r^4 \rho(r) dr \tag{26}$$

Dari persamaan diatas dimana R adalah jejari bumi dan ρ(r) merupakan fungsi densitas terhadap jarak r, ρ(r) juga berhubungan

dengan p(z) pada persamaan (23). Persamaan (25 dan 26) dapat dinyatakan dalam formulasi yang lebih umum yaitu:

$$d_i = \int_0^R K_i(r)p(r)dr \tag{27}$$

Integral diatas relatif mudah dievaluasi secara komputasi dengan matematika diskrit. Pendekatan komputasi memungkinkan untuk menyederhanakan $\rho(r)dr$ menjadi m, sementara K_i menjadi G_i sehingga Persamaan (27) dapat dinyatakan sebagai

$$d_i = \sum G_{ij} m_j \tag{28}$$

Persamaan diatas adalah bentuk diskritisasi. Secara umum, pada kenyataannya ketika melakukan pengukuran di lapangan, data pengamatan maupun parem model selalu dibatasi pada interval tertentu. Diasumsikan bahwa bawah permukaan bumi terdiri dari lapisan-lapisan dimana pada masing-masing lapisan memiliki sifat fisis atau param fisis $p(z)$yang seragam. Misalnya lapisan tertentu memiliki resistivitas sekian dan ketebalan sekian. Langkah praktis ini menyederhanakan obyek lapangan disebut langkah paramisasi. Pada hal ini, dilihat bahwa model yang diskrit dan juga param yang diskrit daripada model dan parem yang kontinyu. Sehingga proses inversi yang akan kita lakukan disebut sebagai teori inversi diskrit dan bukan teori inversi kontinyu. Dalam bentuk diskrit, dinyatakan dalam persamaan berikut:

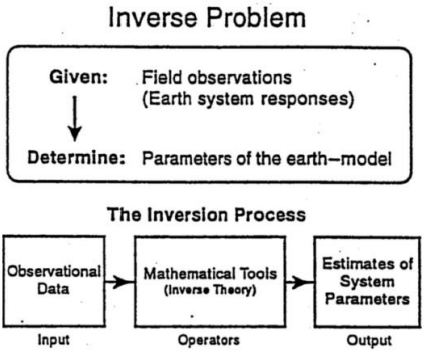
$$t_i = \sum_{j=1}^{p} \frac{L_{ij}}{v_j} \tag{29}$$

(Supriyanto, 2007).

2.5.2 Pemodelan Inversi (*Inverse Modeling*)

Data lapangan atau data observasi diharapkan dapat memberi informasi yang banyak, tidak hanya mengenai sifat fisis batuan saja, melainkan juga kondisi geometri batuan bawah permukaan dan posisi kedalaman batuan tersebut. Informasi itu hanya bisa didapatkan jika diketahui hubungan antara sifat fisis batuan tersebut dan data observasinya. Hubungan dari keduanya

hampir selalu berupa persamaan matematika atau kita menyebutnya sebagai model matematika. Maka dengan berdasarkan model matematika itulah, kita bisa mengekstrak param fisis batuan dari data observasi. Proses ini disebut proses inversi atau istilah asingnya disebut *inverse modelling*, dapat dilihat gambar dibawah ini:



Gambar 2. 11 Alur Pemodelan *Inversi Modeling*

Pemodelan inversi menurut Menke (1984) mendefinisikan sebagai suatu kesatuan metode matematika dan statistika untuk memperoleh informasi yang berguna mengenai suatu sistem fisiska berdasarkan observasi terhadap sistem tersebut. Sistem fisika yang dimaksud adalah fenomena yang ditinjau, hasil observasi terhadap sistem adalah data sedangkan informasi yang ingin diperoleh dari data adalah param model. Pemodelan inversi sering disebut sebagai *data fitting* karena dalam prosesnya dicari param model yang menghasilkan respons yang *fit* atau cocok dengan pengamatan.

Tujuan dari proses inversi adalah untuk mencari param fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown param*) yang diberikan oleh respon yang mendekati data observasi atau data lapangan. Problem inversi dimulai dengan deskripsi data, diselesaikan dengan representasi vektor dikarenakan jumlah data

yang banyak berupa angka-angka. Permasalahan inversi paling sederhana diselesaikan dengan param linier:

$$Gm = d \tag{30}$$

Persamaan tersebut didasarkan pada besar vector param model yang diestimasi dengan prediksi:

$$d^{pre} = Gm^{est} \tag{31}$$

Misalnya pada pengukuran geolistrik, keterbatasan geometri pengukuran seperti posisi sumber dengan posisi penerima respon beda potensial dapat menyebabkan harga param model yang secara individu tidak dapat ditentukan. Karena dibutuhkan penyelesaian linear yang dapat menghasilkan informasi yang optimum mengenai param model yang dicari, asumsi tertentu mengenai karakter model dapat digunakan sebagai informasi "a priori" atau karakter tambahan (Supriyanto, 2007)

2.5.3 Metode Least Square Inversion (LSQ)

Metode *Least Squares* (LSQ) mengestimasi solusi sebuah persoalan inversi dengan mencari param model yang meninimalkan besar pengukuran berkaitan dengan data estimasi. Metode LSQ menggunakan L_2-norm untuk mengkuantifikasi besaran nilai pengukuran. Persoalan mendasar dari pencocokan garis lurus pada ilustrasi data menggunakan prosedur teknik dasar. Model itu menyatakan bahwa data dapat dijelaskan dengan persamaan linear sebagai berikut:

$$d_i = m_1 + m_2 x_i \tag{32}$$

Terdapat dua param model M, tetapi fakta bahwa persamaan ini tidak dapat memenuhi setiap titik i, itu yang disebut overdetermined (jumlah data N>M) tidak mempunyai solusi eksak. Solusi metode LSQ dari persoalan inversi linear dapat didekati dengan operasi matriks. Pendekatan ini dimulai dari upaya membuat persamaan model dalam bentuk matrik d = Gm. Param

yang belum diketahui yang terkandung dalam elemen-elemen vektor m. Karena data hasil pengukuran diyakini pasti memiliki eror yang besarnya bervariasi, berarti data observasi tidak akan pernah cocok (fit) secara sempurna dengan model. Itu artinya bahwa misfit tidak akan pernah bisa dihindari. Konsekwensinya, adanya eror tersebut mesti disertakan pada d = Gm, sebagai berikut:

$$d = Gm + e_i \tag{33}$$

Metode inversi 2D digunakan untuk menghasilkan penampang penampang bawah perumukaan secara vertikal maupun lateral (penampang 2D). Inversi 2D cukup panjang dan rumit, sehingga diperlukan bantuan program computer (Santoso, 2002).

Pada metode optimasi, sebuah model awal dimodifikasi dengan metode iterasi hingga beda antara respon model dan hasil pengukuran dapat direduksi. Pada nilai resistivitas, lebih mudah digunakan logaritma dari nilai *true resistivity* untuk hasil pengukuran respon model dan param model. Param model dapat direpresentasikan oleh vektor q berikut ini:

$$q = col\ (q_1, q_2, \dots, q_n) \tag{34}$$

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

$$E = gTg \tag{35}$$

Formulasi inversi *default* metode kuadrat terkecil *Least Square Inversion* yang digunakan dalam program Res2dinv, diberikan oleh (Loke, 2004):

$$(J^T J + \lambda F)\Delta q = J^T g \tag{36}$$

dimana,

$$F = \alpha_x C_x^T C_x + \alpha_y C_y^T C_y + \alpha_z C_z^T C_z \tag{37}$$

Persamaan (37) digunakan untuk meminimalkan kuadrat perubahan spasial atau *roughness* pada nilai resistivitas model. Metode ini sebenarnya merupakan metode optimasi *smoothness-constrained* normalisasi L_2 (*norm smoothness-constrained optimization method*). Metode ini menyebabkan menghasilkan model dengan variasi nilai resistivitas yang *smooth*. Pada beberapa kasus, kondisi geologi bawah permukaan terdiri dari sejumlah daerah yang secara internal hampir homogen dengan batas-batas yang tajam (*sharp boundaries*) antar daerah yang berbeda. Metode optimasi normalisasi *smoothness-constrained* (*norm smoothness-constrained optimization method*) atau dikenal sebagai metode inversi blok (*blocky inversion method*). Metode sederhana untuk menerapkan normalisasi L_1 adalah menggunakan formulasi kuadrat terkecil yang dikenal sebagai metode kuadrat iterasi reweighted (*iteratively reweighted least-squares method)*. (Wolke dan Schwetlick, 1988 dalam Loke, 2004).

Persamaan (36) dapat dimodifikasi menjadi persmaaan berikut:

$$(J^T J + \lambda F_R)\Delta q_j = J^T R_d g - \lambda F_R q_k; \Delta q = [J^T J + \lambda F_R]^{-1} J^T g \quad (38)$$

dengan,

$$F_R = \alpha_x C_x^T R_m C_x + \alpha_y C_y^T R_m C_y + \alpha_z C_z^T R_m C_z \quad (39)$$

Hasil inversi merupakan model distribusi nilai resistivitas material bawah permukaan bumi yang dapat disebut *true resistivity* atau *inverse model resistivity section*. Model yang diperoleh melalui proses inversi akan selalu memiliki nilai *residual error* atau *Root-Meansquared (RMS) error*. RMS eror merupakan selisih antara data *calculate* hasil dari param model dengan data observasi atau data lapangan. RMS eror semakin kecil nilainya maka hasil dari data *calculate* semakin mendekati data observasi. Iterasi dapat dilakukan beberapa kali untuk menurunkan nilai *error* yang ada. Iterasi merupakan proses perhitungan ulang dari data yang dimasukkan dalam fungsi matematis yang sama

secara berulang-ulang untuk memperoleh hasil yang diinginkan. Iterasi dilakukan dengan pengulangan yaitu dengan cara melakukan coba-coba pada param model sehingga menghasilkan data (*calculate*) yang hasilnya harus mendekati dengan data observasi. Iterasi dilakukan tidak ada batasan dilakukan hingga berapa kali, iterasi dilakukan yaitu sampai data *calculate* hasil param model yang dibuat mendekati dengan data observasi yang didapatkan dari pengukuran (Loke,1999).

2.6 Kestabilan Lereng

Analisis stabilitas tanah pada permukaan tanah ini disebut dengan analisis stabilitas lereng. Analisis stabilitas lereng meliputi konsep kemantapan lereng yaitu penerapan pengetahuan mengenai kekuatan geser tanah. Keruntuhan geser pada tanah dapat terjadi akibat gerak relatif antar butirnya. Karena itu kekuatannya tergantung pada gaya yang bekerja antar butirnya, sehingga dapat disimpulkan bahwa kekuatan geser terdiri atas bagian yang bersifat kohesif, tergantung pada macam tanah dan ikatan butirnya. Bagian yang bersifat gesekan, yang sebanding dengan tegangan efektif yang bekerja pada bidang geser (Sartohadi, 2005).

Pada permukaan tanah yang miring, komponen gravitasi cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah. Jika komponen gravitasi sedemikian besar sehingga perlawanan geseran yang dapat dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui, maka akan terjadi kelongsoran lereng. Analisis stabilitas pada permukaan tanah yang miring ini, disebut analisis stabilits lereng. Analisis stabilitas lereng mempunyai banyak faktor yang mempengaruhi hasil hitungan, banyaknya faktor tersebut yang membuat perhitungan tidak mudah. Faktor-faktor tersebut misalnya, kondisi tanah berlapis-lapis, kuat geser tanah yang anisotropis, aliran rembesan air dalam tanah dan lain-lain

(Hardiyatmo, 1992).

2.6.1 Faktor Keamanan Lereng

Dalam menentukan kestabilan dan kemantapan lereng dikenal istilah faktor keamanan (safety factor) yang merupakan perbandingan antara gaya-gaya yang menahan gerakan terhadap gaya-gaya yang menahan gerakan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah tersebut dianggap stabil. Dalam menganalisis kemantapan lereng akan selalu berkaitan dengan perhitungan untuk mengertahui angka faktor keamanan dari lereng tersebut. Bentuk umum untuk perhitungan stabilitas lereng adalah dengan mencari nilai angka aman (*F*) dengan membandingkan momen-momen yang terjadi akibat gaya yang bekerja.

$$\mathrm{F} = \frac{\text{Momen Penahan}}{\text{Momen penggerak}} = \frac{\mathrm{Rc.L_{AC}}}{\mathrm{W.y}} \qquad (40)$$

(Anderson dan Richard, 1987).

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam mengalisa kestabilan lereng adalah kuat geser tanah atau batuan yang terdiri dari bobot isi, kohesi dan sudut geser. Faktor lain yang perlu diperhatikan yaitu struktur geologi, geometri lereng, tinggi muka air tanah, iklim dan gaya luar (Karyono, 2004).

Kestabilan lereng tergantung pada gaya penggerak dan gaya penahan yang bekerja pada bidang gelincir tersebut. Gaya penahan (*resisting force*) adalah gaya yang menahan agar tidak terjadi kelongsoran, sedangkan gaya penggerak (*driving force*) adalah gaya yang menyebabkan terjadinya kelongsoran. Perbandingan antara gaya-gaya penahan terhadap gaya-gaya yang menggerakkan tanah inilah yang disebut dengan faktor keamanan (FK), dimana:

FK > 1,0: Lereng dalam kondisi stabil

FK < 1,0: Lereng tidak stabil

FK = 1,0: Lereng dalam kondisi kritis

Mengingat banyak faktor yang mempengaruhi tingkat kestabilan lereng maka hasil analisa dengan FK=1,0 belum dapat menjamin bahwa lereng tersebut dalam keadaan stabil. Hal ini disebabkan karena ada beberapa faktor yang perlu diperhitungkan dalam analisa faktor keamanan lereng. Dengan demikian, diperlukan suatu nilai faktor keamanan minimum dengan suatu nilai tertentu yang disarangkan sebagai batas faktor keamanan terendah yang masih aman sehingga lereng dapat dinyatakan stabil atau tidak. Faktor keamanan minimum yang digunakan adalah FK ≥ 1.25, sesuai dari Joseph E. Bowles (2000), dengan ketentuan:

FK ≥ 1.25	: Lereng dalam kondisi aman
FK < 1.07	: Lereng dalam kondisi tidak aman
1,25> FK > 1.07	: Lereng dalam kondisi kritis

(Karyono, 2004).

2.6.2 Metode Kestabilan Lereng

Ada beberapa cara yang dipakai untuk melakukan analisis kestabilan lerenhg, baik untuk lereng batuan maupun lereng tanah. Metode yang sering digunakan adalah metode Bishop (*Bishop method*), aplikasi program *GeoStudio 2016–SLOPE/W*. Pemilihan metode bishop ini dikarenakan lapisan tanah dilokasi adalah lapisan tanah yang tidak terlalu keras atau lunak dan berpotensi membentuk longsoran berbentuk busur lingkaran atau *circular failut slope*.

Metode Bishop mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran atau *circular*. Pertama yang harus diketahui adalah geometri dari lereng dan juga titik pusat busur lingkaran bidang gelincir. Tahap selanjutmya dalam proses analisa adalah membagi massa material di atas bidang longsor menjadi beberapa elemen potongan. Pada umumnya jumlah potongan minimum yang digunakan adalah lima potongan untuk menganalisis kasus yang sederhana. Untuk profil lereng yang kompleks atau yang terdiri

dari banyak material yang berbeda, jumlah elemen harus lebih besar (Herianto, 1983).

Param yang mutlak dimiliki untuk tiap-tiap elemen kemiringan dasar dari dasar elemen yaitu sebesar Θ, tegangan vertikal yang merupakan perkalian antara tinggi h dan berat jenis tanah atau batuan (γ), tekanan air yang dihasilkan dari perkalian antara tinggi muka air tanah dari dasar elemen yaitu sebesar (h_w) dan berat jenis air (γ_w) dan kemudian lebar elemen (b). Disamping param tersebut kuat geser dan kohessi juga diperlukan di dalam perhitungan. Proses selanjutnya adalah iterasi faktor keamanan. Masukkan asumsi faktor keamanan=1.00 untuk memecahkan persamaan faktor keamanan. Jika nilai faktor keamanan yang didapat dari nilai perhitungan memiliki selisih lebih besar dari 0.001 terhadap faktor keamanan yang diasumsikan, maka perhitungan diulang dengan memakai faktor keamanan hasil perhitungan sebagai asumsi kedua dari F. Demikian seterusnya hingga perbedaan antara kedua F kurang dari 0.001, dan F yang terakhir tersebut adalah faktor keamanan yang paling tepat dari bidang longsor yang telah dibuat (Hardiyatmo, 2002).

2.7 MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*)

Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW) adalah salah satu metode seismik yang untuk mengidentifikasi lapisan *subsurface* melalui analisis gelombang permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang geser. Secara umum metode MASW mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan seiring dengan bertambahnya kedalaman. MASW memanfaatkan gelombang permukaan sebagai sinyal utamanya. Gelombang permukaan mempunyai amplitudo yang sangat besar dibandingkan dengan gelombang badan. Hal ini menyebabkan gelombang permukaan adalah gelombang paling kuat diantara gelombang lainnya. Selain

itu, gelombang permukaan merambat sangat lambat dengan waktu rambat yang panjang di dalam tanah (Lin dkk, 2013).

Beberapa keunggulan MASW antara lain proses akuisisi data yang mudah dan murah, proses *processing* data yang mudah, serta interpretasi yang mudah. Prosedur MASW secara umum dibagi menjadi tiga tahap utama. Tahap pertama adalah akuisisi data untuk mendapatkan data lapangan. Tahap kedua adalah *picking* kurva dispersi yang dihasilkan dari perhitungan spektrum fase kecepatan semu. Dan tahap terakhir adalah inversi gelombang permukaan untuk mendapatkan profil gelombang-S terhadap kedalaman (Park, 2007).

Metode *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) ini merupakan metode survei seismik dengan memanfaatkan gelombang permukaan Rayleigh sebagai sinyal utamanya (Park dkk, 1999a). Gelombang permukaan Rayleigh mempunyai sifat dispersi, dimana kecepatan fase gelombangnya bergantung pada frekuensi gelombang. Sifat dispersif yang dimiliki gelombang permukaan Rayleigh dapat memberikan manfaat yaitu untuk mengidentifikasi ketebalan lapisan yang bersesuaian dengan kecepatan gelombang geser sehingga dapat diperoleh profil Vs30. SNI 1726-2012 telah mengklasifikasikan 6 kelas tanah yaitu batuan keras, batuan tanah keras, tanah sedang, tanah lunak serta tanah khusus.

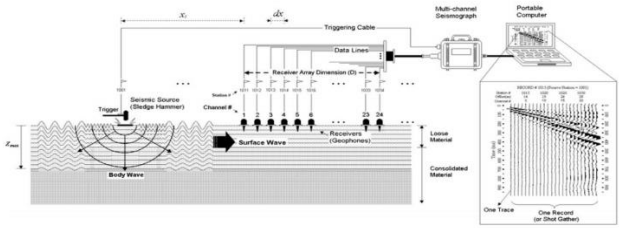
Tabel 2.3 Klasifikasi tanah menurut SNI 1726-2012

Kelas Tanah	**Deskripsi Umum**	**Vs (m/s)**
SA	Batuan Keras	$Vs \leq 1500$
SB	Batuan	$750 < Vs \leq 1500$
SC	Tanah sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < Vs \leq 750$

SD	Tanah sedang	175 < Vs ≤ 350
SE	Tanah Lunak	Vs ≤ 175
SF	Tanah Khusus	Membutuhkan evaluasi khusus

Dari Tabel (2.3) diketahi semakin kuat tanah maka nilai kecepatan gelombang gesernya semakin besar. Getaran frekuensi tinggi akan mempunyai panjang gelombang yang relatif pendek. Gelombang frekuensi tinggi relatif lebih mudah diserap energinya oleh media yang dilalui oleh gelombang gempa. Dengan demikian pada tanah keras, intensitas gempa akan beratenuasi lebih cepat atau amplifikasi spektrum semakin besar pada tanah yang lunak.

Berdasarkan sumbernya, MASW dibagi menjadi dua jenis, MASW aktif dan MASW pasif. MASW aktif dapat menangkap informasi antara frekuensi 5-100 Hz, sehingga dapat memberikan profil Vs hingga kedalaman 30 m di bawah permukaan. MASW pasif dapat menangkap informasi antara frekuensi 1-30 Hz, sehingga dapat memberikan profil Vs yang lebih dalam dari MASW aktif, bahkan hingga kedalaman lebih dari 50 m di bawah permukaan. Metode MASW pasif dapat menjangkau kedalaman yang lebih dalam dibandingkan metode MASW aktif. Untuk kedalaman yang dangkal, metode MASW pasif resolusinya tidak sebaik MASW aktif. Perbedaan metode MASW aktif dan pasif terletak pada sumber gelombang yang digunakan, pada MASW aktif sumber gelombang yang digunakan harus memiliki frekuensi yang tinggi, yaitu dapat berupa palu atau *weightdrop*, sedangkan MASW pasif menggunakan sumber dengan frekuensi rendah seperti pasang surut air laut, lalu lintas kenderaan, kerumunan pejalan kaki. Konsep dari MASW dapat dijelaskan pada gambar berikut:



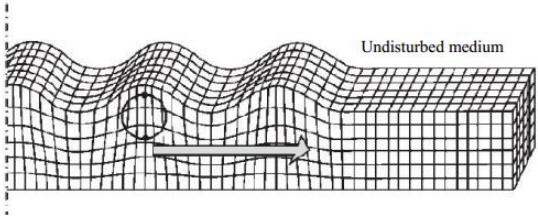
Gambar 2. 12 Skema survei lapangan MASW aktif (Park et.al.,1999)

Gambar (2.12) menjelaskan pengukuran MASW membutuhkan sumber seismik aktif dan atau pasif untuk menghasilkan gelombang permukaan dengan 12 sampai 24 rangkaian geopon. Geopon menerima dan mengukur hasil rekaman yang ditimbulkan pada beberapa jarak dari sumber getaran. Tiap geopon mengandung banyak gelombang permukaan, masing-masing dengan panjang gelombang yang berbeda-beda

(Widodo, 2002).

2.8 Gelombang Rayleigh

Gelombang permukaan disebut sebagai gelombang seismik yang merambat secara paralel ke permukaan bumi tanpa adanya penyebaran energi ke dalam interior bumi. Amplitudonya akan berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman, dan kebanyakan energi merambat pada daerah dangkal yang setara dengan satu panjang gelombang. Pada metode MASW, gelombang permukaan dimanfaatkan untuk menentukan profil kecepatan gelombang *S* pada tanah. Salah satu jenis dari gelombang permukaan yaitu gelombang *Rayleigh.* Gelombang Rayleight secara umum dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2. 13 Gelombang Rayleigh (Elnashai dan Sarno, 2008).

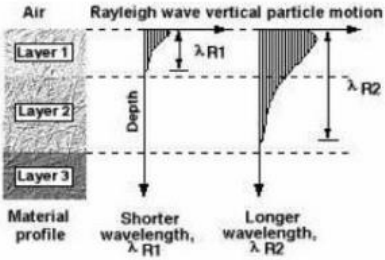
Gelombang *Rayleigh* seperti yang ditunjukkan pada Gambar (2.13) merupakan gelombang permukaan yang gerakan partikel medianya merupakan kombinasi gerakan partikel yang disebabkan oleh gelombang P dan S. Orbit gerakan partikelnya merupakan gerakan elliptik dengan sumbu mayor ellips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjalarannya (Telford dkk, 1976).

Gelombang Rayleigh merupakan gelombang yang merambat di permukaan dengan pergerakan partikel yang menyerupai elips dan bergerak mundur. Kecepatan gelombang Rayleigh dalam medium homogen lebih kecil bila dibanding dengan kecepatan gelombang geser. Jika terdapat variasi sifat elastik terhadap kedalaman, gelombang Rayleigh akan terdispersi, dimana panjang gelombang yang berbeda akan merambat dengan kecepatan berbeda (Telford, M. W.,1997). Amplitudo gelombang Rayleigh akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman (Gambar d). Kecepatan gelombang Rayleigh dirumuskan sebagai berikut:

$$V_R = 0.92\sqrt{Vs} \tag{41}$$

Gelombang Rayleigh dicirikan dengan amplitudo yang besar dan frekuensi yang kecil. Jenis-jenis yang berbeda dari gelombang direkam dengan menggunakan susunan *multichannel* termasuk gelombang datang dan 20 gelombang pantul, fundamental dan mode tinggi dari gelombang Rayleigh, gelombang udara, penghamburan, dan *ambient noise*. Sifat dispersi

dari jenis-jenis gelombang digambarkan melalui perubahan 2D gelombang di lapangan menjadi gambar dispersi. Gangguan yang pasti dari gelombang di lapangan adalah seperti hamburan kembali gelombang permukaan dan beberapa jenis gelombang badan disaring selama perubahan ini. Gelombang Rayleigh merupakan jenis gelombang permukaan yang dapat mencitrakan struktur bawah permukaan dengan mudah. Sebab, gelombang Rayleigh mempunyai sifat yang unik, yaitu setiap perambatan gelombang yang melewati batas lapisan material bumi akan mengalami dispersi. Selain itu efek dari gelombang Rayleigh sangat besar, bila kekuatan sumber atau *source* diterapkan di permukaan tanah. Gelombang Rayleigh mencapai 67% dari energi total yang dihasilkan oleh sumber (Hertantyo, 2010). Oleh karena itu gelombang Rayleigh sangat baik digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah, karena pengurangan energi dalam perambatannya lebih rendah dari jenis gelombang seismik lainnya, seperti dijelaskan gambar dibawah ini:



Gambar 2. 14 Sifat penetrasi partikel gelombang Rayleigh (Rosyidi et al., 2006)

Gambar (2.14) menjelaskan bahwa panjang gelombang pendek dengan frekuensi tinggi hanya merambat pada permukaan yang dangkal, sedangkan gelombang yang lebih panjang dengan frekuensi rendah akan merambat lebih dalam. (Shearer, 2009).

2.9 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier merupakan metode untuk analisis spektral dengan tujuan agar sinyal yang diperoleh dalam domain waktu merubah menjadi domain frekuensi. Hal ini dilakukan karena perhitungan lebih mudah dalam domain frekuensi dibandingkan dengan domain waktu. Selain itu, fenomena geofisika berkaitan erat dengan frekuensi, sehingga frekuensi menjadi param penting dalam menjelaskan fenomena-fenomena tersebut. Transformasi Fourier adalah suatu model transformasi yang memindahkan domain spasial atau domain waktu menjadi domain frekuensi. Transformasi Fourier merupakan suatu proses yang banyak digunakan untuk memindahkan domain dari suatu fungsi atau obyek ke dalam domain frekuensi. Analisa-analisa dalam domain frekwensi banyak digunakan seperti filtering. Dengan menggunakan transformasi fourier, sinyal atau citra dapat dilihat sebagai suatu obyek dalam domain frekuensi. Transformasi Fourier adalah dari sebuah fungsi f(t) didefenisikan sebagai berikut:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{i\omega t}\, dt \tag{42}$$

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{-i\omega t}\, d\omega \tag{43}$$

Dari persamaan diatas dimana F(ω) adalah fungsi dalam domain frekwensi dengan ω adalah frekwensi radial 0 – $2\pi f$ atau dapat dituliskan bahwa $\omega = 2\pi f$. Secara umum spektral merupakan fungsi komplek, dapat dinyatakan dalam dua bentuk berikut yaitu penjumlahan bagian riil dan imajiner

$$e^{i\omega t} = cos\omega t + isin\omega t \tag{44}$$

dimana $\omega = 2\pi f$

$$e^{i2\pi f t} = cos2\pi f t + isin2\pi f t \tag{45}$$

sehingga,

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{i\omega t}\, dt \tag{46}$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t)\cos(2\pi f t)\,dt - i\int_{-\infty}^{\infty} F(t)\sin(2\pi f t)dt \quad (47)$$

$F(\omega)$ pada komplek spektrum atau kompleks densitas dari $F(t)$ adalah:

$$F(\omega) = Re[F(\omega)] + i\,Im\,[F(\omega)] \quad (48)$$

atau

$$F(\omega) = A(\omega)e^{i\emptyset(\omega)} \quad (49)$$

dimana:

$$A(\omega) = |F(\omega)| = \sqrt{\{Re[F(\omega)]^2\} + Im[F(\omega)]^2} \quad (50)$$

$$\emptyset(\omega) = tan^{-1}\frac{Im[F(\omega)]}{Re\,[F(\omega)]} \quad (51)$$

Kemudian dilakukan transformasi phi-omega untuk memperoleh kecepatan sebagai fungsi dari frekuensi.

$$F(\emptyset,\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-1\emptyset x}\frac{F(\omega)}{|F(\omega)|} \quad (52)$$

Maka akan menghasilkan spektrum kurva dispersi yang menunjukkan berbagai frekuensi dengan kecepatan fasa yang berbeda.

2.10 Modulus Geser

Kecepatan gelombang geser (*Vs*), modulus geser (*G*) dan rasio redaman (*D*) merupakan param yang penting dan diperlukan dalam analisis respon dinamik tanah. Penentuan param dinamik tanah ini dapat dilakukan dari pengujian lapangan dengan metode seismik seperti *cross-hole*, *down-hole*, *spectral analysis of surface wave* (SASW) dan *multichannel analysis of surface wave* (MASW). SASW dan MASW merupakan metode seismik nondestruktif yang merekam perambatan gelombang permukaan (gelombang Rayleigh). Sifat kekakuan tanah dapat dinilai dari kecepatan gelombang 30 gesernya, dimana keduanya menunjukkan hubungan yang elastik linier. Semakin besar nilai kecepatan gelombang geser, maka akan semakin besar juga nilai kekakuan tanahnya atau semakin keras dan padat.

Kecepatan gelombang geser hanya berkaitan dengan kekakuan geser dari struktur tanah, sedangkan pengaruh tingkat kejenuhan tanah pada kecepatan gelombang geser lebih terkaitan dengan kepadatan tanah. Semakin rendah tingkat kejenuhan tanah, maka akan semakin tinggi nilai *Vs* dan G. Perambatan getaran selama gempabumi terjadi, menyebabkan tegangan geser siklik pada elemen tanah. Modulus geser tanah adalah merupakan salah satu param tanah yang harus diketahui untuk menjalarkan getaran akibat gempabumi. Param dinamis tanah modulus geser dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$G_{max} = \rho . Vs \tag{53}$$

dimana G_{max} adalah modulus geser, ρ adalah kerapatan massa dan *Vs* adalah kecepatan gelombang geser. Berdasarkan persamaan tersebut di atas dan dengan menggunakan nilai *Vs* yang diperoleh dari metode MASW, nilai *G* untuk masing masing lokasi dapat ditentukan (Shearer, 2009).

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III
METODELOGI

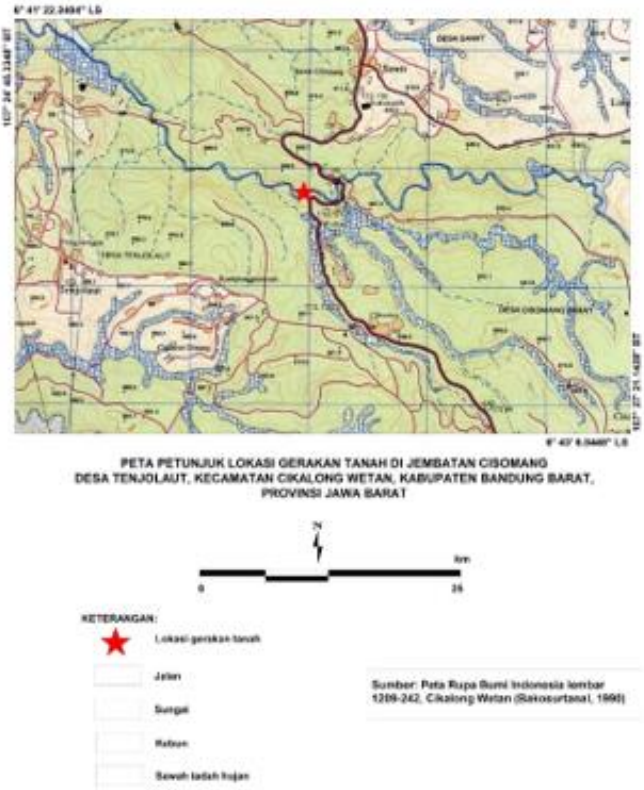
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilaksanakan di Departemen Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada Desember 2017 sampai dengan Mei 2018, dengan judul "**Aplikasi Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner-Schlumberger, MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) dan Data Mekanika Tanah untuk Analisis Gerakan Tanah (Studi kasus: Jembatan Cisomang, Tol Cipularang KM 100 Jawa Barat)**". Untuk keperluan laporan Tugas Akhir penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 sampai dengan bulan Maret 2018 bertempat di Bidang Mitigasi Gerakan Tanah Kantor Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandun g, Jl. Diponegoro No. 57. Bandung-Jawa Barat. 40122, serta pengambilan data lapangan dilaksanakan di Jembatan Cisomang, Tol Cipularang KM 100, Cikalong Wetan, Bandung Barat, Jawa Barat.

3.2 Kondisi Umum Daerah Penelitian

3.2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi pemeriksaan gerakan tanah secara administratif terletak di jalur Jalan Tol Cipularang KM 100. Gerakan tanah terjadi pada Jembatan Cisomang, Tol Cipularang km 100+700, arah N 198°E yang berada di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat, jalan ini merupakan jalur penghubung Bandung – Jakarta yang secara geografis terletak pada koordinat 107° 25' 30,47" BT – 107° 26' 29,65" BT dan 006° 42' 30,09" LS – 6° 40' 59,93" LS. Berikut Gambar (3.1) merupakan peta lokasi penelitian, untuk gambar jembatan lokasi penelitian yang lengkat terdapat di Lampiran A.



Gambar 3.1 Peta lokasi gerakan Tanah di Jembatan Cisomang, Tol Cipularang KM 100+700 (Bakosurtanal, 1990 dan PVMBG, 2017)

Gambar di atas menunjukkan letak lokasi penelitian dengan tanda bintang merah dan telah dilengkapi beserta keterangan di peta tersebut.

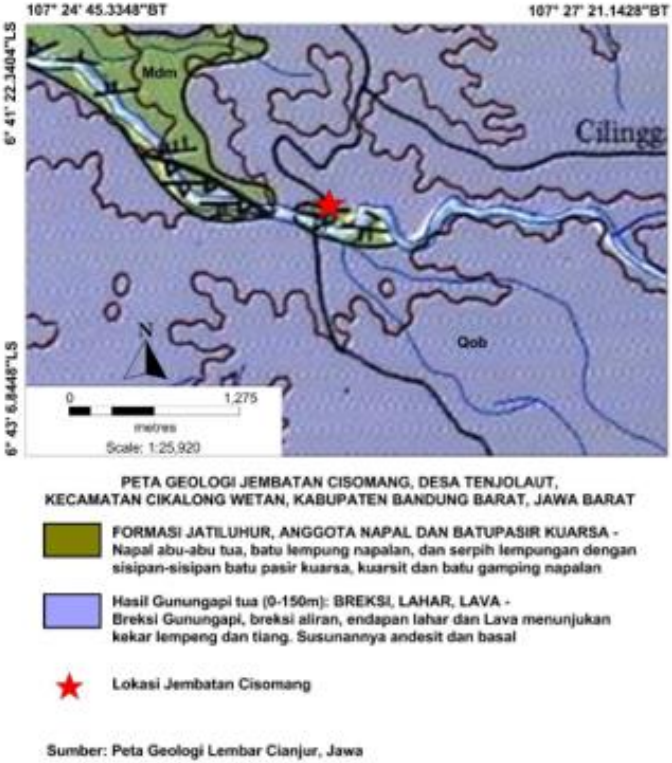
3.1.1 Morfologi

Lokasi terjadinya gerakan tanah merupakan lembah sungai Cisomang dengan kemiringan terjal antara 30 - 70^0 (lereng sisi

utara) dan sebagian lereng tegak (lereng sisi selatan) dengan ketinggian tinggi lereng sekitar 42 m dari dasar sungai dan berada pada ketinggian 42 m di atas muka laut. Sungai Cisomang mempunyai lebar bervariasi antara 8 – 14 m.

3.1.2 Geologi

Geologi dari lokasi Jembatan Cisomang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. 2 Peta Geologi jembatan Cisomang, Tol Cipularang dan sekitarnya (PVMBG, 2017)

Berdasarkan peta lokasi penelitian Gambar (3.2) batuan penyusun di lokasi gerakan tanah pada bagian bawah adalah batulempung napalan, abu-abu tua dan serpih lempungan dengan kedudukan terukur N66^{0}E/76^0, telah terkekarkan kuat dengan sisipan-sisipan batupasir kuarsa, kuarsit dan batugamping napalan (Formasi Jatiluhur, Anggota Napal dan Batupasir Kuarsa, *Mdm*) berumur Miosen Atas yang berbatasan secara *tidak selaras* pada bagian atasnya dengan breksi vulkanik Hasil Gunungapi Tua (*Qob*) berumur Kuarter. Tanah lapukan berupa lempung pasiran, coklat muda, gembur, sarang dan mudah menyerap air dengan ketebalan 2-5 m.

3.1.3 Keairan

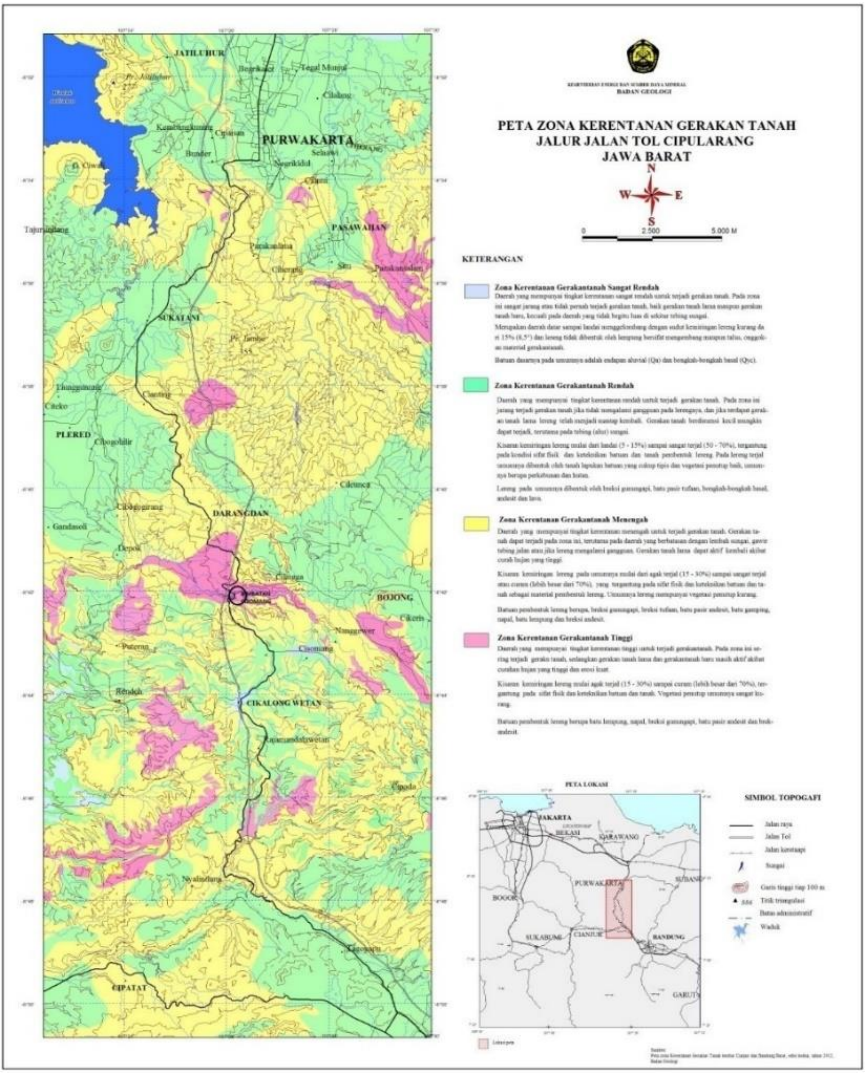
Keairan pada lokasi gerakan tanah berupa air permukaan (Sungai Cisomang) yang mengalir deras merupakan sungai yang selalu berair baik pada musim hujan maupun kemarau. Terdapat mata air muncul pada lereng bagian bawah di tepi Sungai Cisomang pada saat pemeriksaan berdekatan dengan Pilar P3 dengan debit sekitar 35 ml/detik. Menurut masyarakat sekitar daerah penelitian, kedalaman air (sumur) sekitar 20 m.

3.1.4 Tata Guna Lahan

Tata guna lahan pada lereng bagian atas berupa jalan tol, jembatan Cisomang, jalan raya lama, jembatan jalan tol Cipularang, kebun campuran dan pemukiman di tepi jalan raya tersebut. Sedangkan pada lereng bagian tengah dan bagian bawah berupa kebun campuran, semak belukar dan sungai Cisomang yang mengalir cukup deras.

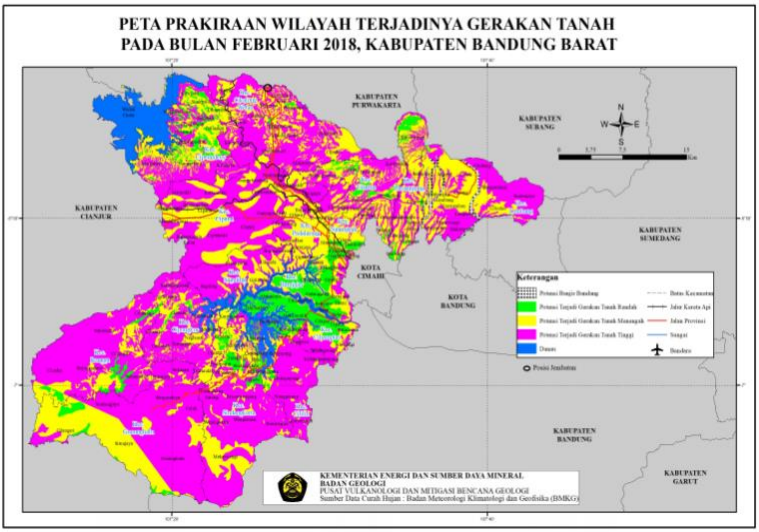
3.1.5 Kondisi Kerentanan Tanah

Kondisi kerentanan tanah dapat dilihat pada gambar berikut:



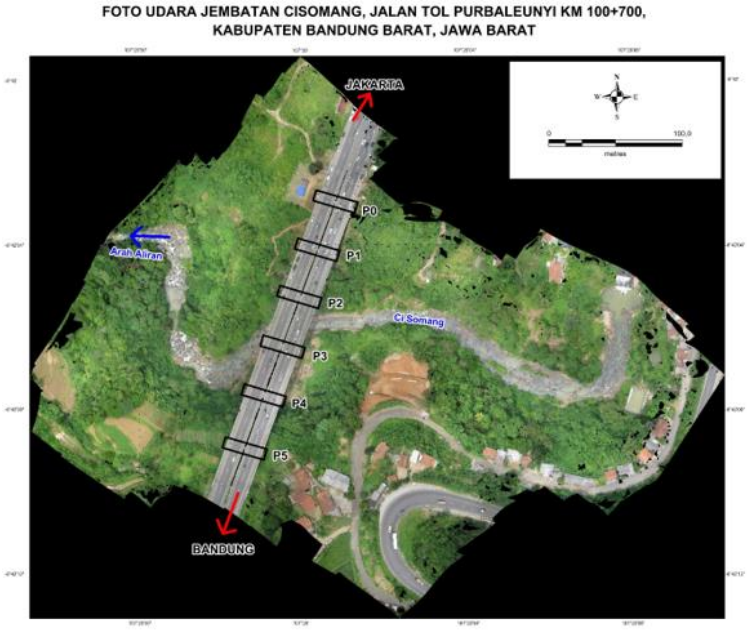
Gambar 3. 3 Peta Zona Kerentanan Tanah Tol Cipularang dan sekitarnya (PVMBG, 2017)

Berdasarkan Gambar (3.3) yang merupakan Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah pada Jalur Jalan Tol Cipularang (PVMBG, Badan Geologi), daerah bencana termasuk zona potensi terjadi gerakan tanah tinggi, artinya pada daerah ini sering terjadi gerakan tanah sedangkan gerakan tanah lama dan baru masih aktif bergerak akibat curah hujan yang tinggi dan erosi yang kuat. Lokasi pemantauan dan sekitarnya termasuk kedalam Zona Kerentanan Gerakan Tanah Menengah - Tinggi, artinya pada daerah ini dapat terjadi gerakan tanah jika curah hujan di atas normal, terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir, tebing jalan atau jika lereng mengalami gangguan dan gerakan tanah lama dapat aktif kembali. Gerakan tanah daerah penelitian juga ditunjukkan oleh peta prakiraan berdasarkan gambar berikut:

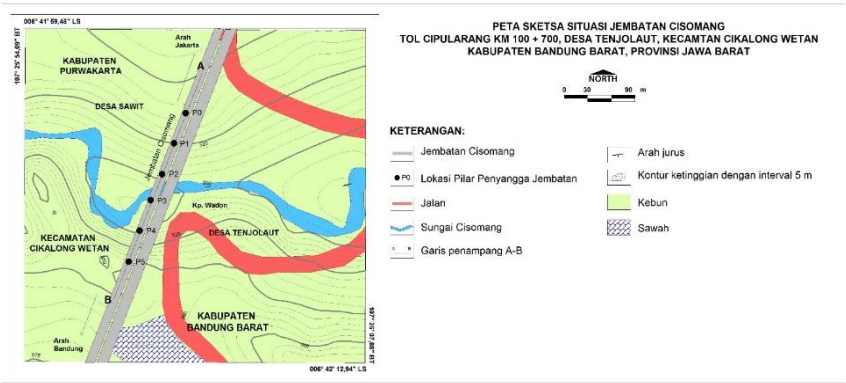


Gambar 3. 4 Prakiraan Wilayah Potensi Terjadi Gerakan Tanah Pada Bulan Februari 2018, Kabupaten Bandung Barat (PVMBG, 2018)

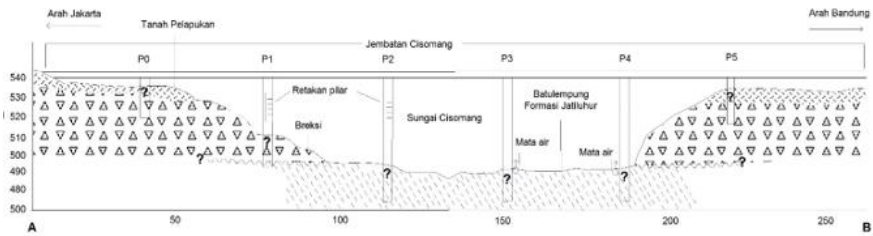
Dari Gambar (3.4) diatas merupakan peta Prakiraan terjadinya gerakan tanah di wilayah Bandung Barat pada bulan Februari tahun 2018 berdasarkan data curah hujan. Mekanisme gerakan tanah ini terjadi setelah adanya peningkatan keairan setelah turun hujan selama musim hujan, dan air hujan maupun air sungai meresap masuk menjenuhi tanah lapukan maupun langsung masuk melalui kontak antara batulempung pada bagian bawah dan batuan vulkanik di atasnya sehingga bobot masa batuan dan tanah lapukan meningkat bergerak melalui bidang gelincir batulempung napalan ini secara perlahan. Sementara aliran sungai Cisomang ini berperan terhadap bergesernya bronjong sungai penahan erosi sekaligus penahan pilar jembatan. Adapun gambaran umum dari jembatan cisomang dapat ditunjukkan oleh 3 gambar berikut:



Gambar 3. 5 Foto udara Jembatan Cisomang (PVMBG, 2017)



Gambar 3. 6 Peta sketsa situasi Jembatan Cisomang (PVMBG, 2017)



Gambar 3. 7 Penampang Jembatan Cisomang dan foto (A) breksi vulkanik (Qob) (simbol segitiga) serta batu lempung sisipan batupasir (simbol garis miring putus-putus) dari Formasi Jatiluhur (Mdm) yang mendasari fondasi pilar jembatan Cisomang (PVMBG, 2017)

Pada gambar di atas, Gambar (3.5) merupakan foto udara dari jembatan Cisomang dengan menunjukkan jembatan cisomang perupakan jalur Tol Bandung – Jakarta yang terdiri dari 6 pilar. Sedangkan kondisi dari jembatan cisomang ditunjukkan pada Gambar (3.6) serta penampang kondisi secara geologi dari jembatan cisomang dapat dilihat pada Gambar (3.7).

3.3 Peralatan

Penelitian yang telah dilakukan ini didapatkan data yang terdiri dari 3 jenis data yaitu data geolistrik dan MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) yang merupakan data primer pada penelitian serta data mekanika tanah yang merupakan data sekunder pada penelitian. Ketiga data ini diperoleh dari Badan Geologi Kementrian ESDM, Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandung Sub Bidang Gerakan Tanah pada tahun 2018. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. 1 set peralatan Geolistrik yang terdiri dari:
   a. *IRIS INSTRUMENT* PRO, merupakan alat untuk pengukuran resistivitas dengan metode geolistrik dimana peralatan ini menggunakan sistem *multichannel.*
   b. Kabel, digunakan 4 buah gulung kabel besar yang masing masing kabel berukuran panjang yaitu 120 m yang dibentangkan pada lintasan dimana kabel ini digunakan untuk penghubung antara elektroda sesuai dengan lintasan geolistrik.
   c. Elektroda, digunakan 36 elektroda untuk 36 titik dalam satu lintasan yang diapasang dengan jarak masing masing elektroda yaitu 5 m. Elektroda ini digunakan sebagai penginjeksi arus bawah permukaan. Ukuran elektroda yaitu dengan panjang 42 cm dengan diam elektroda adalah 2 cm.
   d. Kabel buaya, digunakan untuk menghubungkan antara elektroda dengan kabel lintasan geolistrik dimana jumlah kabel yang digunakan ini sesuai dengan jumalah elektroda yang digunakan
   e. Palu, dimana palu yang digunakan adalah palu geologi yang berfungsi untuk menancapkan elektroda

f. Man, digunakan untuk mengukur panjang lintasan dan mengukur letak pemasangan elektroda
g. GPS Garmin 76 Csx, digunakan untuk menentukan lokasi elektroda yang ditancapkan yaitu data bujur timur, bujur barat dan elevasi
h. Laptop, yang digunakan untuk pengambilan data

2. 1 set alat MASW yang terdiri dari:
   a. Oyo McSeis seismik yang merupakan alat pengukuran metode MASW dengan prinsip *multichannel*
   b. 24 *geophone*, yang merupakan alat untuk menerima gelombang datang.
   c. *Trigger*, yang digunakan sebagai sensor saat melakukan pemukulan.
   d. Palu dengan berat 5 kg yang digunakan untuk alat bantu membuat gelombang
   e. Pelat besi berukuran 10x15 cm
   f. Man yang digunakan untuk mengukur lintasan
   g. Kabel yang digunakan untuk lintasan
   h. Laptop, yang digunakan untuk pengambilan data

3. Pipa kecil dan palu, digunakan untuk pengambilan *sample* tanah
4. Buku pengamatan dan pulpen.
5. Peta lokasi penelitian.
6. *Software* Elektre Pro, *Software* Prosys II, *Software* Res2dinv dimana ketiga *software* ini digunakan untuk metode geolistrik. *Software* McSeislmeger dengan modul Pickwin, WaveEq, dan GeoPlot yang digunakan pada metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*). *Sofware* Geostudio 2016 dengan modul *SLOPE/W Analysis* yang digunakan

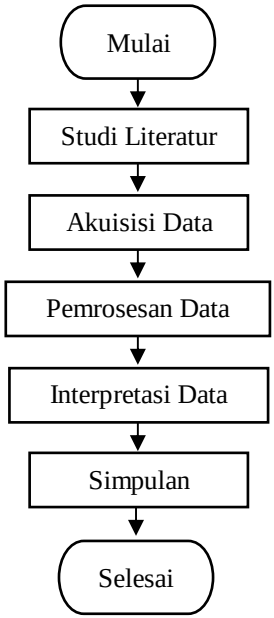
sebagai pemodelan lereng yang akan mendapatkan nilai FK lereng.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dibedakan menjadi 2 antara lain diagram alir penelitian secara keseluruhan dan diagram alir untuk pengolah data.

3.4.1 Alir Penelitian

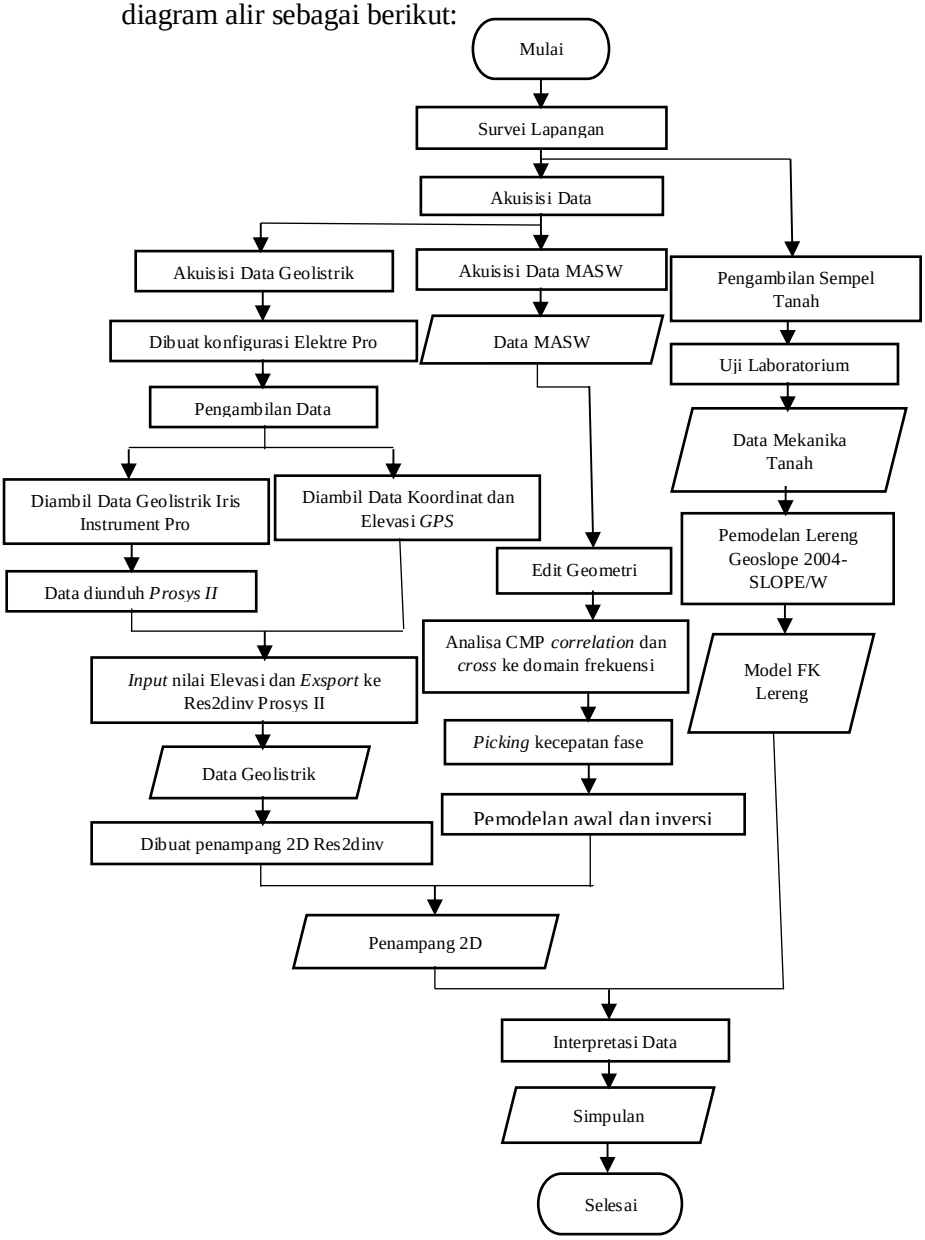
Penelitian ini secara keseluruhan dapat dibuat dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3.8 *Diagram alir penelitian*

3.1.1 Alir Pengolahan Data

Pengolahan data dalam penelitian dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. 9 Diagram alir pengolahan data

3.5 Pengambilan Data

3.5.1 Pengambilan Data Geolistrik

Penelitian ini, metode geolistrik menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger untuk mengukur nilai resistivitas daerah penelitian. Pengambilan data lapangan menggunakan peralatan geolistrik sistem *multichannel* dengan alat Iris Instrument Pro dimana alat ini lebih efektif dari sisi efisiensi waktu, dengan jangka waktu yang relatif lebih singkat karena pemasangan peralatan pada lintasan dan data akan otomatis terunduh di alat. Pada pengambilan data ini *software* yang digunakan adalah Electre Pro untuk membuat konfigurasi, serta Prosys II yang digunakan untuk mengunduh data yang telah terukur pada alat. Untuk melakukan pengambilan data geolistrik di lapangan langkahnya dijelaskan sebagai berikut.

1. Dilakukan survei lapangan untuk mengetahui kondisi lapangan dan menentukan lintasan yang akan digunakan sebagai lintasan pengambilan data geolistrik.
2. Dibuat konfigurasi dengan *software* Elektre Pro yang akan digunakan pada pengambilan data di lapangan., dimana konigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Wenner-Schlumberger dengan 36 titik elektroda yang berjarak 5 m dari masing-masing titik elektroda.
3. Konfigurasi tersebut diunggah ke alat Instrument Pro denagn *software* Elektre Pro
4. Dilakukan pemasangan alat pada lintasan pengambilan data geolistrik yang telah ditentukan pada survei lapangan. Lintasan yang digunakan yaitu sepanjang 180 m, 36 titik dengan jarak masing-masing elektroda adalah 5 m. Digunakan 3 kabel panjang karena masing-masing kabel

sepanjang 120 m dimana tiap kabel terdapat 12 titik untuk dihubungkan ke elektroda.

5. Peralatan yang telah terpasang pada lintasan geolistrik, dihubungkan ke alat Instrument Pro yang bertujuan untuk melakukan pengamnbilan data.
6. Dilakukan pengambilan data koordinat dan elevasi dengan GPS Garmin 76 Csx
7. Dilakukan pengunduhan data ke PC dari data yang telah terukur dengan *software* Prosys II.
8. Ditambahkan nilai evelasi hasil yang terukur ke data yang telah terunduh dengan *software* Prosys II.

3.5.2 Pengambilan Data MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*)

Pada penelitian ini, untuk metode MASW pengambilan data digunakan 24 geofon dengan panjang lintasan yaitu 48 m, tahapan-tahapan pengukurannya dijelaskan sebagai berikut:

1. Dilakukan survei lapangan untuk menentukan lintasan yang akan diukur dengan menggunakan metode MASW, dimana lintasan yang digunakan yaitu sesuai dengan lintasan pada pengambilan data menggunakan metode geolistrik.
2. Dilakukan pemasangan alat pada lapangan dengan membentangkan man pada lintasan yang sepanjang 48 m. Pada pengukuran digunakan 24 geofon yang dipasang pada lintasan sesuai dengan man yang telah dibentangkan, kemudian dipasang geofon dengan jarak antar geofon yaitu 2 m.
3. Dibentangkan kabel sepanjang lintasan dan masing-masing geofon dihubungkan dengan kabel yang telah dibentangkan
4. Dipasang *trigger* pada palu yang akan dijadikan sebagai sumber gelombang.

5. Palu yang telah dipasang *trigger* dihubungkan dengan alat (Mc OYO Seismik), selain itu laptop dan aki juga dihubungkan ke alat. Pada pengukuran, penempatan alat tepat berada ditengan lintasan.
6. Dilakukan sistem pada *trigger*, yaitu digunakan *software* McSeisImager.
7. Setelah melakukan sistem *trigger* kemudian dilakukan pengambilan data. Digunakan *software* McSeisImager dengan memilih menu *noise*, dan memilih menu arm yang menandakan siap untuk menerima gelombang.
8. Dilakukan pemukulan menggunakan palu yang dipulukulkan ke plat besi dengan jarak 1 m untuk setiap geofon yang digunakan.
9. Setelah selesai dilakukan pembuatan gelombang dengan pemukulan palu pada plat, dengan memilih menu ok untuk menyimpan dan cancel untuk membatalkan, jika gelombang yang didapatkan dirasa cukup pilih ok untuk menyimpan dan Stack untuk menambahkan gelombang. Langkah tersebut dilakukan dari pengukuran pada geofon pertama sampai geofon terakhir.
10. Setelah semua selasai maka simpan data.

3.5.3 Pengambilan data Mekanika Tanah

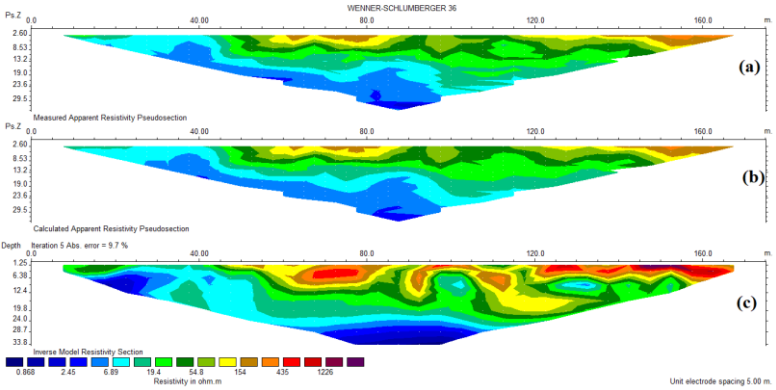
Pada penelitian digunakan data mekanika tanah untuk menentukan nilai FK (Faktor Keamanan) Lereng yaitu dengan melakukan pengambilan sampel tanah pada daerah penelitian. Diambil 2 sampel tanah yaitu menggunakan pipa kecil berukuran diam 20 cm dan tinggi pipa 20 cm. Kemudian dilakukan uji laboratorium untuk mendapatkan param-param yang dibutuhkan untuk menentukan nilai FK (Faktor Keamanan) lereng dalam pemodelan lereng.

3.6 Pengolahan Data

Pengolahan data ini menggunakan data Geolistrik dan data MASW dari pengambilan data di lapangan serta data Mekanika Tanah hasil uji laboratorium. Adapun tahapan-tahapan dalam pengolahan datanya, yaitu sebagai berikut:

3.6.1 Pengolahan Data Geolistrik

Dari data geolistrik yang telah terunduh yaitu dengan format (*.bin) yang diubah dalam format (*.dat) yaitu dengan melakukan proses *export* data pada *software* Prosysy II dimana hal ini dilakukan agar data dapat diolah dalam pemodelan 2D. Dilakukan pengolahan menggunakan *software* Res2dinv yang akan menghasilkan model penampang 2D resistivitas. Dalam pengolahan data geolistrik menggunakan inversi yaitu *forward modeling* dengan optimasi *least square*. Hasilnya adalah pada gambar berikut:



Gambar 3. 10 Penampang resistivitas 2D hasil inversi dengan Res2dinv

Hasil dari Gambar (3.10) yaitu dengan menggunakan metode *forward modeling* diperoleh model 2D terbagi dalam 3

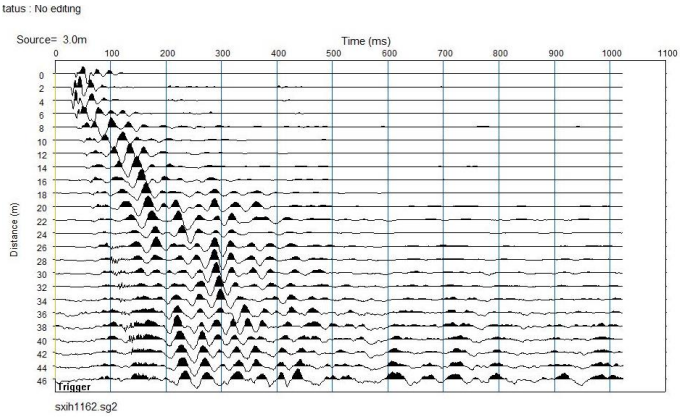
penampang model antara lain bagian (a), (b) dan (c). Pada bagian (a) dan (b) merupakan resistivitas semu dari pengolahan data. Bagian (c) ini adalah *true resistivity*. Teknik pada *software* Res2dinv yang diterapkan pada pengolahan data yang telah dilakukan yaitu inversi default *Robust Constrain Least Square Least Square* (L_1-norm). Teknik yang digunakan tersebut dapat dengan baik menunjukkan resolusi batas antar lapisan yang tidak dipengaruhi oleh konfigurasi saat pengambilan data, oleh karena itu teknik ini mampu memberikan hasil yang optimal untuk geologi bawah permukaan yang terdiri dari material yang berbeda-beda dengan batas antar material yang tajam. L_1-norm (*blocky*) merupakan metode optimasi yang memiliki kecenderungan menghasilkan model yang konstan secara parsial. Dari hasil forward modeling didapatkan dengan metode iterasi. Iterasi adalah proses perhitungan ulang dari param model yang dibuat sampai dihasilkan data (*calculate*) untuk mendapatkan hasil yang diinginkan sesuai atau mendekati data observasi.

Metode optimasi pada dasarnya adalah melakukan coba-coba atau pengulangan untuk mengurangi selisih antara nilai resistivitas yang terukur dengan menyesuaikan resistivitas blok model yang dibuat. Selisih dari hasil perbedaan resistivitas ini diberikan oleh *Root-Meansquare (RMS) Error*. Setelah langkah tersebut maka dilakukan pengolahan data dengan data elevasi untuk menghasilkan penampang sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Hasilnya adalah diperoleh penampang 2D dengan nilai resistivitas yang terukukur serta model 2D dengan koreksi topografi.

3.6.2 Pengolahan Data MASW

Pengolahan data seismik MASW diperoleh dari akuisisi data yang terekam oleh *seismograph* dengan format (*.sg2) merupakan *signal spectrum* dalam domain waktu tiba gelombang S.

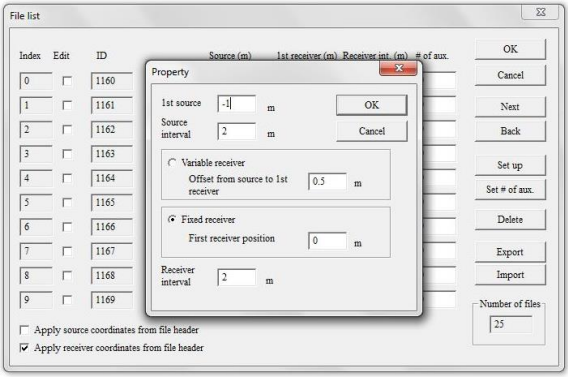
Pengolahan data MASW menggunakan *software* McSeislmager dengan modul Pickwin, WaveEq dan GeoPlot. Pengolahan data dibagi menjadi tiga tahap, yaitu penentuan kurva dispersi dengan Pickwin, inversi untuk mengalisa gelombang S dengan menggunakan WaveEq, dan pembuatan model 2D dengan Geoplot. Gelombang ini dihasilkan dari sumber aktif berupa pukulan palu terhadap tatakan besi pada lokasi sumber. Salah satu contoh rekaman sinyal gelombang Rayleigh dari hasil pengukuran adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 11 Gelombang Rayleigh titik pengukuran ke-3

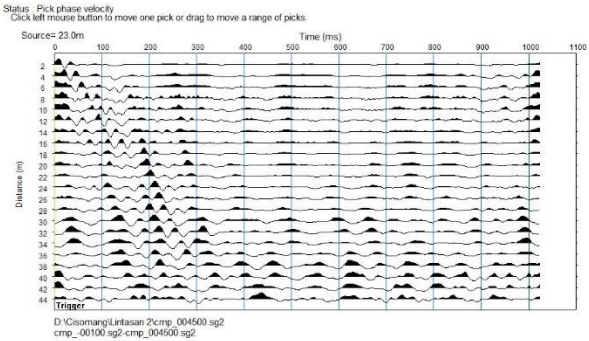
Gambar (3.11) merupakan hasil data pengukuran lapangan seismik refraksi berupa data waktu tiba yang terekam pada tiap *geophone*. Sebelum melakukan proses *picking* data, dilakukan edit geometri yaitu dengan memasukkan data geometri yang telah dicatat sebelumnya untuk menentukan posisi setiap *geophone* dan *shot point* pada posisi sebenarnya. Untuk *1st point* yaitu (-1) m yang merupakan jarak pukulan pertama, *source interval* yaitu 2 m yang merupakan jarak antar geopon, digunakan *fixed receiver* karena

dilakukan pemukulan tiap titiknya, dan *receiver interval* adalah 2 m, yang dapat diatur pada *software* seperti gambar berikut:



Gambar 3. 12 Proses Edit Geometri pada McSeislmager modul Pickwin

Dari tahapan seperti Gambar (3.12) kemudian dilakukan *picking* data rekaman penjalaran gelombang. *Picking* data bertujuan untuk memperoleh kurva *travel time* (waktu tiba) gelombang pertama yang sampai pada setiap *geophone*, yang hasilnya seperti gambar berikut:

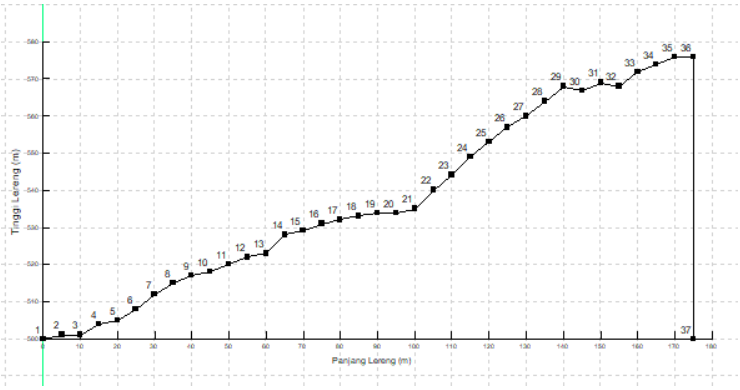


Gambar 3. 13 Kurva *travel time* setelah picking

Gambar (3.13) merupakan kurva *travel time*. Setelah proses *picking* maka akan didaptkan kurva dispersi. Kurva dispersi merupakan kurva yang menggambarkan perubahan kecepatan fase terhadap frekuensi gelombang, dimana frekuensi akan berbanding terbalik dengan cepat rambat dan kedalaman target. Dari kurva dispersi dilakukan proses inversi, dengan melakukan pencocokan antara kurva dispersi dengan initial model profil yang kita tentukan sendiri sehingga didapatkan nilai RMS *error* rendah. Initial model yang digunakan yaitu nilai *depth* yang dipakai adalah 20 dan *of layer* adalah 5 lapisan yang disesuaikan dari hasil geolistrik. Setelah itu dilakukan proses pembuatan penampang 2D yang sesuai dengan kondisi lapangan.

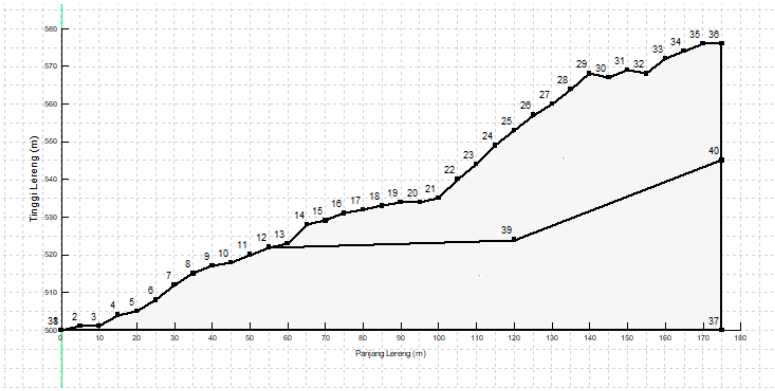
3.6.3 Pengolahan Data Mekanika Tanah

Pada penelitian ini menggunakan data mekanika tanah dari hasil uji laboratorium yang terdiri dari 2 sampel tanah. Pengolahan data mekanika tanah dilakukan dengan menggunakan *software* Geostudio 2016 SLOPE/W. Tahapannya yaitu dengan cara pembuatan model lereng, pembuatan letak muka air tanah (MAT), pembuatan letak bidang gelincir (*slipe surface*), pembagian *region* untuk 2 sampel dan memberikan nilai param-param mekanika tanah hasil uji laboratorium. Pada tahapan ini juga akan diperoleh nilai FK (Faktor Keamanan) Lereng. *Analysis* yang digunakan yaitu tipe Bishop yang merupakan metode irisan. Model lereng yang dibuat sesuai dengan koordinat yang diukur dengan menggunakan GPS Garmin 76 Csx, model lerengnya adalah sebagai berikut:



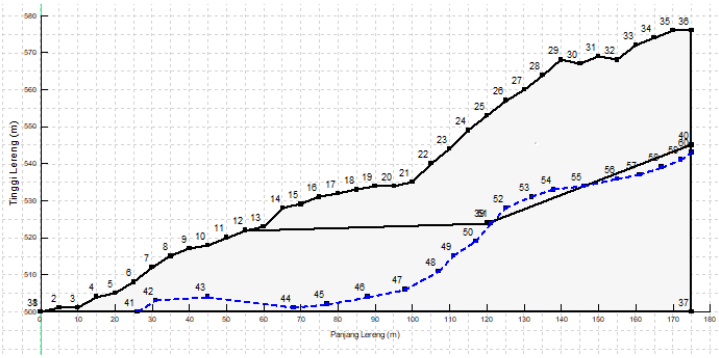
Gambar 3. 14 Model lereng dengan Geostudio 2016 SLOPE/W

Gambar (3.14) merupakan gambar model lereng yang telah disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Pada pemodelan lereng ini dugunakan 2 material (sampel tanah) sehingga digunakan pembagian *region* untuk kedua sampel tanah tersebut. Pembagian *region* tersebut dibuat seperti gambar berikut:



Gambar 3. 15 Model lereng dengan pembagian region menggunakan Geostudio 2016 SLOPE/W

Dari Gambar (3.15) pembagian *region* kemudian digambarkan MAT dan bidang gelincir. Dari penelitian telah diketahui kedalaman muka air tanah, sehingga dapat dapat dibuat pemodelan seperti gambar berikut:



Gambar 3. 16 Model lereng dengan pembagian region dan Pore Water Preasure (PWP) menggunakan Geostudio 2016 SLOPE/W

Setelah proses pada Gambar (3.16) kemudian dilakukan pemasukkan material properties dan isi param yang diperlukan seperti unit *weight*, kohesi serta phi. Pada pemodelan lereng digunakan 2 bidang gelincir yang berbeda berdasarkan hasil analisa dengan metode geolistrik. Penentuan Faktor Keamanan Lereng dengan cara melihat *Result View* maka akan diperoleh hasil pemodelan lereng dengan nilai faktor keamanan.

BAB IV
HASIL PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

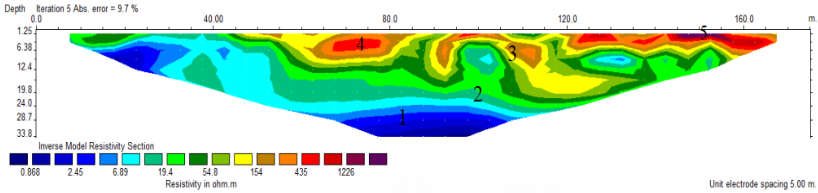
4.1 Hasil Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengolahan data geolistrik, MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*), dan data mekanika tanah di daerah penelitian menggunakan *software* Electre Pro, Prosys II, Res2Dinv, McSeislmager dengan modul Pickwin, WaveEq, dan GeoPlot, serta Geoslope 2016 SLOPE/W, diperoleh hasil pengolahan data seperti berikut:

4.1.1 Hasil Geolistrik

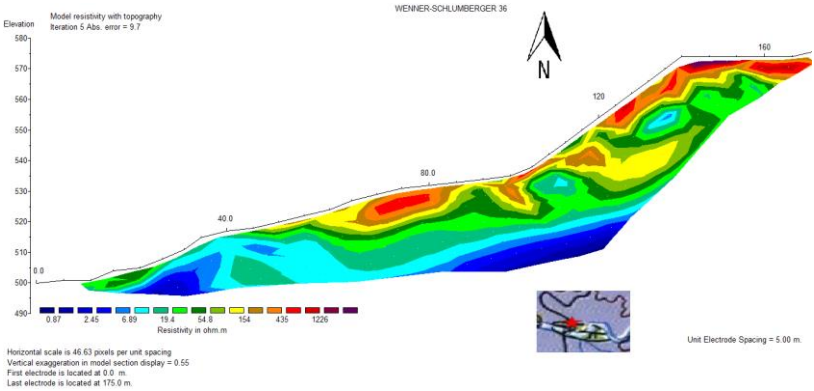
Penelitian dengan metode geolistrik resistivitas dilakukan menggunakan peralatan sistem *multichannel* Iris Instrument Pro. Adapun data yang diperoleh dari pengukuran geolistrik resistivitas ini dalam format (*.bin) yang kemudian dirubah menjadi format (*.dat). Pada penelitian ini dilakukan pengukuran geolistrik menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger dengan panjang lintasan 180 m, digunakan 36 titik elektroda dan panjang spasi atau jarak antar elektroda 5 m. Digunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger disebabkan konfigurasi ini merupakan gabungan antara konfigurasi Wenner yang sensitif terhadap perubahan lateral dengan konfigurasi Schlumberger yang sensitif terhadap perubahan vertikal sehingga konfigurasi ini dianjurkan untuk penyelidikan dalam. Setelah dilakukan pengukuran dan pengolahan data geolistrik resistivitas pada daerah penelitian menggunakan *software* Electere Pro, Prosys II dan Res2Dinv. Dari hasil pengolahan data yang dilakukan menggunakan *forward modeling*, maka nilai yang dihasilkan adalah *true resistivity* yang

mana dapat dibedakan atau dibagi 5 lapisan dengan nilai resitivitas yang berbeda sesuai dengan gambar berikut:



Gambar 4. 1 Model penampang 2D geolistrik resistivitas

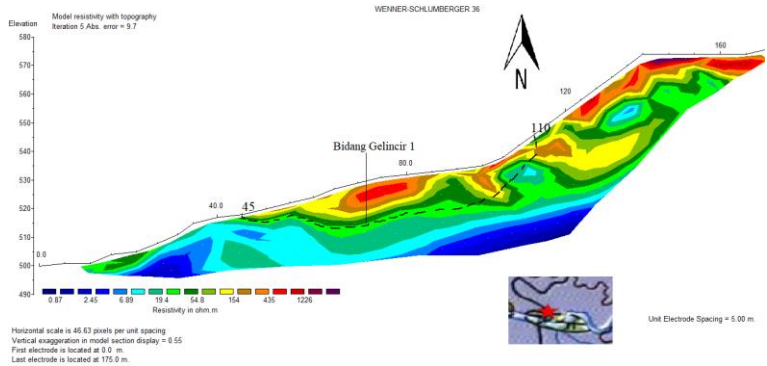
Gambar (4.1) merupakan hasil 2D pengukuran tanpa koreksi topografi. Untuk dapat memperjelas hasil model penampang 2D, ditambahkan nilai elevasi dari hasil pengukuran koordinat GPS sehingga diperoleh model penampang 2D topografi seperti gambar berikut:



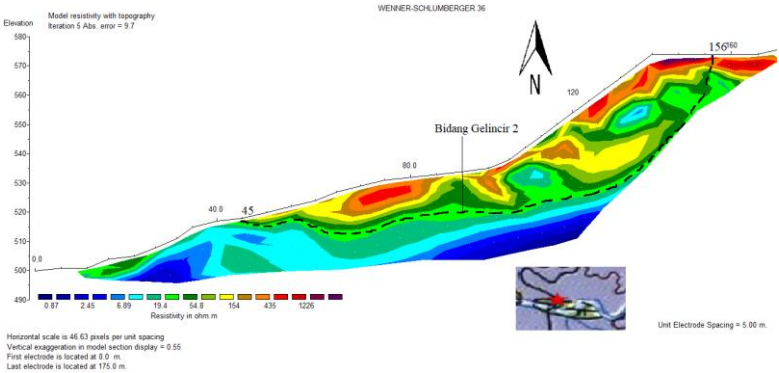
Gambar 4. 2 Model penampang 2D geolistrik resistivitas dengan koreksi topografi

Pada Gambar (4.2) merupakan hasil pengolahan data geolistrik resistivitas 2D dengan menggunakan *software* Res2Dinv dengan koreksi topografi menunjukkan nilai distribusi resistivitas

antara 0.87-1226 Ωm ditunjukkan dengan variasi warna yang berbeda-beda. Variasi perbedaan warna tersebut menunjukkan nilai resistivitas bawah permukaan yang bervariasi dengan kedalamannya mencapai ± 80 m. Pada hasil model penampang 2D resistivitas dapat ditentukan letak bidang lemah atau bisa dijadikan sebagai bidang gelincir, yang dapat dilihat pada Gambar (4.3) dan Gambar (4.4).



Gambar 4. 3 Bidang Gelincir 1 hasil model penampang 2D resistivitas

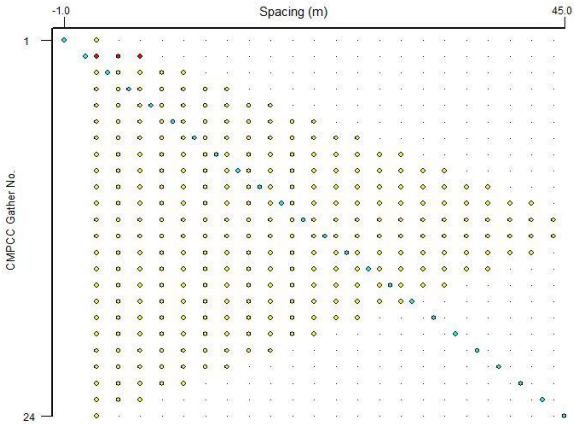


Gambar 4. 4 Bidang Gelincir 2 hasil model penampang 2D resistivitas

Dari Gambar (4.3) dan (4.4) merupakan pendugaan bidang kelincin dengan kedalaman yang sama dan panjang yang berbeda.

4.1.2 Hasil MASW

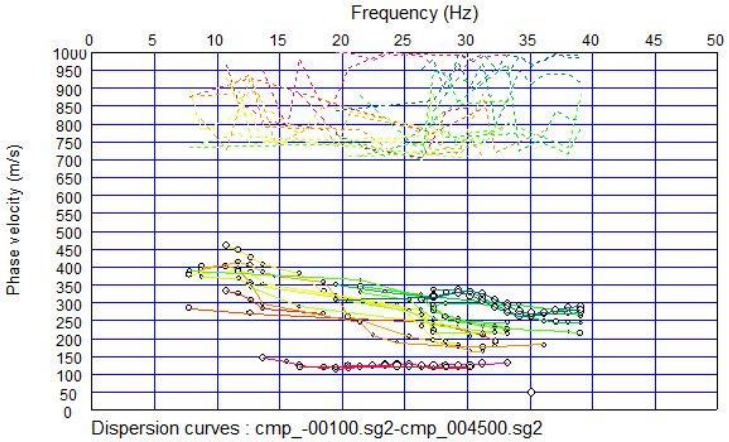
Hasil dari pengukuran menggunakan metode MASW (*Multichannel Analysis os Surface Wave*) diperoleh data dalam format (*.sg2) file dari 25 pukulan yang dilakukan. Panjang lintasan pengukuran adalah 48 m dengan 24 *geophone* dimana masing-masing *geophone* berjarak 2 m. Dalam analisis data hasil pengukuran yang pertama adalah membuat daftar file di mana semua file bentuk gelombang. Dari pengukuran yang dilakukan, diperlukan pemasukkan geometri. Param-param yang dimasukkan pada data geometri yaitu posisi *shot point*, posisi *geophone* pertama, *source* interval antar *geophone* dan jumlah *trace*. Dari pemasukkan geometri tersebut, dilakukan proses analisis *Common Mid Point Cross Correlation* (*CMPCC*) *gathers* untuk mendapatkan kurva kecepatan fase dengan *software* Pickwin, seperti gambar berikut:



Gambar 4. 5 Geometri CMP Cross Correlation (CMPCC) gathers dengan *software* Pickwin

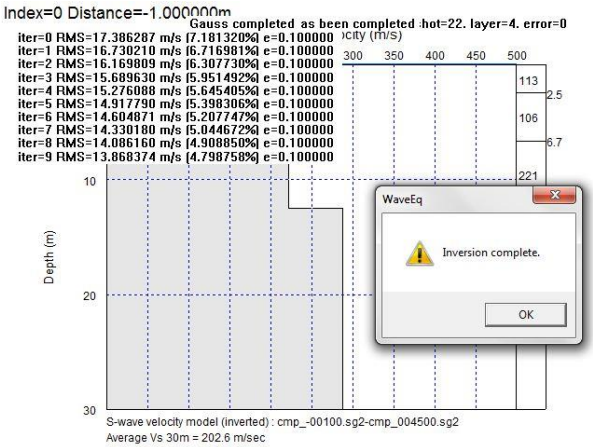
Dari Gambar (4.5) diketahui bahwasannya titik bulatan berwarna kuning merupakan posisi *midpoint*, titik bulatan berwarna biru merupakan posisi *shot point* dan titik bulatan berwarna merah merupakan posisi *CMP Cross Correlation* (*CMPCC*) *gathers*. Setelah dilakukan analisis *Common Mid Point Cross Correlation* (*CMPCC*) *gathers* untuk mendapatkan kurva kecepatan fase dengan *software* Pickwin, selanjutnya dilakukan *picking* untuk mengubah dari domain waktu ke domain frekuensi-kecepatan fase (f-v) dengan menggunakan *software* Seismager Pickwin dan WaveEq. Pada penelitian ini menggunakan batas frekuensi 0-40 Hz dan kecepatan fase 0-500 m/s. Hal tersebut dilakukan untuk pembuatan kurva dispersi.

Kurva dispersi merupakan salah satu langkah penting untuk menghasilkan profil kecepatan gelombang geser yang akurat. Kurva dispersi umumnya ditampilkan sebagai kecepatan fase dibandingkan frekuensi. Kurva dispesi atau penyebaran nilai kecepatan fase terhadap frekuensi yang dihasilkan setelah melakukan *picking* tersebut, dapat dilihat seperti Gambar (4.6).



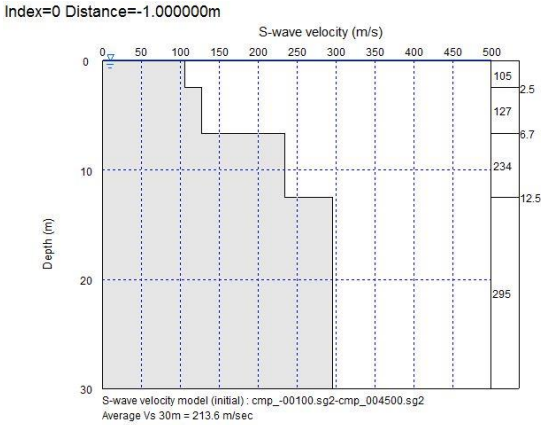
Gambar 4. 6 Kurva Dispersi hasil setelah picking

Dari hasil kurva dispersi Gambar (4.6) selanjutnya yaitu melakukan proses inversi berbasis iterasi *Root-Meansquare RMS Error* untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang terhadap kedalaman, dimana pendekatan yang paling memungkinkan untuk melakukan proses secara otomatis yaitu dengan menggunakan pendekatan *last square*. Dan berikut hasil pemodelannya, yaitu sebagai berikut:



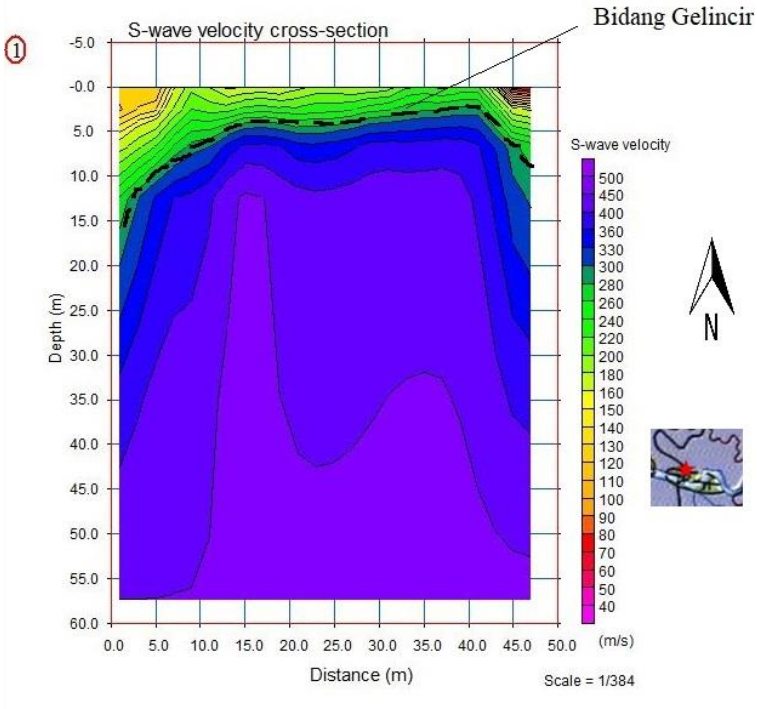
Gambar 4. 7 Proses inversi berbasis iterasi lintasan

Pada Gambar (4.7) dengan melakukan proses inversi berbasis iterasi *Root-Meansquare RMS Error* yaitu sebanyak 10 kali diketahui eror pada iterasi ke 9 adalah 4.79 %, yang menghasilkan nilai kecepatan gelombang s sebagai berikut:



Gambar 4. 8 Profil kecepatan gelombang S terhadap kedalaman

Dari Gambar (4.8) diperoleh profil kecepatan gelombang S. Dari peofil kecepatan gelombang S tersebut dapat diasumsikan bahwa kekakuan lapisan meningkat seiring bertambahnya kedalaman. Selanjutnya dengan menggabungkan dan melakukan interpolasi profil kecepatan gelombang S terhadap kedalaman untuk semua profil kecepatan gelombang S berdasarkan posisi *CMP* (*Common Mid Point*) sehingga diperoleh profil 2D kecepatan gelombang S terhadap kedalaman daerah penelitian seperti Gambar (4.9)



Gambar 4. 9 Hasil model 2D MASW

Pada Gambar (4.9) merupakan hasil 2D dari metode MASW.

4.1.3 Hasil Mekanika Tanah

Penelitian dengan melakukan uji di laboratorium terutama ditujukan untuk mendapatkan param rekayasa yang digunakan dalam analisis longsor. Dari hasil percobaan di laboratorium dapat diperoleh data karakteristik tanah. Nilai param geser tanah yang diperoleh adalah kohesi (c), berat isi tanah (γ), dan sudut geser tanah (ϕ). Adapun hasil uji laboratorium mekanika tanah daerah penelitian sebanyak dua *sample* tanah, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Data param mekanika tanah hasil uji laboratorium.

Sample	Kohesi (c)	Sudut geser tanah (ϕ)	Berat isi tanah (γ)
Sample 1	0.111 kg/cm^2	9.65^0	1.37 gr/cc
Sample 2	0.04 kg/cm^2	7.76^0	1.50 /m^3

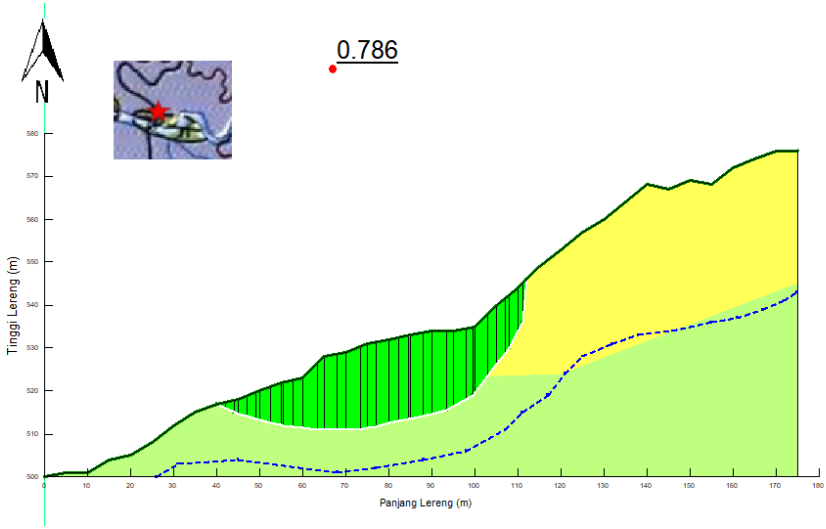
Dari tabel di atas yang merupakan data-data param mekanika tanah hasil uji laboratorium dikonversi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengolahan dengan menggunakan *software* Geostudio 2016 SLOPE/W. Dalam program analisis kestabilan lereng, satuannya membutuhkan param dengan satuan-satuan tersebut sehingga harus dikonversi. Data-data tersebut harus dikonversi disebabkan untuk menyamakan satuan dalam perhitungan atau satuannya disesuaikan melalui konversi dalam standar SI (Satuan Internasional), dimana satuan c (kohesi) dalam SI yaitu kPa dan berat isi asli (γ) dalam SI yaitu kN/m^3. Adapun data-data param mekanika tanah setelah dikonversi, yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Data param mekanika tanah hasil uji laboratorium setelah dikonversi.

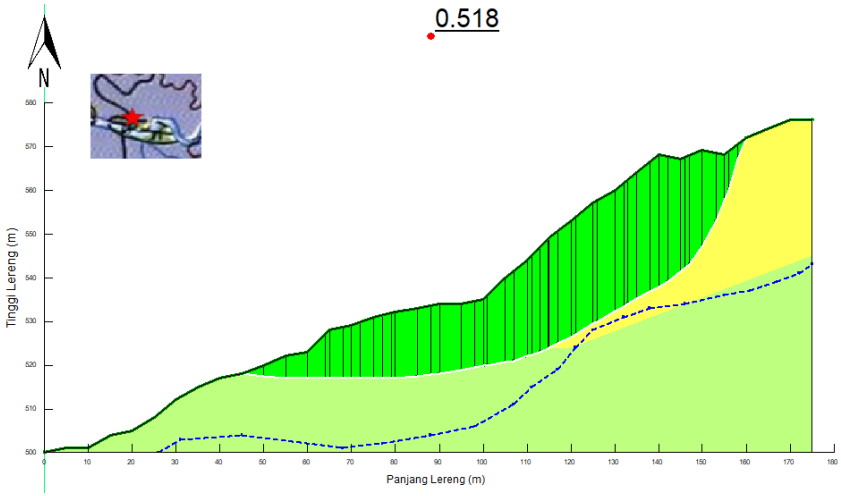
Sample	Kohesi (c)	Sudut geser tanah (ϕ)	Berat isi tanah (γ)
Sample 1	10.884 kPa	9.65^0	13.433 kN/m^3
Sample 2	3.9224 kPa	7.76^0	14.715/m^3

Dari tabel di atas kemudian dilakukan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan Slope/W pada *software* Geostudio

2016 memerlukan data-data dari hasil uji laboratorium mekanika tanah yang telah dikonversi. Data-data yang diperlukan yaitu berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ), dimana ketiga data tersebut merupakan paramater data mekanika tanah yang harus dimasukkan ke dalam pengolahan kestabilan lereng atau model Faktor Keamanan (FK) lereng. Selain ketiga data tersebut, yang perlu diketahui lebih dahulu yaitu titik koordinat evevasi dari lereng. Pada analisa kestabilan lereng tersebut digunakan *Full Specified* karena telah diketahui letak MAT (muka air tanah). Pemodelannya menghasilkan 2 FK lereng sebagai berikut:



Gambar 4. 10 Hasil analisa kestabilan lereng denganSlope/W untuk bidang gelincir 1



Gambar 4. 11 Hasil analisa kestabilan lereng denganSlope/W untuk bidang gelincir 2

Analisa kestabilan lereng tersebut dibuat menjadi 2 yaitu Gambar (4.10) dan (4.11) berdasarkan bidang gelincir yang telah ditentukan, dimana hasil analisa kestabilan lereng tersebut dengan menggunakan bidang gelincir 1 dan bidang gelincir 2.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Analisa dari Metode Geolistrik

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dua dimensi (2D) konfigurasi Wenner-Schlumberger. Prinsip kerja metode geolistrik adalah mendapatkan aliran listrik di dalam bumi dengan cara mendeteksikannya di permukaan bumi. Dalam hal ini meliputi pengukuran potensial, arus, dan medan elektromagnetik yang terjadi baik secara alamiah maupun akibat injeksi arus ke dalam bumi (material atau batuan bumi). Lokasi penelitian ini yaitu berada di Jembatan Cisomang,

Tol Cipularang KM 100 Jawa Barat yang terkena dampak gerakan tanah pada tahun 2016. Berdasarkan koordinat sistem proyeksi GPS lokasi penelitian berada pada 06º42'06.2-06º42'02.6 Lintang Selatan dan 107º25'58.1-107º26'01.6 Bujur Timur yang terletak pada elevasi antara 500–576 searah terhadap pergerakan tanah atau bidang gelincir.

Pada penelitian ini menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dua dimensi (2D) konfigurasi Wenner-Schlumberger panjang lintasan 180 m dengan jarak elektroda sebesar 5 m dan digunakan 36 titik elektroda. Hasil akuisisi dan pengolahan data Geolistrik dengan aturan konfigurasi Wenner-Schlumberger menggunakan *software* Res2dinv, diperoleh hasil penampang 2D yang dapat dilihat pada Gambar (4.1). Hasil penelitian ini menunjukkan adanya nilai resistivitas yang bervariasi dari tiap lapisan material atau batuan tersebut. Dari hasil penampang model 2D diperoleh tingkat kesalahan atau eror sebesar 9.7% dengan 5 kali iterasi, dimana tingkat kesalahan ini dapat diterima karena kurang dari 30 % (Pujiastuti dkk, 2009). Dari hasil penampang 2D dijelaskan pada Gambar (4.1) dapat dilihat bahwa penampang bawah permukaan tersebut tersusun atas 5 lapisan dengan nilai tahanan jenis berbeda yang divisualisasikan oleh warna berbeda pada setiap nilai tahanan jenis.

Dengan mengacu (Telford, 1990***)*** pada Tabel (2.2) dari hasil penampang model 2D tersebut dapat diklasifikasikan jenis tanah sesuai dengan nilai resistivitas yang terukur. Nilai resistivitas lapisan pertama yaitu dari 0,868 Ωm sampai 2.45 Ωm dapat diklasifikasikan sebagai *Clay* atau tanah lempungan basah lembek yang merupakan lapisan jenuh dengan kandungan air yang tinggi, pada lapisan ini diperkirakan terdapatnya aliran fluida karena saat pengukuran terdapat sungai disekitarnya. Lapisan tersebut dikatakan lapisan yang memiliki kandungan air tinggi. Lapisan

kedua dengan nilai resistivitas 6.89 Ωm sampai 19.4 Ωm merupakan *Silt* atau lanau, dengan tingkat nilai resistivitas tersebut lapisan tersebut disebut sebagai tanah lanau basah lembek. Pada lapisan ketiga dengan nilai resistivitas pada lapisan 54.8 Ωm sampai 154 Ωm yaitu *Marls* atau batu lumpur, lapisan dengan tingkat resistivitas seperti itu merupakan tanah lanauan atau pasiran. Lapisan yang keempat dengan nilai resistivitas pada lapisan 435 Ωm adalah pasir kerikil terdapat lapisan lanau atau pasir lempungan (*consolidated shales*) atau juga bisa disebut sebagai *Sandstone* atau batu pasir. Dan untuk lapisan kelima nilai resistivitas 1226 Ωm merupakan batuan dasar yang berisi kerikil yang dikatakan sebagai *Basalt*.

Penampang 2D dibuat menjadi seperti kondisi daerah penelitian dengan memasukkan koreksi topografi dari nilai koordinat elevasi yang diukur, dengan menggunakan *software* Res2dinv akan menghasilkan penampang 2D topografi, dapat dilihat pada Gambar (4.2). Berdasarkan uraian gambar tersebut diperoleh dapat dilihat kedalaman tiap lapisan yang terukur dimana hasil yang didapat lebih baik dan lebih sesuai dengan kondisi penelitian. Dilihat pada hasil topografi dari kedalaman yang terukur dengan geolistrik ini adalah mulai ± 495 m sampai ± 575 m yaitu bernilai 80 m dilihat dari titik ke 36 pengukuran hingga lapisan paling bawah.

Dari penampang 2D Topografi tersebut dapat ditentukan bidang gelicirnya. Pada lapisan pertama yang merupakan lempungan jenuh atau terdapat banyak kandungan air terdapat pada kedalaman ± 20 m jika dilihat berdasarkan ketinggian dari nilai ± 535 m sampai ± 505 m. Penentuan kedalaman muka air tanah ini dapat diperkuat dengan kondisi sekitar penelitian bahwa di sekitar pemukiman warga terdapat sumur dengan kedalaman terdapat air

adalah ± 20 m. Dari hasil penampang 2D dengan koreksi topografi dapat ditentukan pula letak bidang gelincirnya.

Terdapat 2 bidang gelincir yang diduga sebagai bidang gelincir. Bidang gelincir pertama dan kedua terletak di kedalaman ±18 m jika dilihat dari titik ± 535 m sampai ± 507 m. Lapisan yang diduga sebagai bidang gelincir pertama yaitu dari titik lintasan pengukuran geolistrik ke 45 m sampai 110 m dapat dilihar pada Gambar (4.3) dan bidang gelincir kedua terletak dari 45 m sampai 156 m dapat dilihat pada Gambar (4.4), dimana lapisan yang diduga sebagai bidang gelincir pada ditandai dengan garis berwarna hitam. Bidang gelincir pertama dan kedua berada di lapisan dengan nilai resistivitas yaitu 19.4 Ωm merupakan *Silt* atau lanau dengan ketebalan sekitar ± 8,5 m. Bidang gelincir kedua berada pada titik lintasan pengukuran. Lapisan yang dianggap bidang gelincir tersebut dikarenakan lapisan tersebut berada di batas antara lapisan lempungan yang kandungan airnya tinggi dan kemungkinan terdapatnya aliran fluida dan berada didekat lapisan tanah lanauan atau pasiran yang kurang adanya kandungan air. Lapisan yang mengandung air lebih banyak akan memiliki tahanan jenis lebih kecil. Posisi bidang gelincir yang letaknya dalam dapat menyebabkan zona lemah lapisan tanah atau batuan yang berada diatasnya.

4.2.2 Analisa dari Metode MASW

Analisis *multichannel* dari gelombang permukaan MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) memanfaatkan dispersi gelombang permukaan untuk tujuan *profiling* Vs dalam model 2D. MASW *(Multichannel Analysis of Surface Wave)* adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi lapisan *subsurface* melalui analisis gelombang permukaan berdasarkan nilai kecepatan gelombang *shear* (gelombang geser). Secara umum

metode MASW mengukur variasi kecepatan gelombang permukaan seiring dengan bertambahnya kedalaman (NEHRP, 1998). Konsep dasar survey MASW dalam pengukuran Vs30 adalah pemanfaatan prinsip-prinsip penjalaran gelombang permukaan Rayleigh atau biasa disebut *ground roll* yang bersifat dispersif. Gelombang ini dihasilkan dari sumber aktif berupa pukulan palu terhadap tatakan besi pada lokasi sumber. Contoh rekaman sinyal gelombang Rayleigh. Metode ini berguna untuk menentukan karakterisasi struktur kecepatan yang digunakan dalam mengetahui adanya gerakan tanah melalui lapisan lemah yang dikatakan sebagai bidang gelincir. Dalam penelitian pembuatan profil gelombang permukaan menggunakan metode MASW ini akan memberikan data yang dapat memetakan kekakuan tanah, dicirikan oleh distribusi kecepatan geser Vs. Hasil dari model 2D MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*) dilakukan dengan menggunakan *software* Pickwin, WaveEq dan GeoPlot yang ditunjukkan oleh Gambar (4.9).

Dari hasil model 2D gambar tersebut dapat diketahui bahwa nilai distribusi kecepatan gelombang geser rata-rata kedalaman 30 m (VS30) daerah penelitian yaitu sekitar 40-500 m/s. Analisis nilai distribusi kecepatan gelombang geser Vs berdasarkan hasil model 2D penelitian, menurut klasifikasi tanah (SNI 1726-2012) yang ditunjukkan oleh Tabel (2.3), nilai distribusi kecepatan gelombang geser Vs pada dengan nilai 40-175 m/s diduga merupakan lapisan tanah lunak (*soft soil profile*) dengan kedalaman berkisar antara 0-5 m, tanah lunak dengan ketebalan sedemikian dapat menandakan bawasannya kecepatan gelombang geser Vs rendah. Nilai distribusi kecepatan gelombang geser Vs 175-350 m/s yang diduga merupakan lapisan tanah sedang/ dominan kaku (*stiff soil profile*) dengan kedalaman berkisar antara 5-30 m, dan nilai distribusi kecepatan gelombang geser Vs 350-500 m/s yang diduga

merupakan lapisan tanah padat dan batu lunak (*very dense soil and soft rock*) dengan kedalaman berkisar antara sekitar 30-57 m. Kontak lapisan bidang lemah yang menjadi bidang gelincir pada pemodelan MASW ini yaitu pada lapisan tanah kaku (Vs 175-350 m/s) yang ditandai dengan arsiran garis berwarna hitam.

4.2.3 Analisa dari Mekanika Tanah

Analisis stabilitas lereng yang kedua dilakukan dengan menggunakan *Software* Geostudio 2016 Slope/W, dalam *Software* ini metode yang digunakan yaitu metode analisis *limit equilibrium circular* atau biasa disebut dengan metode irisan sehingga diperoleh keruntuhan *circular* atau lingkaran. Dalam pengolahan kestabilan lereng atau model Faktor Keamanan (FK) lereng diperlukan param data mekanika tanah yang diperoleh dari hasil uji sampel tanah di laboratorium, dimana data mekanika tanah tersebut antara lain berat isi tanah (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ). Pada Pengolahan data menggunakan *software* Geostudio 2016 Slope/W, tipe analisa yang dipakai adalah Bishop. Dari pengolahan data tersebut menghasilkan model 2D seperti pada Gambar (4.10) dan Gambar (4.11).

Pada pemodelan Faktor Keamanan (FK) lereng menggunakan *software* Geostudio 2016 modul Slope/W terdapat dua lapisan yaitu lapisan atas dan lapisan bawah. Pada lapisan atas pemodelan Slope/W, dilihat dari hasil uji laboratorium dapat diketahui bahwa tanah tersebut lebih didominasi oleh lempung ataupun lanau (*Silt and Clay*), dimana pada lapisan atas ini digunakan sampel 1 terdiri dari lapisan lanau lempungan (*Silt and Clay*) dengan kadar sebesar 85,22%, pasir halus (*Sands*) dengan kadar sebesar 10,87%, pasir sedang (*Gravel*) sebesar 3,92%. Jika dilihat dari batas Atterberg yaitu batas cair (LL) lapisan ini yaitu sebesar 58,55%, batas plastis (PL) sebesar 34,08% dan indeks

plastis (PI) sebesar 24,47% yang dianggap lapisan ini lebih bersifat plastisitas rendah.

Sedangkan lapisan bawah pemodelan Slope/W, dilihat dari hasil uji laboratorium dapat diketahui bahwa tanah tersebut lebih didominasi oleh lempung (*Clay*), dimana pada lapisan atas ini digunakan sampel 2 terdiri dari lapisan lempung dengan kandungan lempung (*Clay*) sebesar 54,59%, untuk lanau (*Silt*) dengan kadar sebesar 34,52%, dan untuk pasir halus (*Sands*) dengan kadar sebesar 10.90%. Dan jika dilihat dari batas Atterberg yaitu batas cair (LL) sebesar 50.89%, batas plastis (PL) sebesar 35.55% dan indeks plastis (PI) sebesar 15.34 % yang dianggap lapisan ini lebih bersifat plastis tinggi. Lapisan bersifat plastis merupakan lapisan yang kedap air. Dimana menurut Wesley (2012), lapisan dengan sifat plastis yaitu apabila dikeringkan atau cuaca panas bisa keras seperti batu dan apabila terkena air bisa lunak, dapat dihancurkan dengan tangan serta bisa membuat lapisan diatasnya mengalami pelapukan atau pergerakan.

Indeks plastis (PI) adalah selisih dari batas cair dan batas plastis. Indeks plastis (PI) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai PI tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran lempung. Jika PI rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat tanah menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg. Tanah dengan plastisitas tinggi adalah tanah yang bentuknya dapat berubah dengan kadar air yang rendah sampai tinggi tanpa mengalami retak, juga tidak menunjukan perubahan volume serta lempung yang plastisitasnya tinggi menjadi seperti batuan keras ketika dikeringkan atau panas dan bisa dihancurkan dengan tanah apabila lempung tersebut plastisitasnya rendah (Wesley, 2012).

Pemodelan Slope/W menggunakan tipe analisis Bishop. *Slip surface* yang digunakan yaitu *full specified* karena pada pemodelan digunakan param MAT (muka air tanah) yang didapatkan dari hasil pemodelan 2D geolistrik resistivitas, dimana hasil tersebut didukung dengan letak kedalaman sumur didaerah penelitian. Kedalaman MAT (muka aie tanah) yang diperoleh dari hasil pemodelan 2D geolistrik resistivitas dan kedalaman sumur di lokasi penelitian yaitu mencapai ± 20 m. Pemodelan Slope/W dilakukan dengan acuan 2 bidang gelincir berdasarkan pemodelan geolistrik resistivitas yaitu bidang gelincir 1 dan bidang gelincir 2. Dari pemodelan Slope/W tersebut diperoleh nilai Faktor Keamanan (FK) lereng dengan menggunakan bidang gelincir 1 sebesar 0.786 dan dengan menggunakan bidang gelincir 2 sebesar 0.518. Jika ditinjau dari nilai Faktor Keamanan (FK) yang diperoleh, maka lereng dengan bidang gelincir 1 dan bidang gelincir 2 termasuk lereng yang tidak stabil sesuai dengan Joseph E. Bowles (2000). Perbedaan nilai faktor keamanan antara menggunakan bidang gelincir 1 dan bidang gelincir 2 diduga dikarenakan perbedaan koordinat yang digunakan, luas area yang menjadi bidang gelincir serta kemiringan lereng.

Nilai Faktor Keamanan (FK) lereng yang terbilang kecil ini disebabkan oleh tingkat kepadatan tanah pasir yang bersifat renggang atau *loose*. Pada kondisi *loose*, ikatan antar butiran tanah menjadi renggang hal ini menciptakan pori yang terjadi cukup besar. Karena pori yang terjadi cukup besar maka tanah pasir akan mudah labil dan mengalami keruntuhan. Dengan nilai Faktor Keamanan (FK) lereng yang kecil ini maka diperlukan perbaikan tanah untuk meningkatkan nilai Faktor Keamanan (FK) dari lereng itu sendiri (Sartika, Diana Destri, Dkk. 2016).

Berdasarkan kejadian, bentuk, dan kedalaman bidang gelincir gerakan tanah yang terjadi dapat dikategorikan sebagai

gerakan tanah tipe lambat atau rayapan yang disebabkan oleh karakteristik batu lempung dan kerikil lempungan bergerak di dasar sungai Cisomang dengan arah umum N 290ºE. Gerakan tanah tersebut terjadi sejak tahun 2012 dan terus berkembang hingga saat ini. Gerakan tanah tipe rayapan pergerakannya lambat, bahaya dan dampak kerusakan yang ditimbulkannya dapat lebih besar. Gerakan tanah tersebut terjadi akibat adanya tanah lempung lunak yang bila jenuh air akan berfungsi sebagai bidang gelincir. Umumnya dampak yang ditimbulkan gerakan tanah rayapan berupa kerusakan pada bangunan dan dan putusnya sarana jalan akibat rekahan dan retakan pada daerah yang sangat luas. Hal-hal yang perlu dilakukan untuk mengetahui terjadinya gerakan tanah pada daerah penelitian yaitu melakukan *monitoring* atau pemantauan secara bertahap menggunakan GPS. GPS merupakan sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat yang didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi tentang waktu secara menerus di seluruh dunia tanpa tergantung waktu dan cuaca (Abidin, 2007).

Pemantauan yang dilakukan menggunakan metoda Global Positioning System (GPS) dengan alat model Trimbel dilakukan rata-rata 6 jam. Metoda pemantauan yang dipakai adalah statik diferensial memakai satu titik referensi di lokasi yang dianggap stabil. Pergeseran posisi titik ukur dapat diketahui dari selisih posisi titik ukur dari dua periode pengukuran tersebut. Pengolahan data digunakan perangkat lunak Trimble Business Center versi 3.10. Pemantauan dilakukan dengan 7 titik ukur GPS terdiri dari 1 titik ukur referensi dan 6 titik ukur (GPS 01, GPS 02, GPS 03, GPS 04, GPS 05 dan GPS 06). Titik pemantauan yang dipergunakan berupa patok geser yang terbuat dari cor beton yang ditanam pada tanah dengan kedalaman mencapai $\pm$ 1 m dan tinggi 10 - 25 cm.

Patok geser sebanyak 6 titik dipasang di daerah yang bergerak di kawasan sekitar tol cipularang km 100 (Jembatan Cisomang), sedangkan patok tetap (referensi) di pilih di daerah yang tidak berpotensi terjadi gerakan yaitu di depan kantor Desa Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. Berdasarkan Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa (Sudjatmiko, 1972), batuan penyusun di GPS 1 dan GPS 4 yang berada pada lereng bagian selatan disusun oleh batuan dari Formasi Jatiluhur Anggota Napal dan batu pasir kuarsa yang terdiri dari napal abu-abu tua, batu lempung napalan dan serpih lempungan dengan sisipan-sisipan batupasir kuarsa, kuarsit dan batugamping napalan (Mdm). Sedangakan di GPS 2, GPS 3, GPS 5 dan GPS 6 yang berada pada lereng bagian utara disusun oleh batuan hasil gunungapi tua yang terdiri dari breksi gunungapi, breksi aliran, endapan lahar dan lava (Qob). Berdasarkan pengamatan di lokasi pemantauan, batuan dasar penyusun daerah bencana adalah lempung berwarna abu-abu, batuan lempung ini ditindih oleh breksi yang berada diatasnya. Tanah pelapukan berupa endapan gunungapi berwarna coklat kemerahan dengan ketebalan lebih dari 5 m.

Untuk pengukuran selanjutnya titik patok geser diukur koordinat dan elevasinya dengan mengacu pada kooordiat dan elevasi lokal dari titik tetap (referensi. Pengukuran GPS yang dilakukan pada titik-titik patok yang dibuat merupakan acuan untuk mengetahui pergerakan gerakan tanah. Dengan melakukan pengukuran ulang akan diketahui panjang pergerakan gerakan tanah, kecepatan rata-rata dan arah pergerakan gerakan tanah yang di indikasikan dengan adanya perbedaan data pengukuran pada patok *monitoring*. Pemantauan yang telah dilakukan yaitu selama 3 periode, untuk periode pertama yaitu pada Mei 2017, periode kedua yaitu pada Agustus 2017 dan periode ketiga yaitu pada Februari 2018. Dari pemantauan 3 periode tersebut dapat diketahui

perubahan posisi patok pengamatan berdasarkan perbedaan hasil atau selisih antara pemantauan pertama Mei 2017 dengan pemantauan kedua Agustus 2017 serta perbedaan hasil atau selisih anatara pemantauan kedua Agustus 2017 dan pemantauan ketiga Februari 2018. Perbedaan hasil atau selisih pengukuran akan menunjukan perbedaan posisi patok yang berarti menunjukkan adanya pergeseran di daerah tersebut. Untuk titik ukur yang digunakan sebagai acuan (referensi) terletak pada daerah stabil yang tidak terpengaruh oleh gerakan tanah. Nilai pergeseran titik ukur periode pertama diperoleh dari selisih posisi titik ukur periode Agustus 2017 dengan periode Mei 2017, seperti diperlihatkan pada Tabel (4.3).

Tabel 4. 3 Hasil analisa nilai pergeseran dati titik ukur pemantauan pergerakan tanah Periode Mei 2017 dan Agustus 2017 di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat

Nama Titik/Patok	**delta Easting (m)**	**delta Northing (m)**	**Resultan (m)**	**delta elevasi (m)**	**Arah pergeseran**
REFFERENSI	0,00000	0,00000	-	-	-
GPS 01	-0.00647	0,01139	0,01309	0,116	Barat Laut
GPS 02	0,01139	0,00927	0,01468	0,133	Timur Laut
GPS 03	0,00218	0,00161	0,00271	0,095	Barat Laut
GPS 04	0,00422	0,01223	0,01303	0,012	Tenggara
GPS 05	0,00967	0,01145	0,01499	0,011	Barat Daya

GPS 06	0,00506	0,01434	0,01521	0,099	Tenggara

Secara horisontal pergeseran patok-patok atau titik ukur bergeser sepanjang 0.00271 m hingga 0.01521 m. Pergeseran terbesar terjadi di patok GPS 06, yang berlokasi tepat dipinggir jalan tol Cipularang sebesar 0.01521 m ke arah tenggara. Secara vertikal titik ukur di area ini mengalami kenaikan antara 0.011 m sampai dengan 0.418 m untuk semua titik ukur. Nilai pergeseran titik ukur periode kedua diperoleh dari selisih posisi titik ukur periode Februari 2018 dengan Agustus 2017, seperti diperlihatkan pada Tabel (4.4).

Tabel 4. 4 Hasil analisa nilai pergeseran dati titik ukur pemantauan pergerakan tanah Periode Agustus 2017 dan Februari 2018 di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat

Nama Titik/Patok	**delta Easting (m)**	**delta Northing (m)**	**Resultan (m)**	**delta elevasi (m)**	**Arah pergeseran**
REFFERENSI	0,00000	0,00000	-	-	-
GPS 01	0.00362	-0.00430	0.00562089	0.41800	Barat Laut,
GPS 02	0.01512	-0.01174	0.019142675	0.41200	Barat Laut,
GPS 03	-0.01029	-0.01736	0.020180528	0.36800	Barat Laut,

GPS 05	-0.01674	0.00118	0.016781538	0.40400	Barat Daya,
GPS 06	-0.00256	-0.00131	0.002875709	0.17000	Tenggara

Secara horisontal pergeseran patok-patok ukur bergeser sepanjang 0.00562 m hingga 0.02018 m. Pergeseran terbesar terjadi di patok GPS 03, yang berlokasi tepat dipinggir jalan tol Cipularang sebesar 0.02018 m ke arah tenggara. Secara vertikal titik ukur di area ini mengalami kenaikan antara 0.170 m sampai dengan 0.418 m untuk semua titik ukur, dimana pergeseran vertikal ini lebih besar dibandingkan pergeseran horizontal. Pada pemantauan bulan Februari 2018 tidak digunakan titik ukur patok GPS04 karena patok hilang.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan tahapan akuisisi data, pengolahan data dan interprestasi data, maka dapat disimpulkan:

1. Dari hasil penampang 2D metode Geolistrik dapat diketahui distribusi nilai resistivitas yang terukur terdiri dari 5 lapisan. Nilai resistivitas lapisan pertama yaitu dari 0,868 Ωm sampai 2.45 Ωm, lapisan kedua yaitu 6.89 Ωm sampai 19.4 Ωm, lapisan ketiga yaitu 54.8 Ωm sampai 154 Ωm, lapisan keempat yaitu 435 Ωm, dan lapisan kelima yaitu 1226 Ωm.
2. Nilai distribusi kecepatan gelombang geser Vs dibedakan menjadi 3 berdasarkan hasil model 2D metode MASW. Nilai distribusi kecepatan gelombang geser Vs pertama yaitu 40-175 m/s, kedua yaitu 175-350 m/s, dan yang ketiga yaitu 350-500 m/s.
3. Analisis bidang gelincir didasarkan dari metode Geolistrik resistivitas dan metode MASW. Dari metode Geolistrik resistivitas diketahui terdapat 2 bidang gelincir, bidang gelincir pertama terletak di kedalaman ±18m pada titik lintasan pengukuran geolistrik ke 45 m sampai 110 m, bidang gelincir kedua terletak di kedalaman ±18m pada titik pengukuran geolistrik 45 m sampai 156 m. Dari metode MASW kontak lapisan bidang lemah yang menjadi bidang gelincir yaitu di kedalaman bidang gelincir ini yaitu ± 18 m.
4. Dari hasil pemodelan dengan *software* Geostudio 2016 Slope/W yang dilakukan dengan acuan 2 bidang gelincir berdasarkan pemodelan geolistrik resistivitas diperoleh nilai

Faktor Keamanan (FK) lereng dengan menggunakan bidang gelincir 1 sebesar 0.786 dan dengan menggunakan bidang gelincir 2 sebesar 0.518. Dari nilai tersebut dapat diketahui bahwa lereng tersebut dalam kondisi tidak aman.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, untuk kepentingan penelitian yang lebih baik kedepannya, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dengan menambahkan beberapa lintasan lagi untuk metode Geolistrik resistivitas maupun metode MASW.
2. Sampel tanah yang digunakan lebih banyak agar data lebih tepat.
3. Dilakukan pemantauan secara rutin di Jembatan Cisomang karena kondisi bawah permukaan yang kurang baik.
4. Dilakukan reboisasi agar lebengnya kuat.

DAFTAR PUSTAKA

[DVMBG] Direktorat Vulkanologi ddan Mitigasi Bencana Geologi.2005. *Manajemen Bencana Tanah Longsor*. PVMBG: Bandung

Alaydus, Mudrik. 2014. *Medan Elektromagnetika*. Yogyakarta: Cv. Andi Offset

Anderson, M.G., Richard K.S.1987. *Slope Stability*.Geotechnical Engineering and Geomorphology: John Wiley and Sons.

Arif, Irwandy. 2016. *Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dan Menjaga Kestabilan Lereng*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama

Ariestianty, S. K. Taha, M. R. Nayan, K. A. M., dan Chik, Zamri., 2010. *Penentuan Modulus Geser Menggunkan Metode Analisis Multichannel Gelombang Permukaan*. Selangor: Universitas Kebangsaan Malaysia.

Bahri.2005. *Hand Out Mata Kuliah Geofisika Lingkungan dengan topik Metoda Geolistrik Resistivitas*. Surabaya: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam ITS, Surabaya.

BSN. 2004. *Pemeriksaan lokasi bencana gerakan tanah SNI 13-6982.2-2004*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Burger, H. R., Sheehan, A. F., dan Jones, C. H. 1992. *Introduction to Applied Geophysic Exploring the Shallow Subsurface*. New York: W.W. Norton & Company.

Bowles, Joseph E., Hainim Johan K., 1991. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta: Edisi Kedua, Penerbit Erlangga.

Brown, A.R., 2005.*Understanding Seismic Attribute*. Geophysics, vol 66, No1, P.47-48.

Coruh, Cahit, And Robinson, Edwis S. 1988. *Basic Eksploration Geophysics.* New York: John Wiley & Sons

D. Pangluar, Suroso.D. 1985. "*Petunjuk Penyelidikan Dan Penanggulangan Gerakan Tanah*". Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Das Bradja M., Endah Noor. 1985. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Das, Bradja M., Endah Noor., 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Daud, Dr. Yunus. 2007. *DC Resistivity Notes*. Depok: Peminatan Geofisika Departemen Fisika UI

Dwiyanto, JS. 2002. *Penanggulangan Tanah Longsor dengan Grouting*.Semarang: Pusdi Kebumian LEMLIT UNDIP.

Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong: Wiley.

Hansen, M.J., 1984, *Strategies for Classification of Landslides*, (ed. : Brunsden, D, & Prior, D.B., 1984, Slope Instability. John Wiley & Sons, p.1-25

Hardiyatmo, Hary Chirstady. 1992. *Mekanika Tanah II.* Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

Hardiyatmo, H.C, 2002, *Mekanika Tanah I (edisi III)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hendrajaya, L. 1990. *Pengukuran Resistivitas Bumi pada Satu Titik di Medium Tak Hingga*. Bandung.

Herianto.W. 1983. Analisa Kestabilan Lereng. Bandung.

Indrawati. 2008. *Penentuan Kedalaman Bidang Gelincir Daerah Rawan Gerakan Tanah Dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis, Tesis*.Padang: Universitas Andalas.

Ir. Karyono M.T, 2004. *Diklat Perencanaan Tambang Terbuka*, Unisba. Bandung: ITB

Iskandar, dkk. 2017. *Pemantauan Gerakan Tanah di Jembatan Cisomang Periode 1*. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi.

KBBI, 2016. https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/nendatan diakses pada 20 Januari 2018 pukul 07.48 WIB

Lin, C.P., Chang, C.C. And Chang, T.S., 2003, *The use of Masw Method in the Assessment of Soil Liquefaction Potential*. Taiwan: Department of Civil Engineering National Chiao Tung University.

Loke, M.H. 2004. 2-D and 3-D Electrical Imaging Survey. Revised Edition. www.geometrics.com diakses pada 22 Januari 2018 pukul 13.43 WIB

Milsom, John. 2003. *Field Geophysics, 3rd Edition*. England: John Willey & Sons Ltd.

Pangular, D.1985. *Petunjuk Penyelidikan & Penanggulangan Gerakan Tanah*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, 233 hal.

Purbo-Hadiwidjoyo, M.M., 1967. *Hydrogeology of Stratovolcanoes, a Geomorphic Approach*.International Association Hydrogeology Congress, Mem., 7, h. 293-298.

PVMBG. 2017. *Laporan Singkat Bencana Gerakan Tanah Pada Jembatan Cisomang Tol Cipularang Km 100+700 Kec. Cikalong Wetan, Kab. Bandung Barat, Prov. Jawa Barat*. Bandung: Bidang Mitigasi Gerakan Tanah PVMBG

PVMB. 2017. *Peta Geologi Lembar Cianjur, Jawa*. Bandung: Bidang Mitigasi Gerakan Tanah PVMBG

PVMBG. 2018. *Peta Prakiraan Gerakan Tanah Februari 2018 Wilayah Bandung Barat*. Bandung: Bidang Mitigasi Gerakan Tanah PVMBG

Rahmawati, A. 2009. *Pendugaan Bidang Gelincir Tanah Longsor Berdasarkan Sifat Kelistrikan Bumi Dengan Aplikasi Geolistrik Metode Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger (Studi Kasus di Daerah Karangsambung dan Sekitarnya, Kabupaten Kebumen).* Skripsi. Program Sarjana Sains FMIPA. Universitas Negeri Semarang.

Reynolds, Jhon M. 2005. *An Introduction to Applied and Eviromental Geophysics*. USA: Jhon Wiley & Sons, p 156-160

Romosi, Merzin. 2016. Skripsi: Pendugaan Bidang Gelincir Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis, MASW, dan Data Mekanika Tanah di Desa Cimuncang Kec. Malausma Kab. Majalengka. Lampung: Unisla

Rosyidi, S.A. 2006. *Kajian Metode Analisis Gelombang Seismik Permukaan Untuk Mengembangkan Teknik Evaluasi Perkerasan Lentur dan Kaku di Indonesia*. Volume 14, No. 13, Edisi 26 (Oktober 2006).

Sakka.2002. *Metoda Geolistrik Resistivitas. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*. Makasar: UNHAS.

Santoso, Djoko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB, p 99-110

Sears, Francis, W. Dkk. 1993. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga

Shearer, M. 2009. *Introduction to Seismology Second Edition*. New York. USA: Cambridge University press.

SNI, T. P. ,2012, SNI 1726:2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan non Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum

Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian dalam Bumi*. Sumatera Utara: Universitas Sumatera Utara.

Telford, W.M.1976. *Applied Geophysics.* USA: Combridge University Press.

Viridi S, Hilfan K, dkk. 1995. *Modul Semester Break Fisika Bumi.*Bandung: Jurusan Fisika ITB.

VSI, 2005.*Pengenalan Gerakan Tanah, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral*, dari http://ESDM.ac.id/pengenalan_gerakan _tanah/VSI, diunduh 19 Januari 2018 pukul 13.05.

Widodo, 2002, *Bahan Kuliah Teknik Gempa. Jurusan Teknik Sipil FTSP*, Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN
LAMPIRAN A

A.1 Kondisi Daerah penelitian

Gambar 1. Kondisi Jembatan Cisomang, pilar P0-P5

Gambar 2. Jembatan cisomang yang mengalami deformasi dengan latar depan di dasar sungai satuan batu lempung dari Formasi Jatiluhur

Gambar 3. Jembatan Cisomang yang melintasi sungai Cisomang di lihat dari atas menggunakan *Drone*

LAMPIRAN B

B.1 Data penelitian Metode Geolistrik

Tabel 1. Data hasil pengukuran dengan metode geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger

El-array	Spa.1	Spa.2	Spa.3	Spa.4	Rho	Dev	M	Sp	Vp	In
Wenner-Schulmberger	0	15	5	10	17.3	0.89	0	9.68	15.102	27.417
Wenner-Schulmberger	0	25	10	15	7.49	17.55	0	373.18	4.867	61.248
Wenner-Schulmberger	0	35	15	20	6.21	0.55	0	-295.32	21.979	667.08
Wenner-Schulmberger	0	45	20	25	7.92	0.03	0	511.7	13.086	518.902
Wenner-Schulmberger	0	55	25	30	6.97	0.37	0	-432.51	4.977	336.354
Wenner-Schulmberger	0	65	30	35	6.39	0.37	0	402.39	6.706	692.744
Wenner-Schulmberger	0	70	30	40	5.99	0.22	0	76.59	9.6	603.704
Wenner-Schulmberger	0	80	35	45	4.37	0.35	0	45.3	4.012	454.319
Wenner-Schulmberger	0	90	40	50	4.56	0.5	0	-171.97	5.559	765.985
Wenner-Schulmberger	0	100	45	55	4.28	2.47	0	-40.07	3.248	590.211
Wenner-Schulmberger	0	110	50	60	14.87	2.85	0	7.71	2.039	129.229
Wenner-Schulmberger	0	120	55	65	5.06	0.4	0	33.24	2.125	471.643
Wenner-Schulmberger	0	125	55	70	4.48	1.66	0	-34.55	1.61	289.572
Wenner-Schulmberger	0	135	60	75	6.84	2.58	0	39.61	1.777	244.886
Wenner-Schulmberger	0	145	65	80	9.26	2.86	0	97.28	1.738	204.529
Wenner-Schulmberger	0	155	70	85	4.75	5.82	0	-5.08	1.6	419.505
Wenner-Schulmberger	0	165	75	90	3.27	2.11	0	488.09	1.428	616.992
Wenner-Schulmberger	0	175	80	95	4.78	9.58	0	-281.14	1.524	507.347
Wenner-Schulmberger	5	20	10	15	25.19	0.09	0	35.15	14.911	18.594
Wenner-Schulmberger	5	30	15	20	11.1	10	0	363.4	4.919	41.759
Wenner-Schulmberger	5	40	20	25	8.52	0.22	0	-38.96	21.588	477.454
Wenner-Schulmberger	5	50	25	30	6.91	2.02	0	101.93	5.172	235.06
Wenner-Schulmberger	5	60	30	35	6.81	0.38	0	-89.47	5.359	370.787

Wenner-Schulmberger	5	70	35	40	5.38	0.87	0	262.61	3.348	410.483
Wenner-Schulmberger	5	75	35	45	5.26	0.28	0	29.75	5.321	381.511
Wenner-Schulmberger	5	85	40	50	4.88	0.69	0	-251.31	4.638	469.895
Wenner-Schulmberger	5	95	45	55	9.42	1.58	0	-117.38	3.959	264.185
Wenner-Schulmberger	5	105	50	60	4.41	0.39	0	130.28	2.168	381.915
Wenner-Schulmberger	5	115	55	65	3.45	2.86	0	48.19	0.831	226.695
Wenner-Schulmberger	5	125	60	70	4.92	1.37	0	-38.88	1.032	235.506
Wenner-Schulmberger	5	130	60	75	4.73	1.44	0	-18.06	1.624	276.643
Wenner-Schulmberger	5	140	65	80	4.62	2.19	0	101.82	1.399	285.401
Wenner-Schulmberger	5	150	70	85	4.79	0.03	0	260.56	1.003	227.99
Wenner-Schulmberger	5	160	75	90	4.01	2.65	0	137.97	0.769	238.796
Wenner-Schulmberger	5	170	80	95	-0.72	10.31	0	67.75	-0.215	420.609
Wenner-Schulmberger	10	25	15	20	16.48	0.76	0	117.17	14.567	27.769
Wenner-Schulmberger	10	35	20	25	8.81	7.64	0	373.7	5.669	60.627
Wenner-Schulmberger	10	45	25	30	7.2	0.09	0	-247.76	18.665	488.765
Wenner-Schulmberger	10	55	30	35	7.46	1.38	0	166.3	4.924	207.25
Wenner-Schulmberger	10	65	35	40	5.08	0.5	0	99.32	5.43	503.911
Wenner-Schulmberger	10	75	40	45	5.82	1.01	0	-20.83	3.768	427.429
Wenner-Schulmberger	10	80	40	50	8.69	0.05	0	-269.28	8.683	376.696
Wenner-Schulmberger	10	90	45	55	7.25	0.9	0	-50.87	7.837	534.973
Wenner-Schulmberger	10	100	50	60	4.5	0.39	0	72.59	3.245	453.442
Wenner-Schulmberger	10	110	55	65	2.74	10.22	0	-238.2	0.416	117.85
Wenner-Schulmberger	10	120	60	70	4.85	1.65	0	-69.55	1.992	386.645
Wenner-Schulmberger	10	130	65	75	5.27	1.37	0	251.94	1.347	286.858
Wenner-Schulmberger	10	135	65	80	7.42	0.65	0	326.08	2.025	219.958
Wenner-Schulmberger	10	145	70	85	5.04	2.76	0	305.65	0.979	183.244
Wenner-Schulmberger	10	155	75	90	3.72	4.04	0	184.63	1.204	352.491
Wenner-Schulmberger	10	165	80	95	0.94	23.61	0	-84.13	0.358	476.31
Wenner-Schulmberger	10	175	85	100	1.37	6.45	0	-225.07	0.396	408.676

Wenner-Schulmberger	15	30	20	25	13.89	0.31	0	208.53	15.551	35.181
Wenner-Schulmberger	15	40	25	30	7.18	20.12	0	194.58	2.555	33.519
Wenner-Schulmberger	15	50	30	35	7.6	0.32	0	-192.29	12.394	307.314
Wenner-Schulmberger	15	60	35	40	5.51	0.92	0	302.26	5.321	303.326
Wenner-Schulmberger	15	70	40	45	6.35	0.42	0	-208.43	4.451	330.393
Wenner-Schulmberger	15	80	45	50	11.23	0.47	0	-395.69	4.94	290.26
Wenner-Schulmberger	15	85	45	55	8	0.88	0	-107.62	7.761	365.675
Wenner-Schulmberger	15	95	50	60	10.98	0.18	0	386.3	5.149	231.959
Wenner-Schulmberger	15	105	55	65	6.56	1.88	0	-73.19	3.281	314.384
Wenner-Schulmberger	15	115	60	70	5.35	1.84	0	32.3	1.356	197.043
Wenner-Schulmberger	15	125	65	75	6.53	1.93	0	109.9	1.385	199.829
Wenner-Schulmberger	15	135	70	80	8.3	0.98	0	89.92	1.337	180.868
Wenner-Schulmberger	15	140	70	85	4.51	0.03	0	266.82	1.375	246.182
Wenner-Schulmberger	15	150	75	90	3.93	0.03	0	196.04	0.831	199.205
Wenner-Schulmberger	15	160	80	95	6.3	2.77	0	48.2	1.204	207.946
Wenner-Schulmberger	15	170	85	100	-2.73	6.44	0	-276.7	-0.731	334.083
Wenner-Schulmberger	20	35	25	30	7.56	0.17	0	-26.52	15.073	62.632
Wenner-Schulmberger	20	45	30	35	8.62	5.72	0	217.78	6.787	74.207
Wenner-Schulmberger	20	55	35	40	6.01	0.5	0	13.65	9.476	296.985
Wenner-Schulmberger	20	65	40	45	6.15	0.83	0	21.73	8.993	459.658
Wenner-Schulmberger	20	75	45	50	17.01	0.13	0	-324.91	16.019	443.762
Wenner-Schulmberger	20	85	50	55	11.44	0.83	0	369.49	9.103	524.784
Wenner-Schulmberger	20	90	50	60	12.91	0.06	0	171.22	15.341	448.104
Wenner-Schulmberger	20	100	55	65	6.23	0.6	0	-54.64	5.975	474.81
Wenner-Schulmberger	20	110	60	70	8.36	1.55	0	-12.99	1.581	118.848
Wenner-Schulmberger	20	120	65	75	7.05	0.2	0	106.63	3.582	395.216
Wenner-Schulmberger	20	130	70	80	7.92	1.52	0	126.42	2.421	288.116
Wenner-Schulmberger	20	140	75	85	4.74	3.77	0	200.69	1.266	300.171
Wenner-Schulmberger	20	145	75	90	4.81	2.16	0	177.13	1.118	187.519

Wenner-Schulmberger	20	155	80	95	5.11	2.5	0	14.84	2.154	397.159
Wenner-Schulmberger	20	165	85	100	2.16	8.95	0	-36.73	1.089	550.081
Wenner-Schulmberger	20	175	90	105	5.35	3.98	0	3.41	1.992	463.727
Wenner-Schulmberger	25	40	30	35	9.7	0.06	0	26.63	14.596	47.289
Wenner-Schulmberger	25	50	35	40	6.96	4.93	0	406.64	6.615	89.615
Wenner-Schulmberger	25	60	40	45	7.38	0.18	0	-341.57	19.945	509.077
Wenner-Schulmberger	25	70	45	50	21.16	1.17	0	131.18	11.682	173.435
Wenner-Schulmberger	25	80	50	55	25.47	0.15	0	-143.5	22.333	413.22
Wenner-Schulmberger	25	90	55	60	16.24	0.09	0	331.33	13.755	558.87
Wenner-Schulmberger	25	95	55	65	16.86	0.35	0	-0.4	14.662	327.94
Wenner-Schulmberger	25	105	60	70	6.85	0.49	0	-16.62	8.129	587.085
Wenner-Schulmberger	25	115	65	75	11.68	0.88	0	44.48	4.905	263.755
Wenner-Schulmberger	25	125	70	80	11.53	2.09	0	113.98	4.179	281.845
Wenner-Schulmberger	25	135	75	85	6.28	3.87	0	267.76	1.676	251.388
Wenner-Schulmberger	25	145	80	90	5.09	6.01	0	113.47	0.922	203.541
Wenner-Schulmberger	25	150	80	95	12.55	0.69	0	79.12	4.217	271.066
Wenner-Schulmberger	25	160	85	100	9.36	2.77	0	-30.08	2.842	286.277
Wenner-Schulmberger	25	170	90	105	6.6	2.44	0	40.36	4.289	708.084
Wenner-Schulmberger	30	45	35	40	9.79	0.03	0	244.52	14.739	47.31
Wenner-Schulmberger	30	55	40	45	8.67	22.81	0	98.19	2.636	28.654
Wenner-Schulmberger	30	65	45	50	18.56	0.38	0	-298.41	16.477	167.332
Wenner-Schulmberger	30	75	50	55	38.67	1.13	0	242.07	12.642	102.716
Wenner-Schulmberger	30	85	55	60	22.22	0.05	0	3.6	16.649	353.022
Wenner-Schulmberger	30	95	60	65	20.67	0.17	0	48.94	9.218	294.237
Wenner-Schulmberger	30	100	60	70	6.86	0.72	0	-68.02	12.599	692.241
Wenner-Schulmberger	30	110	65	75	16.48	1.28	0	58.29	4.174	125.298
Wenner-Schulmberger	30	120	70	80	10.83	0.21	0	138.27	9.046	525.002
Wenner-Schulmberger	30	130	75	85	6.15	3.66	0	309.24	2.708	342.304
Wenner-Schulmberger	30	140	80	90	4.66	3.02	0	106.84	1.839	372.028

Wenner-Schulmberger	30	150	85	95	16.99	1.02	0	-98.69	4.217	278.796
Wenner-Schulmberger	30	155	85	100	5.43	3.24	0	8.53	3.167	470.166
Wenner-Schulmberger	30	165	90	105	7.57	0.33	0	35.77	6.075	756.814
Wenner-Schulmberger	30	175	95	110	20.57	0.99	0	-157.82	10.928	578.633
Wenner-Schulmberger	35	50	40	45	12.42	0.12	0	-100.49	15.255	38.58
Wenner-Schulmberger	35	60	45	50	23.33	9.26	0	138.84	7.709	31.139
Wenner-Schulmberger	35	70	50	55	50.07	0.1	0	-163.48	15.675	59.012
Wenner-Schulmberger	35	80	55	60	45.52	0.42	0	229.51	13.831	95.449
Wenner-Schulmberger	35	90	60	65	25.44	0.16	0	-128.91	16.64	308.283
Wenner-Schulmberger	35	100	65	70	6.28	0.46	0	158.31	6.322	663.589
Wenner-Schulmberger	35	105	65	75	10.93	0.29	0	14.71	16.363	564.252
Wenner-Schulmberger	35	115	70	80	15.63	1.53	0	133.9	8.286	262.322
Wenner-Schulmberger	35	125	75	85	8.57	2.34	0	349.77	3.749	275.03
Wenner-Schulmberger	35	135	80	90	5.55	1.29	0	155.22	1.796	251.668
Wenner-Schulmberger	35	145	85	95	22.83	0.78	0	-158.23	4.938	203.836
Wenner-Schulmberger	35	155	90	100	6.52	3.57	0	116.28	2.689	463.151
Wenner-Schulmberger	35	160	90	105	12.16	1.11	0	67.01	4.346	288.139
Wenner-Schulmberger	35	170	95	110	14.07	1.6	0	-147.13	10.923	731.466
Wenner-Schulmberger	40	55	45	50	32.25	0.06	0	-61.33	15.417	15.018
Wenner-Schulmberger	40	65	50	55	41.02	6.23	0	248.27	12.322	28.314
Wenner-Schulmberger	40	75	55	60	77.82	0.05	0	-66.66	16.019	38.799
Wenner-Schulmberger	40	85	60	65	37.11	0.39	0	79.86	14.682	124.298
Wenner-Schulmberger	40	95	65	70	18.68	0.45	0	-78.99	12.618	318.335
Wenner-Schulmberger	40	105	70	75	15.4	0.32	0	172.11	11.453	490.741
Wenner-Schulmberger	40	110	70	80	22.91	0.36	0	137.33	7.498	123.403
Wenner-Schulmberger	40	120	75	85	10.14	0.29	0	367.38	10.727	523.406
Wenner-Schulmberger	40	130	80	90	5.69	1.86	0	142.5	3.071	338.981
Wenner-Schulmberger	40	140	85	95	9.18	1.28	0	-94.51	4.394	371.995
Wenner-Schulmberger	40	150	90	100	10.51	2.91	0	83.42	3.114	279.361

Wenner-Schulmberger	40	160	95	105	14.72	2.44	0	109.62	3.821	291.5
Wenner-Schulmberger	40	165	95	110	15.59	1.08	0	-136.79	14.476	748.893
Wenner-Schulmberger	40	175	100	115	12.12	1.08	0	-243.42	7.403	575.466
Wenner-Schulmberger	45	60	50	55	58.3	0.2	0	3.4	15.446	8.323
Wenner-Schulmberger	45	70	55	60	103.12	1.85	0	189.93	14.309	13.078
Wenner-Schulmberger	45	80	60	65	82.53	0.16	0	-98.31	15.856	36.216
Wenner-Schulmberger	45	90	65	70	20.9	0.32	0	90.05	14.28	214.67
Wenner-Schulmberger	45	100	70	75	15.13	0.4	0	-33.41	18.206	567.06
Wenner-Schulmberger	45	110	75	80	26.11	1.79	0	236.52	3.802	96.048
Wenner-Schulmberger	45	115	75	85	10.94	0.48	0	403.15	7.412	255.534
Wenner-Schulmberger	45	125	80	90	7.37	0.11	0	206.4	3.907	262.307
Wenner-Schulmberger	45	135	85	95	13.68	0.69	0	-190.59	5.192	238.423
Wenner-Schulmberger	45	145	90	100	10.95	3.46	0	152.37	2.718	192.93
Wenner-Schulmberger	45	155	95	105	12.31	0.37	0	147.44	5.473	419.042
Wenner-Schulmberger	45	165	100	110	13.91	1.77	0	-301.78	7.25	585.535
Wenner-Schulmberger	45	170	100	115	9.39	1.03	0	-250.78	6.94	596.058
Wenner-Schulmberger	50	65	55	60	84.47	0.21	0	85	16.267	6.05
Wenner-Schulmberger	50	75	60	65	159.77	0.99	0	52.01	15.288	9.019
Wenner-Schulmberger	50	85	65	70	33.3	0.11	0	-54.85	15.962	90.346
Wenner-Schulmberger	50	95	70	75	48.23	0.24	0	125.65	12.122	78.952
Wenner-Schulmberger	50	105	75	80	21.88	0.09	0	45.38	18.56	399.811
Wenner-Schulmberger	50	115	80	85	13.28	0.34	0	421.39	4.766	236.707
Wenner-Schulmberger	50	120	80	90	11.78	0.52	0	182.41	12.79	409.451
Wenner-Schulmberger	50	130	85	95	8.2	0.95	0	-187.46	4.829	291.491
Wenner-Schulmberger	50	140	90	100	8.24	1.81	0	104.21	4.169	317.837
Wenner-Schulmberger	50	150	95	105	14.83	1.38	0	177.32	4.848	254.16
Wenner-Schulmberger	50	160	100	110	52.29	0.72	0	-297.79	14.586	262.907
Wenner-Schulmberger	50	170	105	115	4.64	2.88	0	-194.68	2.111	511.08
Wenner-Schulmberger	50	175	105	120	7.12	1.83	0	-197.76	3.854	436.271

Wenner-Schulmberger	55	70	60	65	213.16	0.19	0	-9.59	15.207	2.241
Wenner-Schulmberger	55	80	65	70	78.14	0.61	0	21.18	13.76	16.595
Wenner-Schulmberger	55	90	70	75	71.38	0.25	0	17.94	15.656	41.34
Wenner-Schulmberger	55	100	75	80	37.42	0.63	0	244.29	10.889	91.422
Wenner-Schulmberger	55	110	80	85	27.21	0.15	0	244.58	5.559	96.278
Wenner-Schulmberger	55	120	85	90	11.33	0.5	0	-61.2	5.022	292.406
Wenner-Schulmberger	55	125	85	95	11.49	0.78	0	-249.59	5.335	175.107
Wenner-Schulmberger	55	135	90	100	11.52	2.45	0	177.93	3.935	169.097
Wenner-Schulmberger	55	145	95	105	18.29	1.29	0	190.33	4.184	143.747
Wenner-Schulmberger	55	155	100	110	-3.99	13.78	0	-240.93	-1.395	271.871
Wenner-Schulmberger	55	165	105	115	-5.48	3.65	0	-230.86	-1.891	325.239
Wenner-Schulmberger	55	175	110	120	11.7	3.3	0	-281.54	3.167	304.043
Wenner-Schulmberger	60	75	65	70	138.2	0.12	0	-9.73	15.541	3.533
Wenner-Schulmberger	60	85	70	75	134.91	0.84	0	107.11	15.56	10.87
Wenner-Schulmberger	60	95	75	80	106.8	0.16	0	63.99	15.455	27.277
Wenner-Schulmberger	60	105	80	85	51.59	0.16	0	335.39	14.959	91.087
Wenner-Schulmberger	60	115	85	90	20.48	0.19	0	-158.46	10.039	230.955
Wenner-Schulmberger	60	125	90	95	21.23	1.1	0	71.67	4.423	137.407
Wenner-Schulmberger	60	130	90	100	17.39	0.18	0	116.64	13.144	284.883
Wenner-Schulmberger	60	140	95	105	20.06	0.31	0	251.86	12.494	308.206
Wenner-Schulmberger	60	150	100	110	40.16	0.77	0	-262.04	15.966	249.805
Wenner-Schulmberger	60	160	105	115	23.7	0.47	0	-179.48	7.858	257.785
Wenner-Schulmberger	60	170	110	120	10.31	2.75	0	-109.84	5.316	485.731
Wenner-Schulmberger	65	80	70	75	257.19	0.25	0	54.09	14.72	1.798
Wenner-Schulmberger	65	90	75	80	184.34	0.53	0	122.5	16.367	8.368
Wenner-Schulmberger	65	100	80	85	92.41	0.31	0	274.14	15.331	31.272
Wenner-Schulmberger	65	110	85	90	36.32	0.16	0	-76.96	10.803	93.442
Wenner-Schulmberger	65	120	90	95	22.19	0.38	0	-95.14	18.779	398.837
Wenner-Schulmberger	65	130	95	100	33.88	0.36	0	388.06	10.03	195.311

Wenner-Schulmberger	65	135	95	105	28.64	0.68	0	208.28	14.366	189.078
Wenner-Schulmberger	65	145	100	110	54.35	0.43	0	-217.84	14.042	127.841
Wenner-Schulmberger	65	155	105	115	16.71	1.39	0	-197.51	11.343	426.498
Wenner-Schulmberger	65	165	110	120	11.73	0.48	0	38.93	9.118	604.374
Wenner-Schulmberger	65	175	115	125	16.28	1.29	0	-32.82	8.74	505.938
Wenner-Schulmberger	70	85	75	80	192.69	0.47	0	82.63	20.451	3.334
Wenner-Schulmberger	70	95	80	85	132.4	0.4	0	283.4	15.169	10.798
Wenner-Schulmberger	70	105	85	90	40.85	0.1	0	-125.52	15.398	71.048
Wenner-Schulmberger	70	115	90	95	30.1	1.42	0	88.7	6.954	72.569
Wenner-Schulmberger	70	125	95	100	45.91	0.72	0	136.32	19.195	197.042
Wenner-Schulmberger	70	135	100	105	21.24	0.18	0	167.67	7.432	230.785
Wenner-Schulmberger	70	140	100	110	25.13	0.68	0	-252.71	14.81	222.148
Wenner-Schulmberger	70	150	105	115	23.02	0.52	0	-238.87	11.84	254.488
Wenner-Schulmberger	70	160	110	120	20.74	1.12	0	41.12	8.707	263.743
Wenner-Schulmberger	70	170	115	125	13.33	0.65	0	15.1	9.691	565.386
Wenner-Schulmberger	75	90	80	85	158.25	0.25	0	282.94	15.608	3.099
Wenner-Schulmberger	75	100	85	90	61.05	0.56	0	-86.49	14.524	22.423
Wenner-Schulmberger	75	110	90	95	44.66	0.21	0	-78.05	15.407	65.032
Wenner-Schulmberger	75	120	95	100	68.82	0.3	0	448.46	14.108	64.407
Wenner-Schulmberger	75	130	100	105	22.55	0.2	0	-140.5	13.774	287.884
Wenner-Schulmberger	75	140	105	110	29.14	1.06	0	-90.36	9.094	205.867
Wenner-Schulmberger	75	145	105	115	27.86	0.24	0	-232.9	13.277	179.635
Wenner-Schulmberger	75	155	110	120	18.81	0.14	0	51.37	14.147	372.136
Wenner-Schulmberger	75	165	115	125	17.35	0.6	0	-3.54	13.798	499.606
Wenner-Schulmberger	75	175	120	130	14.07	0.4	0	144	7.785	430.265
Wenner-Schulmberger	80	95	85	90	98.42	0.09	0	-116.77	15.083	4.814
Wenner-Schulmberger	80	105	90	95	44.57	4.78	0	88.87	9.146	19.34
Wenner-Schulmberger	80	115	95	100	87.01	0.27	0	190.47	16.802	36.398
Wenner-Schulmberger	80	125	100	105	36.68	0.05	0	72.02	10.268	87.942

Wenner-Schulmberger	80	135	105	110	43.58	0.27	0	-293.59	18.818	203.458
Wenner-Schulmberger	80	145	110	115	36.37	0.48	0	163.58	8.618	156.335
Wenner-Schulmberger	80	150	110	120	23.06	0.54	0	51.8	13.76	224.911
Wenner-Schulmberger	80	160	115	125	35.07	0.76	0	30.6	12.58	177.483
Wenner-Schulmberger	80	170	120	130	16.02	0.36	0	90.48	11.061	433.948
Wenner-Schulmberger	85	100	90	95	41.92	0.49	0	-40.18	15.338	11.494
Wenner-Schulmberger	85	110	95	100	89.84	1.71	0	56.64	18.283	19.18
Wenner-Schulmberger	85	120	100	105	49.31	0.08	0	137.76	15.045	57.506
Wenner-Schulmberger	85	130	105	110	35.13	1.39	0	-45.61	8.936	79.922
Wenner-Schulmberger	85	140	110	115	24.66	0.44	0	-63.38	19.114	365.283
Wenner-Schulmberger	85	150	115	120	22.84	0.48	0	222.83	7.787	224.905
Wenner-Schulmberger	85	155	115	125	26.87	0.76	0	-5.33	15.121	212.18
Wenner-Schulmberger	85	165	120	130	21.69	0.3	0	9.09	15.236	347.581
Wenner-Schulmberger	85	175	125	135	16.03	0.47	0	167.26	14.099	552.608
Wenner-Schulmberger	90	105	95	100	79.4	0.25	0	152.46	16.114	6.376
Wenner-Schulmberger	90	115	100	105	59.65	0.65	0	123.37	11.926	18.843
Wenner-Schulmberger	90	125	105	110	49.17	1.23	0	-244.38	14.701	56.354
Wenner-Schulmberger	90	135	110	115	25.27	0.67	0	165	10.063	125.112
Wenner-Schulmberger	90	145	115	120	26.82	0.11	0	1.88	11.166	196.211
Wenner-Schulmberger	90	155	120	125	33.86	0.26	0	92.38	11.138	217.006
Wenner-Schulmberger	90	160	120	130	29.27	0.3	0	1.68	15.627	201.265
Wenner-Schulmberger	90	170	125	135	17.8	0.08	0	220.07	13.726	381.519
Wenner-Schulmberger	95	110	100	105	43.01	0.16	0	50.57	14.873	10.864
Wenner-Schulmberger	95	120	105	110	59.31	22.95	0	24.46	4.251	6.755
Wenner-Schulmberger	95	130	110	115	16.68	0.22	0	-55.37	19.706	222.637
Wenner-Schulmberger	95	140	115	120	19.19	0.34	0	243.99	6.734	110.274
Wenner-Schulmberger	95	150	120	125	33.26	0.67	0	-154.42	12.747	180.6
Wenner-Schulmberger	95	160	125	130	21.15	1.19	0	307.61	4.074	127.102
Wenner-Schulmberger	95	165	125	135	16.01	1.15	0	153.74	13.034	306.876

Wenner-Schulmberger	95	175	130	140	12.04	0.35	0	95.66	7.174	294.838
Wenner-Schulmberger	100	115	105	110	120.97	0.67	0	-189.76	14.725	3.824
Wenner-Schulmberger	100	125	110	115	29.61	8.43	0	140.9	3.931	12.512
Wenner-Schulmberger	100	135	115	120	29.41	0.69	0	35.31	17.165	110.03
Wenner-Schulmberger	100	145	120	125	48.32	1.12	0	104.9	7.971	51.831
Wenner-Schulmberger	100	155	125	130	33.67	0.32	0	23.26	23.345	326.73
Wenner-Schulmberger	100	165	130	135	22.6	0.72	0	214.84	9.839	287.262
Wenner-Schulmberger	100	170	130	140	22.26	0.24	0	81.69	16.286	275.843
Wenner-Schulmberger	105	120	110	115	46.53	0.46	0	58.65	14.863	10.036
Wenner-Schulmberger	105	130	115	120	50.85	4.95	0	399.73	8.497	15.748
Wenner-Schulmberger	105	140	120	125	54.24	0.56	0	-236.98	17.528	60.911
Wenner-Schulmberger	105	150	125	130	59.29	0.32	0	169.34	13.019	68.983
Wenner-Schulmberger	105	160	130	135	42.66	0.32	0	27.66	17.404	192.251
Wenner-Schulmberger	105	170	135	140	28.4	0.38	0	200.13	11.892	276.212
Wenner-Schulmberger	105	175	135	145	22.02	0.65	0	-67.18	15.556	266.297
Wenner-Schulmberger	110	125	115	120	107.07	0.34	0	188.4	14.5	4.254
Wenner-Schulmberger	110	135	120	125	67.85	27.28	0	103.04	2.66	3.695
Wenner-Schulmberger	110	145	125	130	82.72	0.43	0	-4.52	32.248	73.48
Wenner-Schulmberger	110	155	130	135	24.1	0.26	0	79.24	7.775	101.344
Wenner-Schulmberger	110	165	135	140	26.58	0.15	0	79.73	6.343	112.456
Wenner-Schulmberger	110	175	140	145	-20.16	11.5	0	184	-1.342	43.916
Wenner-Schulmberger	115	130	120	125	47.26	1.04	0	-54.4	14.959	9.943
Wenner-Schulmberger	115	140	125	130	91.45	12.97	0	207.81	5.053	5.207
Wenner-Schulmberger	115	150	130	135	49.48	0.33	0	-27.73	20.203	76.966
Wenner-Schulmberger	115	160	135	140	41.6	0.05	0	107.28	12.322	93.06
Wenner-Schulmberger	115	170	140	145	16.9	0.38	0	-33.78	8.809	245.7
Wenner-Schulmberger	120	135	125	130	115.22	0.28	0	111.7	14.968	4.081
Wenner-Schulmberger	120	145	130	135	83.77	7.17	0	100.21	6.352	7.146
Wenner-Schulmberger	120	155	135	140	45.38	0.37	0	16.41	16.955	70.422

Wenner-Schulmberger	120	165	140	145	32.52	1.08	0	54.8	11.496	111.049
Wenner-Schulmberger	120	175	145	150	40.33	0.28	0	62.7	19.123	223.428
Wenner-Schulmberger	125	140	130	135	101.86	0.08	0	42.33	15.264	4.708
Wenner-Schulmberger	125	150	135	140	67.27	3.95	0	121.84	6.663	9.335
Wenner-Schulmberger	125	160	140	145	39.65	0.71	0	-72.86	17.37	82.569
Wenner-Schulmberger	125	170	145	150	53.57	0.25	0	161.69	13.258	77.759
Wenner-Schulmberger	130	145	135	140	197.04	0.07	0	65.61	15.073	2.403
Wenner-Schulmberger	130	155	140	145	74.33	4.85	0	7.41	7.603	9.641
Wenner-Schulmberger	130	165	145	150	90.42	0.36	0	71.67	15.675	32.676
Wenner-Schulmberger	130	175	150	155	105.68	0.35	0	254.22	13.898	41.314
Wenner-Schulmberger	135	150	140	145	185.67	0.5	0	-42.45	15.021	2.542
Wenner-Schulmberger	135	160	145	150	132.16	3.68	0	145.19	8.516	6.073
Wenner-Schulmberger	135	170	150	155	172.63	0.34	0	157.63	15.618	17.053
Wenner-Schulmberger	140	155	145	150	181.7	0.36	0	102.26	14.834	2.565
Wenner-Schulmberger	140	165	150	155	218.23	1.35	0	229.67	14.533	6.277
Wenner-Schulmberger	140	175	155	160	147.76	0.3	0	-4.38	16	20.41
Wenner-Schulmberger	145	160	150	155	335.32	0.07	0	199.45	15.159	1.42
Wenner-Schulmberger	145	170	155	160	240.4	0.87	0	21.96	13.645	5.35
Wenner-Schulmberger	150	165	155	160	270.01	0.14	0	21.34	15.236	1.773
Wenner-Schulmberger	150	175	160	165	169.79	0.48	0	-118.95	14.806	8.218
Wenner-Schulmberger	155	170	160	165	345.53	0.34	0	-126.3	15.388	1.399
Wenner-Schulmberger	160	175	165	170	254.52	0.37	0	45.4	15.169	1.872

Tabel 2. Data koordinat dan elevasi lintasan geolistrik

Titik	Lintang Selatan	Bujur Timur	Elevasi
1	06º42'06.2	107º25'58.1	500
2	06º42'06.2	107º25'57.9	501
3	06º42'06.4	107º25'58.4	501

4	06º42'06.3	107º25'58.5	503
5	06º42'06.2	107º25'58.6	505
6	06º42'06.3	107º25'58.7	508
7	06º42'05.8	107º25'58.8	511
8	06º42'05.6	107º25'59.2	515
9	06º42'05.2	107º25'58.7	517
10	06º42'05.0	107º25'58.7	518
11	06º42'04.9	107º25'58.9	520
12	06º42'04.8	107º25'59.0	522
13	06º42'04.6	107º25'59.1	524
14	06º42'04.5	107º25'59.0	527
15	06º42'04.4	107º25'59.1	529
16	06º42'04.2	107º25'59.2	531
17	06º42'04.1	107º25'59.3	532
18	06º42'04.0	107º25'59.6	533
19	06º42'03.9	107º25'59.7	534
20	06º42'03.7	107º25'59.8	534
21	06º42'03.7	107º26'00.0	536
22	06º42'03.9	107º26'00.1	543
23	06º42'03.4	107º26'00.1	559
24	06º42'03.4	107º26'00.3	559
25	06º42'03.4	107º26'00.3	567
26	06º42'03.3	107º26'00.5	561
27	06º42'03.5	107º26'00.6	562
28	06º42'03.4	107º26'00.8	563
29	06º42'03.5	107º26'01.1	568
30	06º42'03.4	107º26'01.3	568

31	06º42'03.4	107º26'01.2	569
32	06º42'03.1	107º26'01.1	569
33	06º42'02.9	107º26'01.4	572
34	06º42'02.7	107º26'01.5	574
35	06º42'02.6	107º26'01.5	576
36	06º42'02.6	107º26'01.6	576

B.2 Dokumentasi Akuisisi Metode Geolistrik

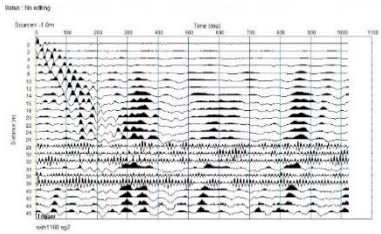
Gambar 4. Pengukuran lintasan Geolistrik

Gambar 5. Kondisi penelitian untuk lintasan Geolistrik

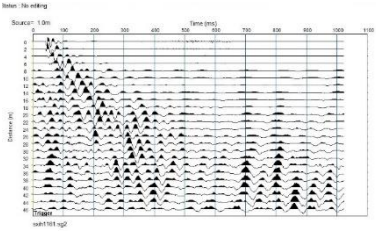
Gambar 6. Pengambilan data Geolistrik dengan Iris Instrument Pro

LAMPIRAN C

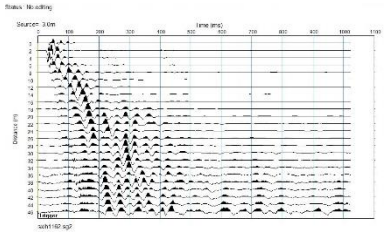
C.1 Data penelitian Metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*)



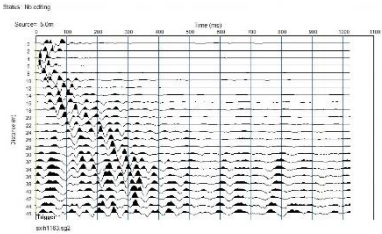
Gambar 7. Pukulan pertama MASW



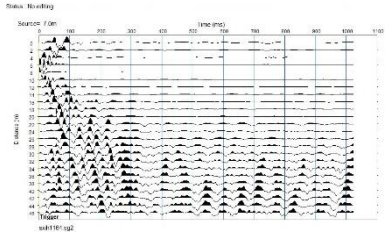
Gambar 8. Pukulan ke-2 MASW



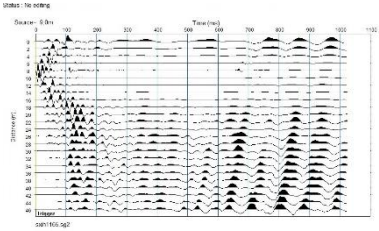
Gambar 9. Pukulan ke-3 MASW



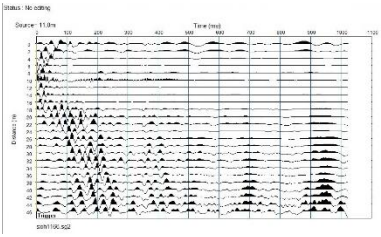
Gambar 10. Pukulan ke-4 MASW



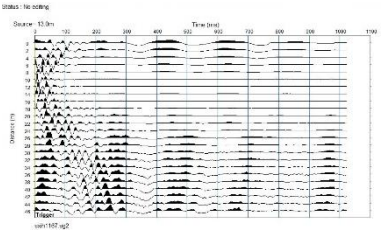
Gambar 11. Pukulan ke-5 MASW



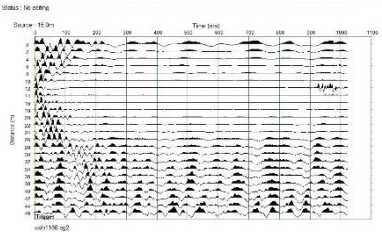
Gambar 12. Pukulan ke-6 MASW



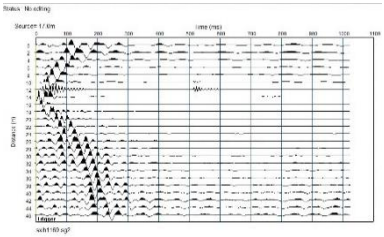
Gambar 13. Pukulan ke-7 MASW



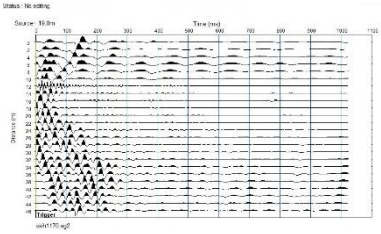
Gambar 14. Pukulan ke-8 MASW



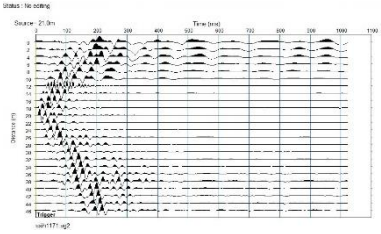
Gambar 15. Pukulan ke-9 MASW



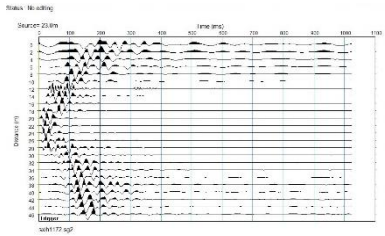
Gambar 16. Pukulan ke-10 MASW



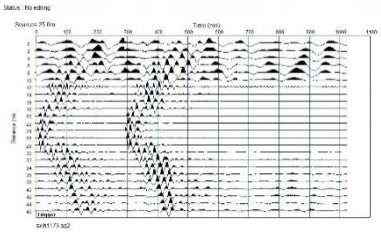
Gambar 17. Pukulan ke-11 MASW



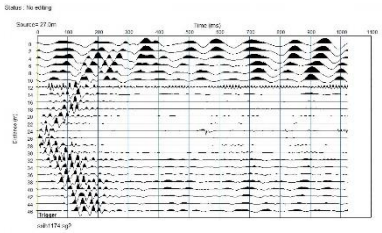
Gambar 18. Pukulan ke-12 MASW



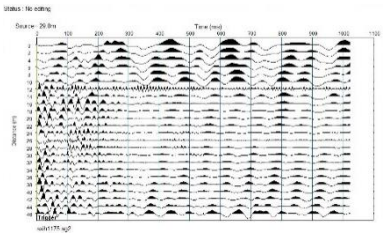
Gambar 19. Pukulan ke-13 MASW



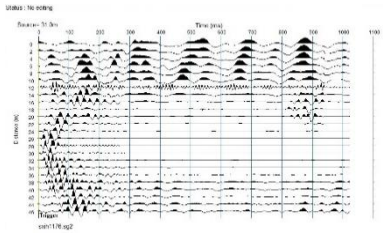
Gambar 20. Pukulan ke-14 MASW



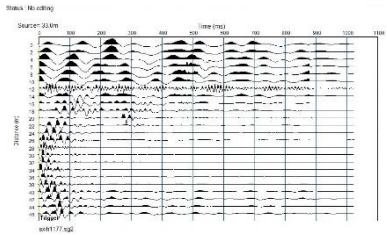
Gambar 21. Pukulan ke-15 MASW



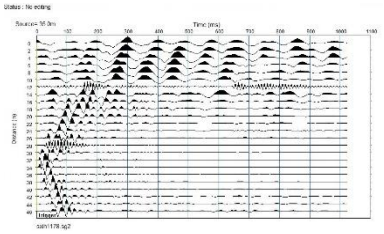
Gambar 22. Pukulan ke-16 MASW



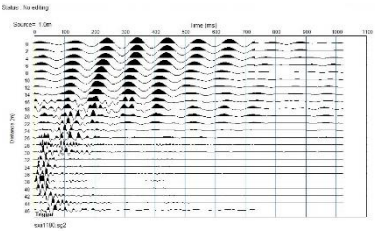
Gambar 23. Pukulan ke-17 MASW



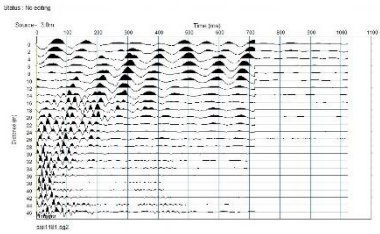
Gambar 24. Pukulan ke-18 MASW



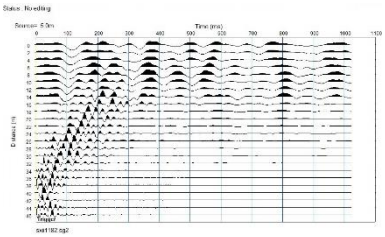
Gambar 25. Pukulan ke-19 MASW



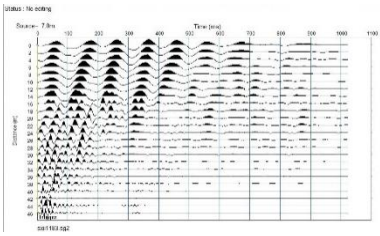
Gambar 26. Pukulan ke-20 MASW



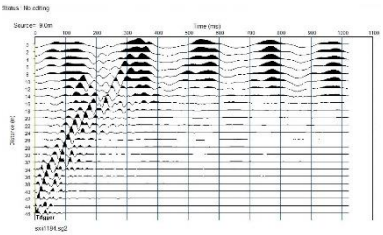
Gambar 27. Pukulan ke-21 MASW



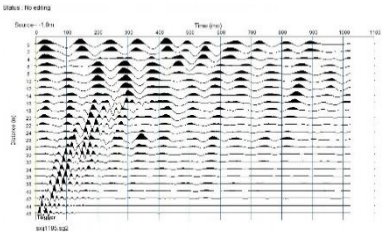
Gambar 28. Pukulan ke-22 MASW



Gambar 29. Pukulan ke-23 MASW



Gambar 30. Pukulan ke-24 MASW



Gambar 31. Pukulan ke-25 MASW

C.2 Peralatan dan akuisisi data Metode MASW (*Multichannel Analysis of Surface Wave*)

Gambar 32. Alat akuisisi MASW OYO SEISMIC

Gambar 31. Peralatan akuisisi MASW

Gambar 31. Proses akuisisi MASW

LAMPIRAN D

D.1 Data hasil Uji Laboratorium Mekanika Tanah (Sampel 1, lapisan atas)

Tabel 3. Hasil uji laboratorium sampel 1

LABORATORY TEST RESULT

PROJECT : TOL CIPULARANG						LOCATION		: CISOMANG				
Sample	DEPTH	GS	Wn	γn	γdry	LL	SR	e	Prosentase			DIRECT
									Passing Sieve			Shear Test
NO.	in					%			4	40	200	∅ °
						PI	%	n				
	meter		%	t/m³	t/m³	%			%	%	%	C(kg/cm²)
: TS. 1	: 0.50 m.	2.65	11.87	1.377	1.23	NP	27	1.15 / 0.54	96.08	92.06	85.22	9.65 / 0.11

D.2 Data hasil Uji Laboratorium Mekanika Tanah (Sampel 2, lapisan bawah)

Tabel 4. Hasil uji laboratorium sampel 2

LABORATORY TEST RESULT

PROJECT : : SOIL INVESTIGATION						LOCATION		: CISOMANG					
SAMPLE	DEPTH	GS	Wn	γn	γdry	LL	SR	e	Prosentase			TRIAXIAL COMPRESSION	
									Passing Sieve			TEST	
No.						%			4	40	200	Ø	C
						PI	%	n					
			%	t/m³	t/m³	%			%	%	%	()°	(Kg/cm²)
: TS. 1		**2.62**	**57.56**	**1.50**	**0.95**	**50.89 / 15.34**	86	**1.75 / 0.64**	**99.76**	**95.84**	**89.11**	**7.76**	**0.04**

LAMPIRAN E

E.1 Data hasil pemantauan menggunakan GPS Trimble

BULAN MEI 2017

Tabel 5. Hasil pengukuran GPS 1, GPS 2, dan GPS 3 pada hari Jum'at, 19 Mei 2017 dan GPS 4, GPS 5 dan GPS 6 pada hari Sabtu, 20 Mei 2017 di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat dalam format UTM Zona 48S.

Nama Titik	KOORDINAT UTM WGS 84 (M)		ELEVASI (m)	Keterangan
	Easting (m)	Northing (m)		
REFFERENSI	768635,79834	9260387,08007	546,15000	Titik Referensi
GPS 01	769055,63363	9258450,66615	577,94644	Patok Geser
GPS 02	769149,82859	9258835,20715	582,58954	Patok Geser
GPS 03	768970,78298	9258681,54444	573,85022	Patok Geser
GPS 04	769052,66221	9258562,51218	541,29420	Patok Geser
GPS 05	768785,04914	9258968,40805	580,62471	Patok Geser
GPS 06	769087,72146	9259240,86236	624,47482	Patok Geser

Tabel 6. Hasil pengukuran GPS 1, GPS 2, dan GPS 3 pada hari Minggu, 21 Mei 2017 dan GPS 4, GPS 5 dan GPS 6 pada hari Senin, 22 Mei 2017 di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat dalam format UTM Zona 48S.

Nama Titik	KOORDINAT UTM WGS 84 (M)		ELEVASI	Keterangan
	Easting	Northing		
REFFERENSI	768635,79834	9260387,08007	546,15000	Titik Referensi
GPS 01	769055,62790	9258450,68183	577,94987	Patok Geser
GPS 02	769149,82392	9258835,22536	582,59137	Patok Geser
GPS 03	768970,77538	9258681,56223	573,85457	Patok Geser
GPS 04	769052,66160	9258562,50497	541,28096	Patok Geser
GPS 05	768785,04016	9258968,39864	580,61579	Patok Geser
GPS 06	769087,72300	9259240,85467	624,57346	Patok Geser

Tabel 7. Hasil analisa pergeseran horisontal dan vertikal patok ukur pengukuran pergerakan tanah di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat dalam format UTM Zona 48S.

Nama Titik/Patok	delta Easting (m)	delta Northing (m)	Resultan (m)	delta elevasi (m)	Arah pergeseran
REFFERENSI	0,00000	0,00000			
GPS 01	-0,00573	0,01568	0,01669	0,00343	Barat Laut, Naik
GPS 02	-0,00467	0,01821	0,01878	0,00183	Barat Laut, Naik
GPS 03	-0,00760	0,01779	0,01934	0,00435	Barat Laut, Naik

GPS 04	-0,00061	-0,00721	0,00723	-0,01324	Barat Daya, Turun
GPS 05	-0,00898	-0,00941	0,01300	-0,00892	Barat Daya, Turun
GPS 06	0,00154	-0,00769	0,00784	0,09864	Tenggara, Naik

BULAN AGUSTUS 2017

Tabel 8. Hasil pengukuran GPS 1, GPS 2, dan GPS 3 pada hari Rabu, 16 Agustus 2017 dan GPS 4, GPS 5 dan GPS 6 pada hari Kamis, 17 Agustus 2017 di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat dalam format UTM Zona 48S.

Nama Titik	KOORDINAT UTM WGS 84 (M)		ELEVASI	Keterangan
	Easting	Northing		
REFFERENSI	769055,62692	9258450,67022	578,065	Titik Referensi
GPS 01	769149,84012	9258835,21649	582,724	Patok Geser
GPS 02	768970,78083	9258681,54626	573,945	Patok Geser
GPS 03	769052,66807	9258562,49319	541,374	Patok Geser
GPS 04	768785,04018	9258968,39159	580,683	Patok Geser
GPS 05	769087,72784	9259240,84382	624,633	Patok Geser
GPS 06	769055,62692	9258450,67022	578,065	Patok Geser

Tabel 9. Hasil analisa pergeseran horisontal dan vertikal patok ukur pengukuran pergerakan tanah di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan,

Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat dalam format UTM Zona 48S.

Nama Titik/Patok	delta Easting (m)	delta Northing (m)	Resultan (m)	delta elevasi (m)	Arah pergeseran
REFFERENSI	0,00000	0,00000			
GPS 01	- 0.00647	0,01139	0,01309	0,116	Barat Laut
GPS 02	0,01139	0,00927	0,01468	0,133	Timur Laut
GPS 03	0,00218	0,00161	0,00271	0,095	Barat Laut
GPS 04	0,00422	0,01223	0,01303	0,012	Tenggara
GPS 05	0,00967	0,01145	0,01499	0,011	Barat Daya
GPS 06	0,00506	0,01434	0,01521	0,099	Tenggara

BULAN FEBRUARI 2018

Tabel 10. Hasil pengukuran GPS 1 dan GPS 3 pada hari Kamis, 15 Februari 2018, GPS 2, GPS 5 dan GPS 6 pada hari Minggu, 16 Februari 2018, dan GPS 7 pada hari Sabtu, 17 Februari 2018 di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat dalam format UTM Zona 48S.

Nama Titik/Patok	KOORDINAT UTM WGS 84 (M)		ELEVASI	Keterangan
	Easting	Northing		
REFFERENSI	769055,62692	9258450,67022	578,065	Titik Referensi

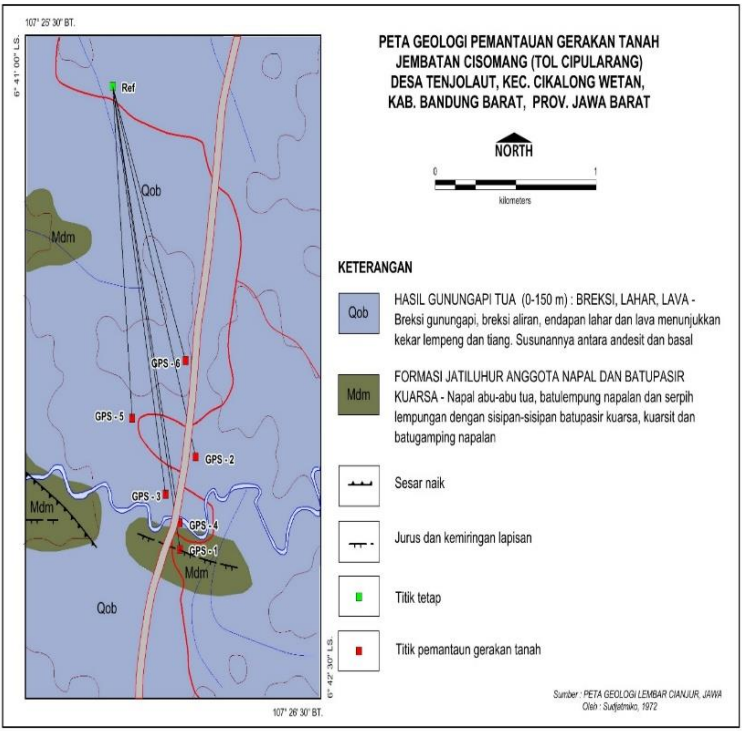
GPS 01	769055.63054	9258450.66592	578.483	Patok Geser
GPS 02	769149.85524	9258835.20475	583.136	Patok Geser
GPS 03	768970.77054	9258681.52890	574.313	Patok Geser
GPS 04	-	-	-	-
GPS 05	768785.02344	9258968.39277	581.087	Patok Geser
GPS 06	769087.72528	9259240.84251	624.803	Patok Geser
GPS 07	768968.5954	9258602.04169	542.540	Patok Baru

Tabel 11. Hasil analisa pergeseran horisontal dan vertikal patok ukur pengukuran pergerakan tanah di Jalan Tol Cipularang KM 100 tepatnya di Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat dan di Desa Darangdan, Kecamatan Darangdan, Kabupaten Purwakarta, Provinsi Jawa Barat dalam format UTM Zona 48S.

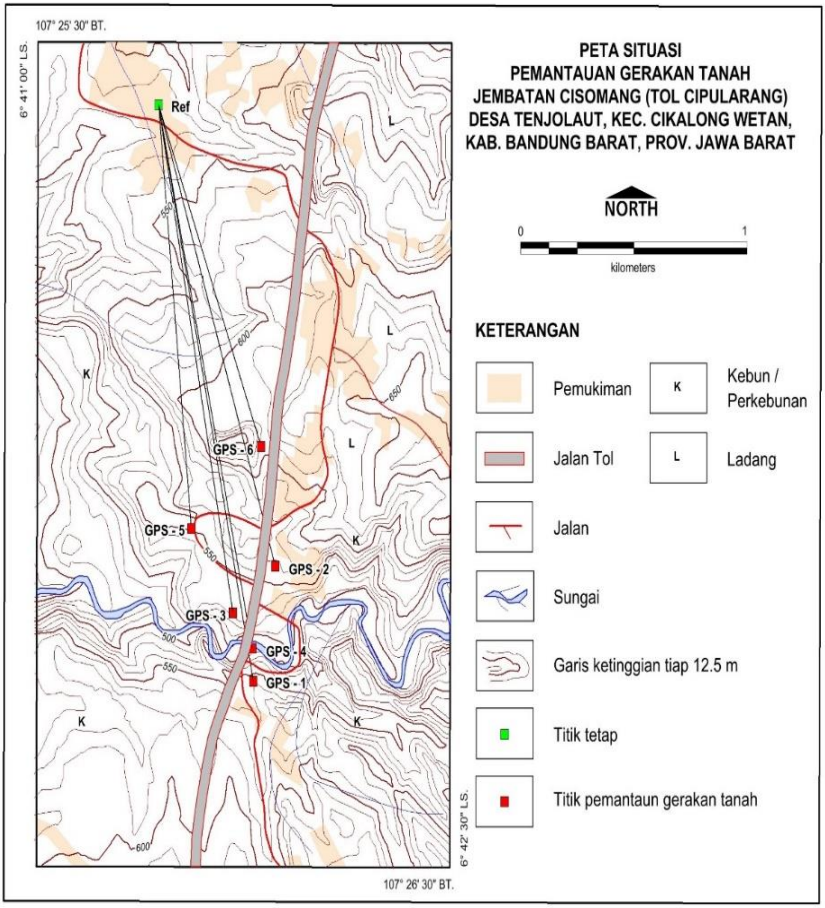
Nama Titik/Patok	**delta Easting (m)**	**delta Northing (m)**	**Resultan (m)**	**delta elevasi (m)**	**Arah pergeseran**
REFFERENSI	0,00000	0,00000			
GPS 01	0.00362	-0.00430	0.00562089	0.41800	Barat Laut, Naik
GPS 02	0.01512	-0.01174	0.019142675	0.41200	Barat Laut, Naik
GPS 03	-0.01029	-0.01736	0.020180528	0.36800	Barat Laut, Naik
GPS 04	-	-	-	-	-
GPS 05	-0.01674	0.00118	0.016781538	0.40400	Barat Daya, Turun
GPS 06	-0.00256	-0.00131	0.002875709	0.17000	Tenggara, Naik

GPS 07	-	-	-	-	-

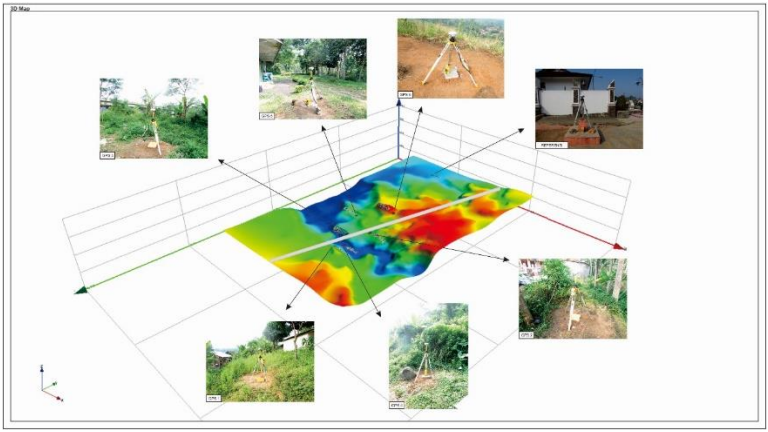
E.2 Lokasi pemantauan menggunakan GPS Trimble



Gambar 32. Peta geologi pemantauan gerakan tanah di Jembatan Cisomang (Tol Cipularang) dan sekitarnya, Kabupaten Bandung Barat dan Kabupaten Purwakata, Provinsi Jawa Barat



Gambar 33. Peta situasi pemantauan gerakan tanah Jembatan Cisomang (Tol Cipularang), Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat



Gambar 34. Lokasi pemantauan gerakan tanah dan titik referensi

Gambar 35. Proses pengambilan data dengan menggunakan GPS Trimble di sekitar Jembatan Cisomang

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BIODATA

Penulis bernama Addinal Fikriyah merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan di Jombang, 07 Oktober 1995 dari pasangan Bapak Ismanto, S.T dan Ibu Lilik Juniarti, S.Pd. Saat ini tinggal di RT 01, RW 01, Dusun Caben, Sumberteguh, Kudu, Jombang, Jawa Timur. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai tahun 2000 di TK Sebelas Maret, di SDN Kudubanjar 01 diselesaikan pada tahun 2008, di SMPN Kudu pada tahun 2011, SMAN Mojoagung diselesaikan pada tahun 2014 dan akhirnya pada tahun yang sama penulis tercatat sebagai mahasiswa S1 Departemen Fisika FIA-ITS Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis terdaftar dan aktif dibeberapa organisasi seperti Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMASIKA) sebagai staff SOSDEV pada periode 2015-2016 dan sebagai sekretaris SOSMAS pada perode 2016-2017, sebagai staff Ristek HMGI Wilayah IV pada perode 2016-2017. Penulis pernah bergabung dalam berbagai kepanitiaan seperti 3rd Physics Summit dan 5rd Physics Summit. Aktifitas lainnya adalah sebagai Asisten Laboratorium Fisika Dasar I. Pada bulan Agustus 2017 penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) Bandung dan pada bulan Januari-Maret 2018 melaksanakan Tugas Akhir (TA) di tempat yang sama. Hingga akhirnya penulis menyelesaikan pendidikan sarjananya pada bulan Juli tahun 2018. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat dan dapat dikembangkan lebih lanjut. Kritik dan saran dapat dikirim ke dinan4885@gmail.com

“Halaman ini sengaja dikosongkan”