TUGAS AKHIR - RF141501

INTEGRASI DATA SEISMIK DAN MAGNETOTELURIK UNTUK MENINGKATKAN PENCITRAAN SEISMIK DAERAH VULKANIK (STUDI KASUS: SUB-VULKANIK CEKUNGAN SERAYU UTARA)

NUHA MALIHATI
NRP 3714100064

Dosen Pembimbing I:
Wien Lestari, S.T., M.T.
19811002 201212 2 003

Dosen Pembimbing II:
Firman Syaiffudin, S.Si., M.T.
19840911 201404 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

TUGAS AKHIR - RF141501

INTEGRASI DATA SEISMIK DAN MAGNETOTELURIK UNTUK MENINGKATKAN PENCITRAAN SEISMIK DAERAH VULKANIK (STUDI KASUS: SUB-VULKANIK CEKUNGAN SERAYU UTARA)

NUHA MALIHATI
NRP 3714100064

Dosen Pembimbing I:
Wien Lestari, S.T., M.T.
19811002 201212 2 003

Dosen Pembimbing II:
Firman Syaiffudin, S.Si., M.T.
19840911 201404 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN DAN KEBUMIAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

UNDERGRADUATE THESIS – RF141501

INTEGRATION OF SEISMIC AND MAGNETOTELLURIC DATA TO ENHANCE SEISMIC IMAGING IN VOLCANIC ENVIRONMENT (CASE STUDY: SUB-VOLCANIC NORTH SERAYU BASIN)

NUHA MALIHATI
NRP 3714100064

Lecturer Advisors I:
Wien Lestari, S.T., M.T.
19811002 201212 2 003

Lecturer Advisors II:
Firman Syaiffudin, S.Si., M.T.
19840911 201404 1 001

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF CIVIL, ENVIRONMENT AND GEO ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

INTEGRASI DATA SEISMIK DAN MAGNETOTELURIK UNTUK MENINGKATKAN PENCITRAAN SEISMIK DAERAH VULKANIK (STUDI KASUS: SUB-VULKANIK CEKUNGAN SERAYU UTARA)

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 12 Juli 2018

Menyetujui,

1. **Wien Lestari, S.T., M.T.** **(Pembimbing I)**
   NIP. 1981 1002 201212 2 003

2. **Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.** **(Pembimbing II)**
   NIP. 1984 0911 201404 1 001

3. **Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.** **(Penguji I)**
   NIP. 1959 1010 198803 1 002

4. **M. Haris Miftakhul Fajar, S.T., M. Eng.** **(Penguji II)**
   NIP. 1989 0208 201804 1 001

Mengetahui,
Kepala Laboratoriun Petrofisika
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Wien Lestari, S.T., M.T.
NIP. 1981 1002 201212 2 003

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

INTEGRASI DATA SEISMIK DAN MAGNETOTELURIK UNTUK MENINGKATKAN PENCITRAAN SEISMIK DAERAH VULKANIK (STUDI KASUS: SUB-VULKANIK CEKUNGAN SERAYU UTARA)

Penulis	:	Nuha Malihati
NRP	:	3714100064
Departemen	:	Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing	:	Wien Lestari, S.T., M.T. NIP. 19811002 201212 2 003 Firman Syaifuddin S.Si., M.T. NIP. 19840911 201404 1 001

ABSTRAK

Penemuan rembesan minyak dan gas bumi yang terjadi di area sub-vulkanik Pulau Jawa memberikan informasi keberadaan potensi batuan induk yang mengandung unsur organik tertutup dengan lapisan batuan vulkanik di daerah tersebut. Metode seismik merupakan salah satu metode yang telah terbukti efektif dalam memetakan target minyak dan gas bumi. Namun, keberadaan beberapa jenis batuan vulkanik yang berasal dari deposit sub-vulkanik menciptakan litologi kompleks dengan kerumitan respon gelombang. Hal ini mengakibatkan reflektor vulkanik yang diidentifikasi dari data seismik menjadi rancu (blur). Oleh sebab itu, diperlukan integrasi dari metode lain untuk memecahkan permasalahan tersebut. Salah satunya adalah dengan mengintegrasikan data seismik dan magnetotelurik. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sintetik seismik dan magnetotelurik dari zona sub-vulkanik cekungan Serayu Utara. Daerah tersebut memiliki *trap petroleum* berupa standstone berstruktur *toe thrust* yang terletak di bawah lapisan basalt yang kemudian menjadi target dalam penelitian ini. Proses integrasi diawali dengan mengonversi nilai resistivitas data magnetotelurik ke kecepatan dengan menggunakan Persamaan Faust dan didapat nilai a dan c sebesar 130.3888788 dan 0.19999999 untuk menghasilkan nilai konversi kecepatan yang sesuai dengan nilai kecepatan pada model. Setelah itu, nilai kecepatan hasil konversi tersebut dimasukkan ke dalam proses *velocity analysis* pada pengolahan data seismik. Berdasarkan pengolahan data integrasi, didapat bahwa data magnetotelurik bisa meningkatkan kualitas penampang seismik dengan memperlihatkan kemenerusan even reflektor pada zon target (kedalaman 4000-6000 ms) dimana jika dengan data seismik saja zona tersebut mengalami pengaburan reflektor sehingga menimbulkan kesulitan dalam proses interpretasi.

Kata kunci: frekuensi rendah, integrasi data, Persamaan Faust, sub-vulkanik

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

INTEGRATION OF SEISMIC AND MAGNETOTELLURIC DATA TO ENHANCE SEISMIK IMAGING IN VOLCANIC ENVIRONMENT (CASE STUDY: SUB-VOLCANIC NORTH SERAYU BASIN)

Researcher	:	Nuha Malihati
NRP	:	3714100064
Departement	:	*Geophysical Engineering*
Lecturer Advisors	:	Wien Lestari, S.T., M.T. NIP. 19811002 201212 2 003 Firman Syaifuddin S.Si., M.T. NIP. 19840911 201404 1 001

ABSTRACT

The discovery of oil and gas seepage occurring in the sub-volcanic area of Java Island provides information on the potential existence of a source rock containing a closed organic element with a layer of volcanic rock in the area. Seismic method is one method that has been proven effective in mapping oil and gas targets. However, the existence of several types of volcanic rock originating from sub-volcanic deposits creates complex lithology with the complexity of wave response. This results in the identified volcanic reflector of seismic data being blurred. Therefore, integration is needed from other methods to solve the problem. One way is to integrate the seismic and magnetotelluric data. The data used in this research is the synthetic seismic and magnetoteluric data from sub-volcanic area of North Serayu basin. The area has a petroleum trap in the form of a toe thrust structured of standstone located beneath the basalt layer which later became the target in this study. The integration process begins by converting the magnetoteluric data resistivity value to velocity using the Faust Equation and obtaining the values of a and c of 130.3888788 and 0.19999999 to produce a velocity conversion value corresponding to the velocity value of the model. After that, the value of the velocity of the conversion results is integrated into the process of velocity analysis on seismic data processing. Based on integration processing, it is found that magnetotelluric data can enhance seismic imaging quality by showing the continuity of the reflector event at the target zone (depth 4000-6000 ms) where if with seismic data only the target zone blurring of reflector causing difficulties in interpretation process.

Keyword: Faust Equation, low frequency, integration data, sub-volcanic

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT. karena dengan Kasih dan Karunia-Nya Sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul "Integrasi Data Seismik dan Magnetotelurik untuk Meningkatkan Pencitraan Seismik Daerah Vulkanik (Studi Kasus: Sub-Vulkanik Cekungan Serayu Utara)" dapat terselesaikan.

Pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan,bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak, Ibu, Abang dan semua keluarga atas dukungan dan doa yang selalu ditujukan kepada penulis selama kuliah terutama selama menjalani Tugas Akhir ini.
2. Ibu Wien Lestari, S.T., M.T. dan Bapak Firman Syaifuddin, S.Si., M.T. selaku pembimbing.
3. Seluruh Tim Integrasi Pencitraan Lingkungan Sub-Vulkanik (Jeremy, Irsyad, Fikri) yang selalu menemani dan mendukung penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2014 atas bantuan dan dukungannya.
5. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2013, 2015 dan 2016 atas dukungannya.
6. Seluruh dosen dan pegawai administrasi Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
7. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 23 Juli 2018

Nuha Malihati
NRP. 3714100064

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERNYATAAN KEASLIAN
TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan **"Integrasi Data Seismik dan Magnetotelurik untuk Meningkatkan Pencitraan Seismik Daerah Vulkanik (Studi Kasus: Sub-Vulkanik Cekungan Serayu Utara)"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 23 Juli 2018

Nuha Malihati
NRP. 3714100064

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
LEMBAR PENGESAHAN v
ABSTRAK vii
ABSTRACT ix
KATA PENGANTAR xi
PERNYATAAN KEASLIAN xiii
DAFTAR ISI xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR TABEL xix
BAB I. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 1
1.3 Batasan Masalah 2
1.3 Tujuan 2
1.4 Manfaat 2
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA 3
2.1 Penelitian Sebelumnya 3
2.2 Geologi Regional 5
2.3 Stratigrafi Regional 8
2.4 Model Geologi Kompleks Serayu Utara 9
2.5 Metode Magnetotelurik 10
2.6 Persamaan Maxwell 11
2.7 Metode Seismik Refleksi 12
2.8 Hubungan Resistivitas dengan Kecepatan 15
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN 17
3.1 Data 17
3.2 Perangkat lunak 17

3.3 Diagram Alir Penelitian 18
3.4 Prosedur Penelitian 19
3.5 Jadwal Penelitian 36
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN 39
4.1 Data Magnetotelurik 39
4.2 Data Seismik 44
4.3 Integrasi Data Seismik dengan Magnetotelurik 47
BAB V. PENUTUP 51
5.1 Simpulan 51
5.2 Saran 51
DAFTAR PUSTAKA 53
LAMPIRAN-LAMPIRAN 55
PROFIL PENULIS 61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2 1 Penampang seismik dengan model desain akuisisi seismik (Ghazalli dkk., 2016) 3
Gambar 2 2 Interpretasi linatasan seismik integrasi dengan magnetotelurik (Fikri dkk., 2018) 4
Gambar 2 3 Interpretasi seismik integrasi dengan gravitasi (Fikri dkk., 2018) .. 4
Gambar 2 4 Fisiografi Zona Serayu (Jyalita, 2013) 5
Gambar 2 5 Tektonostratigrafi Kenozoikum Zona Serayu (Asikin, 1992) 8
Gambar 2 6 Skema geologi pada tengah jawa menampilkan tipe *petroleum play* Serayu Utara, lingkaran hitam menunjukan *toe thrust* yang merupakan jebakan hidrokarbon yang ditutupi oleh batuan vulkanik (Van Bemmelen, 1949) 9
Gambar 2 11 Koreksi elevasi saat *shot* point di bawah batas lapisan lapuk (kiri) dan atas lapisan lapuk atau koreksi refraksi (kanan) (Agus, 2010)13
Gambar 2 13 Hubungan antara kecepatan dan resistivitas (Agus, 2008)..... 15
Gambar 3 1 Diagram alir keseluruhan penelitian 18
Gambar 3 2 Diagram alir *forward modelling*..... 19
Gambar 3 3 Model Geologi daerah penelitian 20
Gambar 3 4 Sampel grafik *forward modelling* magnetotelurik 21
Gambar 3 5 Diagram alir pengolahan magnetotelurik 22
Gambar 3 6 Ekstensi .mt untuk file input pada ZondMT2D..... 23
Gambar 3 7 Parameter Inversi 2D magnetotelurik 23
Gambar 3 7 Diagram alir prosesing seismik 24
Gambar 3 8 Tabel *Shot* Spread – Sheet yang berisi informasi identitas source 25
Gambar 3 9 Tabel *Receiver* Spread – Sheet yang berisi informasi identitas *receiver* 25
Gambar 3 10 Posisi elevasi *Shot* dan *Receiver* 26
Gambar 3 11 Fold Coverage data 26
Gambar 3 12 (a) Control point (b) Picking First Break gelombang seismik 27
Gambar 3 13 Model kecepatan hasil Picking First Break data 27
Gambar 3 14 Hasil *stacking* data proses Predictive Deconvolution 28
Gambar 3 15 Hasil *stacking* data proses Spherical divergence..... 29
Gambar 3 16 Analisis kecepatan data seismik..... 30
Gambar 3 17 Model kecepatan hasil analisis kecepatan data seismik 30
Gambar 3 18 Analisa kecepatan menggunakan informasi dari data magnetotelurik..... 31
Gambar 3 19 Model kecepatan dari data magnetotelurik 32
Gambar 3 20 Model kecepatan hasil analisis kecepatan data seismik menggunakan informasi dari data magnetotelurik 32

Gambar 3 21 (a) CMP 500 setelah dilakukan Bandpass (b) CMP 500 sebelum dilakukan Bandpass 33
Gambar 3 22 (a) Penampang data seismik sebelum dilakukan proses *Trace mix* (b) Penampang data seismik setelah dilakukan *Trace mix*..... 34
Gambar 4 1 Model kecepatan hasil *forward modelling* magnetotelurik..... 39
Gambar 4 2 Model resistivitas hasil *forward modelling* magnetotelurik 40
Gambar 4 3 Model apparent resistivity hasil *forward modelling* magnetotelurik 41
Gambar 4 4 Model fase hasil *forward modelling* magnetotelurik..... 41
Gambar 4 5 Hasil inversi 2D magnetotelurik..... 43
Gambar 4 6 Penampang stacking seismik tanpa integrasi..... 46
Gambar 4 7 Pebampang Stacking seismik hasil integrasi data magnetotelurik cara pertama..... 48
Gambar 4 8 Penampang stacking seismik hasil integrasi data magnetotelurik cara kedua..... 50

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1 Tabel referensi nilai resistivitas batuan (Telford dkk., 1990) 16
Tabel 3 1 Parameter fisis model geologi..... 20
Tabel 3 2 Parameter Pengukuran Seismik 21
Tabel 3 3 Jadwal penelitian 36

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lingkungan sub-vulkanik atau *reservoir sub-basalt* merupakan salah satu hal menarik dalam dunia ekplorasi dan target produksi industri migas di masa mendatang. Hal ini didasari oleh menipisnya tingkat ketersediaan cadangan *pertroleum system* konvensional sehingga perlu adanya terobosan eksplorasi pada daerah yang dianggap tidak profit dalam industri migas, seperti ekplorasi yang dilakukan pada lingkungan sub-vulkanik. Hal ini didasari oleh penelitian yang dilakukan oleh Satyana, 2015 yang mengatakan bahwa telah ditemukannya rembesan minyak dan gas di lingkungan vulkanik di beberapa bagian di Pulau Jawa, seperti *rembesan miyak* yang terjadi pada komplek gunung, seperti di Blok Banten, Majalengka, Banyumas, dan Serayu Utara. Peristiwa tersebut menjadikan dugaan bahwa di Pulau Jawa memilki potensi batuan induk yang mengandung unsur organik tertutup dengan lapisan batuan vulkanik. Penelitian ini akan menggunakan studi kasus kawasan komplek geologi Serayu Utara.

Metode seismik refleksi telah banyak digunakan dalam ekplorasi *reservoir* dalam industri migas. Akan tetapi, seismik refleksi bersifat konvensional sehingga tidak dapat memberikan pencitraan yang baik (*blur*) untuk lingkungan sub-vulkanik. Hal ini terjadi karena keberadaan dari beberapa jenis batuan vulkanik yang berasal dari deposisi sub-vulkanik dapat menciptakan litologi kompleks dengan kerumitan respon gelombang pada *reservoir* level. Sehingga reflektor vulkanik yang diidentifikasi dari data seismik menjadi rancu. Integrasi metode magnetotelurik dan gravitasi akan digunakan untuk menggantikan informasi data seismik yang *blur* tersebut. Data seismik merupakan data yang berisi informasi mengenai kecepatan rambat gelombang pada medium bumi, sementara data magnetotelurik dan gravitasi mengandung data resistivitas dan densitas bawah permukaan bumi. Data magnetotelurik dan gravitasi nantinya akan dikonversi menjadi data kecepatan untuk menggantikan data seismik yang *blur* sehingga diharapkan dapat memberikan pencitraan bawah permukaan seismik yang lebih detil.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Bagaimana respon gelombang seismik dan magnetotelurik pada lingkungan sub-vulkanik cekungan Serayu Utara?
2. Bagaimana hasil integrasi multi domain metode magnetotelurik dan seismik dalam meningkatkan penggambaran bawah permukaan data seismik lingkungan sub-vulkanik cekungan Serayu Utara?

1.3 Batasan Masalah

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data *forward modelling* metode seismik dan magnetotelurik wilayah sub-vulkanik Serayu Utara.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis respon gelombang seismik dan magnetotelurik di lingkungan sub-vulkanik cekungan Serayu Utara
2. Menganalisis hasil integrasi multi domain metode magnetotelurik dan seismik dalam meningkatkan penggambaran bawah permukaan data seismik lingkungan sub-vulkanik cekungan Serayu Utara

1.4 Manfaat

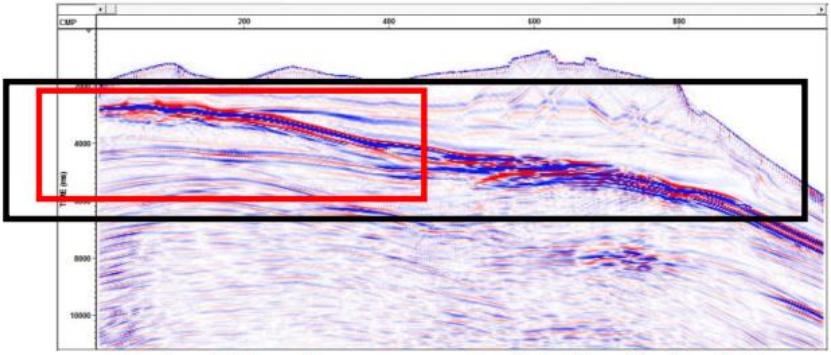
Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini:

1. Bagi akademisi, sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai eksplorasi geofisika di daerah vulkanik
2. Bagi pemerintah dan perusahaan eksplorasi, sebagai acuan bentuk parameter akuisisi untuk kegiatan ekplorasi di lapangan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

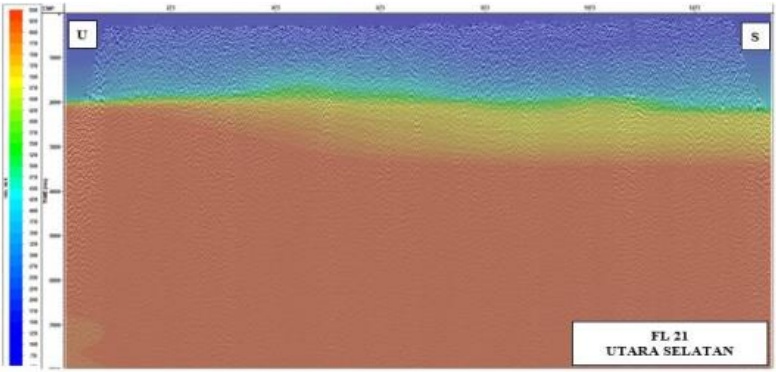
Gambar 2.1 merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh M. Ghazalli, dkk. dalam jurnal Geosaintek, Volume, 2 Nomor 2 tahun 2016 mengenai desain akuisisi seismik pada daerah sub-vulkanik Serayu Utara menyatakan bahwa dibutuhkan rentang sinyal frekuensi sebesar 2-6 Hz agar mampu melewati lapisan basalt setebal 200 m. Kontras kecepatan yang besar pada lapisan basalt tersebut mengakibatkan munculnya fenomena multiple pada lapisan bawah basalt. Desain pemodelan survei perlu dilakukan untuk mendapatkan kualitas data yang terbaik.



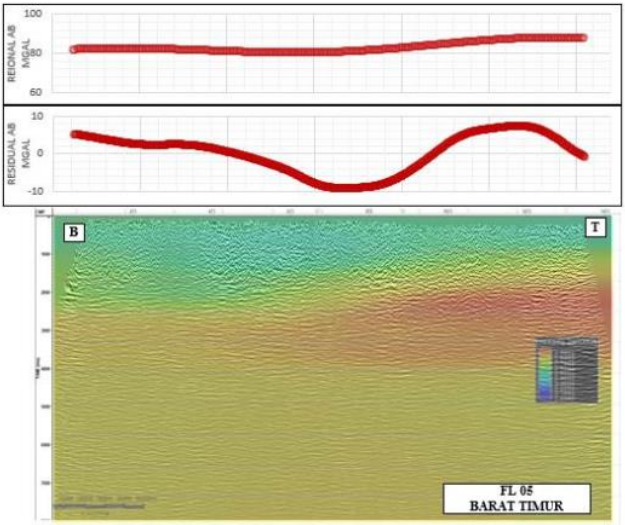
Gambar 2 1 Penampang seismik dengan model desain akuisisi seismik (Ghazalli dkk., 2016)

Selain itu, pada gambar 2.2 dan 2.3 terdapat pula penelitian terkait yang dapat mendukung peneltian ini, yaitu penelitian Tugas Akhir yang dilakukan oleh Muhammad Fikri, dkk. mengenai integrasi metode magnetotelurik dan gravitasi untuk meningkatkan citra bawah permukaan seismik dengan data real sebuah lapangan X. Pada penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa metode magnetotelurik memilki resolusi vertikal cukup baik dengan hasil inversi Occam memilki rentang nilai resistivitas10 – 104 Ohm.m. Hasil integrasi antara metode gravitasi dan magnetotelurik efektif untuk menunjukkan lapisan batuan keras vulkanik dekat permukaan. Pada penelitian tersebut ditemukan lapisan batuan *volcano-clastic* dengan densitas 2.6-3 g/cc yang merupakan hasil integrasi

tren regional data anomali bourger dan model densitas inline dengan data seismik.



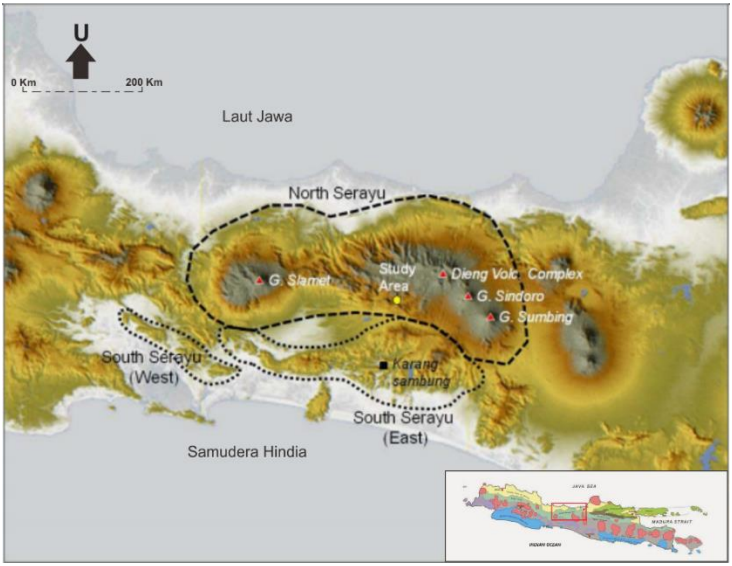
Gambar 2 2 Interpretasi linatasan seismik integrasi dengan magnetotelurik (Fikri dkk., 2018)



Gambar 2 3 Interpretasi seismik integrasi dengan gravitasi (Fikri dkk., 2018)

2.2 Geologi Regional

Fisiografi orogenik Jawa Tengah dibentuk oleh dua jalur pegunungan utama, yaitu Zona Serayu Selatan dan Zona Serayu Utara. Dalam sejarah geologinya, kedua jalur pegunungan tersebut juga berperan sebagai cekungan sedimenter.



Gambar 2 4 Fisiografi Zona Serayu (Jyalita, 2013)

Gambar 2.4 merupakan fisiografi Serayu Utara. Zona Serayu Utara hanya terdiri dari satu jalur pegunungan berarah timur-barat, dengan geometri melengkung membuka ke arah selatan, dan kedua ujungnya ditempati oleh gunung api Kuarter. Ujung bagian timur dimulai dari penjajaran G. Sumbing dan G. Sindoro berarah barat laut tenggara, yang dilanjutkan dengan kehadiran kompleks vulkanik Dieng ke arah barat-barat laut. Ujung barat Zona Serayu Utara ditandai dengan kehadiran G. Slamet.

Stratigrafi regional dan deformasi tektonik kedua Zona Serayu tersebut memiliki keterkaitan satu dengan lainnya. Zona Serayu Selatan memiliki batuan-batuan pra-Tersier dan Paleogen yang tersingkap ke permukaan di daerah Karangsambung. Kompleks Luk-Ulo yang berumur Kapur Akhir, serta Formasi Karangsambung dan Formasi Totogan yang berumur Paleogen, terbentuk oleh proses longsoran gravitasional laut dalam pasca kolisi antara *Sundaland* dan

lempeng kontinen mikro Jawa Timur, dimana fragmen aneka bahan (batuan metamorfik, batuan beku, batuan sedimen laut) bercampur-bancuh dalam massa dasar batu lempung. Terdapat perkembangan karakter sedimentasi yang menarik dari *matrix-dominated* pada Kompleks Luk-Ulo dan Formasi Karangsambung menjadi lebih *fragment-dominated* pada Formasi Totogan (Asikin, 1992). Hal ini dapat mengindikasikan semakin mendangkalnya lingkungan sedimentasi dan semakin kuatnya pengangkatan Karangsambung saat Paleogen Akhir.

Memasuki Oligosen Akhir, Jawa Tengah diduga mengalami segmentasi tektonik busur vulkanik yang telah dimulai sejak Eosen Tengah), dengan berkembangnya busur vulkanik di Zona Serayu Selatan dan terbentuknya peregangan cekungan belakang busur di Zona Serayu Utara. Vulkanisme Serayu Selatan ditandai dengan pengendapan Formasi Gabon di tepi selatan (Van Bemmelen, 1949) menganggap breksi volkanik Gabon sebagai bagian dari Zona Pegunungan Selatan Jawa Tengah) dan Formasi Waturanda di bagian tengah Zona Serayu Selatan. Formasi Gabon tersusun atas breksi andesit, setempat tuf lapili, lava, dan lahar, dimana sebagian besar litologi tersebut telah mengalami alterasi (Asikin, 1992). Sedangkan Formasi Waturanda terdiri atas batupasir vulkanik di bagian bawah, mengandung sisipan napal tufan, dan berubah menjadi breksi andesit di bagian atas.

Ke arah utara, Formasi Rambatan mulai diendapkan semenjak Miosen Awal di lingkungan lereng cekungan belakang busur yang labil, menutupi kelompok sedimen gravitasional Wora-wari yang lebih dahulu terbentuk saat Oligosen Akhir akibat pembukaan cekungan belakang busur Serayu Utara. Formasi Rambatan terdiri dari batu pasir karbonatan dan konglomerat dengan perselingan serpih, napal, dan tuf.

Memasuki Miosen Tengah, vulkanisme Serayu Selatan berkurang intensitasnya, yang kemungkinan disebabkan oleh efek rotasi berlawanan arah jarum jam yang dialami oleh *Sundaland* yang mempengaruhi proses subduksi di selatan Jawa saat itu. Pada masa ini, batugamping terumbu Formasi Kalipucang menutupi tinggian vulkanik Formasi Gabon (Asikin, 1992), dan batulempung gampingan Formasi Penosogan berkembang di bagian yang lebih dalam di Busur Vulkanik Serayu Selatan. Napal dan tuf masih dijumpai menyisip dalam Formasi Penosogan (Asikin, 1992). Ke utara, Formasi Penosogan menjemari dengan Formasi Rambatan yang masih terus diendapkan selama Miosen Tengah. Miosen Akhir ditandai perkembangan busur vulkanik ganda (*double-arc*) di Jawa Tengah, dengan reaktifasi vulkanisme Serayu Selatan yang bersamaan munculnya vulkanisme Serayu Utara (Gambar 2.4). Secara umum, pada periode ini, batu pasir vulkanik Formasi Halang mendominasi kedua zona. Fraksi kasar dan fragmen vulkanik disumbangkan oleh Formasi Peniron di Zona Serayu

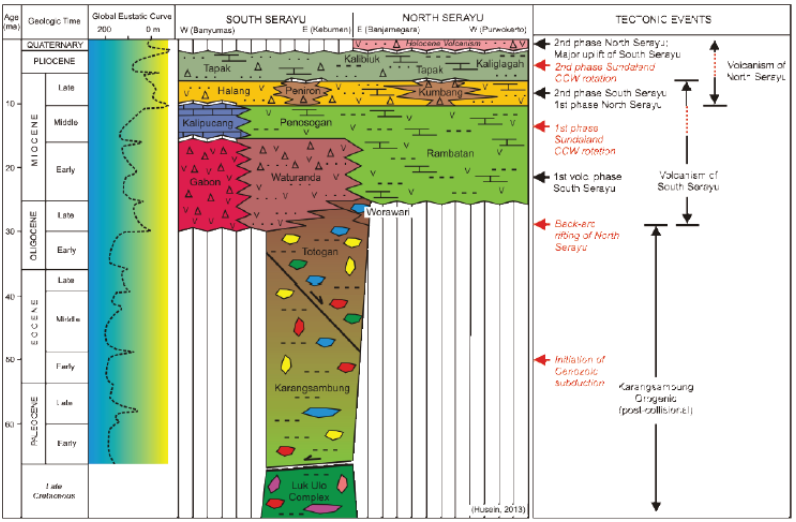
Selatan dan Formasi Kumbang untuk Zona Serayu Utara (Asikin, 1992). Pada periode ini, dapat dianggap bahwa cekungan belakang busur Serayu Utara telah berubah menjadi busur vulkanik.

Perubahan konfigurasi tektonik regional diduga kembali terjadi pada kala Pliosen, ditandai dengan berhentinya aktivitas vulkanisme Serayu Selatan dan berkurangnya intensitas vulkanisme Serayu Utara. Hall (2012) mengaitkannya dengan fase akhir rotasi *Sundaland*. Pada masa *tectonic quiescence* ini, sedimentasi batupasir gampingan Formasi Tapak berlangsung di kedua zona Serayu. Fragmen moluska banyak dijumpai dalam Formasi Tapak (Asikin, 1992). (Satyana, 2015) menempatkan awal sedimentasi Tapak di Miosen Akhir (N17). Semakin ke atas, Formasi Tapak semakin menghalus. Di daerah Serayu Utara, anggota Tapak yang tersusun atas napal dan batu lempung gampingan dinamakan Formasi Kalibiuk, dan nama Formasi Kaliglagah bagi yang mengandung lignit .Pada periode *tectonic quiescence* Pliosen inilah proses perlipatan di zona Serayu Selatan dan Serayu Utara berlangsung intensif.

Plistosen ditandai dengan reaktifasi Busur Vulkanik Serayu Utara, dengan serangkaian aktivitas vulkanisme di lingkungan darat oleh Ligung, Mengger, Gintung dan Linggopodo untuk bagian barat, dan vulkanisme Ligung, Damar, dan Kaligetas untuk bagian timur. Vulkanisme Plistosen tersebut dilanjutkan dengan vulkanisme Holosen oleh Jembangan, Dieng, Sumbing, dan Sindoro untuk bagian timur, dan vulkanisme Slamet untuk bagian barat. Tingginya aktivitas vulkanisme Kuarter di Zona Serayu Utara tersebut diduga menghasilkan *volcanic load* yang besar yang dapat memicu pengangkatan isostatik Zona Serayu Selatan sebagai proses deformasi paling akhir dan yang paling berperan menghasilkan bentukan fisiografi yang tampak saat ini di kedua zona tersebut. Pada periode ini, akibat pengangkatan isostatik yang intensif, bagian inti Zona Serayu Selatan mengalami proses denudasi yang paling besar hingga menyingkapkan batuan-batuan pra-Tersier dan Paleogen di Karangsambung.

Sistem petroleum yang bekerja di Zona Serayu Utara tersusun atas elemen-elemen berupa batuan induk yang berumur Miosen Awal, batuan *reservoir* dari Formasi Rambatan dan Halang, batuan penyekat intra-formasi Rambatan dan Formasi Tapak, serta jebakan hidrokarbon berupa antiklin dan sesar anjak. *Petroleum play* yang dapat berlaku ialah konsep *toe-thrusting* yang berhubungan dengan pengangkatan Neogen, sistem antiklin yang terinversi, serta sistem terumbu pada horst cekungan tersebut (Satyana, 2015).

2.3 Stratigrafi Regional



Gambar 2 5 Tektonostratigrafi Kenozoikum Zona Serayu (Asikin, 1992)

Gambar 2.5 di atas merupakan gambar stratigrafi dari daerah penelitian. Berikut penjelasan formasinya:

2.3.1 Formasi Rambatan

Formasi Rambatan tersusun atas serpih, napal, dan batu pasir gampingan. Napal berselang-seling dengan batupasir gampingan berwarna kelabu muda. Pada bagian atas terdiri dari batupasir ga,pingan berwarna abu-abu muda sampai biru keabu-abuan. Umur dari Formasi Rambatan adalah Miosen Tengah dan tebalnya diperkirakan 300 meter.

2.3.2 Formasi Halang

Formasi Halang tersusun atas batu pasir andesit, konglomerat tufan, dan napal bersisipan batu pasir. Terdapat jejak organisme di atas bidang perlapisan batu pasir. Formasi Halang merupakn jenis endapan sedimen turbidit pada zona batial atas. Umur Formasi Halang adalah Miosen Akhir dan mempunyai ketebalan 390-2600 meter. Praptisih dan Kamtono (2009) menyatakan Formasi Halang Bagian Atas disusun oleh batu pasir, batu lempung, dan perselingn antara batu pasir dan batu lempung. Pada perselingna batu pasir dan batu lempung dicirikan oleh batu pasir yang berwarna abu-abu, halus-kasar, tebal lapisan 10-

20 cm, struktur sedimen perlapisan bersusun, laminasi sejajar, dan batu lempung berwarna kehitaman, tebal 0.5-10 cm.

2.3.3 Formasi Kumbang

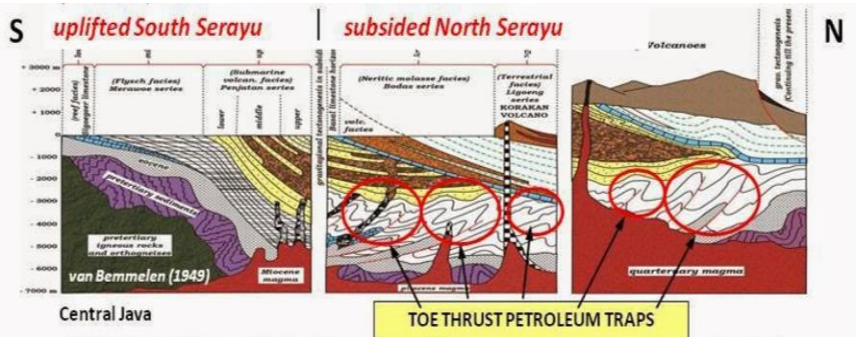
Formasi Kumbang terdiri dari breksi, lava andesit, tuf, di beberapa tempat breksi batu apung dan tuf pasiran. Terdapat juga aliran lava andesit dan basalt. menyatakan umur formasi ini Miosen Tengah-Pliosen Awal. Formasi Kumbang merupakan endapan turbidit dari suatu sistem kipas bawah laut (*upper fan*) yang dipengaruhi oleh kegiatan vulkanisme.

2.3.4 Formasi Tapak

Formasi Tapak tersusun atas batu pasir berbutir kasar berwarna kehijauan dan konglomerat, setempat breksi andesit. Bagian atas terdiri dari batu pasir gampingan dan napal berwarna hijau yang mengandung kepingan moluska. Anggota breksi Formasi Tapak terdiri dari breksi gunung api dan batu pasir tufan. Anggota Batu gamping Formasi Tapak merupakan lensa-lensa gamping tak berlapis yang berwarna kelabu kekuningan. Umur dari Formasi Tapak adalah Pliosen Awal-Pliosen Tengah. Ketebalan dari formasi ini berkisar antara 500-1650 meter.

2.4 Model Geologi Kompleks Serayu Utara

Model Geologi yang digunakan adalah hasil modifikasi dari penampang Geologi *North Serayu Basin*. Model geologi ini digunakan karena memiliki *petroleum play* mulai dari *source rock*, *reservoir*, *trap*, dan *seal*.



Gambar 2 6 Skema geologi pada tengah jawa menampilkan tipe *petroleum play* Serayu Utara, lingkaran hitam menunjukan *toe thrust* yang merupakan jebakan hidrokarbon yang ditutupi oleh batuan vulkanik (Van Bemmelen, 1949)

Gambar 2.6 terlihat adanya *uplift* pada *South Serayu Range* (bagian Selatan) dan *Subsidence* pada bagian *North Serayu*. Sedimen tebal terdepositkan ke arah *North Serayu* dan mengalami deformasi oleh gravitasi tektonik menjadi lapisan tipis berupa lipatan dan thrust belts. Kemudian lapisan sedimen ini ditutupi oleh lapisan *volcanic-clastic* yang tebal pada kurun waktu Neogene akhir hingga Pleistosen.

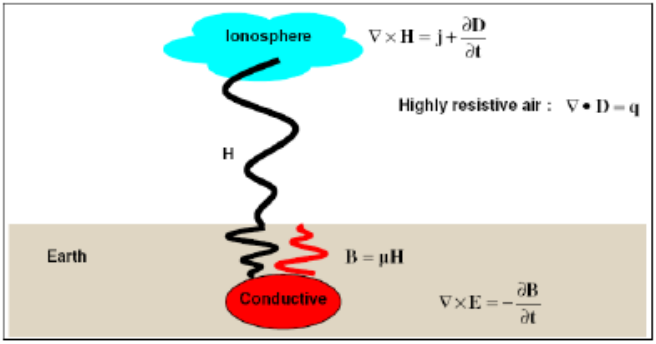
Dengan cerita geologi diatas maka dapat diasumsikan model ini memiliki cerita yang masuk akal mengenai kemungkinan adanya hidrokarbon pada lapisan sedimen tebal. Model yang digunakan adalah bagian tengah karena terdapat sedimen yang telah mengalami deformasi tektonik sehingga menjadi lipatan dan cocok sebagai *reservoir* hidrokarbon.

2.5 Metode Magnetotelurik

Metode magnetotelurik (MT) merupakan salah satu metode eksplorasi geofisika pasif yang memanfaatkan medan elektromagnetik alam. Medan EM tersebut ditimbulkan oleh berbagai proses fisik yang cukup kompleks sehinga spektrum frekuensinya sangat lebar (10^{-5} Hz – 10^{4} Hz). Metode magnetotelurik memiliki kemampuan untuk memetakan nilai resistivitas batuan dengan baik (Oskooi, 2011). Metode tersebut mengukur dua komponen ortogonal medan listrik (E) dan dua komponen ortogonal medan magnet (B). Rasio dari medan listrik dan medan magnet merupakan nilai resistivitas semu yang kita kenal sebagai tensor impedan (Z). Tensor impedan magnetotelurik dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

Gambar 2.7 merupakan ilustrasi dari penjalaran gelombang magnetotelurik. Medan elektromagnetik alami (medan elektromagnetik primer) sebagai sumber metode magnetotelurik sampai ke bumi dengan memiliki variasi ke bumi dengan memiliki variasi terhadap waktu. Medan elektromagnetik tersebut menginduksi *ore body* di bawah permukaan bumi sehingga *eddy current* (arus *telluric*) yang menimbulkan medan elektromagnetik sekunder. *Receiver* yang berada di permukaan menangkap total medan elektromagnetik sebagai penjumlahan dari medan elektromagnetik primer dan medan elektromagnetik sekunder (Widarto, 2008). Proses tersebut digambarkan oleh gambar berikut:



Gambar 2 7 Prinsip dasar metode magnetotelurik (Simpson, 1997)

2.6 Persamaan Maxwell

Persamaaan Maxwell merupakan sintesa hasil-hasil eksperimen (empiris) mengenai fenomena listrik- magnet yang didapatkan oleh Faraday, Ampere, Gauss, Coloumb disamping yang dilakukan oleh Maxwell sendiri. Penggunaan persamaan tersebut dalam metode MT telah banyak diuraikan dalam buku-buku pengantar geofisika khususnya yang memebahas metode EM (Amat dkk., 2017).

Dalam bentuk differensial, persamaan Maxwell dalam domain frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\nabla \text{ x } E = -\frac{\partial B}{\partial t} \qquad \text{Hukum Faraday} \qquad (2.2)$$

$$\nabla \text{ x } H = j + \frac{\partial D}{\partial t} \qquad \text{Hukum Ampere} \qquad (2.3)$$

$$\nabla \,.\, D = q \qquad \text{Hukum Gauss} \qquad (2.4)$$

$$\nabla \,.\, B = 0 \qquad \text{Hukum Gauss dalam magnetisasi} \qquad (2.5)$$

Dimana,

E : medan listrik (Volt/m)

B : fluks atau induksi magnetic (Weber/m^2 atau Tesla)

H : medan magnet (Ampere/m)

j : rapat arus (Ampere/m^2)

D : perpindahan listrik (Columb/m^2)

q : rapat muatan listrik (Columb/m^3)

Persamaan (2.2) diturunkan dari Hukum Faraday yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik menyebabkan medan listrik dengan gaya gerak listrik berlawanan dengan variasi fluks magnetik yang menyebabkannya. Persamaan (2.3) merupakan generalisasi Teorema Ampere dengan memperhitungkan hukum kekekalan muatan. Persamaan tersebut menyatakan bahwa medan magnet timbul akibat fluks total arus listrik yang disebabkan oleh arus konduksi dan arus perpindahan. Persamaan (2.4) menyatakan Hukum Gauss yaitu fluks elektrik pada suatu ruang sebanding dengan muatan total yang ada dalam ruang tersebut. Sedangkan persamaan (2.5) yang identik dengan persamaan (2.4) berlaku untuk medan magnet, namun dalam hal ini tidak ada monopol magnetik.

2.7 Metode Seismik Refleksi

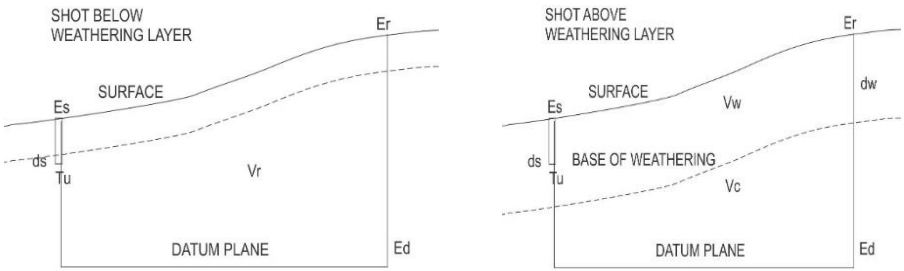
Metode seismik refleksi merupakan metode geofisika aktif yang memanfaatkan sumber seismik buatan, dimana arah rambatan gelombang bergerak ke segala arah dan mengalami pemantulan maupun pembiasan sebagai akibat dari perbedaan kecepatan ketika melalui perlapisan medium yang berbeda. Pada jarak tertentu pada permukaan, gerakan partikel direkam sebagai fungsi waktu. Berdasarkan data tersebut dapat diperkirakan bentuk lapisan/struktur bawah permukaan.

Gelombang seismik dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan medium perambatannya, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang Badan dibedakan lagi menjadi dua tipe berdasarkan cara bergetarnya, yaitu Gelombang Longitudinal atau disebut Gelombang P (*primary*) dan Gelombang Transversal atau disebut Gelombang S (*shear*). Sementara itu, Gelombang Permukaan juga dapat dibedakan menjadi beberapa tipe, yaitu Gelombang Rayleigh (*ground-roll*), Gelombang Love (*shear-horizontal*) dan Gelombang Stoneley (gelombang Tabung). Pada saat dilakukan pengukuran yang dalam eksplorasi seismik, Gelombang P, S dan Gelombang Permukaan terekam dengan pola yang berbeda-beda sehingga gelombang-gelombang tersebut dapat dikenali dengan mudah (Munadi dan Pasaribu, 1984)

2.7.1 Koreksi Statik

Koreksi statik merupakan salah satu permasalahan yang terjadi dalam pengolahan data seismik adalah adanya ketidakcocokan antara data hasil rekaman dengan keadaan yang sebenarnya. Salah satu penyebab terjadinya hal ini dikarenakan adanya elevasi kedudukan antara *shotpoint* dan *receiver* yang

tidak terletak pada datum yang sama. Adanya lapisan lapuk (*weathering layer)* yang akan mempengaruhi kecepatan gelombang seismik. Sehingga perlu dilakukan adanya koreksi untuk masalah statik ini, yaitu koreksi statik. Koreksi statik terdiri dari dua hal, yaitu koreksi elevasi dan koreksi refraksi. Koreksi elevasi dilakukan untuk menempatkan posisi *shot* dan *receiver* pada level datum yang sama (Ubaidillah, 2009).



Gambar 2 7 Koreksi elevasi saat *shot* point di bawah batas lapisan lapuk (kiri) dan atas lapisan lapuk atau koreksi refraksi (kanan) (Agus, 2010)

2.7.2 Dekonvolusi

Dekonvolusi bertujuan untuk meningkatkan resolusi temporal dari data seismik dengan mengekstraksi nilai koefisien refleksi dari *wavelet*. Gelombang seismik yang dijalarkan ke dalam bumi mengalami proses konvolusi (*filtering*). Bumi bersikap sebagai filter terhadap energi seismik tersebut. Akibat dari filter ini, bentuk gelombang seismik (*wavelet*) yang semula tajam dan tinggi amplitudonya (dalam domain waktu) menjadi lebih lebar dan menurun amplitudonya (melar/*stretching*) (Fernadi dan Thee, 1992). Dekonvolusi bertujuan untuk:

a. Menghilangkan *multiple* dan *ringing*
b. Meningkatkan resolusi vertikal
c. Memperbaiki penampilan dari *stacked section* sehingga menjadi lebih mudah untuk diinterpretasi (memiliki kemiripan dengan model geologi)

Apabila konvolusi memiliki rumus:

$$S(t) = W(t) * R(t) \tag{2.6}$$

Maka, dekonvolusi memiliki rumus:

$$R(t) = W(t)^{-1} * R(t) \tag{2.7}$$

Dimana, S(t) merupakan sinyal, W(t) merupakan *wavelet*, R(t) merupakan koefisien refleksi.

Dekonvolusi terdiri dari dua jenis, yaitu dekonvolusi deterministik dan statistik. Dekonvolusi deterministik adalah dekonvolusi yang menggunakan operatior filter yang sudah diketahui atau didesain untuk menampilkan suatu bentuk tertentu. Contoh dari dekonvolusi deterministik adalah *spiking deconvolution*. Dekonvolusi statistik adalah proses dekonvolusi dimana desain filter tidak diketahui sehingga untuk memperolehnya digunakan data statistik dari data seismik itu sendiri. Contoh dekonvolusi statistik adalah dekonvolusi prediktif.

2.7.3 Analisis Kecepatan

Kecepatan gelombang seismik dalam formasi bawah permukaan adalah salah satu informasi penting yang akan digunakan untuk konversi data seismik dari domain waktu ke domain kedalaman. Dalam pengukuran di lapangan, faktor yang mempengaruhi kecepatan penjalaran gelombang seismik adalah petrologi dan geologi. Permasalahan yang timbul biasanya adalah adanya struktur geologi yang kompleks sehingga menimbulkan variasi kecepatan terhadap kedalaman. Hal itulah yang menyebabkan masalah dalam penentuan posisi struktur dan masalah pada waktu dilakukan proses migrasi. Maka dari itu, analisis kecepatan adalah proses yang sangat penting dalam pengolahan data seismik. Kecepatan yang biasanya digunakan dalam eksplorasi seismik adalah sebagai berikut :

a. Kecepatan Interval

Kecepatan interval dirumuskan sebagai berikut :

$$VI = \frac{\Delta z}{\Delta t} \tag{2.8}$$

Dimana Δt adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan penjalaran sejauh Δz dan VI adalah kecepatan interval.

b. Kecepatan rata-rata

Merupakan kecepatan interval sepanjang suatu penampang geologi dengan menganggap bahwa puncak dari interval adalah datum referensi untuk pengukuran seismik. Dalam matematika dapat ditulis sebagai berikut :

$$\bar{V} = \frac{VI_1\,\Delta t_1 + VI_2\,\Delta t_2 + ..VI_n\,\Delta t_n}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + ..\Delta t_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} VI_1\,\Delta t_1}{\sum_{i=1}^{n} \Delta t_1} \tag{2.9}$$

c. Kecepatan *Root Mean Square* (RMS)

Merupakan akar kuadrat dari kecepataan interval. Persamaannya sebagai berikut:

$$V_{RMS} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} VI_1{}^2 \Delta t_1}{\sum_{i=1}^{n} \Delta t_1}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{2.10}$$

d. Kecepatan NMO

Merupakan kecepatan yang diperlukan untuk melakukan proses NMO dengan benar. Persamaannya adalah :

$$V_{NMO} = \left(\frac{X_X{}^2 - X_1{}^2}{T_X{}^2 - T_0{}^2}\right)^{\frac{1}{2}} \tag{2.11}$$

2.8 Hubungan Resistivitas dengan Kecepatan

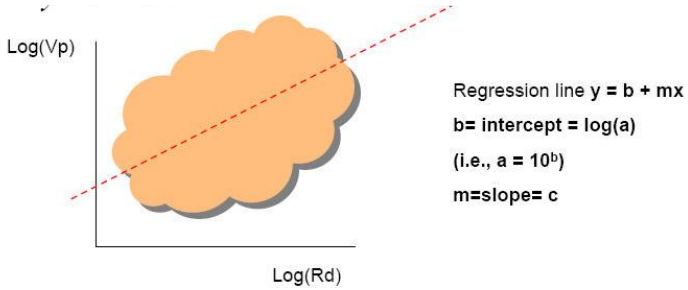
Persamaan Faust adalah sebuah persamaan yang menguhubungkan sifat kecepatan gelombang (Vp) dengan sifat resistivitas. Hubungan keduanya adalah sebagai berikut:

$$Vp = a(Rd)^c \tag{2.12}$$

$$Log(Vp) = \log(a) + c\ log(Rd) \tag{2.13}$$

$$y = b + mx \tag{2.14}$$

Dengan R adalah resistivitas (Ohm.m); d adalah kedalaman (m); Vp adalah kecepatan (m/s).



Gambar 2 8 Hubungan antara kecepatan dan resistivitas (Agus, 2008)

Gambar 2.8 adalah contoh real dari hubungan antara log Vp dengan log resistivitas. Dari sini kita dapat mengetahui koefisien Persamaan Faust (a dan c).

Untuk mengetahui kontrol nilai resistivitas hasil konversi dari kecepatan, digunakan referensi nilai resistivitas batuan-batuan yang menjadi penyusun lapisan model. Nilai referensi resistivitas tersebut ditampilkan pada table berikut:

Tabel 2 1 Tabel referensi nilai resistivitas batuan (Telford dkk., 1990)

Material	Resistivitas (Ωm)	Konduktivitas (siemen/m)
Batu beku dan metamorf		
Granit	$5x10^3 - 10^6$	$10^{-5} - 2x10^{-4}$
Basalt	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
Batu sabak	$6x10^2 - 10^7$	$2.5x10^{-8} - 1.7x10^{-3}$
Marmer	$10^2 - 2.5x10^8$	$4x10^{-9} - 10^{-2}$
Quartzite	$10^2 - 2x10^8$	$5x10^{-9} - 10^{-2}$
Batu sedimen		
Batu pasir	$8 - 4x10^3$	$2.5x10^{-4} - 0.125$
Batu lempung	$20 - 2x10^3$	$5x10^{-4} - 0.05$
Batu gamping	$50 - 4x10^2$	$2.5x10^{-3} - 0.02$
Tanah dan air		
Clay	$1 - 100$	$0.01 - 1$
Aluvium	$10 - 800$	$1.25x10^{-3} - 0.1$
Air tanah	$10 - 100$	$0.01 - 0.1$
Air laut	0.2	5

Tabel 2.1 di atas merupakan dasaran referensi yang akan digunakan sebagai pengontrol untuk menentukan nilai resistivitas model geologi yang didapat dari konversi nilai kecepatan.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data

Data yang dipakai pada penelitian merupakan data sintetik 2D metode seismik dan magnetotelurik dari model geologi kawasan sub-vulkanik Serayu Utara.

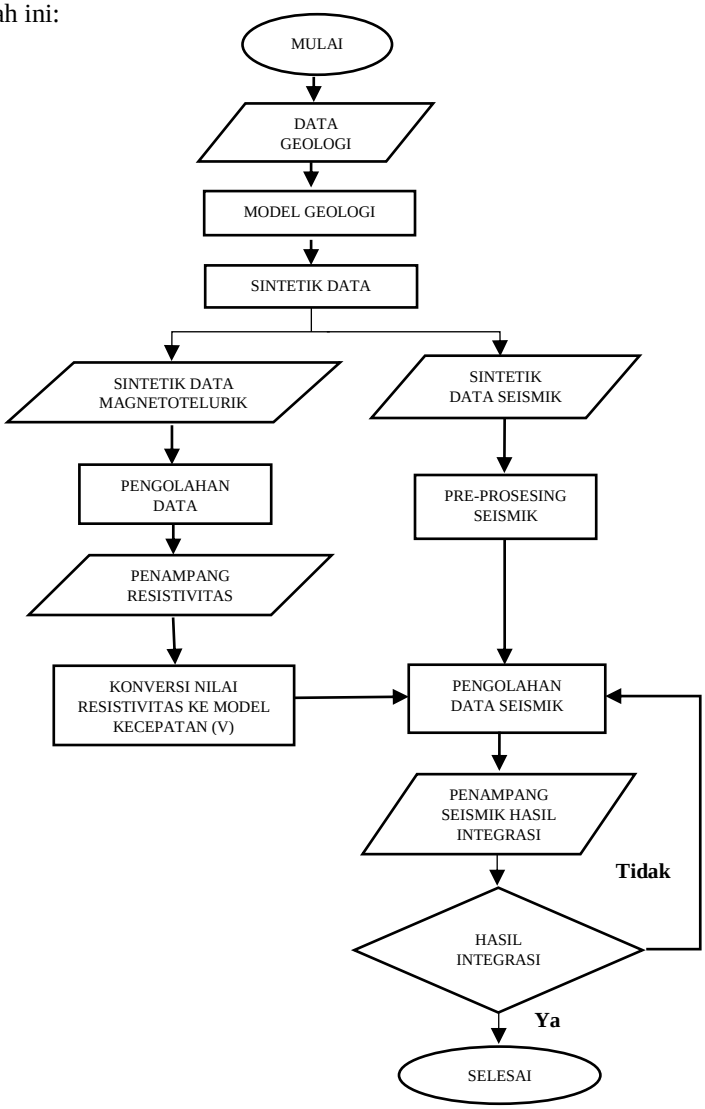
3.2 Perangkat lunak

Perangkat lunak yang dipakai dalam penelitian ini diantaranya:

1. Matlab 2017 dan ZondMT2D untuk pemodelan dan pengolahan data magnetotelurik.
2. Tesseral Pro dan Vista untuk pemodelan dan pengolahan data seismik.

3.3 Diagram Alir Penelitian

Metode pelaksanaan yang akan dilaksanakan digambarkan pada diagram alir dibawah ini:

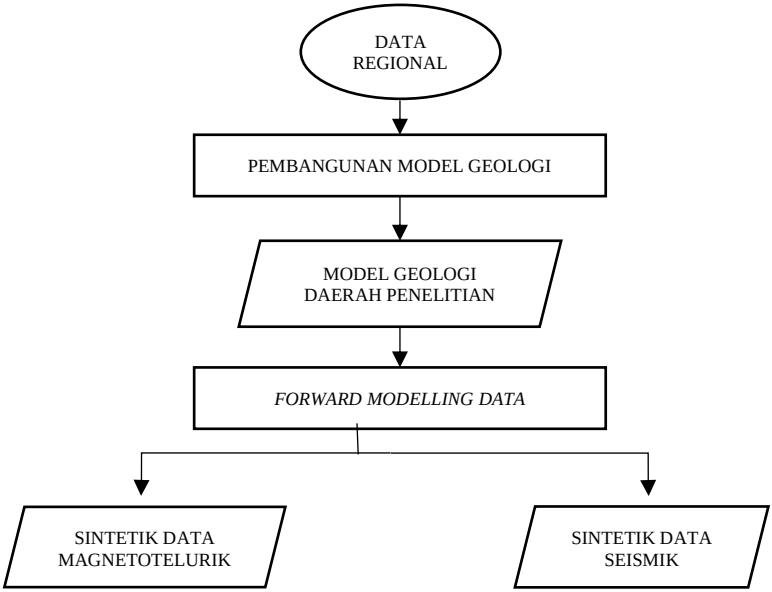


Gambar 3 1 Diagram alir keseluruhan penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pembuatan *Forward modelling* Daerah Penelitian

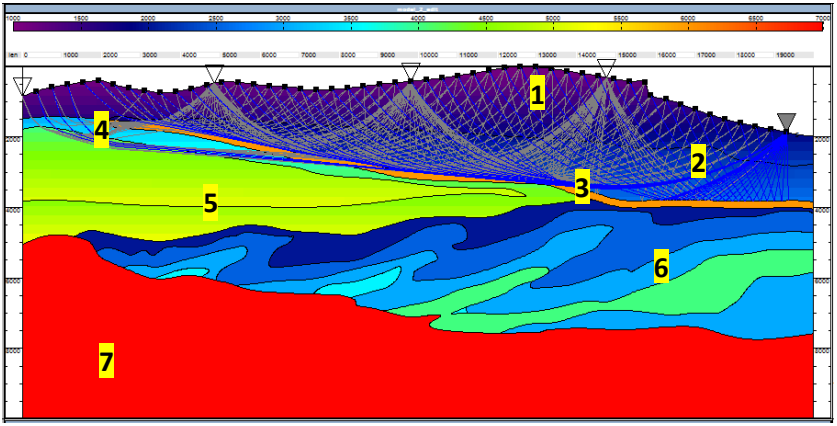
Proses ini bertujuan untuk mendapatkan respon dari kedua metode berdasarkan kondisi geologi kompleks sub-vulkanik sebagai bahan untuk proses pengolahan data. Proses *forward modelling* data magetotelurik dilakukan dengan software Matlab 2017 sementara data seismik dengan software Tesseral Pro.



Gambar 3 2 Diagram alir *forward modelling*

3.4.1.1 *Forward modelling* Seismik

Forward modelling seismik dilakukan dengan membuat model kecepatan di software Tesseral. Model kecepatan ini berdasarkan referensi model geologi yang dikeluarkan oleh Awang Harun Satyana dalam buku yang dikutip dari Van Bemmelen 1949.



Gambar 3 3 Model Geologi daerah penelitian

Tabel 3 1 Parameter fisis model geologi

Lapisan ke	Tipe Lapisan	VP (m/s)	Densitas (kg/m3)	Ketebalan (m)
1	Soil	1000 - 1800	1565	4000
2	Batuan Pasir	2000	2010	1000
3	Basalt	6000	2650	200
4	Fasies Vukanik	3000 - 5000	2200	3400
5	Fasies Vukanik	4000 - 5000	2350	2000
6	*Sandstone*	2000 - 3000	2200	3500
7	Basemen Vulkanik	7000	2970	3000

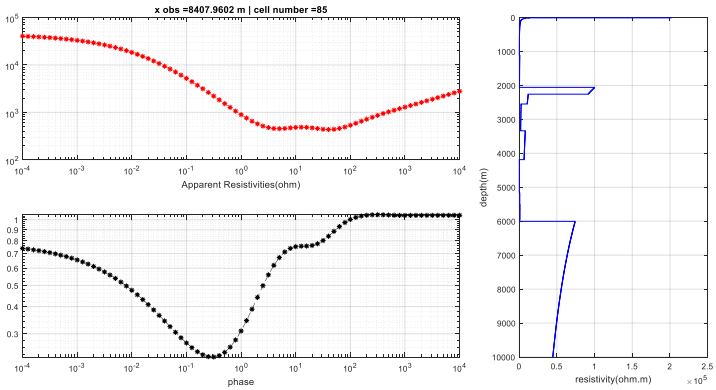
Input data yang dilakukan adalah nilai kecepatan dan densitas dari masing-masing batuan. Pada model gambar 3.3 terdapat 7 lapisan, dengan masing-masing parameter lapisan ditampilkan pada tabel 3.1. Lapisan nomor 6 dan 3 merupakan lapisan target. Lapisan 6 merupakan lapisan sedimen *sandstone* yang memiliki struktur *toe thrust*. Lapisan ini dapat diindikasikan memiliki potensi sebagai seal pada *petroleum system* di daerah penelitian. Sementara lapisan 3 merupakan lapisan basalt yang memiliki nilai kecepatan dan densitas yang tinggi. Lapisan ini terletak di atas lapisan *sandstone* yang kemudian mengakibatkan gelombang seismik terefleksi kembali ke atas sehingga lapisan *sandstone* yang menjadi target menjadi blur. Model pada gambar kemudian diproses untuk mendapatkan file segy dengan parameter pengukuran seismik seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3 2 Parameter Pengukuran Seismik

No	Parameter	Nilai
1	Grid	20 meter
2	Frekuensi	30 Hz
3	Interval *Shot*	200 meter
4	Total *Shot*	101 *shot*
5	Interval *Receiver*	40 meter
6	Total *Receiver*	501 *receiver*

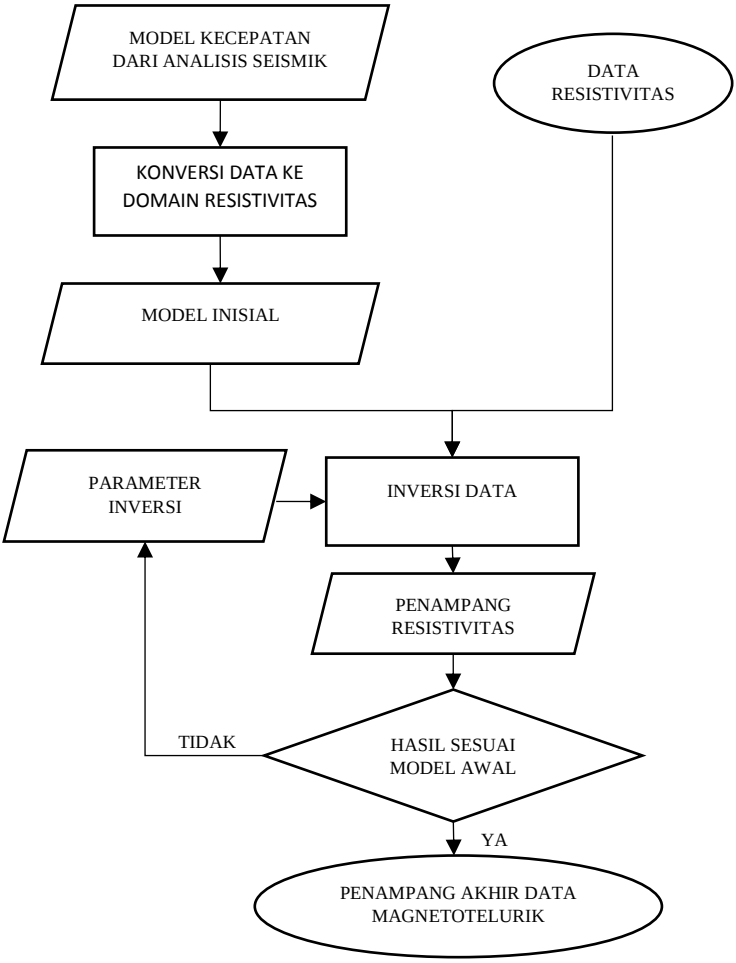
3.4.1.2 *Forward modelling* Magnetotelurik

Forward modelling magnetotelurik dilakukan pada software matlab 2017. Input data pada *forward modelling* magnetotelurik ini merupakan data nilai resistivitas dan ketebalan setiap lapisan. Sementara data keluarannya adalah data frekuensi, *apparent resistivity*, dan fase. Gambar 3.4 merupakan salah satu contoh hasil grafik *forward modelling* 1D data magnetotelurik. Untuk menentukan nilai resistivitas dan ketebalan lapisan model, dilakukan konversi nilai kecepatan ke nilai resistivitas yang didapat dari referensi penelitian sebelumya. Konversi ini menggunakan Persamaan Faust (Persamaan 2.12), dengan mendapatkan nilai variabel a dan c yang tepat untuk menghasilkan model resistivitas yang sesuai dengan model.



Gambar 3 4 Sampel grafik *forward modelling* magnetotelurik

3.4.3 Pengolahan Data Magnetotelurik



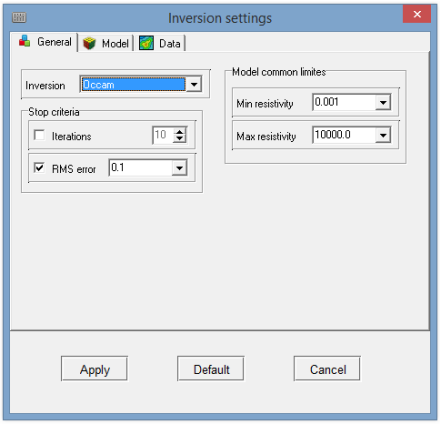
Gambar 3 5 Diagram alir pengolahan magnetotelurik

Hasil *forward modelling* adalah nilai frekuensi, *apparent resistivity*, dan fase. Ketiga nilai tersebut kemudian disesuaikan dengan format input .mt untuk dilakukan inversi 2D dengan software ZondMT2D. Adapun format inputnya ditunjukkan pada Gambar 3.6 berikut:

```
SU001
0 0.0000
71
3.16E+01        34.22310965     0.78696833
2.82E+01        34.23656357     0.787154278
2.51E+01        34.25166261     0.787361469
2.24E+01        34.26860799     0.787592129
2.00E+01        34.28762544     0.78784866
1.78E+01        34.3089681      0.788133644
1.58E+01        34.33291978     0.788449833
```

Gambar 3 6 Ekstensi .mt untuk file input pada ZondMT2D

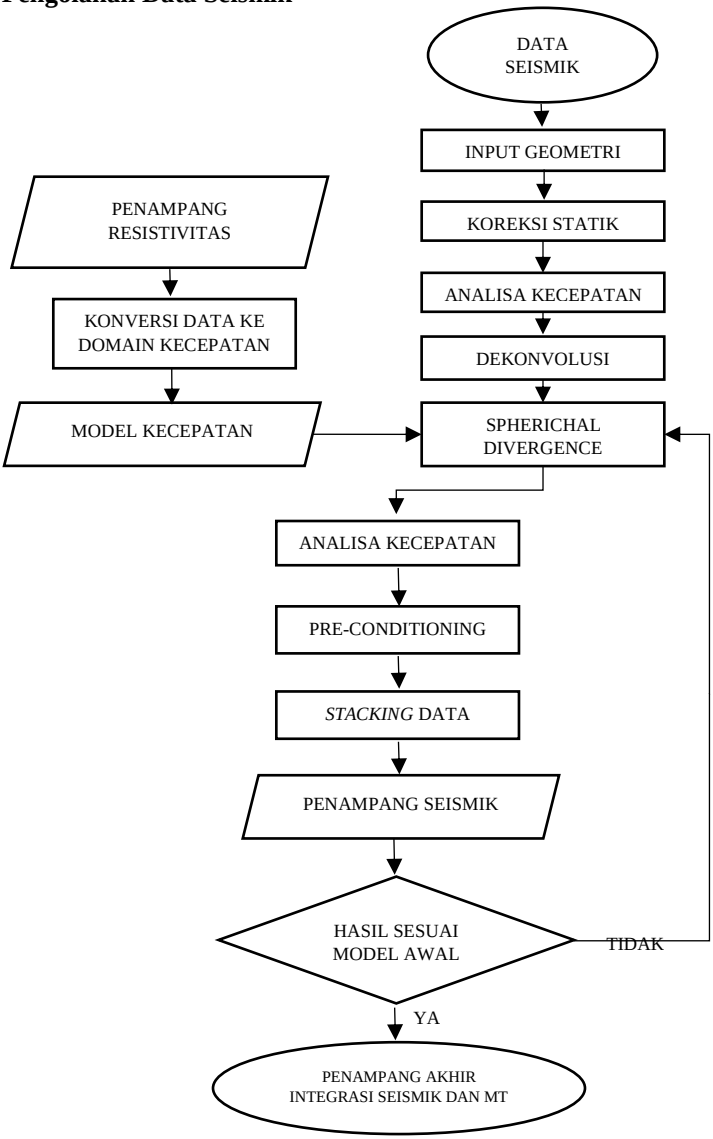
Baris pertama: nama titik pengukuran
Baris kedua: ketinggian Y (km) dan jarak antar titik (km)
Baris ketiga: jumlah data MT pada setiap titik
Kolom pertama: nilai akar kuadrat periode
Kolom kedua: resistivitas semu
Kolom ketiga: fase



Gambar 3 7 Parameter Inversi 2D magnetotelurik

Selanjutnya dilakukan proses inversi. Gambar 3.7 merupakan parameter inversi yang digunakan untuk mengolah data magnetotelurik. Parameter inversi yang digunakan adalah inversi occam dengan *rms error* yang digunakan sebesar 0.1.

3.4.4 Pengolahan Data Seismik



Gambar 3 8 Diagram alir prosesing seismik

3.4.4.1 *Input* Geometri

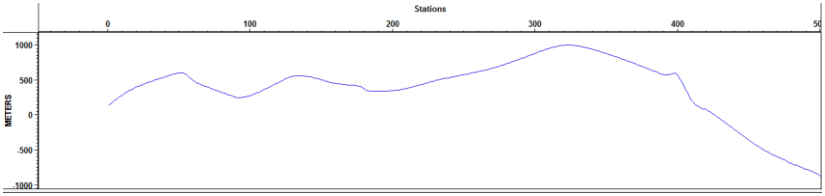
Pada tahapan ini dilakukan pemeberian label pada informasi *trace* data yang akan diolah. Hal ini disebabkan karena pengolahan data memerlukan tipe-tipe *sorting* yang berbeda seperti *CMP gather*, *Shot gather dsb*.

RECORD #	FIELD #	SHOT #	FIRST CHAN#	LAST CHAN#	BEFORE GAP FROM	BEFORE GAP TO	AFTER GAP FROM	AFTER GAP TO	SHOT BULK	SHOT DEPTH	SHOT UPHOLE	SHOT ELEV	SHOT X-COORD
DEF.INCR	1	1.00	1	1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1[501]	1 ☐	1.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	570.527	0.000	0.000	144.210	0.000
2[501]	2 ☐	6.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	518.693	0.000	0.000	221.960	200.000
3[501]	3 ☐	11.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	470.873	0.000	0.000	293.690	400.000
4[501]	4 ☐	16.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	429.640	0.000	0.000	355.540	600.000
5[501]	5 ☐	21.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	397.293	0.000	0.000	404.060	800.000
6[501]	6 ☐	26.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	369.960	0.000	0.000	445.060	1000.000
7[501]	7 ☐	31.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	345.247	0.000	0.000	482.130	1200.000
8[501]	8 ☐	36.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	322.353	0.000	0.000	516.470	1400.000
9[501]	9 ☐	41.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	300.967	0.000	0.000	548.550	1600.000
10[501]	10 ☐	46.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	281.333	0.000	0.000	578.000	1800.000
11[501]	11 ☐	51.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	267.253	0.000	0.000	599.120	2000.000
12[501]	12 ☐	56.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	293.267	0.000	0.000	560.100	2200.000
13[501]	13 ☐	61.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	347.233	0.000	0.000	479.150	2400.000
14[501]	14 ☐	66.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	380.880	0.000	0.000	428.680	2600.000
15[501]	15 ☐	71.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	407.573	0.000	0.000	388.640	2800.000
16[501]	16 ☐	76.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	432.573	0.000	0.000	351.140	3000.000
17[501]	17 ☐	81.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	456.607	0.000	0.000	315.090	3200.000
18[501]	18 ☐	86.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	480.793	0.000	0.000	278.810	3400.000
19[501]	19 ☐	91.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	502.447	0.000	0.000	246.330	3600.000
20[501]	20 ☐	96.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	496.453	0.000	0.000	255.320	3800.000
21[501]	21 ☐	101.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	477.607	0.000	0.000	283.590	4000.000
22[501]	22 ☐	106.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	451.647	0.000	0.000	322.530	4200.000
23[501]	23 ☐	111.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	419.440	0.000	0.000	370.840	4400.000
24[501]	24 ☐	116.00	1	501	1.00	501.00	0.00	0.00	384.887	0.000	0.000	422.670	4600.000

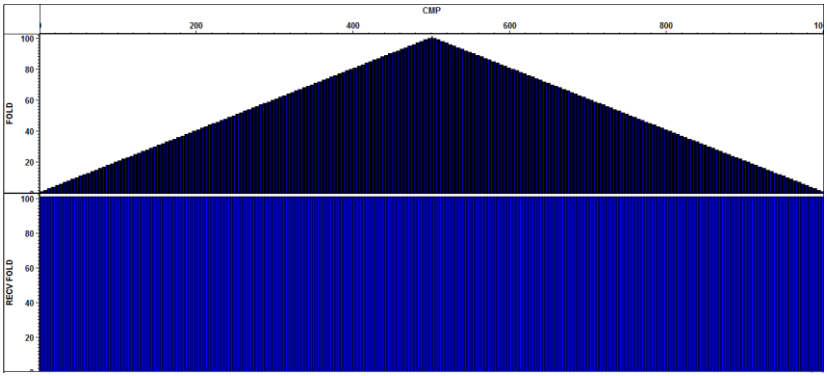
Gambar 3 9 Tabel *Shot Spread – Sheet* yang berisi informasi identitas *source*

RECORD #	RECEIVER #	DEAD STN	STN BULK	WEATH. VELOCITY	REPL. VELOCITY	FLOATING DATUM	STN ELEV	STN X-COORD	STN Y-COORD	TURN POINT	TURN ANGLE
DEF.INCR	1.00	☐	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1[40.00]	1.00	☐	570.527	0.000	1500.000	0.000	144.210	0.000	0.000	0.000	0.000
2[40.00]	2.00	☐	559.940	0.000	1500.000	0.000	160.090	40.000	0.000	0.000	0.000
3[40.00]	3.00	☐	549.453	0.000	1500.000	0.000	175.820	80.000	0.000	0.000	0.000
4[40.00]	4.00	☐	539.067	0.000	1500.000	0.000	191.400	120.000	0.000	0.000	0.000
5[40.00]	5.00	☐	528.800	0.000	1500.000	0.000	206.800	160.000	0.000	0.000	0.000
6[40.00]	6.00	☐	518.693	0.000	1500.000	0.000	221.960	200.000	0.000	0.000	0.000
7[40.00]	7.00	☐	508.753	0.000	1500.000	0.000	236.870	240.000	0.000	0.000	0.000
8[40.00]	8.00	☐	498.973	0.000	1500.000	0.000	251.540	280.000	0.000	0.000	0.000
9[40.00]	9.00	☐	489.373	0.000	1500.000	0.000	265.940	320.000	0.000	0.000	0.000
10[40.00]	10.00	☐	479.980	0.000	1500.000	0.000	280.030	360.000	0.000	0.000	0.000
11[40.00]	11.00	☐	470.873	0.000	1500.000	0.000	293.690	400.000	0.000	0.000	0.000
12[40.00]	12.00	☐	461.993	0.000	1500.000	0.000	307.010	440.000	0.000	0.000	0.000
13[40.00]	13.00	☐	453.380	0.000	1500.000	0.000	319.930	480.000	0.000	0.000	0.000
14[40.00]	14.00	☐	445.053	0.000	1500.000	0.000	332.420	520.000	0.000	0.000	0.000
15[40.00]	15.00	☐	437.153	0.000	1500.000	0.000	344.270	560.000	0.000	0.000	0.000
16[40.00]	16.00	☐	429.640	0.000	1500.000	0.000	355.540	600.000	0.000	0.000	0.000
17[40.00]	17.00	☐	422.520	0.000	1500.000	0.000	366.220	640.000	0.000	0.000	0.000
18[40.00]	18.00	☐	415.767	0.000	1500.000	0.000	376.350	680.000	0.000	0.000	0.000

Gambar 3 10 Tabel *Receiver Spread – Sheet* yang berisi informasi identitas *receiver*



Gambar 3 11 Posisi elevasi *Shot* dan *Receiver*



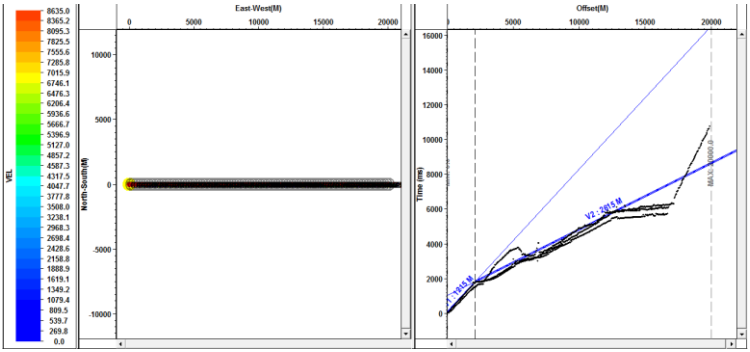
Gambar 3 12 *Fold Coverage* data

Gambar 3.9 dan 3.10 merupakan informasi posisi source dan *receiver* pada desain pengukuran. Hal ini digunakan untuk membentuk geometri yang sesuai dengan model desain pengukuran yang dimaksud. Gambar 3.11 merupakan gambar posisi elevasi data dalam pengolahan data yang seusai dengan zona penelitian dan pembagian CMP. Sementara Gambar 3.12 merupakan gambar fold coverage data yang dapat dipengaruhi oleh gelombang seismik apabila dnegan posisi geometri yang telah ditentukan dimana semakin ke tengah jumlah data seismik yang melewati semakin banyak.

3.4.4.2 Koreksi Statik

Gambar 3.13 merupakan hasil pengolahan koreksi statik pada software Vista. Pada tahap ini pengaruh topografi pada data dihilangkan. Tujuan dari koreksi statik adalah menghilangkan efek *delay time* yang disebabkan oleh lapisan lapuk dekat dengan permukaan dan efek topografi permukaan daerah penelitian untuk mendapatkan posisi dan *shot* pada nilai yang sama. Proses dilakukan dengan menggunakan *picking first break* yang mana digunakan untuk

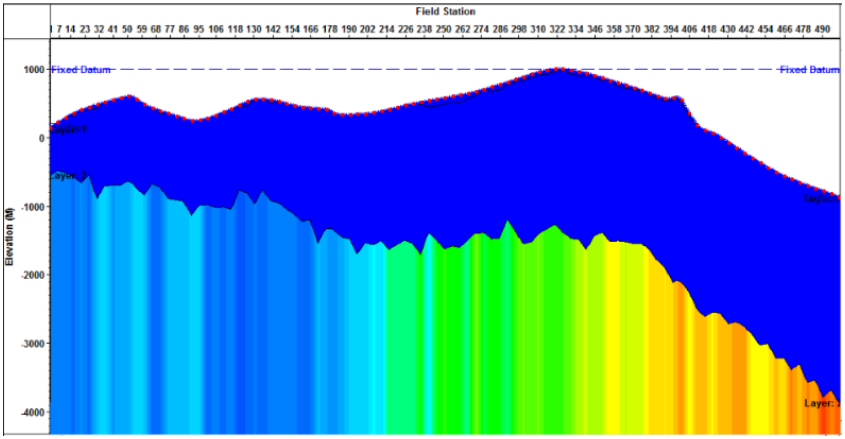
mendefinisikan zona lapisan lapuk dekat permukaan pada proses koreksi statik untuk mendekati nilai ketinggian pada topografi sebenarnya.



(a) (b)

Gambar 3 13 (a) *Control point* (b) *Picking First Break* gelombang seismik

Gambar 3.14 merupakan kecepatan hasil *picking first break*. Data kecepatan *picking first break* dikontrol oleh *control point* yang membentang sepanjang lintasan dengan spasi sebesar 50 m antar *control point* data. Data dipisahkan menjadi 2 lapisan dimana kecepatan pertama didefinisikan sebagai zona lapisan lapuk.

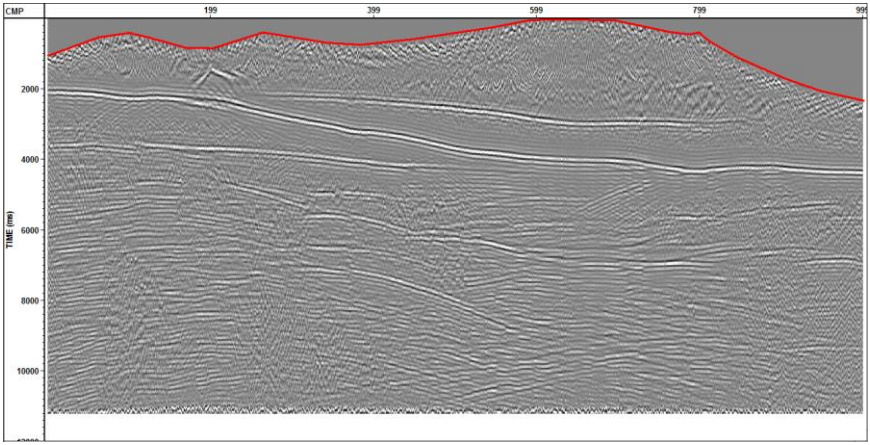


Gambar 3 14 Model kecepatan hasil *Picking First Break data*

Data menggunakan fix datum sebesar 1000 m. Pada proses pendefinisian diperoleh 2 zona lapisan dengan batas antar zona adalah daerah batas lapisan lapuk. Data hasil statik kemudian dimasukkan ke dalam header seismik dalam proses koreksi statik.

3.4.4.3 Dekonvolusi

Gambar 3.15 merupakan pengolahan hasil dekonvolusi. Proses dekonvolusi dimaksudkan untuk meningkatkan resolusi vertikal dari data seismik. Pada tahap ini digunakan digunakan metode dekonvolusi predictive *deconvolution*. Parameter yang digunakan adalah *Operator Length* yang merupakan luasan data yang akan diproses dekonvolusi dengan nilai sebesar 80 ms dan Lag yaitu tingkat akurasi dalam proses dekonvolusi sebesar 4 ms.

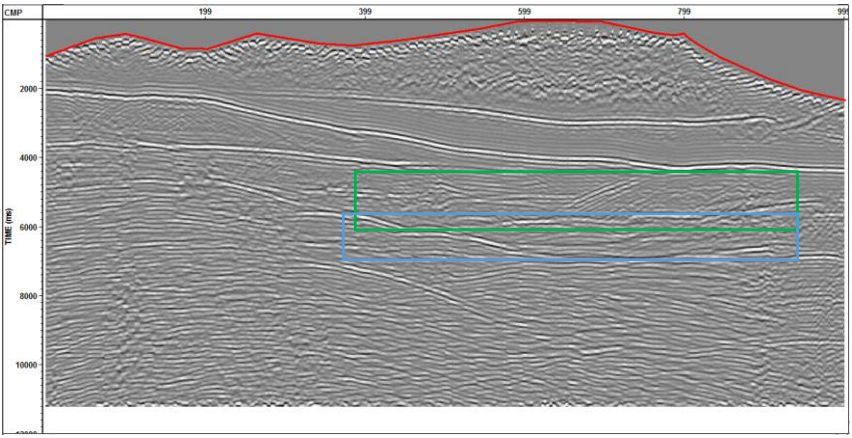


Gambar 3 15 Hasil *stacking* data proses *Predictive Deconvolution*

3.4.4.4 Spherichal Divergence

Spherical divergence dilakukan untuk meningkatkan resolusi data pada lapisan dalam. Hal ini perlu dilakukan karena ketika gelombang seismik merambat pada medium bumi, jarak yang ditempuh gelombang mempengaruhi kekuatan frekuensi gelombang menjalar dimana semakin jauh gelombang menjalar, frekuensi yang dihasilkan semakin kecil akibat efek pelemahan akibat energi yang hilang selama gelombang menjalar. Tahap ini menggunakan data hasil analisa kecepatan untuk menguatkan *trace* seismik berdasarkan kedalaman. Hal ini sangat membantu untuk mendapatkan reflektor lapisan di bawah basalt

akibat perbedaan densitas batuan yang sangat kontras pada kontak basalt yang menyebabkan peredaman dan pemantulan gelombang frekuensi tinggi.

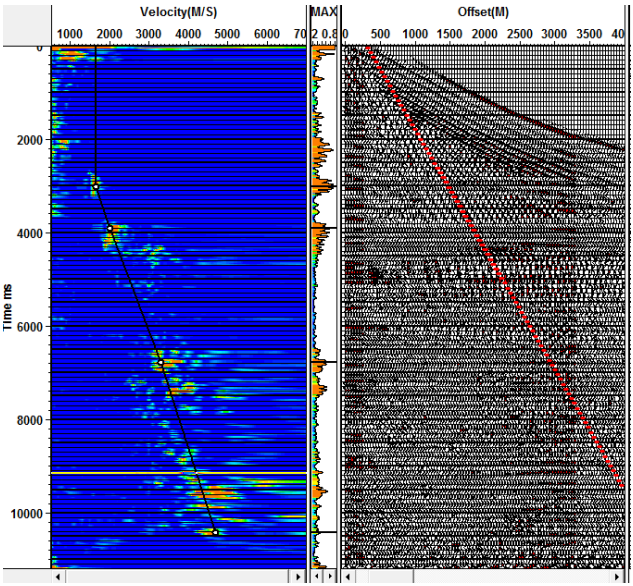


Gambar 3 16 Hasil *stacking* data proses *Spherical divergence*

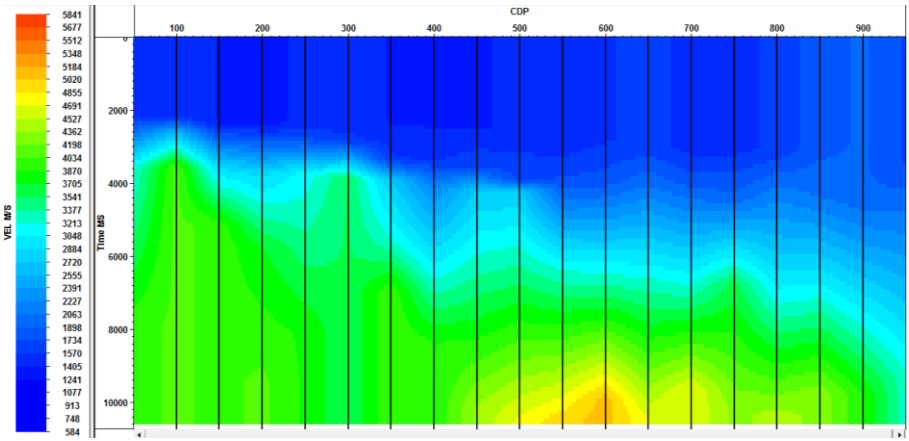
Pada gambar 3.16 dapat terlihat zona reflektor bada bagian bawah lapisan dimana diprediksi sebagai zona batas antara lapisan basement dan zona *reservoir* yang ditunjukan pada kotak warna biru, serta terlihat secara samar bentuk dari *trap reservoir* yaitu bentukan *toe thrust* yang ditunjukan pada kotak warna hijau.

3.4.4.5 Analisis Kecepatan

Tahap ini merupakan proses pemilihan kecepatan yang sesuai dengan data seismik. Proses pemilihan dilakukan secara kualitatif berdasarkan informasi yang ada pada data seismik, yaitu pada data *semblane* yang mampu meluruskan even pada CDP *gather* dari bentuk hiperbolik. *Semblane* adalah spektrum kecepatan.

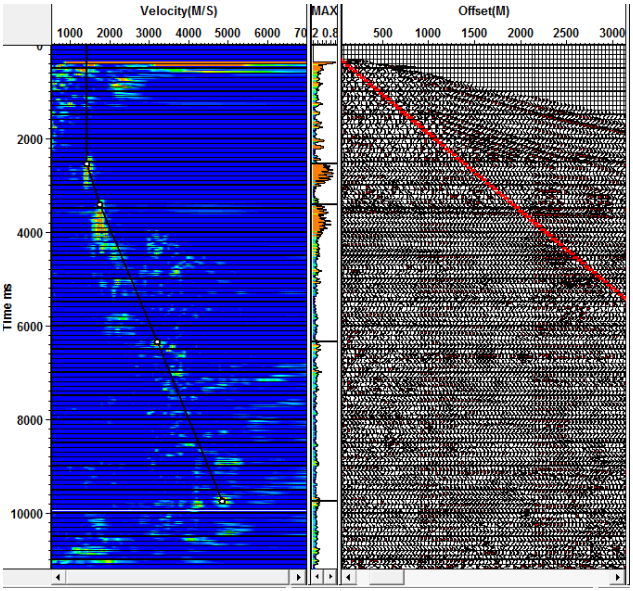


Gambar 3 17 Analisis kecepatan data seismik



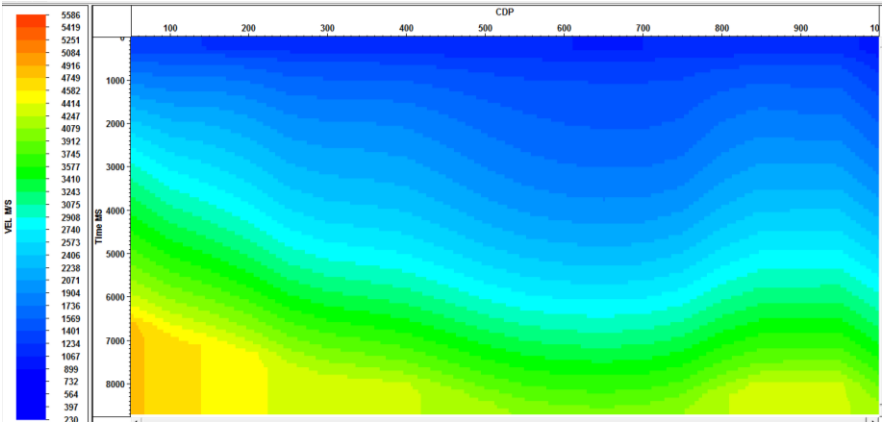
Gambar 3 18 Model kecepatan hasil analisis kecepatan data seismik

Gambar 3.17 merupakan proses *picking* even di *semblance* dengan informasi data seismik dan gambar 3.18 merupakan hasil model kecepatannya. Pada tahap ini dilakukan proses pengulangan untuk mendapatkan model kecepatan terbaik yang sesuai dengan kondisi real daerah penelitian. Model kecepatan hasil analisis yang telah dilakukan kemudian digunakan pada proses *spherichal divergence* untuk meningkatkan kualitas data. Kemudian dilakukan pembuatan *semblane* kembali dan proses analisa kecepatan yang berulang hingga mendapatkan kualitas model kecepatan terbaik.



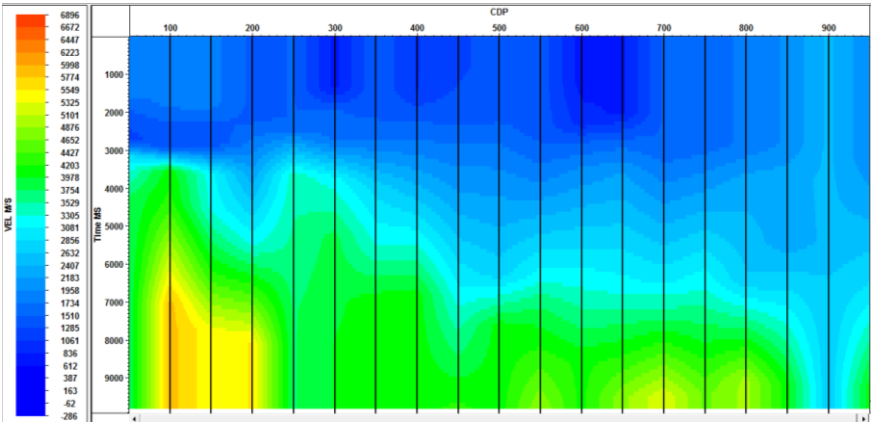
Gambar 3 19 Analisa kecepatan menggunakan informasi dari data magnetotelurik

Selain itu, dalam upaya peningkatan hasil model kecepatan yang memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi terhadap model asli, dilakukan pemanfaatan informasi dari data lain yaitu analisa kecepatan menggunakan bantuan model kecepatan hasil konversi dari data magnetotelurik untuk meningkatkan resolusi data khususnya bagian bawah dari lapisan basalt. Informasi dari model kecepatan data magnetotelurik juga dapat membantu untuk meminimalisir kesalahan analisa kecepatan dalam menentukan even reflektor atau *multiple*.



Gambar 3 20 Model kecepatan dari data magnetotelurik

Gambar 3.19 merupakan proses *picking* even di *semblance* dengan informasi nilai kecepatan hasil konversi domain resistivitas memanfaatkan persamaan Faust dan gambar 3.20 merupakan hasil model kecepatannya. Setelah dilakukan konversi, kemudian dilakukan penyesuain antara domain kedalaman ke domain waktu dengan kalkulasi manual. Setelah itu dilakukan perhitungan *Vrms* untuk proses *NMO*. Selain itu, dilakukan penyesuaian letak titik kecepatan hasil konversi terhadap pembagian *CMP* pada analisis kecepatan di sesimik.

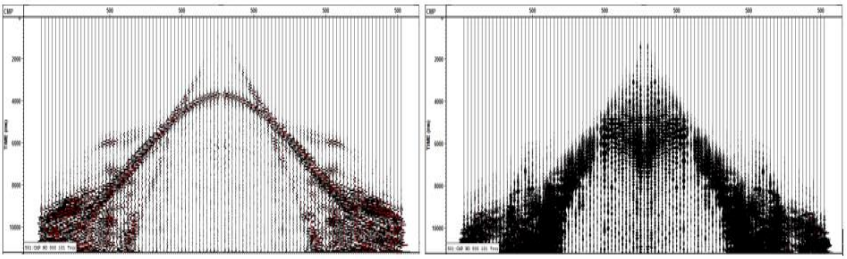


Gambar 3 21 Model kecepatan hasil analisis kecepatan data seismik menggunakan informasi dari data magnetotelurik

Gambar 3.21 merupakan penampang kecepatan yang diolah dari analisis kecepatan hasil konversi data resistivitas magnetotelurik. Berdasarkan model kecepatan hasil analisis dari data magnetotelurik didapatkan keakuratan yang lebih tinggi mengenai informasi reflektor dibawah lapisan basalt dan tingkat kesesuain yang lebih tinggi untuk nilai kecepatan antara model awal dengan model hasil analisis.

3.4.4.6 Enhancement Signal

Gambar 3.22 merupakan hasil *enhance signal* pada pengolahan seismik. Pada tahap ini efek *multiple* dan noise pada data seismik akan dihilangkan untuk mendapatkan penampang seismik yang. Adapun tahap-tahap yang dilakukan diantaranya adalah proses mutting yaitu proses pemotongan data shoot gather yang bertujuan untuk *display* data yang lebih baik. Selain itu dilakukan *filtering signal* dengan menggunakan filter *bandpass*. Variasi frekuensi yang digunakan pada filter bandpass yaitu frekuensi 1, 3, 8 dan 10 dimana merupakan frekuensi dominan pada data seismik serta diperoleh banyak even probabilistik yang menerus yang diduga sebagai reflektor pada data seismik.



(a) (b)

Gambar 3 22 (a) *CMP* 500 setelah dilakukan *Bandpass* (b) *CMP* 500 sebelum dilakukan *Bandpass*

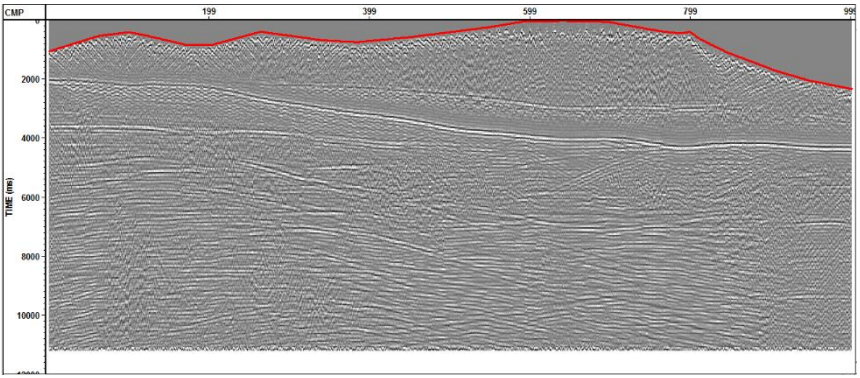
3.4.4.7 Normal Move Out

Pada tahap ini even reflektor data seismik pada *CMP gather* akan dikembalikan ke *offset* nol dengan menggunakan model kecepatan hasil dari proses analisis kecepatan.

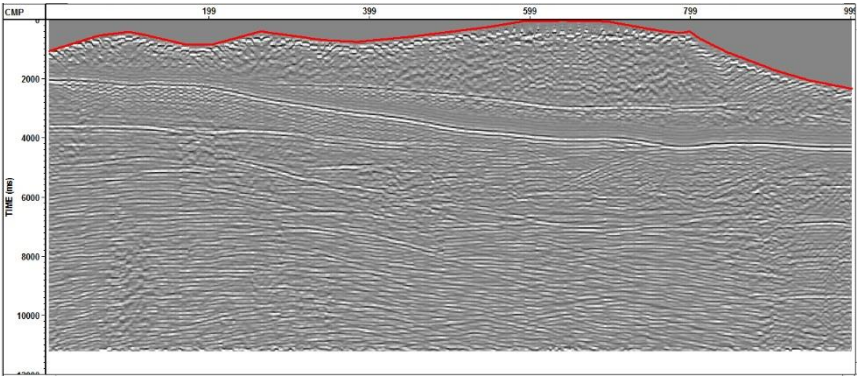
3.4.4.8 Trace mix

Pada tahap ini kualitas data akan ditingkatkan secara lateral untuk mendapatkan bentuk perlapisan yang kontinu. Tahap ini menggunakan konsep

pembobotan pada proses penggabungan data *trace* seismik dimana bobot data yang tertinggi adalah data pada bagian tengah dalam proses penggabungan data *trace* seismik secara lateral. Secara sekilas dapat dilihat pada Gambar 3.23 bahwa penampang b lebih gemuk daripada penampang a.



(a)



(b)

Gambar 3 23 (a) Penampang data seismik sebelum dilakukan proses *Trace mix* *(*b) Penampang data seismik setelah dilakukan *Trace mix*

3.4.4.9 *Stacking* Data

Tahap ini adalah penyusunan data seismik berdasarkan informasi geometri data berdasarkan *CMP* data untuk mendapatkan gambaran penampang data seismik daerah penelitian.

3.4.5 Integrasi Data Seismik dan Magnetotelurik

Data resistivitas hasil inversi 2D magnetotelurik dikonversi menjadi data kecepatan menggunakan persamaan Faust. Kemudian data kecepatan ini digunakan dalam pengolahan seismik sebagai data input pada proses *spherical divergence* dan sebagai petunjuk dalam melakukan *picking velocity* untuk mendapatkan penampang integrasi dari data seismik dan magnetotelurik. Tujuan tahap ini adalah untuk mengetahui kecocokan serta menganalisis faktor penyebab adanya perbedaan hasil antara pengolahan data *forward modelling* dengan model konseptual sebagai rekomendasi dalam pembuatan desain akuisisi data daerah geologi kompleks zona sub-vulkanik, untuk mendapatkan bentuk penggambaran bawah permukaan terbaik.

3.5 Jadwal Penelitian

Tabel 3 3 Jadwal penelitian

No.	Uraian Kegiatan	FEBRUARI					MARET				APRIL				MEI					JUNI			
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4
1	Studi Literatur																						
2	Pembangunan Model Geologi Kompleks																						
3	Pembuatan Sintetik Model MT																						
4	Evaluasi Hasil Sintetik Model MT																						
5	Pengolahan Data MT																						
6	Evaluasi Hasil Pengolahan data MT																						

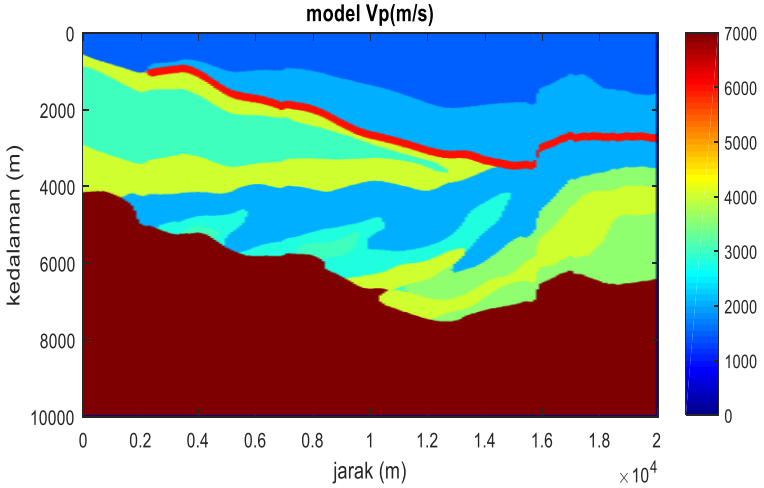
9	Pengolahan Data Seismik																						
10	Evaluasi Hasil Pengolahan data Seismik																						
11	Integrasi data Seismik dan MT																						
12	Evaluasi Hasil Integrasi Data																						
13	Penyusunan Laporan Hasil Penelitian																						

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Magnetotelurik

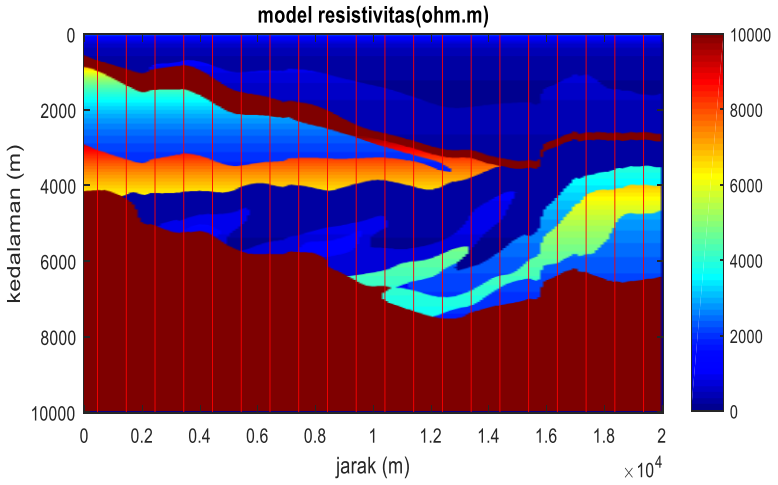
Gambar 4.1 merupakan model kecepatan hasil *forward modelling* magnetotelurik. Pada model tersebut dilakukan *flattening* dari model awal (Gambar 3.3). Hal ini dilakukan karena pada proses *forward modelling* magnetotelurik kalkulasi *forward* tidak dapat dilakukan tepat mengikuti bentuk kontur model. Selain itu, apabila kalkulasi dilakukan tepat mengambil satu titik ketinggian acuan dan ditarik sama secara horizontal, proses kalkulasi juga tidak dapat terbaca karena jarak antara titik kalkulasi dengan permukaan kontur dianggap sebagai udara sehingga tidak dapat menghasilkan nilai *apparent resistivity*, frekuensi, dan fase yang diharapkan. Nilai dari kecepatan pada model sama dengan model kecepatan yang dilakukan pada *forward modelling* seismik.



Gambar 4 1 Model kecepatan hasil *forward modelling* magnetotelurik

Gambar 4.2 merupakan model resistivitas yang didapat dari Persamaan Faust. Pada Persamaan Faust terdapat variabel a dan c yang harus didapatkan untuk mendapatkan pemodelan resistivitas yang logis. Hasil penelitian pada tahap ini didapatlah nilai variable a dan c sebesar 130.3888788 dan 0.19999999. Adapun hasil model resistivitas lapisan dengan nilai a dan c tersebut berkisar 45.436 hingga 10080 Ohm.m. Nilai tersebut sesuai dengan tabel referensi resistivitas (Tabel 2.1). Selain dikontrol dengan referensi nilai resistivitas batuan,

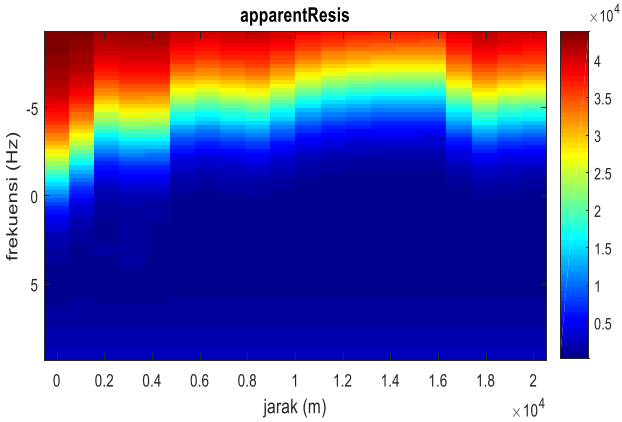
penentuan nilai resistivitas juga dengan mencocokkan antara model resistivitas dengan mode geologi secara real. Pada model geologi real terdapat lapisan sedimen *sandstone* yang memiliki struktur *toe thrust* dibawah lapisan basalt. Kombinasi nilai a dan c yang tepat akan menghasilkan bentukan model resistivitas yang jelas seperti pada model geologi asli. Tampak tidaknya lapisan sedimen *sandstone* berstruktur *toe thrust* tersebut nantinya akan menjadi pengontrol pada proses pengolahan selanjutnya.



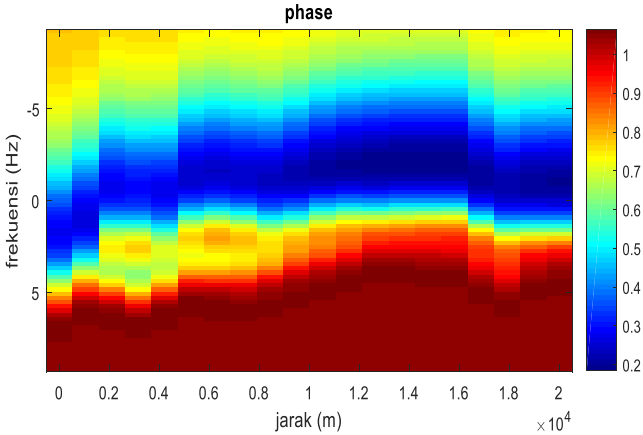
Gambar 4 2 Model resistivitas hasil *forward modelling* magnetotelurik

Gambar 4.3 dan 4.4 merupakan penampang *apparent resistivity* dan fase dari *forward modelling* magnetotelurik dengan sumbu y menunjukkan nilai frekuensi (Hz) sedangkan sumbu y menunjukkan jarak (m). Frekuensi tinggi berkorelasi dengan kedalaman dangkal, sedangkan frekuensi rendah sebaliknya. Secara umum model *apparent resistivity* menunjukkan nilai resistivitas semakin besar seiring dengan bertambahnya kedalaman dan hanya memiliki 3 lapisan. Sementara pada model fase terlihat secara umum bahwa lapisan yang terbentuk lebih detil daripada model *apparent resistivity* dan nilai fasenya menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman atau berkebalikan dengan hasil model *apparent resistivity* nya. Hal ini terjadi karena *apparent resistivity* hanya dapat menggambarkan tren resistivitas bawah permukaan dan kira-kira ada berapa lapisan saja. Nilai resistivitasnya bukan merupakan nilai resistivitas asli dari bawah permukaan. Nilai tersebut nilai resistivitas semu yang dipengaruhi oleh

beberapa faktor, seperti lapisan sebelum dan sesudahnya, serta efek *static shift.* Sedangkan pada fase, nilai fase menunjukkan perbedaan fase gelombang antara medan magnet dan medan listrik pada data MT ketika menembus lapisan bumi. Perbedaan fase ini diakibatkan oleh efek atenuasi dan jeda waktu ketika medan magnet berdifusi ke dalam lapisan bumi dimana atenuasi dan jeda waktu tersebut dipengaruhi oleh nilai konduktivitas pada tiap lapisan. Sehingga nilai fase ini dianggap lebih merepresentatifkan model geologi secara real.



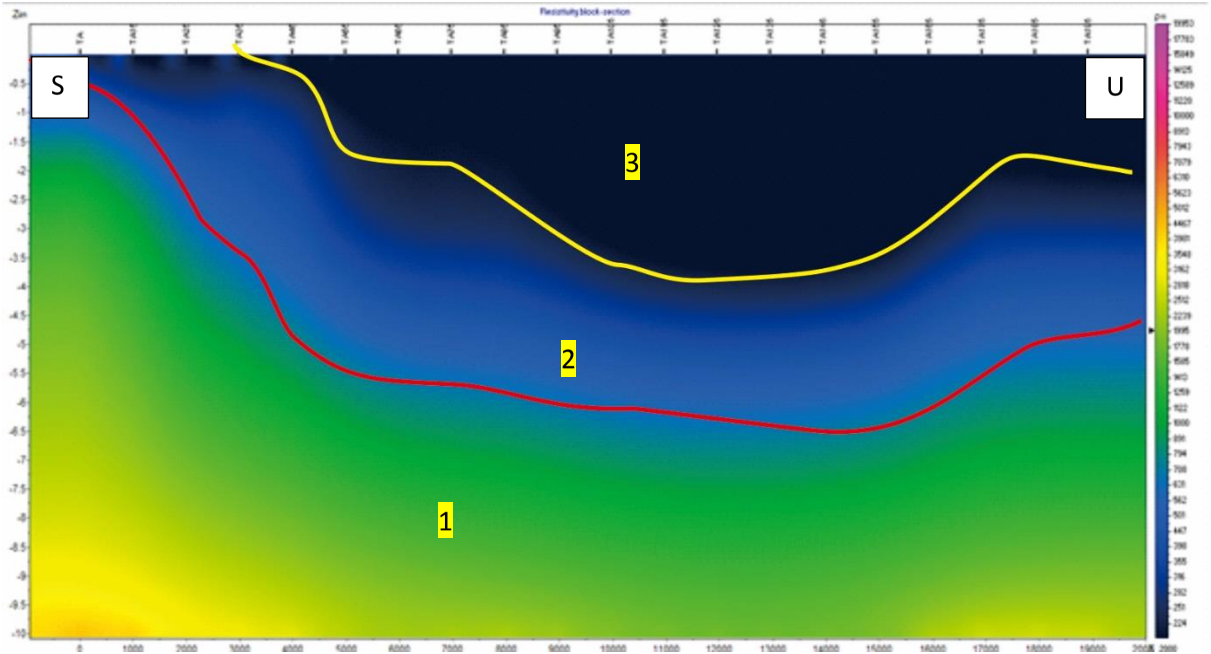
Gambar 4 3 Model *apparent resistivity* hasil *forward modelling* magnetotelurik



Gambar 4 4 Model fase hasil *forward modelling* magnetotelurik

Gambar 4.5 merupakan penampang inversi 2D data magnetotelurik. Inversi yang digunakan pada proses inversi ini merupakan inversi *occam* dengan nilai eror sebesar 0.1. Pemilihan inversi occam dikarenakan inversi ini memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dari jenis inversi lainnya pada software yang digunakan. Pencacahan dalam membaca lapisan yang memiliki kontras resistivitas berbeda sehingga menghasilkan penampang yang *smooth.* Hasil inversi menunjukkan terdapat 3 dominan kecepatan kontras yang ditandai dengan perbedaan warna, yaitu warna jingga kemerahan hingga hijau dengan rentang resistivitas 2000-5000 Ohm.m, warna hijau hingga biru muda dengan rentang resistivitas 500-2000 Ohm.m, dan warna biru muda hingga biru tua dengan rentang resistivitas 100-500 Ohm.m yang kemudian disebut sebagai lapisan 1, 2 dan 3.

Pada penampang hasil inversi 2D tersebut tidak terlihat adanya lapisan basalt yang terlihat sangat jelas pada hasil pengolahan data seismik (Gambar 4.6). Namun, dari ketiga lapisan dominan tersebut dapat merepresentatifkan lapisan-lapisan dengan kontras resistivitas yang besar. Berdasarkan referensi nilai resistivitas batuan pada Tabel 2.1, lapisan 3 merupakan rentang nilai yang sesuai untuk lapisan sedimen piroklastik (10-800 Ohm.m), sementara lapisan 2 zona target yang merupakan lapisan *sandstone* berstruktur *toe thrust* (1 - 6.4 x 10^3), serta lapisan 1 merupakan lapisan basement batuan beku vulkanik (10 - 1.3 x 10^6 Ohm.m). Tidak terlihatnya lapisan basalt pada pengolahan magnetotelurik ini akibat terlalu tipisnya lapisan tersebut sehingga jika digunakan metode magnetotelurik yang merupakan metode pasif dan memiliki nilai frekuensi sangat rendah, maka jangkauan kedalaman yang dapat ditembus sangat dalam (10-20 km) sementara lapisan basalt pada model hanya memiliki ketebalan 200 m. Sisi Utara pada penampang tampak naik dan didominasi dengan lapisan batuan beku (lapisan 2). Hal ini menunjukkan kesesuaian antara model real geologi dengan hasil inversi yang didapat. Pada model geologi Gambar 3.3 terlihat adanya sisipan batuan baku yang mengisi pada kedalaman 2-5 km di sebelah utara.



Gambar 4 5 Hasil inversi 2D magnetotelurik

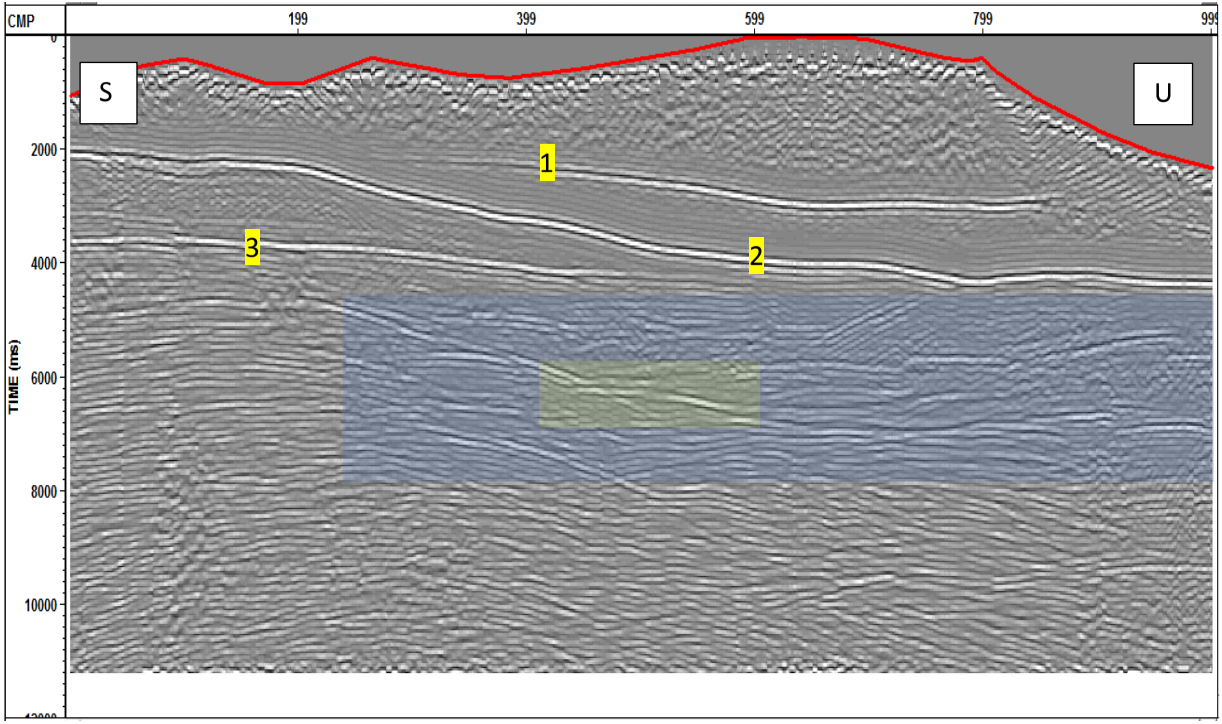
4.2 Data Seismik

Gambar 4.6 merupakan hasil *stack* penampang seismik yang didapat dari pengolahan data seismik. Pada proses ini dilakukan proses *picking* seismik pada even reflektor yang terlihat pada *semblane* (ditandai dengan amplitudo tinggi dan kemenerusan antara even reflektor satu dengan lainnya). Hasil *stack* penampang seismik pada gambar 4.6 tersebut memperlihatkan 3 reflektor yang jelas terlihat yang berada pada waktu 0-4000 ms.

Reflektor nomor 3 terlihat karena pada batas lapisan terebut memiliki kontras kecepatan dan densitas yang berbeda. Jika merujuk pada model real geologi pada Gambar 3.3, lapisan di atas reflektor merupakan lapisan soil sementara di bawah reflektor merupakan lapisan batuan pasir. Lalu pada reflektor nomor 2 terlihat merupakan reflektor dominan. Hal ini diindikasikan sebagai lapisan basalt yang memiliki kontras kecepatan dan densitas yang besar diantara dua lapisan sebelum dan sesudahnya. Jika merujuk pada model real geologi pada Gambar 3.3, dapat dilihat di atas lapisan basalt merupakan lapisan batuanpasir dan di bawahnya merupakan lapisan *sandstone* yang memiliki kecepatan dan densitas lebih kecil dari batu basalt itu sendiri. Adapun yang menjadi hal menarik pada penampang ini adalah lapisan yang berada di bawah lapisan basalt (pada kotak warna biru). Jika merujuk pada model real geologi pada Gambar 3.3, lapisan pada kotak warna biru merupakan lapisan *sandstone* berstruktur *toe thrust* yang menjadi target penelitian karena merupakan *trap* pada *petroleum system* di daerah Sub-Vulkanik Serayu Utara ini. Namun, dari hasil pengolahan data sesmik tersebut terlihat adanya ambiguitas reflektor (pada kotak kuning reflektor terputus) sehingga menimbulkan kesalahan dalam interpretasi. Hal ini terjadi karena gelombang seismik terefleksi kembali ke atas oleh adanya lapisan basalt yang memiliki nilai densitas besar dari lapisan diantaranya ditambah lagi frekuensi yang digunakan pada penelitian ini hanya 5 Hz. Gelombang berfrekuensi rendah memberikan informasi yang bersifat makroskopis dan kurang mendetail akibat amplitudo gelombang yang relatif panjang sehingga kemampuan gelombang untuk memberikan informasi sesuai teori *tunning thickness* yaitu seperempat panjang gelombang sangat mempengaruhi ketersediaan informasi yang diberikan. Selain itu, akibat frekuensi rendah yang dihasilkan, kontras *semblane* yang diciptakan menjadi relatif kecil sehingga mempersulit dalam proses analisis data untuk menciptakan model kecepatan yang memiliki kemiripan dengan model awal data.

Sedangkan pada reflektor 1 dapat terlihat walaupun berada di bawah lapisan basalt, karena lapisan tersebut merupakan lapisan beku yang memiliki kecepatan dan densitas tinggi pula, sehingga batas reflektornya masih dapat terlihat. Hal tersebutlah yang melandasi diperlukannya batuan metode magnetotelurik untuk

memperbaiki kualitas data seismik bagian bawah lapisan basalt untuk mendapatkan informasi yang lebih jelas mengenai batas formasi serta struktur *toe thrust* yang merupakan target dari penelitian.

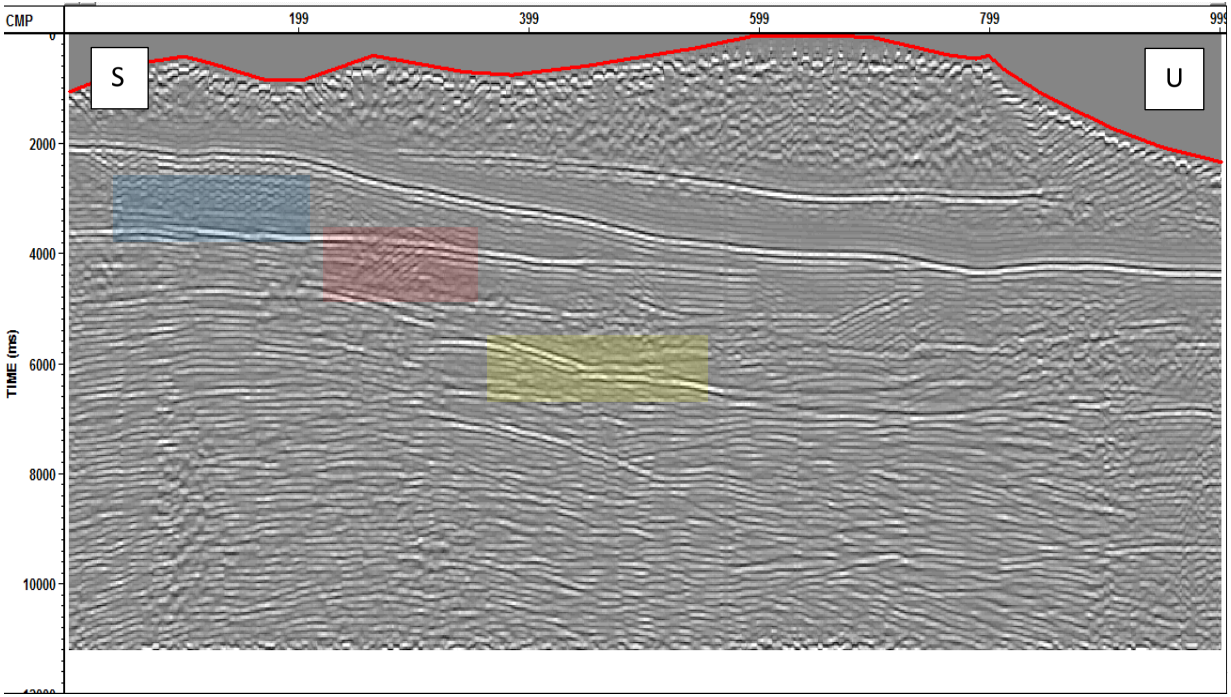


Gambar 4 8 Penampang *stacking* seismik tanpa integrasi

4.3 Integrasi Data Seismik dengan Magnetotelurik

Pada proses integrasi peneliti mencoba dua cara. Metode pertama dengan mengganti nilai kecepatan pada proses *velocity analysis* dengan nilai kecepatan hasil konversi data resistivitas metode magnetotelurik yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Pada penampang tersebut terdapat peningkatan nilai frekuensi gelombang seismik khususnya pada lapisan bawah basalt. Hal ini dapat membantu mengurangi kesalahan dalam interpretasi. Hal tersebut dapat terlihat pada kotak berwarna kuning. Jika dibandingkan dengan penampang pada Gambar 4.6 pada posisi tersebut, dapat dilihat bahwa adanya kemenerusan reflektor sehingga dapat memudahkan untuk menarik batas antar lapisan di bawah lapisan basalt. Namun demikian, dengan cara pertama ini didapat hasil beberapa *multiple* yang ditunjukkan oleh kotak berwarna merah dan biru. Efek *multiple* tersebut mengakibatkan kesalahan dalam interpretasi pula karena reflektor menjadi blur. Efek *multiple* ini terjadi karena ketidakcocokan kecepatan hasil konversi terhadap data seismik dimana nilai kecepatan hasil konversi tersebut memiliki nilai yang lebih kecil dari kecepatan model. Selain itu nilai kecepatan hasil konversi memiliki pencacahan secara vertikal yang cenderung rapat sehingga pada penentuan even reflektor tidak hanya reflektor yang terbaca, namun juga *multiple* tersebut. Pada *multiple* dekat lapisan basalt (kotak warna biru) kemungkinan terjadi karena data magnetotelurik ini tidak dapat membaca lapisan basalt tersebut karena lapisan yang tipis (200 m) sementara jangkauan penetrasi data magnetotelurik sangat dalam (10-20 km) (Bera dan Rao, 2005).

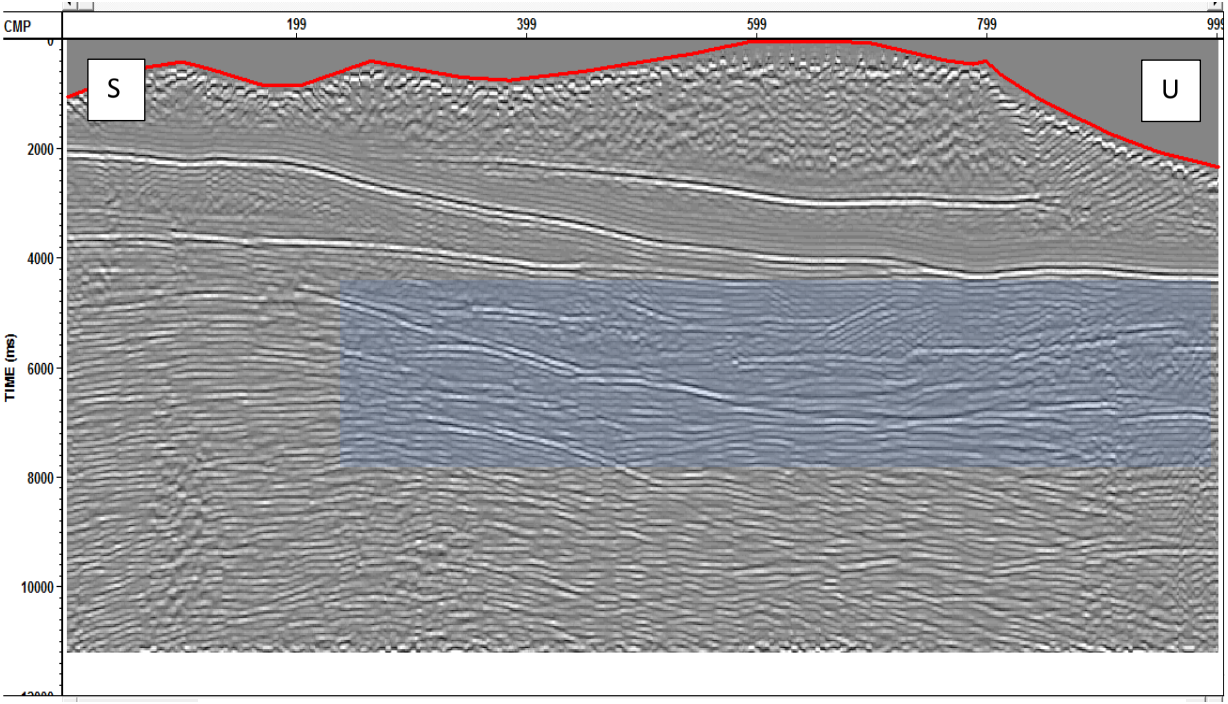
Secara keseluruhan integrasi kedua metode dengan cara ini dapat meningkatkan frekuensi seismik pada zona target dengan memberikan informasi even reflektor yang menerus. Namun, terdapat beberapa kelemahan, diantaranya menimbulkan efek *multiple*. Munculnya *multiple* ini sebagai akibat tidak cocoknya posisi reflektor dengan posisi kecepatan secara vertikal sehingga perlu dilakukan cara kedua dalam proses integrasi kedua metode ini. Cara tersebut dengan melibatkan proses *spherical divergence* dalam analisis kecepatannya.



Gambar 4 11 Pebampang Stacking seismik hasil integrasi data magnetotelurik cara pertama

Cara integrasi kedua ini menggunakan kecepatan hasil konversi resistivitas untuk proses *spherical divergence*. Setelah itu, dilakukan pembuatan *semblane* dari input data *spherical divergence* kecepatan hasil konversi nilai resistivitas. Kemudian dilakukan picking *velocity* pada even-even reflektor yang terdapat pada *semblane*. Hal tersbut dilakukan berulang hingga tidak didapati perbedaan yang signifikan. Hasil integrasi dengan cara kedua ini dinilai lebih efektif dari cara pertama. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8. Efek *multiple* yang muncul pada gambar 4.7 berkurang dan batas reflektor yang berada pada zona target terlihat kemenerusannya (kotak biru) serta reflektor untuk struktur *toe thrust* pada lapisan lebih terlihat lebih tajam walau tidak berpola.

Bentuk reflektor yang tidak berpola tersebut dapat menimbulkan keraguan interpreter dalam menentukan batas lapisan. Ketidakjelasan bentuk penampang data hasil integrasi dapat disebabkan karena minimnya informasi yang dapat diberikan oleh data seismik, dikarenakan posisi lapisan basalt yang tepat berada di atas zona target sehingga hanya gelombang berfrekuensi rendah yang dapat lewat dimana gelombang ini memiliki amplitudo gelombang yang besar dan sebagian gelombang tersebut terefleksi kembali ke atas sehingga hanya memberikan informasi yang sangat sedikit.



Gambar 4 14 Penampang *stacking* seismik hasil integrasi data magnetotelurik cara kedua

BAB V. PENUTUP

5.1 Simpulan

Setelah melakukan penelitian ini, didapat beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Gelombang seismik tidak dapat memberikan hasil penampang yang jelas pada zona target yang tersusun atas *sandstone* berstruktur toe thrust di kedalaman 4000-6000 ms karena gelombang seismik dipantulkan kembali ketika menembus lapisan basalt yang terletak di atas zona target. Sedangkan pada metode magnetotelurik, gelombang elektromagnetik tidak dapat memperlihatkan adanya lapisan tipis basalt karena perbandingan resolusi penetrasi dengan ketebalan lapisan basalt terlalu jauh. Namun, gelombang elektromagnetik dapat menembus zona target pada dan memperlihatkan adanya reflektor pada zona tersebut.
2. Data magnetotelurik dapat meningkatan pencitraan seismik di daerah sub vulkanik dengan menghasilkan kualitas data yang dapat memperlihatkan batas lapisan pada zona target kedalaman 4000-6000 ms.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Perlu dilakukan pengembangan dalam proses *forward* data magnetotelurik untuk mendapatkan hasil yang lebih mendekati kenyataan pada akusisi di lapangan.
2. Perlu dilakukan pengembangan inversi pada masing-masing metode setelah itu dilakukan joint inversi antara kedua metode tersebut dengan memberikan suatu pembobotan pada masing-masing metode untuk menghasilkan hasil integrasi yang lebih efektif.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR PUSTAKA

Agus, A. (2010), "Static Correction". *Seismic Encyclopedia*. hal.hal. 2.

Agus, A. (2008), "Faust Equation". *Seismic Encyclopedia*. hal.hal. 1–2.

Amat, S., Blázquez, P.J., Busquier, S. dan Bermúdez, C. (2017), "Wavelets for the Maxwell's equations: An overview", *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol.321, hal. 555–565. http://doi.org/10.1016/j.cam.2017.02.015.

Asikin (1992), "Peta Geologi Lembar Kebumen", *Penelitian dan Pengembangan Geologi*,.

Van Bemmelen, R.W. (1949), "The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes" *The Geology of Indonesia*.

Bera, P. dan Rao, C.K. (2005), *Magnetotelluric Method : A Tool for Deep Crustal Study*, hal. 1–7.

Fernadi, H. dan Thee, H. (1992), *Pengolahan Data Seismik dengan Dekonvolusi*.

Fikri, M., Widodo, A. dan Syaifuddin, F. (2018), "Integrasi Metode Magnetotellurik dan Metode Gravity untuk Meningkatkan Imaging Seismik pada Daerah Vulkanik", *Jurnal Geosaintek*, hal. 1–5.

Ghazalli, M., Widodo, A. dan Syaifuddin, F. (2016), "Pemodelan Data Seismik Lingkungan Vulkanik", *Jurnal Geosaintek*, Vol.2, hal. 113.

Jyalita, J. (2013), "Kendali Stratigrafi dan Struktur Gravitasi pada Rembesan Hidrokarbon Sijenggung, Cekungan Serayu Utara", *Prosiding Seminar Nasional Kebumian Ke-6 Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada*, No.December 2013, hal. 474–489. http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4987.7200.

Munadi dan Pasaribu (1984), *Aspek Fisis Seismologi Ekspolarasi*, Jakarta.

Oskooi, B. (2011), "2D inversion of the Magnetotelluric data from Travale Geothermal Field in Italy", *Journal of the Earth & Space Physics*, Vol.36, hal. 1–18.

Satyana, A.H. (2015), "Subvolcanic Hydrocarbon Prospectivity of Java: Opportunities and Challenges", *Indonesian Petroleum Association*

Exhibition and Convention, No.May, hal. 13–16.

Simpson, F. (1997), "Practical Magnetotelluric", *Geophysical Journal International*,.

Telford, W., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990), "Applied Geophysics" *Edition, Cambridge University Press*. http://doi.org/10.1180/minmag.1982.046.341.32.

Ubaidillah, N.U.R. (2009), *Universitas Indonesia Analisis Proses Pre-Stack Time Migration Dan Post-Stack Time Migration Di Lapangan X Di Universitas Indonesia Analisis Proses Pre-Stack Time Migration Dan Post-Stack Time Migration Di Lapangan X Di*, Diambil dari http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20181502-S29430-Nur Ubaidillah.pdf.

Widarto, D. (2008), *Metoda Magnetotelurik Dalam Geofisika Eksplorasi*,.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Script Flattening model

```
function [modelshift]=JI_shift_model(model);

[i,j]=size(model);
rho1=reshape(model,i,j);
% figure (1)
% pcolor(model);
% colormap('jet'); axis ij; colorbar;
% xlabel ('distance (km)');
% ylabel ('depth (km)');

for jj=1:j;
clc
modelx=model(:,jj);
zero=ones(length((find(~modelx))),1).*modelx(max(find
(modelx)));
nonzero=modelx(find(modelx));
modelshift(:,jj)=[nonzero;zero];
progress=(jj/j)*100
end
% figure (2)
% pcolor(modelshift);
% colormap('jet'); axis ij; colorbar;
% xlabel ('distance (km)');
% ylabel ('depth (km)');
end
```

Lampiran 2. Script *Forward modelling* Magnetotelurik

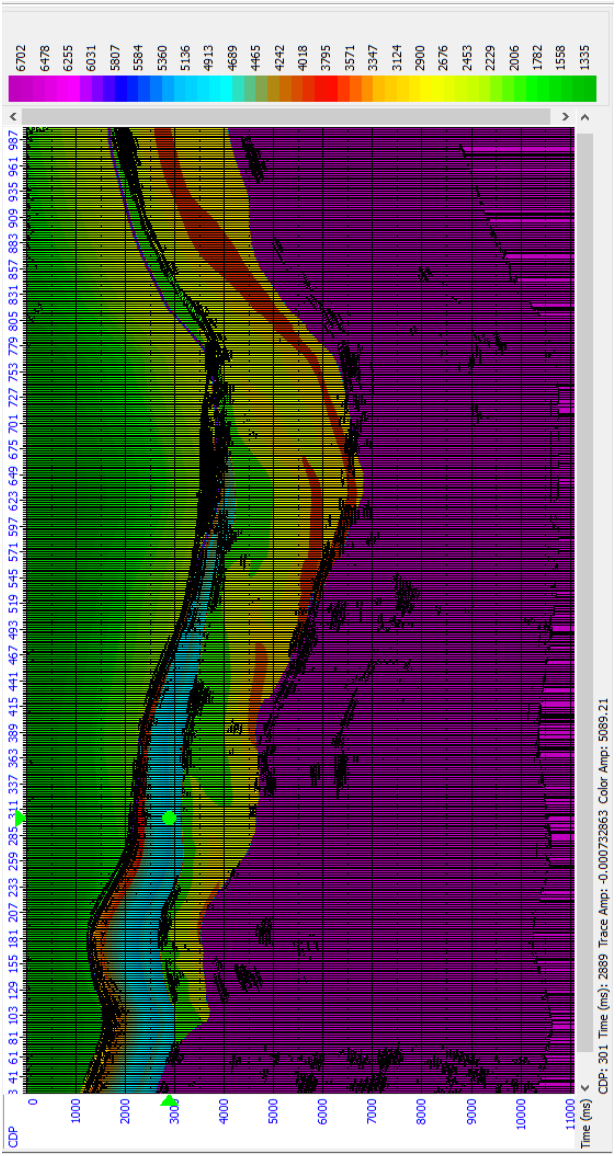
```
% Digital Earth Lab
% www.DigitalEarthLab.com
% Written by Andrew Pethick 2013
% Last Updated October 29th 2013
% Licensed under WTFPL
```

```
function [apparentResistivity, phase] =
JIforwardMT(resistivities, thicknesses,frequency)
mu = 4*pi*1E-7; %Magnetic Permeability (H/m)
w = 2 * pi * frequency; %Angular Frequency (Radians);
nn=length(resistivities); %Number of Layers

impedances = zeros(nn,1);
%Layering in this format
% Layer      j
% Layer 1    1
% Layer 2    2
% Layer 3    3
% Layer 4    4
% Basement   5

% Steps for modelling (for each geoelectric model and
frequency)
% 1. Compute basement impedance Zn using sqrt((w * mu
* resistivity))
% 2. Iterate from bottom layer to top(not the
basement)
    % 2.1. Calculate induction parameters
    % 2.2. Calculate Exponential factor from
intrinsic impedance
    % 2.3 Calculate reflection coeficient using
current layer
    %          intrinsic impedance and the below
layer impedance

% 3. Compute apparent resistivity from top layer
impedance
        %   apparent resistivity = (Zn^2)/(mu * w)

%Symbols
% Zn - Basement Impedance
% Zi - Layer Impedance
% wi - Intrinsic Impedance
% di - Induction parameter
% ei - Exponential Factor
% ri - Reflection coeficient
```

```
% re - Earth R.C.

%Step 1 : Calculate basement impedance
Zn = sqrt(sqrt(-1)*w*mu*resistivities(nn));
impedances(nn) = Zn;

%Iterate through layers starting from layer j=n-1
(i.e. the layer above the basement)
for j = nn-1:-1:1
%     resistivities(j) = resistivities(j);
%     thicknesses = thicknesses(j);

    % 3. Compute apparent resistivity from top layer
impedance
    %Step 2. Iterate from bottom layer to top(not the
basement)
    % Step 2.1 Calculate the intrinsic impedance of
current layer
    dj = sqrt(sqrt(-1)* (w * mu *
(1/resistivities(j))));% dj - Induction parameter
    wj = dj * resistivities(j); %wj - Intrinsic
Impedance


    % Step 2.2 Calculate Exponential factor from
intrinsic impedance
    ej = exp(-2*thicknesses(j)*dj); %ej - Exponential
Factor

    % Step 2.3 Calculate reflection coeficient using
current layer
    %          intrinsic impedance and the below
layer impedance
    belowImpedance = impedances(j + 1);
    rj = (wj - belowImpedance)/(wj + belowImpedance);
% rj - Reflection coeficient
    re = rj*ej; % re - Earth R.C.
    Zj = wj * ((1 - re)/(1 + re)); % Zj - Layer
Impedance
```

```
    impedances(j) = Zj;
end
% Step 3. Compute apparent resistivity from top layer
impedance
Z = impedances(1);
absZ = abs(Z);

apparentResistivity = (absZ * absZ)/(mu * w);
phase = atan2(imag(Z),real(Z));
disp('==============================================
==========================')
disp('==============================================
==========================')
disp('====
====')
disp('====                      Forward
Magnetotelluric                     ====')
disp('====                    Based  on
.................                   ====')
disp('====                              By
====')
disp('====                        Teknik Geofisika
ITS                      ====')
disp('====                              ---
====')
disp('====                        M.Irsyad Hibatullah
====')
disp('====                         Jeremy Gohitua M.
====')
disp('====                           Nuha Malihati
====')
disp('====                         Firman Syaifuddin
====')
disp('====                          Dwa Desa Warnana
====')
disp('====                          Juan Pandu G.N.A
====')
```

Lampiran 2. Layering Model dengan Data Seismik



HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PROFIL PENULIS

Nuha Malihati lahir di Mempawah, 15 Mei 1996 dari pasangan Bapak Ma'arif dan Ibu Siti Salamatus Syafi'ah. Penulis merupakan anak terakhir dari 2 bersaudara. Pendidikan formal penulis diantaranya di SDN 06 Mempawah Hilir (2002-2008), kemudian dilanjutkan di MTsN Rejosari Madiun (2008-2011), dilanjutkan di MAN Insan Cendekia Serpong (2011-2014). Terakhir penulis sedang menempuh pendidikan tinggi di Departemen Teknik Geofisika Insitut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama Menjadi mahasiswa di ITS, penulis aktif dalam kegiatan organisasi baik di dalam maupun di luar kampus, diantaranya pernah menjadi Sekertaris 2 di *Society of Exploration Geophysicist ITS Student Chapter* (SEG ITS-SC) perioda 2015/2016 dan sekretaris 1 pada perioda 2016/2017, Staff Departemen Ristek dan Teknologi di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS perioda 2015/2016 kemudian menjadi *expert staff* di perioda 2016/2017, *Student Volunteer (SV)* di *Joint Convention Malang 2017* , asisten laboratorium di Laboratorium Petrofisika Departemen Teknik Geofisika ITS Surabaya pada tahun 2017, dan asisten laboratorium di Laboratorium Eksplorasi Departemen Teknik Geofisika ITS Surabaya pada tahun 2018. Penulis juga aktif di kegiatan-kegiatan keilmiahan baik nasional maupun internasional yaitu diantaranya, PKM-KC terdanai untuk pada tahun 2014 serta PKM-P terdanai pada tahun 2018, publikasi paper internasional pada acara South Asian Geoscience Student Conference (SAGSC) dengan judul "*Mud Volcano Gunung Anyar as a Geological Conservation and Tourism in Gunung Anyar Surabaya"* di UGM, Jogjakarta tahun 2016, mengikuti kompetisi paper di *"Boreyes 2017*" yang di selenggarakan oleh Society of Petroleum Enginnering Universitas Padjajaran, Jawa Barat (SPE Unpad) dengan judul paper *"Identification of Lithology and Reservoir Characterization Using Seismic Inversion and Multi-Atribute, Plan of Development of the Forensik Field",* publikasi paper di 42nd Indonesian Petroleum Association Convention and Exhibition yang diselenggarakan oleh Indonesian Petroleum Association dengan judul paper *"Integration Of Magnetotelluric, Gravity and Seismic Data for Sub-Volcanic Imaging".* Beberapa penghargaan telah diraih oleh penulis yaitu sebagai menerima beasiswa PPA pengganti dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi pada tahun 2015, dan penerima beasiswa Karya Salemba

Empat pada tahun 2016-2018, Best Paper dalam kegiatan South Asian Geoscience Student Conference (SAGSC) tahun 2016. Penulis juga memiliki pengalaman melaksanakan kerja praktek di PT. PLN dan PT. Geodipa pada bulan Januari – Februari 2017 dengan judul penelitian "Pemodelan 2D Data Magnetotelurik pada Lapangan Geothermal Ulumbu, NTT." Jika ingin berdiskusi lebih jauh mengenai tugas akhir ini, dapat menghubungi email penulis di nuhamalihati@gmail.com