



**PEMODELAN MAGNETOTELURIK 2D MODUS TE DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA DAN APLIKASINYA PADA
BEBERAPA MODEL BUMI**

SKRIPSI

Oleh

**Tasliatul Mukaromah
NIM 091810201023**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**PEMODELAN MAGNETOTELURIK 2D MODUS TE DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA DAN APLIKASINYA PADA
BEBERAPA MODEL BUMI**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Fisika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Fisika

Oleh

**Tasliatul Mukaromah
NIM 091810201023**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu Suciati dan Bapak Syukur yang tercinta, terima kasih atas segala kasih sayang, dukungan moril dan materil, nasihat, semangat, dan sejuta kesabaran serta untaian doa yang selalu mengiringi langkah saya untuk mencapai keberhasilan tanpa mengharapkan balas jasa apapun;
2. guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi, yang telah memberikan ilmu dan seluruh kemampuannya untuk membimbingku;
3. Almamater Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

MOTO

“...sesungguhnya Allah SWT tidak akan merubah nasib suatu kaum sehingga mereka merubahnya sendiri...”
(terjemahan Surat *Ar-ra’du* ayat 11)^{*)}

“Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan (mengerjakan) shalat, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.”
(terjemahan Surat *Al-Baqarah* ayat 153)^{**)}

*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2007. *Al Qur’an Dan Terjemahannya Special For Women*. Bandung: Syamamil Al-Qur’an.

***) Departemen Agama Republik Indonesia. 2007. *Al Qur’an Dan Terjemahannya Special For Women*. Bandung: Syamamil Al-Qur’an

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tasliatul Mukaromah

NIM : 091810201023

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemodelan Magnetotelurik 2D Modus TE dengan Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya pada Beberapa Model Bumi ” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 9 Januari 2014

Yang menyatakan,

(Tasliatul Mukaromah)

NIM. 091810201023

SKRIPSI

**PEMODELAN MAGNETOTELURIK 2D MODUS TE DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA DAN APLIKASINYA PADA
BEBERAPA MODEL BUMI**

Oleh

Tasliatul Mukaromah
NIM 091810201023

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Supriyadi, S.Si, M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Endhah Purwandari, S.Si, M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pemodelan Magnetotelurik 2D Modus TE dengan Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya pada Beberapa Model Bumi” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

Hari :

Tanggal :

Tempat : Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua
(Dosen Pembimbing Utama)

Sekretaris,
(Dosen Pembimbing Anggota)

Supriyadi, S.Si., M.Si.
NIP 198204242006041003

Endhah Purwandari, S.Si., M.Si.
NIP 198111112005012001

Anggota I,

Anggota II,

Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si.
NIP. 196712151998021001

Puguh Hiskiawan, S. Si., M.Si.
NIP 197412152002121001

Mengesahkan
Dekan FMIPA Universitas Jember,

Prof. Kusno, DEA, Ph. D
NIP 196101081986021001

RINGKASAN

Pemodelan Magnetotelurik 2D Modus TE dengan Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya pada Beberapa Model Bumi; Tasliatul Mukaromah, 091810201023; 2014; 87 halaman; Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Salah satu metode geofisika elektromagnetik yang dapat digunakan untuk mengetahui struktur lapisan tanah adalah metode magnetotelurik (metode MT). Informasi sifat listrik (misalnya konduktivitas listrik) dari suatu medium yang terkandung dalam metode magnetotelurik diperoleh dari pengukuran secara simultan medan EM total yaitu medan magnet \vec{B} dan induksi medan listrik \vec{E} sebagai fungsi waktu. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian awal respon magnetotelurik terhadap struktur lapisan tanah dengan cara melakukan pemodelan metode magnetotelurik 2D modus TE untuk mendapatkan data prediksi hasil pengukuran untuk kepentingan eksplorasi. Pemodelan merupakan proses merepresentasikan dan menjelaskan sistem-sistem fisik atau permasalahan pada suatu objek dalam pernyataan matematik. Tujuan penelitian untuk menunjukkan respon magnetotelurik 2D modus *transverse electric* (TE) dan menunjukkan aplikasi dari pemodelan magnetotelurik 2D modus TE jika diterapkan pada model bumi homogen, model bumi berlapis, model bumi anomali untuk topografi datar dengan menggunakan metode elemen hingga. Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputasi Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Jember.

Penelitian dilakukan dalam dua tahap. Pada tahap pertama dilakukan pemodelan magnetotelurik 2D modus TE dengan metode elemen hingga yang divalidasi menggunakan model bumi homogen yang memiliki nilai resistivitas $\rho = 100 \Omega m$. Tahap kedua, setelah pemodelan yang dilakukan sudah benar,

dilakukan pemodelan magnetotelurik 2D modus TE dengan metode elemen hingga pada model bumi berlapis dan model bumi anomali.

Pada pemodelan magnetotelurik 2D modus TE didapatkan respon magnetotelurik 2D modus TE berupa kurva resistivitas semu dan kurva fasa impedansi, sedangkan solusi dari persamaan untuk pemodelan berupa kontur medan listrik E_y dan fasa medan listrik E_y yang direpresentasikan dalam bentuk warna sebagai fungsi dari kedalaman bumi. Pada pemodelan magnetotelurik untuk model bumi homogen syarat validasi sudah terpenuhi yaitu keluaran program yang berupa nilai resistivitas semu mendekati nilai $100 \Omega m$ dan nilai fasa impedansinya mendekati nilai 45° . Pada pemodelan untuk model bumi homogen juga didapatkan frekuensi-frekuensi yang dapat menghasilkan respon nilai resistivitas semu tidak jauh dengan nilai resistivitas sebenarnya, yaitu frekuensi 0.1 Hz, 0.5 Hz, 1 Hz, 5 Hz, 10 Hz, dan 50 Hz. Frekuensi-frekuensi tersebut selanjutnya digunakan dalam pemodelan magnetotelurik 2D modus TE untuk model bumi berlapis dan model bumi anomali.

Respon magnetotelurik 2D modus TE pada model bumi berlapis menunjukkan bahwa pengaruh perbedaan nilai resistivitas terlihat pada kurva resistivitas semu dan kurva fasa impedansi yang ditunjukkan dengan perbedaan nilai resistivitas dan nilai fasa impedansi pada masing-masing kurva frekuensi. Pada model bumi anomali, pengaruh adanya anomali konduktif terlihat pada kurva resistivitas semu dan kurva fasa impedansi yang ditunjukkan adanya perubahan nilai resistivitas semu dan nilai fasa impedansi pada daerah anomali, nilai resistivitas semu cenderung menurun pada batas-batas anomali dan nilai fasa impedansi juga berubah pada bagian yang terdapat anomali. Pada model bumi berlapis dan model bumi anomali, penurunan intensitas medan listrik E_y lebih cepat pada lapisan yang lebih konduktif dibandingkan dengan penurunan intensitas medan listrik E_y pada bagian yang resistif.

PRAKATA

Puji Syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemodelan Magnetotelurik 2D Modus TE dengan Metode Elemen Hingga dan Aplikasinya pada Beberapa Model Bumi”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Supriyadi, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Endhah Purwandari, S.Si., M.Si, selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan ilmunya yang sangat berharga dan dengan sabar membimbing penulis dalam pengerjaan serta penyusunan skripsi;
2. Dr. Edy Supriyanto, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji I dan Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun serta bimbingan kepada penulis;
3. Puguh Hiskiawan, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembimbing Akademik atas bimbingan beliau selama ini;
4. ibu dan ayahku tercinta serta kakak-kakakku Mukhtaruddin dan Nasrul Fadli serta adikku tersayang Moh. Fatoni Idris atas doa, semangat, dan dukungan yang tak pernah henti;
5. seluruh staf pengajar dan karyawan Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
6. seluruh dosen Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;

7. KH. Muhyiddin Abdussomad dan Dr. Hj. Hodaifah, M.Pd.I selaku pengasuh P.P. Nurul Islam atas doa yang tidak pernah henti dan didikannya selama penulis berada di pondok;
8. keluarga besarku yang ada di Ambulu atas dukungan dan semangat yang tidak pernah habis selama penyelesaian skripsi;
9. sahabat seperjuanganku di bidang fisika komputasi, Alfa Rianto dan Dita Puspita yang telah berpartisipasi dan bersedia membantu kelancaran penelitian ini;
10. teman-teman angkatan 2009 yang telah memberikan canda, tawa, dukungan serta doa kepadaku;
11. Tunanganku Aly Muthohar dan keluarga, yang telah memberikan doa, dukungan, semangat dan motivasi yang tak pernah henti, selalu mau mendengarkan keluh kesah dari penulis;
12. sahabat tercinta Yulia Hartanti, Dita Puspita, dan Nurul Novianti yang selalu ada buat penulis, selalu menghibur, dan memberikan semangat, semoga persabatan kita bisa terjalin selamanya;
13. sahabatku di Jl. Brantas VI No.8, Aula Niam, Erwina Sari, Muizatul Ainiah, Khusnul, Diana, Pipit, Diah, Oni yang selalu memberikan semangat dan setia menemaniku di kosan;
14. teman-teman Pengurus P.P. Nurul Islam, Sayyidati Marlinda Yunita S,Pd, Maimuna, Nur Hamida, Armita, Ihta, Riski Puji Lestari, pengurus putri yang tidak saya sebut, dan mas Ahmad Siddiq Amd. yang selalu mendoakan dan memberi motivasi serta membantu penulis dalam masa-masa perkuliahan;
15. semua pihak yang tidak dapat disebut satu per satu yang telah membantu baik tenaga maupun pikiran dalam pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 09 Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|-----------------------------------|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| HALAMAN MOTO | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN BIMBINGAN | v |
| HALAMAN PENGESAHAN | vi |
| RINGKASA | vii |
| PRAKATA | ix |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvii |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3. BatasaMasalah | 3 |
| 1.4. Tujuan | 4 |
| 1.5. Manfaat | 4 |

| | |
|--|----|
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1. Medan Magnetotelurik | 5 |
| 2.1.1 Sumber Medan Magnetotelurik | 6 |
| 2.1.2 Gelombang Elektromagnetik | 7 |
| 2.1.3 Impedansi Bumi | 10 |
| 2.2. Magnetotelurik 2D | 13 |
| 2.2.1 Distribusi Konduktivitas Listrik | 13 |
| 2.2.2 <i>Auxiliary Field</i> | 16 |
| 2.3. Metode Elemen Hingga pada Magnetotelurik 2D | 18 |
| 2.3.1 Diskretisasi Domain 2D..... | 20 |
| 2.3.2 Fungsi Interpolasi | 21 |
| 2.3.3 Metode Residual Terbobot dengan Pendekatan Galerkin | 24 |
| 2.3.4 Evaluasi Elemen Matriks dan Vektor..... | 27 |
| 2.3.5 Sistem Matriks Global..... | 36 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN | 38 |
| 3.1 Jenis Penelitian | 38 |
| 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian | 38 |
| 3.3 Metode Penelitian | 38 |
| 3.3.1 Domain Pemodelan | 39 |
| 3.3.2 Pembentukan Elemen Triangular | 39 |
| 3.3.3 Model Topografi..... | 41 |
| 3.3.4 Model Bumi..... | 41 |
| 3.3.5 Magnetotelurik Modus TE | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3.6 Kontur Medan dan Fasa Medan..... | 44 |
| 3.3.7 Impedansi | 44 |
| 3.3.8 Resistivitas Semu..... | 44 |
| 3.3.9 Impedansi Fasa | 45 |
| 3.4 Analisa Data | 45 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 46 |
| 4.1 Model Bumi Homogen | 47 |
| 4.2 Model Bumi Berlapis..... | 55 |
| 4.3 Model Bumi Anomali | 61 |
| BAB 5. PENUTUP | 67 |
| 5.1 Kesimpulan | 67 |
| 5.2 Saran..... | 67 |
| DAFTAR PUSTAKA | 69 |
| LAMPIRAN..... | 72 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 4.1 Perbandingan nilai <i>skin depth</i> pada pemodelan dan pada perhitungan untuk model bumi homogen..... | 49 |
| Tabel 4.2 Jumlah kontras fasa pada model bumi | 50 |
| Tabel 4.3 Error relatif nilai resistivitas semu untuk setiap frekuensi..... | 52 |
| Tabel 4.4 Error relatif fasa impedansi pada model bumi homogen | 54 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Penjalaran gelombang elektromagnetik di atmosfer dan di bumi..... | 6 |
| 2.2 Propagasi atenuasi gelombang elektromagnetik pada ruang | 12 |
| 2.3 Komponen medan elektromagnetik untuk bumi 2D dengan <i>geoelectrical strike</i> pada sumbu y | 16 |
| 2.4 Elemen segitiga linier dalam koordinat | 23 |
| 2.5 Koordinat area..... | 23 |
| 2.6 Elemen segitiga utama ditunjukkan oleh tanda panah | 35 |
| 3.1 Diagram alir penentuan solusi persamaan untuk modus TE..... | 40 |
| 3.2 Model bumi topografi datar | 42 |
| 4.1 Domain pemodelan yang dibentuk dari elemen triangular | 46 |
| 4.2 Kontur medan listrik E_y dan kontur fasa medan listrik E_y pada model bumi homogen untuk seluruh domain pemodelan | 47 |
| 4.3 Distribusi medan listrik E_y dan distribusi fasa medan listrik E_y pada model bumi homogen | 48 |
| 4.4 Respon resistivitas semu untuk model bumi homogen ($\rho = 100 \Omega m$)..... | 51 |
| 4.5 Respon fasa impedansi untuk model bumi homogen ($\rho = 100 \Omega m$)..... | 53 |
| 4.6 Distribusi medan listrik E_y dan distribusi fasa medan listrik E_y pada model bumi berlapis..... | 56 |
| 4.7 Respon resistivitas semu untuk model bumi berlapis | 58 |
| 4.8 Respon fasa impedansi untuk model bumi berlapis..... | 60 |
| 4.9 Distribusi medan listrik E_y dan distribusi fasa medan listrik E_y pada model bumi anomali | 62 |

| | |
|--|----|
| 4.10 Kurva resistivitas semu untuk model bumi anomali..... | 64 |
| 4.11 Kurva fasa impedansi untuk model bumi anomali..... | 65 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----------|
| LAMPIRAN A. PENURUNAN RUMUS PERSAMAAN GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK..... | 72 |
| LAMPIRAN B. KONTUR MEDAN LISTRIK E_y DAN KONTUR FASA MEDAN E_y PADA SELURUH DOMAIN PEMODELAN | 74 |
| B.1 Model Bumi Homogen..... | 74 |
| B.2 Model Bumi Berlapis | 77 |
| B.3 Model Bumi Anomali..... | 79 |
| LAMPIRAN C. KONTUR MEDAN LISTRIK E_y DAN KONTUR FASA MEDAN E_y PADA SEBAGIAN DOMAIN PEMODELAN | 80 |
| C.1 Model Bumi Homogen..... | 80 |
| C.2 Model Bumi Berlapis | 83 |
| C.3 Model Bumi Anomali..... | 85 |