

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG</b> .....	xiv

### **BAB I. PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Maksud dan Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	3

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Geologi Daerah Penelitian.....	4
2.1.1 Fisiografi Regional .....	4
2.1.2 Stratigrafi Regional.....	6
2.1.3.Struktur Geologi Regional.....	6
2.1.4.Sejarah Geologi Regional .....	8
2.2 Penelitian Terdahulu.....	13
2.2.1 Latar Belakang.....	13
2.2.2 Tomografi <i>Travel-Time</i> .....	13
2.2.3 Hasil dan Pembahasan .....	15

### **BAB III. DASAR TEORI**

3.1 Gelombang Seismik .....	19
3.1.1 Prinsip Penjalaran Gelombang Seismik.....	22
3.2 Gempa Bumi.....	24
3.2.1 Jenis Gempa Bumi.....	25
3.2.2 Parameter Gempa Bumi.....	27
3.3 Patahan / Sesar.....	28
3.4 Metode Penentuan Hiposenter.....	31
3.5 Metode <i>Simulated Annealing</i> .....	31
3.6 Tomografi Seismik.....	34
3.6.1 Parameterisasi Model.....	35
3.6.2 <i>Path Signature</i> .....	36

### **BAB IV. METODE PENELITIAN**

4.1 Waktu Penelitian. ....	38
4.2 Instrumentasi. ....	40
4.3 Pengolahan Data.....	40
4.3.1 Relokasi Hiposenter Metode <i>Simulated Annealing</i> .....	40
4.3.2 Tomografi Seismik Menggunakan <i>Software Fmtomo</i> .....	43

### **BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN**

5.1 Hasil Relokasi Hiposenter Metode <i>Simulated Annealing</i> .....	47
5.2 Hasil Pengolahan Data FMTOMO.....	51
5.2.1 Hasil Tes <i>Checkboard</i> .....	51
5.2.2 Hasil Tomografi FMTOMO .....	54
5.2.2.1 Hasil Tomografi Fmtomo Sayatan A-A' .....	56
5.2.2.2 Hasil Tomografi Fmtomo Sayatan B-B' .....	57
5.2.2.3 Hasil Tomografi Fmtomo Sayatan C-C' .....	58
5.2.2.4 Hasil Tomografi Fmtomo Sayatan D-D' .....	59
5.2.2.5 Hasil Tomografi Fmtomo Sayatan E-E' .....	60
5.3 Hasil Analisa Data.....	61

**BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1 Kesimpulan..... 63  
6.2 Saran..... 64

**DAFTAR PUSTAKA** ..... 65

**LAMPIRAN**..... 68

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b> Peta Lokasi Penelitian .....	3
<b>Gambar 2.1.</b> Peta Geologi Sulawesi (modifikasi Hamilton, 1979; <i>Hall and Wilson, 2000</i> .) .....	4
<b>Gambar 2.2.</b> Struktur utama di Sulawesi (Hamilton, 1979) .....	8
<b>Gambar 2.3.</b> Rekonstruksi dinamika geologi Tukangbesi dan Sula (Smith, 1983) .....	11
<b>Gambar 2.4.</b> Penampang tomografi mengacu pada model IUU-P07 pada kedalaman yang dipilih (Amaru, 2007). .....	14
<b>Gambar 2.5.</b> A. Gambar 3D interpretasi <i>slab</i> di Daerah Sulawesi Utara dan Laut Maluku menunjukkan adanya tiga <i>slab</i> . B: Penampang arah timur-barat melewati bagian selatan <i>Molluca Sea Plate</i> yang bertemu dengan <i>Celebes Slab</i> . C: Penampang arah timur-barat melewati bagian selatan <i>Molluca Sea Plate</i> menunjukkan pertemuan antara Sangihe dan <i>Halmahera Slab</i> . D dan E: Penampang arah barat laut-tenggara melewati Teluk Gorontalo yang memotong bagian curam <i>Celebes Slab</i> dan sub-vertikal Sula Slab pada daerah transisi ( <i>Hall and Spakman, 2015</i> ). .....	15
<b>Gambar 2.6.</b> Rekonstruksi perkembangan tumbukan antara Sula Slab dengan Lengan Utara Sulawesi dari 20 Juta tahun yang lalu hingga saat ini ( <i>Hall and Spakman, 2015</i> ). .....	17
<b>Gambar 3.1.</b> Arah dan gerak gelombang P (Braile, 2006) .....	19
<b>Gambar 3.2.</b> Arah dan gerak gelombang S (Braile, 2006) .....	20
<b>Gambar 3.3.</b> Arah dan gerak gelombang <i>Love</i> (Braile, 2006) .....	21
<b>Gambar 3.4.</b> Arah dan gerak gelombang <i>Rayleigh</i> (Braile, 2006) .....	22
<b>Gambar 3.5.</b> Ilustrasi Hukum Snellius (Asparini, 2011) .....	23
<b>Gambar 3.6.</b> Ilustrasi Prinsip Huygens (Asparini, 2011) .....	24
<b>Gambar 3.7.</b> Proses terjadinya gempa bumi (Vigny, 2009) .....	25
<b>Gambar 3.8.</b> Arah arus konveksi pada lapisan mantel atas bumi (Perkins, 2011) .....	26
<b>Gambar 3.9.</b> Gempa bumi yang berasal dari patahan (Khoury, 2012) .....	26
<b>Gambar 3.10.</b> Ilustrasi gempa bumi yang berasal dari kegiatan vulkanik (Rovicky, 2007) .....	27
<b>Gambar 3.11.</b> Ilustrasi <i>Reverse Fault</i> (Noor, 2009) .....	28
<b>Gambar 3.12.</b> Ilustrasi <i>Normal Fault</i> (Noor, 2009) .....	29

<b>Gambar 3.13.</b>	Ilustrasi <i>Horst</i> dan <i>Graben</i> (Noor, 2009) .....	29
<b>Gambar 3.14.</b>	Ilustrasi <i>Half Graben</i> (Noor, 2009).....	30
<b>Gambar 3.15.</b>	Ilustrasi <i>Strike Slip Faults</i> (Noor, 2009) .....	30
<b>Gambar 3.16.</b>	Ilustrasi mekanisme pemilihan dua alternatif berdasarkan bobot probabilitas untuk dua harga $P(\Delta E)$ yang berbeda (Grandis, 2009).....	33
<b>Gambar 3.17.</b>	Beberapa pola perubahan atau penurunan temperatur sebagai fungsi dari iterasi (Grandis, 2009).....	34
<b>Gambar 3.18.</b>	Skema penampang vertikal parameterisasi model FMTOMO.....	35
<b>Gambar 3.19.</b>	<i>Cross-section</i> model kecepatan berlapis kompleks menggunakan skema parameterisasi FMTOMO (Rawlinson, 2000) .....	36
<b>Gambar 3.19.</b>	<i>Cross-section</i> model kecepatan berlapis kompleks menggunakan skema parameterisasi FMTOMO (Rawlinson, 2000) .....	36
<b>Gambar 3.20.</b>	Skema format path signature dalam FMTOMO untuk menggambarkan fase (Rawlinson, 2000) .....	37
<b>Gambar 4.1.</b>	Diagram alir relokasi menggunakan metode <i>simulated annealing</i> . .....	41
<b>Gambar 4.2.</b>	Diagram alir pengolahan data tomografi menggunakan <i>software</i> FMTOMO. ....	43
<b>Gambar 5.1.</b>	Pembagian <i>grid</i> data hiposenter gempa.....	46
<b>Gambar 5.2.</b>	Perbandingan episisenter gempa sebelum dan sesudah relokasi.....	48
<b>Gambar 5.3.</b>	Hiposenter Gempa dilihat dari arah Selatan.....	49
<b>Gambar 5.4.</b>	Hiposenter sebelum dan sesudah relokasi dalam bentuk 3D.....	50
<b>Gambar 5.5.</b>	Tes <i>checkboxboard</i> FMTOMO kedalaman 40 km, 80, km 120 km, 160 km, 200 km.....	52
<b>Gambar 5.6.</b>	Tes <i>checkboxboard</i> FMTOMO kedalaman 240 km, 320, km 400 km, 480 km, 560 km.....	53
<b>Gambar 5.7.</b>	Hasil tomografi berupa peta persebaran kontras kecepatan relatif gelombang P.....	54
<b>Gambar 5.8.</b>	Sayatan A-A' pada peta tomografi (kiri) dan ilustrasi geologi (kanan).....	56
<b>Gambar 5.9.</b>	Sayatan B-B' pada peta tomografi (kiri) dan ilustrasi geologi (kanan).....	57
<b>Gambar 5.10.</b>	Sayatan C-C' pada peta tomografi (kiri) dan ilustrasi geologi (kanan).....	58
<b>Gambar 5.11.</b>	Sayatan D-D' pada peta tomografi (kiri) dan ilustrasi geologi (kanan).....	59

**Gambar 5.12.** Sayatan E-E' pada peta tomografi (kiri) dan ilustrasi geologi  
(kanan)..... 60

## **DAFTAR TABEL**

**Tabel 4.1.** Jadwal Penelitian..... 38

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A <i>Script</i> Program matlab R2009 relokasi hiposenter <i>simulated annealing</i> .....	70
LAMPIRAN B <i>Major Parameter Lotos Release 2012</i> .....	71

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

<b>Singkatan Nama</b>	<b>Pemakaian Pertama Kali</b>
LU (Lintang Utara)	3
LS (Lintang Selatan)	3
BT (Bujur Timur)	3
km (Kilo Meter)	4
T (Temperatur)	31
E (Energi)	31
exp (Bilangan eksponensial)	31
<b>Lambang</b>	
L <i>Geometric ray</i>	13
T <i>Travel-time</i> observasi	13
$v(\mathbf{r})$ Kecepatan gelombang seismik	13
$L_0$ Model referensi	14
L <i>True ray</i>	14
$T_0$ <i>Travel-time</i> referensi	14
d <i>Delay time</i>	14
$v_0$ Kecepatan awal (km/s)	14
$\Delta v$ Perbedaan kecepatan awal dengan kecepatan akhir (km/s)	14
$^{\circ}\text{C}$ Besaran suhu	11
$\lambda$ Konstata Lamé	20
$\mu$ Rigiditas	20
$v_s$ Kecepatan gelombang S (km/s)	20
$\rho$ Densitas atau Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )	20
$v_r$ Kecepatan gelombang R (km/s)	22
$v$ Kecepatan gelombang (km/s)	23
$\theta$ Besar sudut ( $^{\circ}$ )	23
$r_i$ Panjang jari-jari lingkaran ke-i (km)	31



$t_o$	<i>Origin time</i> (s)	31
$t_b$	Waktu tiba gelombang (s)	31
P	Probabilitas Boltzmann	31
$k$	Konstanta Boltzmann	31
m	Parameter	31
R	Bilangan acak	32
$\Delta E$	Selisih antara energi akhir dengan energi awal	32
$T_0$	Temperatur awal	33
$T_n$	Temperatur ke-n	33
$n$	Iterasi	33
$\alpha$	Faktor penurunan temperatur (antara 0.9 sampai 0.99)	33
$\nabla_x$	Operator <i>gradient</i>	35
S(x)	<i>Slowness</i> (Km/s-2)	35