



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF 184838

**ANALISIS SUMBER GEMPA MIKRO MELALUI DISTRIBUSI  
LOKASI HIPOSENTER MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE  
DIFFERENCE* PADA LAPANGAN PANAS BUMI “X”**

NUR ISNAINI RAHMANINGTYAS  
NRP 03411640000007

**DOSEN PEMBIMBING 1 :**  
Dr. Widya Utama, DEA  
NIP. 19611024 198803 1 001

**DOSEN PEMBIMBING 2 :**  
Wien Lestari, S.T, M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN dan KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - RF 184838**

**ANALISIS SUMBER GEMPA MIKRO MELALUI DISTRIBUSI  
LOKASI HIPOSENTER MENGGUNAKAN METODE *DOUBLE  
DIFFERENCE* PADA LAPANGAN PANAS BUMI “X”**

NUR ISNAINI RAHMANINGTYAS  
NRP 0341164000007

DOSEN PEMBIMBING 1 :  
Dr. Widya Utama, DEA  
NIP. 19611024 198803 1 001

DOSEN PEMBIMBING 2 :  
Wien Lestari, S.T., M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



**UNDERGRADUATE THESIS - RF184838**

**ANALYSIS OF MICRO EARTHQUAKE SOURCES THROUGH  
HYPOSENTER LOCATION DISTRIBUTION USING *DOUBLE  
DIFFERENCE* METHOD IN "X" GEOTHERMAL FIELD**

NUR ISNAINI RAHMANINGTYAS  
NRP. 0341164000007

Supervisor 1 :  
Dr. Widya Utama, DEA  
NIP. 19611024 198803 1 001

Supervisor 2 :  
Wien Lestari, S.T., M.T.  
NIP. 19811002 201212 2 003

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF CIVIL, PLANNING, AND GEO ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2020

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Nur Isnaini Rahmaningtyas  
NRP : 0341 16 40000 007  
Departemen : Teknik Geofisika  
Judul Tugas Akhir : Analisis Sumber Gempa Mikro melalui Distribusi Lokasi Hiposenter menggunakan Metode *Double Difference* pada Lapangan Panas Bumi "X"

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 9 Januari 2020

1. ....  
**Dr. Widva Utama, DEA.** (Pembimbing I)  
NIP. 1961102 4198803 1 001
2. ....  
**Wien Lestari, S.T. M.T.** (Pembimbing II)  
NIP. 19811002 201212 2 003
3. ....  
**Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.** (Penguji I)  
NIP. 19591010 198803 1 002
4. ....  
**Moh. Singha Purwanto, S.Si, M.T.** (Penguji II)  
NIP. 19800916 200912 1 002

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Petrofisika  
Departemen Teknik Geofisika  
Perencanaan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



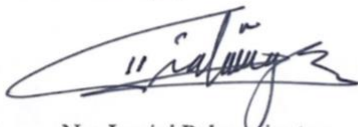
**Dr. Widva Utama, DEA.**  
NIP. 1961102 4198803 1 001

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan judul "Analisis Sumber Gempa Mikro melalui Distribusi Lokasi Hiposenter menggunakan Metode *Double Difference* pada Lapangan Panas Bumi "X" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan 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, 9 Januari 2020



Nur Isnaini Rahmanningtyas  
NRP. 0341164000007



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **Analisis Sumber Gempa Mikro melalui Distribusi Lokasi Hiposenter menggunakan Metode *Double Difference* pada Lapangan Panas Bumi “X”**

**Nama** : Nur Isnaini Rahmaningtyas  
**NRP** : 0341164000007  
**Departemen** : Teknik Geofisika  
**Pembimbing I** : Dr. Widya Utama, DEA  
**Pembimbing II** : Wien Lestari, S.T, M.T.

## **ABSTRAK**

Monitoring sumber panas bumi perlu dilakukan untuk memaksimalkan kegiatan eksplorasi dan pemanfaatan sumber energi, dengan melihat adanya aktivitas yang terjadi dibawah permukaan yaitu gempa mikro. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji lokasi distribusi hiposenter dari data gempa mikro dan menganalisis sumber gempa mikro yang terjadi pada lapangan panas bumi “X”. Uji lokasi pada penelitian ini menggunakan metode *Double Difference* yang memiliki prinsip yaitu memasang *event* dengan jarak yang relatif kecil. Uji lokasi menggunakan metode ini dilakukan dengan 2 tahap yaitu clustering dan relokasi itu sendiri yang kemudian diplotting secara 2 Dimensi. Hasil relokasi hiposenter gempa mikro pada lapangan panas bumi “X” menunjukkan bahwa clustering terbagi menjadi 1 kelompok dengan jumlah *event* 260 data. Secara kuantitatif hasil relokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference* menghasilkan nilai eror yang jauh lebih kecil dibandingkan metode yang digunakan dalam penelitian sebelumnya yaitu *Geiger Adaptive Damping*. Metode *Double Difference* memiliki rata-rata nilai RMS eror sebesar 0.078 sedangkan, metode *Geiger Adaptive Damping* menghasilkan rata-rata nilai RMS eror sebesar 0.291. Secara kualitatif, hasil relokasi hiposenter secara 3 Dimensi terletak tepat dibawah jalur sumur pada daerah penelitian, hasil layout antara titik relokasi hiposenter dengan penampang 2D lintasan pengukuran metode Magnetotellurik. Lintasan C,D dan E menunjukkan hasil hiposenter berada pada sumur PPL-04ST, PPL-04AST, PPL-07, PPL-06, PPL-02AST, dan PPL02ST. Adanya titik relokasi hiposenter yang berada tepat dibawah jalur sumur produksi mengindikasikan adanya aktivitas pada zona tersebut seperti aliran-aliran fluida yang mengalir pada reservoir panas bumi. Maka dapat disimpulkan terjadinya *event* gempa mikro merupakan akibat adanya aktivitas-aktivitas produksi didalam sistem *geothermal* yang terjadi.

Kata Kunci : *Double Difference, gempa mikro, hiposenter, panasbumi*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **Analysis of Micro Earthquake Sources through Hypocenter Location Distribution using the Double Difference Method in the “X” Geothermal Field**

**Name** : Nur Isnaini Rahmaningtyas  
**Student ID** : 03411640000007  
**Department** : Teknik Geofisika  
**Advisor 1** : Dr. Widya Utama, DEA  
**Advisor 2** : Wien Lestari, S.T, M.T.

## **ABSTRACT**

*Geothermal monitoring needs to be done to maximize exploration and utilization of energy sources by observing the activities that occur below the surface, namely the existence of micro earthquakes. This study aims to test the location of the hypocenter distribution from micro earthquake data and to analyze the source of the micro earthquake that occurred in the "X" geothermal field. The location test in this study uses the Double Difference method which has the principle of pairing events with relatively small distance. Location testing using this method is carried out in 2 stages, clustering and relocation itself which are then plotted in 2 & 3 Dimensions. The results of the micro earthquake hypocenter relocation in the geothermal field "X" indicate that clustering is divided into 1 group with 260 events. Quantitatively, the results of hypocenter relocation using the Double Difference method produce error values that are much smaller than the method used in previous studies, namely Geiger Adaptive Damping. The Double Difference method has an average error RMS value of 0.078 while the Geiger Adaptive Damping method produces an average error RMS value of 0.291. Qualitatively, the results of the 3-dimensional hypocenter relocation are located just below the well path in the study area, the results of the layout between the hypocenter relocation point and the 2D cross-section of the measurement path of the Magnetotelluric method. Line C, D and E show the results of the location hypocenter in wells PPL-04ST, PPL-04AST, PPL-07, PPL-06, PPL-02AST, and PPL02ST. The presence of a hypocenter relocation point below the line of production well indicates there is an activity in the zone, such as fluid flows in the geothermal reservoir. The conclusion is the occurrence of micro earthquake events that occur is a result of production activities in the geothermal system that occurred.*

*Keywords : Double Difference, Geothermal, Hypocenter, Microearthquake*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya laporan tugas akhir yang berjudul “Analisis Sumber Gempa Mikro melalui Distribusi Lokasi Hiposenter menggunakan Metode *Double Difference* pada lapangan Panas Bumi “X” ” ini dapat diselesaikan. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksanakan baik dengan bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir , terimakasih juga kepada Ayah, mama, adek, mbak Ayu, om Wawan , om Anang dan semua keluarga yang telah memberi dukungan moril maupun materi selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Widya Utama, DEA dan Wien Lestari, S.T, M.T. selaku pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis.
3. Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. dan Moh. Singgih Purwanto, S.Si, M.T. selaku dosen penguji tugas akhir yang senantiasa memberikan saran hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan.
5. Jajaran Civitas Akademika Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa memberikan bimbingan dan izin melakukan berbagai kegiatan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
6. Tim Tugas Akhir ini (Sherly, Valda, Rizki Putri Amaliastuti, Gian Ricardo Halim dan Christopher Salim) yang telah membantu dalam pengolahan data hingga laporan tugas akhir.
7. Adjeng Yalastri, Bagoes Idcha M, Farhan Agoel, Amelia , Arya Nur D, Kezia Marannu B, Syarfa Monita, Refsi Pratiwi dan Raihan Fachri yang telah membantu dan menemani saat penulis mengerjakan tugas akhir ini di Lab. Komputasi, terimakasih juga kepada Almarsa yang rela meminjamkan Lab. Komputasi.
9. Seluruh keluargaku Teknik Geofisika ITS angkatan 2016 atas semangat dan dukungannya selama menjalani kuliah.
10. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa pengembangan keilmuan tidak berhenti pada satu hasil. Kritik dan saran maupun diskusi diperlukan agar kebermanfaatannya laporan tugas akhir ini semakin dirasakan bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 9 Januari 2020

Penulis

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	v
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	3
2.1 Dasar Teori.....	3
2.1.1 Sistem Panas Bumi.....	3
2.1.2 Gelombang Seismik .....	3
2.1.3 Seismik Pasif.....	6
2.1.4 Gempa Bumi .....	6
2.1.5 <i>Microearthquake</i> (MEQ) atau Gempa Mikro .....	8
2.1.6 Metode <i>Geiger Adaptive Damping</i> (GAD).....	9
2.1.7 Metode <i>Double Difference</i> .....	9
2.1.8 Metode Inversi LSQR .....	10
2.2 Penelitian Terdahulu .....	11
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	13
3.1 Waktu dan Tempat.....	13
3.2 Diagram Penelitian .....	13
3.3 Data dan Model.....	14
3.4 Konversi Format Data.....	15
3.5 Pembentukan Kelompok Gempa Bumi (Clustering) .....	15
3.6 Uji lokasi Hiposenter menggunakan metode <i>Double Difference</i> .....	15
3.7 Plot Hasil Relokasi.....	16
3.8 Perangkat Lunak .....	16
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	17
4.1 Data Input dalam metode <i>Double Difference</i> .....	17
4.1.1 Waktu tempuh gelombang dan fase gelombang .....	17
4.1.2 Lokasi Stasiun.....	17



4.1.3 Model Kecepatan 1-D daerah penelitian .....	18
4.1.4 Nilai Vp/Vs ratio daerah penelitian .....	19
4.2 Hasil Pengolahan Metode <i>Double Difference</i> .....	19
4.3 Analisis Hasil Pengolahan Relokasi Metode <i>Double Difference</i> terhadap Lapangan Panas Bumi .....	25
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	31
5.1 Kesimpulan .....	31
5.2 Saran .....	31
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	33
<b>LAMPIRAN</b> .....	35
<b>BIOGRAFI PENULIS</b> .....	49

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4. 1</b> Data Lokasi Stasiun Perekam Gempa Mikro .....	18
<b>Tabel 4. 2</b> Hasil Uji Lokasi dengan metode <i>Double Difference</i> .....	21
<b>Tabel 4. 3</b> Perbandingan <i>Average</i> Nilai RMS Error GAD dan DD .....	23

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Model Konseptual Sistem Panas Bumi (Putrohari, 2009).....	3
<b>Gambar 2. 2</b> Gelombang P .....	4
<b>Gambar 2. 3</b> Gelombang S .....	5
<b>Gambar 2. 4</b> Gelombang <i>Love</i> .....	5
<b>Gambar 2. 5</b> Gelombang <i>Rayleigh</i> .....	5
<b>Gambar 2. 6</b> Teori Elastik Rebound (Reid, 1910).....	6
<b>Gambar 2. 7</b> Ilustrasi Parameter Gempa Bumi.....	7
<b>Gambar 2. 8</b> Konsep <i>Microearthquake</i> .....	8
<b>Gambar 3. 1</b> Diagram Alir Penelitian.....	14
<b>Gambar 3. 2</b> Script Konversi Data dalam Format (.pha).....	15
<b>Gambar 4. 1</b> Model Kecepatan 1-D Daerah Penelitian .....	18
<b>Gambar 4. 2</b> Diagram Wadati untuk mencari nilai $V_p/V_s$ ratio.....	19
<b>Gambar 4. 3</b> Histogram Nilai Residual Relokasi Hiposenter menggunakan hypoDD.....	21
<b>Gambar 4. 4</b> Plot Hiposenter Latitude terhadap Kedalaman .....	22
<b>Gambar 4. 5</b> Plot Hiposenter Longitude terhadap Kedalaman .....	22
<b>Gambar 4. 6</b> Plot Hiposenter Longitude terhadap Latitude .....	23
<b>Gambar 4. 7</b> Histogram Nilai RMS Error metode GAD dan DD.....	24
<b>Gambar 4. 8</b> Histogram Nilai Kedalaman metode GAD dan DD.....	25
<b>Gambar 4. 9</b> Peta Distribusi Episenter MEQ .....	26
<b>Gambar 4. 10</b> Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikro terhadap Penampang 2D Lintasan C.....	27
<b>Gambar 4. 11</b> Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikro terhadap Penampang 2D Lintasan D.....	27
<b>Gambar 4. 12</b> Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikiro terhadap Penampang 2D Lintasan E.....	28

***“Halaman Sengaja Dikosongkan”***

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia akan sumber energi sangat besar. Sumber energi tersebut didapatkan melalui proses-proses eksplorasi sumber daya alam. Terdapat berbagai macam kegiatan eksplorasi yaitu eksplorasi mineral, eksplorasi minyak dan gas bumi serta yang baru-baru ini sedang digalakkan yaitu eksplorasi sumber panas bumi. Kegiatan-kegiatan eksplorasi yang dilakukan tidak hanya menghasilkan keuntungan yang besar, namun terdapat pula masalah-masalah yang disebabkan dari proses eksplorasi tersebut, misalnya kerusakan lingkungan hingga menyebabkan bencana seperti tanah longsor, dll. Maka dari itu perlu dilakukan monitoring terhadap kondisi bawah permukaan sebagai zona reservoir dengan dampak yang akan dihasilkan dari proses tersebut.

Metode *microearthquake* (MEQ) merupakan metode yang digunakan untuk kegiatan eksplorasi dan pengembangan lapangan panas bumi yang baik (Miyazaki, 1995). Metode MEQ digunakan untuk pengukuran gelombang seismik natural dengan ciri-ciri frekuensi yang rendah. Disebut gelombang *microearthquake* atau gempa mikro apabila gempa yang dihasilkan memiliki nilai magnitudo ( $\leq 3$  SR). Gempa dalam skala kecil ini biasanya disebabkan oleh simulasi hidrolik, produksi/injeksi, pengeboran atau kegiatan lainnya yang berhubungan dengan eksplorasi reservoir.

Maka tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis sumber gempa mikro dari hasil uji lokasi distribusi hiposenter, diduga berasal dari aktivitas eksplorasi minyak dan gas bumi pada lapangan sistem panas bumi "X" atau gempa mikro yang berasal dari aktivitas tektonik pada lapangan panas bumi "X". Jika sumber dari gempa mikro telah teridentifikasi maka, dapat dilakukan monitoring pada lapangan panas bumi "X" tersebut.

Penentuan distribusi hiposenter dan uji lokasi hiposenter merupakan langkah selanjutnya dari pengolahan data gempa mikro. Metode *Double Difference* digunakan untuk uji lokasi distribusi hiposenter. Metode ini akan meminimalkan waktu residu dari waktu tempuh perhitungan dan hasil pengamatan pada dua *event* gempa bumi yang berdekatan dengan sejumlah stasiun pencatat gempa bumi yang sama. Jarak antara dua *event* gempa bumi tersebut harus jauh lebih kecil dibandingkan jarak dari stasiun ke episenter. Asumsi tersebut menunjukkan kedua *event* tersebut memiliki raypath yang sama. Kemudian dari hasil uji lokasi metode *Double Difference* akan digambarkan dalam dua dimensi dan dilayout dengan koordinat sumur untuk memvalidasi letak gempa mikro tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana proses untuk melakukan uji lokasi distribusi hiposenter dengan metode *Double Difference*?
2. Bagaimana hasil uji lokasi distribusi hiposenter menggunakan metode *Double Difference*?
3. Bagaimana hasil analisis sumber gempa mikro dari penelitian ini?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan topik permasalahan dalam penelitian pada tugas akhir ini, penulis memberikan batasan masalah yang meliputi:

1. Metode *Double Difference* untuk proses uji lokasi distribusi hiposenter dengan menggunakan software Hypoddd versi 1.0 yang dibuat oleh Waldhauser (USGS, 2001); Waldhauser dan Ellsworth (2000)
2. Data yang digunakan berupa data *microearthquake* (MEQ) dengan model awal daerah sekitar lapangan sistem panas bumi "X"
3. Uji lokasi distribusi hiposenter dengan metode *Double Difference*

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk:

1. Mengetahui hasil metode *Double Difference* untuk uji lokasi distribusi hiposenter pada gempa mikro
2. Mengetahui hasil analisis sumber gempa mikro yang terjadi pada lapangan sistem panas bumi "X" dengan metode *Double Difference*

## 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

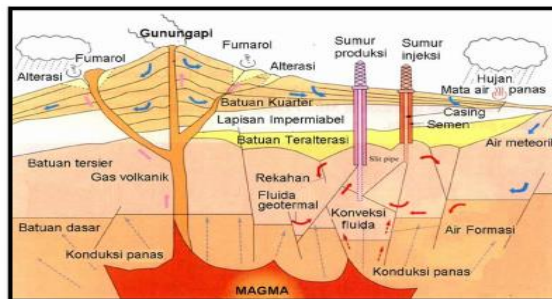
1. Memberikan modul untuk pengolahan uji lokasi menggunakan metode *Double Difference* agar dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya khususnya di Teknik Geofisika ITS.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Dasar Teori

#### 2.1.1 Sistem Panas Bumi

Sistem panas bumi berasal dari adanya distribusi suhu dan energi panas yang berada dibawah permukaan bumi. Sumber panas tersebut diakibatkan karena adanya aktivitas intrusi magma yang menerobos ke permukaan. Magma tersebut berasal dari adanya tumbukan-tumbukan antar lempeng yang bergerak secara terus menerus dengan perlahan. Proses perpindahan panas dari suatu sumber panas ke sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Proses perpindahan secara konduksi terjadi melalui perpindahan panas dari batuan, sedangkan perpindahan panas secara konveksi dari kontak antara air dengan sumber panas. Dalam konsep model panas bumi, sistem panas bumi berasal dari suatu rekahan dan patahan disuatu permukaan yang mengakibatkan air masuk ke dalam pori-pori batuan dan menembus ke dalam sumber panas (heat source) melalui bagian bawah atau samping dari lapisan tersebut. Air yang sudah menyentuh sumber panas mengakibatkan temperatur air meningkat, kemudian menguap sebagian dan sisanya tetap menjadi air dengan suhu yang tinggi. Jika temperatur meningkat maka akan mengakibatkan bertambahnya volume dan tekanan. Dikarenakan tekanan yang berada dibawah permukaan akan lebih tinggi dibandingkan tekanan yang berada di permukaan maka fluida panas yang ada akan bergerak naik melalui celah-celah yang ada. Fluida tersebut akan keluar sebagai manifestasi permukaan. Dengan adanya manifestasi seperti mata air panas, kubangan lumpur panas (mud pools), atau manifestasi panas bumi lainnya.



**Gambar 2. 1** Model Konseptual Sistem Panas Bumi (Putrohari, 2009)

#### 2.1.2 Gelombang Seismik

Gelombang adalah perambatan energi yang mampu memindahkan partikel ke tempat lain sesuai dengan arah perambatannya. Gelombang seismik

merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi. Sehingga pada penjarannya gelombang seismik memerlukan medium untuk merambat (Young, 2003). Gelombang seismik biasanya disebabkan karena adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat adanya tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisan kerak bumi. Proses tersebut biasanya berupa aktivitas vulkanik, ledakan buatan maupun gempa bumi. Gelombang seismik disebut juga gelombang elastik yang membawa energi kemudian menjalarkan ke segala arah di seluruh bagian bumi. Disebut gelombang elastik karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat dari interaksi antara gradien stress melawan gaya-gaya elastik. Gelombang ini membawa energi kemudian menjalarkan ke segala arah di seluruh bagian bumi dan mampu dicatat oleh seismograf.

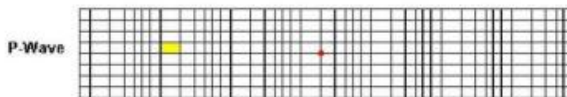
Perambatan energi yang mampu memindahkan partikel ke tempat lain sesuai dengan arah perambatannya disebut dengan Gelombang. Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi. Sehingga pada penjarannya gelombang seismik memerlukan medium untuk 9 merambat (Young, 2003). Gelombang seismik biasanya disebabkan karena adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat adanya tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisan kerak bumi. Proses tersebut biasanya berupa aktivitas vulkanik, ledakan buatan maupun gempa bumi. Gelombang seismik disebut juga gelombang elastik yang membawa energi kemudian menjalarkan ke segala arah di seluruh bagian bumi. Disebut gelombang elastik karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat dari interaksi antara gradien stress melawan gaya-gaya elastik. Gelombang ini membawa energi kemudian menjalarkan ke segala arah di seluruh bagian bumi dan mampu dicatat oleh seismograf. Gelombang seismik dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu gelombang tubuh (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*), berikut penjelasannya:

1. Gelombang Tubuh (*Body Wave*)

Gelombang tubuh merupakan gelombang yang energinya ditransfer melalui medium dalam bumi. Pada gelombang ini terdapat 2 macam yaitu gelombang P dan gelombang S, berikut diberikan definisi dari kedua gelombang tersebut :

a. Gelombang P

Gelombang P merupakan gelombang primer atau juga dikenal dengan gelombang longitudinal dan bersifat sebagai gelombang tekan (*compressional wave*) karena terbentuk dari osilasi tekanan yang manjalar dari satu tempat ke tempat lain.

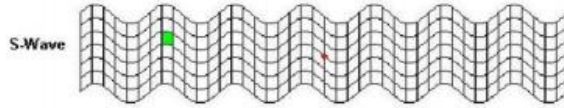


**Gambar 2. 2** Gelombang P



b. Gelombang S

Gelombang S juga dikenal sebagai gelombang transversal yang bersifat sebagai gelombang geser (*shear wave*) dengan gerakan partikel yang tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombangnya.



**Gambar 2. 3** Gelombang S

1. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan (*surface wave*)

Merupakan gelombang yang memiliki *amplitude* besar dan frekuensi rendah yang menjalar pada permukaan bebas. Gelombang permukaan dibagi menjadi 2, yaitu :

a. Gelombang *love* (*love wave*)

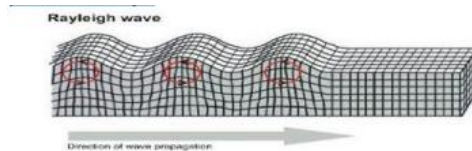
Gelombang *love* merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang *transversal*. Gerakan partikel gelombang *love* mirip dengan gelombang S.



**Gambar 2. 4** Gelombang *Love*

b. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang *Rayleigh* merupakan gelombang permukaan yang gerakan partikelnya merupakan kombinasi gerakan partikel gelombang P dan S, yaitu berbentuk ellips.



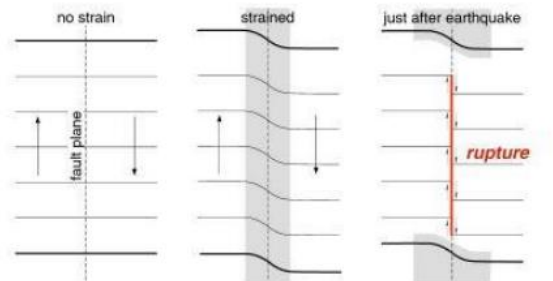
**Gambar 2. 5** Gelombang *Rayleigh*

### 2.1.3 Seismik Pasif

Metode seismik pasif menggunakan gelombang seismik alami. Gelombang frekuensi rendah ini bisa digunakan untuk pemantauan aktivitas gunung api, pemantauan patahan aktif, strategi mitigasi bencana dalam gempa bumi dan perkiraan bencana gempabumi, dan untuk pemantauan sistem panas bumi. Pada umumnya, data mikroseismik terekam dan terproses hampir sama dengan sinyal gempa tektonik. Namun, gempa tektonik umumnya memiliki *magnitude* di atas 5 Mw, sedangkan magnitudo MEQ di area panas bumi hanya kurang dari 3 Mw (Julian and Foulger, 2009).

### 2.1.4 Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan suatu peristiwa bergetarnya lapisan batuan akibat adanya patahan atau mengalami deformasi. Deformasi lapisan batuan terjadi karena energi yang terkumpul dilepaskan secara tiba-tiba, sehingga menyebabkan patahan atau ledakan pada lapisan batuan. Menurut Guttenberg dan Richter (1945), gempabumi merupakan gejala alam yang disebabkan oleh pelepasan energi regangan elastis batuan yang disebabkan oleh adanya deformasi batuan. Deformasi batuan terjadi pada lapisan litosfer yang disebabkan oleh adanya tekanan (*stress*) dan tarikan (*strain*) pada lapisan bumi. Tekanan dan tarikan tersebut secara terus-menerus menarik, membengkokkan, dan mematahkan batuan pada lapisan litosfer (Gutenberg dan Richter, 1945).



**Gambar 2. 6** Teori Elastik Rebound (Reid, 1910)

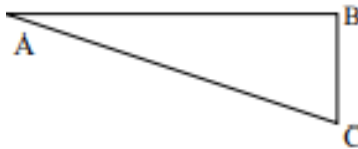
Gambar 2.6 merupakan sketsa dari teori Elastic Rebound yang dikemukakan oleh Reid (1908). Keadaan pertama menunjukkan lapisan belum mengalami perubahan bentuk geologi. Aktivitas di dalam bumi berupa gerakan terus-menerus akan menimbulkan tekanan yang akan terakumulasi dan mengubah bentuk lapisan. Keadaan kedua menunjukkan bahwa suatu lapisan telah mendapat dan mengalami tekanan dimana telah terjadi perubahan bentuk geologi. Proses ini berjalan terus hingga tekanan yang dialami daerah ini semakin besar sehingga dapat menyebabkan gesekan antara lapisan satu dengan lainnya.

Dalam jangka panjang, lapisan batuan tidak mampu menahan tekanan sehingga akan terjadi suatu pergerakan secara tiba-tiba dan terjadilah patahan. Pergerakan secara tiba-tiba ini disebut gempa bumi. Keadaan ketiga menunjukkan lapisan batuan telah mengalami patahan karena adanya gempa bumi tersebut.

#### 2.1.4.1 Parameter Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan peristiwa geologi, namun dampak yang diakibatkan dari gempa bumi bersifat menyeluruh. Deskripsi gempa bumi secara teoritis melalui pemodelan maupun pemanfaatan informasi yang diindikasikan oleh gempa bumi hingga penentuan parameter-parameter dari penjalanan gelombang-gelombang gempa bumi dapat dijelaskan dengan empat parameter, sebagai berikut :

1. Waktu terjadinya gempa bumi (origin time adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan (stress) yang berbentuk penjalanan gelombang dan dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit dan detik (Putri, 2012).
2. Hiposentrum dan Episenter Hiposentrum dan episentrum merupakan parameter penting dalam menentukan intensitas gempa bumi. Hiposentrum adalah pusat atau sumber gempa bumi yang terletak di dalam bumi sedangkan episentrum pusat gempa bumi yang terletak di permukaan bumi. Jarak antara titik episentrum dan stasiun disebut dengan episentral. Sedangkan fokus gempa adalah jarak antara episentrum dan hiposentrum yang dijelaskan pada gambar. Jarak episentral umumnya dihitung dalam satuan kilometer atau derajat dengan  $1^\circ$  adalah sama dengan 111,1 km. Fokus gempa pun juga dihitung dengan satuan kilometer (Noor, 2006).



**Gambar 2. 7** Ilustrasi Parameter Gempa Bumi

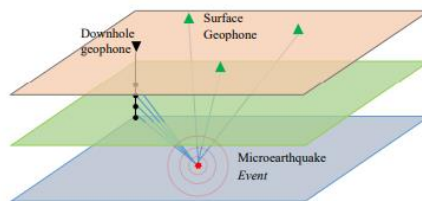
Dengan B = stasiun pencatat gempa A = episentrum C = hiposentrum AC = fokus AB = episentral

3. Magnitudo adalah ukuran dari kekuatan gempa, yaitu parameter gempa yang mengukur besarnya energi gempa yang dilepaskan dari sumbernya. Jadi pengukuran magnitudo yang dilakukan di tempat yang berbeda harus menghasilkan harga yang sama walaupun gempa yang dirasakan di tempat-tempat tersebut tentu berbeda. Satuan yang dipakai adalah Skala Richter.

### 2.1.5 *Microearthquake (MEQ) atau Gempa Mikro*

Metode *microearthquake (MEQ)* merupakan salah satu metode geofisika yang menggunakan sumber pengukuran gelombang seismik natural yang memiliki frekuensi rendah. Konsep pengukuran mikroseismik sama dengan metode seismik, yaitu dengan menangkap gelombang getar yang berasal dari sumber getar atau sumber gempa. Mikroseismik merekam gempa-gempa atau gerakan-gerakan kecil ( $\leq 3$  SR), mencari frekuensi gempa yang dominan dan terbentuk akibat induksi yang disebabkan oleh simulasi hidraulik, produksi/injeksi, pengeboran dan kegiatan lainnya pada reservoir dan juga untuk karakterisasi reservoir geothermal maupun monitoring penambangan bawah permukaan. Secara sederhana metode ini merekam *event-event* seismik (gempa mikro) yang ada di suatu tempat. Sama dengan cara kerja jaringan seismograf di dunia untuk mempelajari gempa, walaupun magnitude yg terekam lebih kecil dengan resolusi yg lebih baik tentunya. Gempa mikro memiliki peran penting dalam sistem hidrotermal.

Pengamatan gempa mikro pada eksplorasi panasbumiadalah untuk meneliti retakan berpotensi (sesar aktif) yang mempunyai permeabilitas dan porositas tinggi, melokalisasi perkiraan daerah prospek panasbumi dan kalau memungkinkan dapat membantu menentukan posisi bor (John M. Reynolds, 1997). Dalam proses produksi, dari pola kejadian gempa mikro yang dipantau dan juga reinjeksi air, akan dapat ditarik kesimpulan mengenai karakteristik pengisian recharge retakan-retakan besar yang sangat mempengaruhi pengisian reservoir secara keseluruhan. Untuk monitoring digunakan asumsi bahwa segala signature geofisika (*event* seismik, perubahan *gravity* dll) terkait dengan perubahan di dalam reservoir karena ekstraksi fluida (*steam* pada geotermal atau hidrokarbon pada lapangan migas).



**Gambar 2. 8** Konsep *Microearthquake*

Terjadinya gempa mikro pada lapangan geotermal dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor tersebut diantaranya:

1. Zona lemah yang terbuka atau bergeser akibat air yang diinjeksikan dan meningkatnya tekanan dalam batuan.
2. Adanya kontak antara air dingin dengan batuan beku panas (*heat source*).

3. Berkurangnya tekanan pori yang mengakibatkan menutupnya pori batuan reservoir karena hilangnya fluida pengisi pori batuan (akibat produksi fluida).

### 2.1.6 Metode *Geiger Adaptive Damping (GAD)*

Metode GAD merupakan metode Geiger dengan menggunakan proses inversi damped least square menggunakan adaptive damping ( $\lambda$ ) yang dihitung berdasarkan iterasi sebelumnya (Nishi, 2005). Prinsip yang digunakan dalam metode Geiger yaitu dengan menghitung residual antar waktu pengamatan (observed) dan waktu perhitungan (calculated). Software GAD merupakan salah satu software yang umum digunakan untuk penentuan posisi hiposenter terutama dalam penentuan lokasi hiposenter gempa di daerah memiliki jarak relatif dekat dengan sumber gempa. Data yang harus diinput dalam menggunakan program ini adalah waktu tiba (arrival time), posisi stasiun, dan model kecepatan awal. Beberapa model sintetis dikembangkan untuk verifikasi program GAD sehingga dapat diketahui pengaruh input data, terutama data waktu tiba terhadap output yang berupa posisi sumber gempa. Permasalahan dalam penentuan waktu tiba pada model terletak dalam penentuan waktu tempuh gelombang. Penentuan waktu tempuh gelombang ditentukan dari lintasan perambatan gelombang (raypath) dari sumber ke penerima. Lintasan perambatan gelombang (raypath) di GAD pada dasarnya menggunakan metode shooting. Pada metode shooting permasalahan dirumuskan dengan mencari sudut atau arah tembak yang tepat sehingga lintasan gelombang berujung tepat pada koordinat stasiun penerima.

### 2.1.7 Metode *Double Difference*

Metode *Double Difference* merupakan metode untuk menentukan posisi relatif hiposenter gempabumi. Data yang digunakan dalam metode ini adalah data waktu tempuh gelombang antara pasangan *event* gempa dengan stasiun pengamat. Prinsip dari metode ini adalah jarak antara dua gempabumi yang dipasangkan relatif kecil dibandingkan dengan jarak antara masing-masing gempabumi dengan stasiun pengamat yang dipasangkan, maka *raypath* dan *waveform* kedua tersebut dianggap hampir sama (Randi dkk., 2017). Hal tersebut dapat diasumsikan bahwa selisih waktu tempuh antara kedua gempabumi yang terekam pada satu stasiun yang sama dapat dianggap sebagai fungsi jarak antara kedua hiposenter, sehingga *error* model kecepatan dapat diminimalkan (Setiyawan dan Jaya, 2013). Menurut Waldhauser dan Ellsworth (2000), algoritma *double difference* dapat meminimalkan kesalahan karena struktur kecepatan yang tidak dimodifikasi tanpa penggunaan koreksi stasiun. Waktu tiba gelombang,  $T$ , untuk sebuah gempabumi,  $i$ , menuju ke sebuah stasiun seismik,  $k$ , dinyatakan dalam teori sinar (ray) sebagai sebuah integral sepanjang sinar,

$$T_k^i = \tau^i + \int_i^k u ds \quad (2.1)$$

dimana  $\tau$  adalah origin time dari sebuah *event*  $i$ ,  $u$  adalah medan slowness dan  $ds$  adalah elemen panjang *path*. Berdasarkan hubungan antara non-linier dengan travel time dan lokasi *event* umumnya digunakan untuk persamaan linearisasi (persamaan 2.12). Masalah yang muncul kemudian adalah di mana residu travel time,  $r$ , untuk suatu *event*,  $i$ , berhubungan secara linier dengan perturbasi,  $Dm$ , empat parameter hiposenter untuk setiap pengamatan  $k$ :

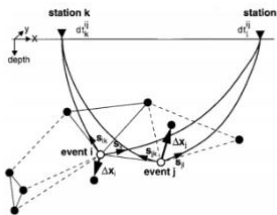
$$\frac{\partial t_k^i}{\partial m} \Delta m^i = r_k^i \tag{2.2}$$

dimana  $r_k^i = (t_k^{obs} - t_k^{cal})^i$ ,  $t_k^{obs}$ ,  $t_k^{cal}$  adalah teori waktu tempuh masing-masing, dan  $\Delta m^i = (\Delta x^i, \Delta y^i, \Delta z^i, \Delta \tau^i)$  (Waldhauser dan Ellsworth, 2000).

Waktu residu antara pengamatan dan perhitungan merupakan perbedaan travel time observasi dan perhitungan antara dua *event* gempa bumi dan dapat dinyatakan dengan persamaan

$$d_k^{ij} = (t_k^i - t_k^j)^{obs} - (t_k^i - t_k^j)^{cal} \tag{2.3}$$

Persamaan (2.3) adalah persamaan double difference.  $t_k^i$  adalah travel time gelombang seismik ke stasiun  $k$  akibat gempa bumi  $i$  dan  $t_k^j$  adalah travel time gelombang seismik ke stasiun  $k$  akibat gempa bumi  $j$  (Waldhauser dan Ellsworth, 2000)



**Gambar 2.8** Ilustrasi Algoritma Uji lokasi Hiposenter Gempa bumi dengan *Double Difference* (Waldhauser dan Ellsworth, 2000)

Gambar 2.8 merupakan ilustrasi algoritma double difference. Lingkaran hitam dan putih (gambar 2.11) menunjukkan persebaran titik hiposenter yang dihubungkan oleh gempa bumi dengan menggunakan data koreksi silang (garis tegas) atau data katalog (garis putus-putus). Gempa bumi  $i$  dan  $j$  ditunjukkan dengan lingkaran putih terekam pada stasiun yang sama ( $k$  dan  $l$ ) dengan selisih travel time  $dt_k^{ij}$  dan  $dt_l^{ij}$ . Posisi dua *event* tersebut jaraknya jauh lebih kecil dibandingkan jarak dua *event* ke dua stasiun pencatat gempa bumi. Hal ini menyebabkan raypath memiliki kecenderungan yang sama. Vektor uji lokasi gempa bumi ditunjukkan oleh arah panah  $\Delta x^i$  dan  $\Delta y^i$  (Waldhauser dan Ellsworth, 2000).

### 2.1.8 Metode Inversi LSQR

Metode Inversi LSQR merupakan solusi untuk masalah *damped least squares*, yang mana faktor damping hiposenternya menandakan vektor yang ter

lalu besar atau tidak stabil. Faktor redaman sangat tergantung pada kondisi sistem yang harus diselesaikan. Pada program hypoDD terdapat 2 metode inversi yang ditawarkan yaitu SVD dan LSQR, ketika sistem yang ditawarkan lebih besar, metode SVD menjadi metode yang tidak efisien. Dalam kasus ini, ditemukan solusi  $m$  dengan menggunakan algoritma gradien konjugasi LSQR dari (Paige dan Saunders 1982) yang memanfaatkan *sparseness* dari desain matriksnya.

$$\left\| W \begin{bmatrix} G \\ \lambda I \end{bmatrix} m - W \begin{bmatrix} d \\ 0 \end{bmatrix} \right\|_2 = 0 \quad (2.4)$$

Metode LSQR sangat efisien dengan penyimpanan yang minimum lebih dari 25 M yang cocok diaplikasikan untuk masalah yang memiliki vektor yang nilainya besar.

## 2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu mengenai gempa mikro yang terjadi pada lapangan panas bumi “X” pernah dilakukan oleh Naomi Nadya Angelia Siregar dengan judul penelitian “Penentuan Lokasi Hiposenter Gempa Bumi Mikro Menggunakan Metode Geiger dengan Arrival Times P-wave dan S-wave berdasarkan S-Transform” dan juga Shabila Gadis Halida dengan judul penelitian “Relokasi Hiposenter dan Koreksi Stasiun MEQ Lapangan Panas Bumi X menggunakan Metode *Coupled Velocity-Hypocenter*”. Dari hasil penelitian terdahulu kami gunakan data yang sama namun menggunakan metode yang berbeda, untuk melihat masing-masing hasil dari metode yang berbeda-beda. Berikut diberikan sedikit review tentang penelitian terdahulu menggunakan Metode GAD. Metode Geiger merupakan salah satu metode yang mengimplementasikan algoritma *iterative least square* dengan data masukan yang digunakan yaitu *arrival time* P-wave dan/atau S-wave, model kecepatan, koordinat stasiun pencatat gempa. Proses identifikasi gelombang untuk memperoleh *arrival times* ini menjadi sulit jika sinyal mengandung *noise* dan tingkat subjektifitas yang tinggi untuk mengidentifikasi sinyal terutama S-wave. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan S-Transform (*Stockwell Transform*) yang menampilkan spektrum amplitudo seismogram untuk mendapatkan *arrival times* yang kemudian diolah dengan metode Geiger dan dihasilkan 47 titik hiposenter, *origin time*, serta nilai *error*. Proses ini menunjukkan nilai *error* mengalami penurunan sebesar 51% pada titik hiposenter gempa bumi mikro dari penggunaan *arrival times* berdasarkan kualitatif. Distribusi hiposenter pada sistem panas bumi menunjukkan lokasi kejadian gempa bumi mikro menunjukkan keaktifan pada sumur PPL-04ST (sumur produksi) dan PPL-04AST (*idle well*) yang mengindikasikan pergerakan aliran fluida pada reservoir sistem panas bumi tersebut.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



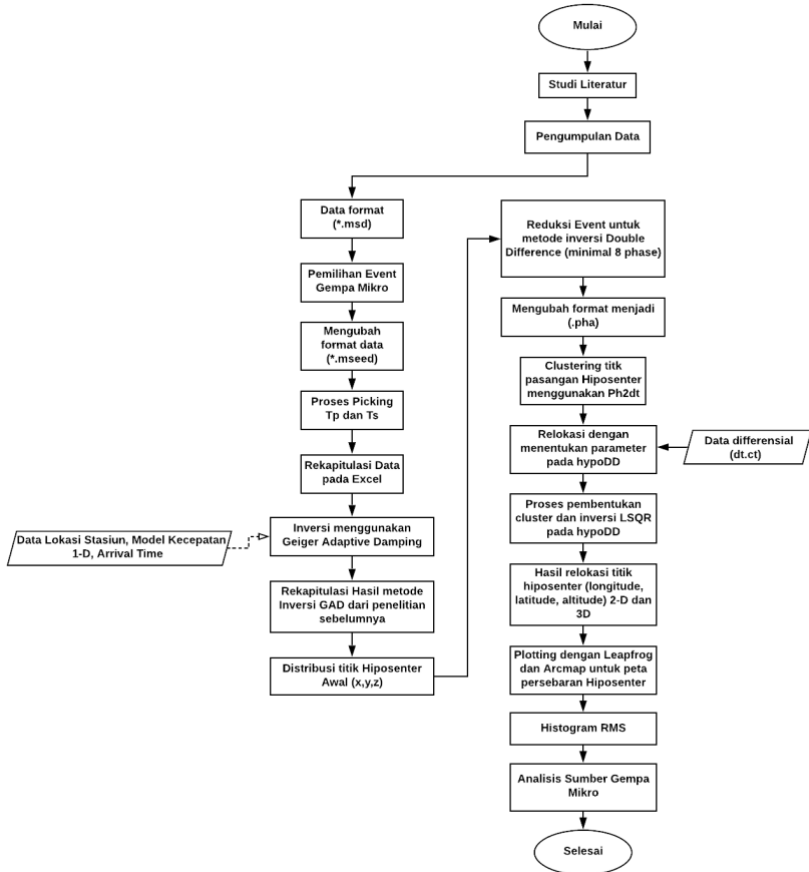
## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian tugas akhir ini dilakukan di Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Waktu pengerjaan dimulai dari bulan Agustus sampai bulan Desember (16 minggu).

### **3.2 Diagram Penelitian**

Berikut ini merupakan diagram alir penelitian analisis sumber gempa mikro menggunakan metode *Double Difference* :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Data dan Model

Data seismogram yang digunakan pada penelitian ini adalah data riil di Lapangan “X” dengan format (\*.msd). Seismogram ini terekam dalam 3 komponen (utara-selatan, timur-barat, dan vertikal). Data yang digunakan akan disortir berdasarkan kenampakan *event* dalam masa perekaman data. Setelah dilakukan sortir data, selanjutnya adalah converting data dari (\*.msd) menjadi (\*.mseed). Kemudian dilakukan proses picking hingga mendapatkan data tp dan ts, dan diubah menjadi waktu tempuh. Dilanjutkan dengan metode GAD untuk mengetahui distribusi titik hiposenter awal, dengan menggunakan model awal sesuai dengan kecepatan dan kedalaman daerah sekitar lapangan sistem panas bumi “X”. Kemudian dengan menggunakan jumlah data dan waktu perekaman

yang sama yaitu 90 hari, proses ini dilanjutkan dengan melakukan uji lokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference*.

### 3.4 Konversi Format Data

Konversi format data dilakukan dengan menggunakan program *Python*, menjalankan *script* untuk mengubah format data dari (.txt) menjadi (.pha). Pada penelitian ini data yang diubah formatnya adalah data *arrival time* pada masing-masing fase yang tercatat dalam *event* gempa mikro. Data yang telah diubah formatnya tersebut menjadi sebuah data *input* ke tahapan selanjutnya, yaitu proses pengelompokkan gempabumi (*clustering*). Script yang digunakan untuk melakukan konversi data ini akan dicantumkan pada lampiran.

### 3.5 Pembentukan Kelompok Gempa Bumi (Clustering)

*Clustering* dilakukan dengan mengelompokkan data gempa mikro yang terekam pada stasiun yang sama. *Clustering* menggunakan program *ph2dt* yang memiliki parameter-parameter yaitu *MAXSEP* merupakan jarak pengelompokkan gempa mikro dengan pasangan gempa yang ada disekitarnya, *MAXDIST* adalah jarak maksimum yang diperoleh antara pasangan gempa bumi dengan stasiun perekaman, dan *MINLINK* adalah jumlah minimum fase.

```
1 * ph2dt.inp - input control file for program ph2dt
2 * Input station file:
3 stasiun.dat
4 * Input phase file:
5 PTHGADTYAS2.pha
6 *MINWGHT: min. pick weight allowed [0]
7 *MAXDIST: max. distance in km between event pair and stations [7]
8 *MAXSEP: max. hypocentral separation in km [6]
9 *MAXNGH: max. number of neighbors per event [31]
10 *MINLNK: min. number of links required to define a neighbor [7]
11 *MINOBS: min. number of links per pair saved [7]
12 *MAXOBS: max. number of links per pair saved [100]
13 *MINWGHT MAXDIST MAXSEP MAXNGH MINLNK MINOBS MAXOBS
14 0 20 15 10 8 8 100
```

Gambar 3. 2 Script Konversi Data dalam Format (.pha)

### 3.6 Uji lokasi Hiposenter menggunakan metode *Double Difference*

Parameter-parameter yang harus diinput dalam proses uji lokasi hiposenter menggunakan program *hypoDD*. Parameter-parameter yang ada merupakan jarak maksimum antara pusat *cluster* hiposenter dengan stasiun perekam. Parameter-parameter ini digunakan untuk membatasi dan memperkuat solusi uji lokasi hiposenter.

### 3.7 Plot Hasil Relokasi

Hasil relokasi hiposenter dapat digambarkan dengan software leapfrog, sedangkan titik episenter hasil relokasi digambarkan dengan peta persebaran titik episenter menggunakan software ARCGIS.

### 3.8 Perangkat Lunak

Perangkat lunak untuk mengolah data yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah GAD, *hypoDD* version 1.0, ph2dt.. Penelitian akan dijalankan pada perangkat keras laptop dengan spesifikasi:

Operating System	:	Windows 10 Home (64-bit)
Processor	:	7 <sup>th</sup> Gen Intel Core i5-7200U @ 2.50-3.10 GHz
GPU	:	AMD Radeon 2 GB DDR3
RAM	:	4 Gb

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data Input dalam metode *Double Difference***

Uji lokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference* membutuhkan beberapa data input yaitu waktu tempuh gelombang, fase gelombang P dan S dari *event* gempa mikro yang digunakan, lokasi stasiun pencatat gempa mikro, model kecepatan 1-D daerah penelitian, nilai  $v_p/v_s$  ratio, dan juga titik inisial hiposenter dari penelitian sebelumnya dengan jumlah data dan waktu perekaman data yang sama. Data input tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

##### **4.1.1 Waktu tempuh gelombang dan fase gelombang**

Data input yang paling mendasar digunakan dalam hypoDD adalah perbedaan waktu tempuh untuk suatu pasangan gempa di stasiun yang terkait. Waktu tempuh ini didapatkan dari selisih antara origin time dengan arrival time dan juga dikalikan dengan tanggal kejadian yang dikonversi kedalam detik. Perbedaan waktu tempuh ini diperlukan untuk memastikan stabilitas solusi *least square* dan juga mengoptimalkan keterhubungan antar *event* dari gempa mikro tersebut. Pada program ph2dt pada metode *Double Difference* digunakan fase gelombang P dan S yang nantinya akan menjadi file input hypoDD. Ph2dt ini mencari data fase P dan S untuk pasangan *event* gempa mikro dengan informasi waktu tempuh untuk mengoptimalkan kualitas pasangan fase dan konektivitas antara *event* satu dengan yang lainnya. Idealnya, dalam metode ini akan dicari jaringan antar *event* gempa mikro dengan jarak sekecil mungkin antar *eventnya* dengan cara memasukkan parameter-parameter jarak maksimal antar *event* ataupun dengan stasiun pencatat. Jaringan ini biasanya ditentukan dengan delapan fase gelombang atau minimal empat stasiun yang mencatat. Pada pengolahan kali ini peneliti menggunakan 261 jumlah *event* dengan memenuhi syarat input data metode *Double Difference* minimal fase 8 (empat stasiun yang mencatat). Untuk melihat data waktu tempuh dan fase yang diinputkan secara lengkap, akan dicantumkan pada bagian lampiran.

##### **4.1.2 Lokasi Stasiun**

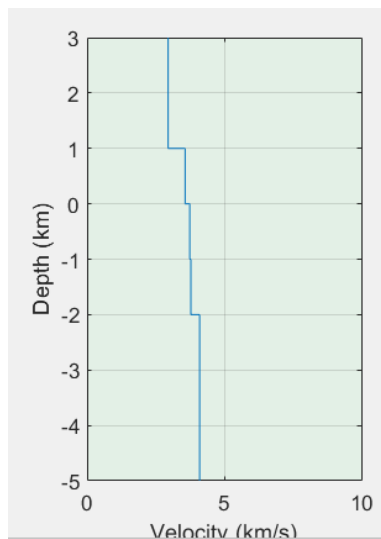
Lokasi stasiun pencatat gempa mikro di lapangan panas bumi “X” yang digunakan dalam input metode *Double Difference* dengan perangkat hypoDD terdiri dari longitude dan latitude. Pada pengolahan kali ini digunakan sejumlah 9 titik lokasi stasiun. Berikut disajikan tabel data stasiun yang digunakan dalam pengolahan uji lokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference* :

**Tabel 4. 1** Data Lokasi Stasiun Perekam Gempa Mikro

No.	Nama Stasiun	Longitude	Latitude
1	BAN	-XX.1879	XXX.4469
2	BUA	-XX.1879	XXX.4346
3	BRK	-XX.1933	XXX.4273
4	ZPN	-XX.179	XXX.4148
5	ULI	-XX.1718	XXX.419
6	ZUI	-XX.18	XXX.4263
7	BRB	-XX.176	XXX.434
8	ZTO	-XX.1842	XXX.4099
9	BUT	-XX.1917	XXX.4147

#### 4.1.3 Model Kecepatan 1-D daerah penelitian

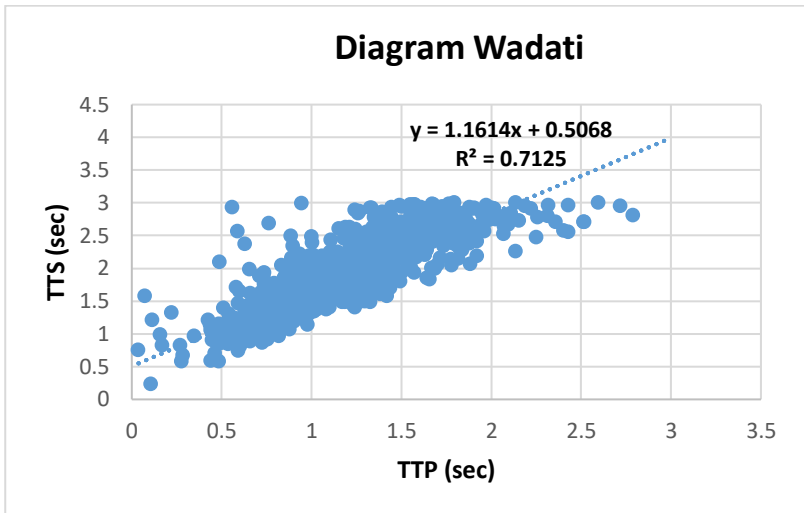
Model kecepatan yang digunakan sebagai data input dalam proses uji relokasi menggunakan metode *Double Difference* adalah model kecepatan 1-D berdasarkan referensi yang diberikan oleh perusahaan di daerah penelitian. Model kecepatan 1-D yang digunakan memiliki 6 lapisan, berdasarkan kedalamannya masing-masing. Berikut disajikan data model kecepatan 1-D yang digunakan :



**Gambar 4. 1** Model Kecepatan 1-D Daerah Penelitian

#### 4.1.4 Nilai Vp/Vs ratio daerah penelitian

Untuk melakukan uji lokasi atau relokasi metode *Double Difference* diperlukan data input berupa nilai Vp/Vs ratio dengan ratio yang konstan untuk semua lapisan kedalaman. Untuk mendapatkan nilai Vp/Vs ratio dari *event* gempa mikro yang digunakan, maka dibuat diagram wadati untuk mencari tren nilai Vp/Vs ratio tersebut, dimana diagram wadati merupakan diagram waktu penjalaran gelombang S terhadap waktu penjalaran gelombang P, untuk membuat diagram ini dipilih waktu tempuh yang kurang dari 3 sekon. Setelah dibuat diagram wadati maka nilai Vp/Vs ratio menunjukkan nilai 1.1614 untuk daerah penelitian. Berikut disajikan gambar diagram wadati yang menunjukkan nilai Vp/Vs ratio dari *event* gempa mikro yang digunakan:



**Gambar 4. 2** Diagram Wadati untuk mencari nilai Vp/Vs ratio

Metode *Double Difference* digunakan untuk melakukan uji lokasi hiposenter dari titik lokasi hiposenter sebelumnya. Jumlah titik initial hiposenter yang digunakan sebanyak 261 *event* yang mana hal ini sama dengan jumlah data waktu tempuh yang digunakan. Data titik inisial hiposenter diberikan berupa longitude, latitude, dan depth. Untuk lebih lengkapnya, titik inisial hiposenter akan dicantumkan pada bagian lampiran.

#### 4.2 Hasil Pengolahan Metode *Double Difference*

Relokasi gempa mikro menggunakan metode *Double Difference* memerlukan dua proses yaitu proses pertama melibatkan analisis data fase untuk mendapatkan perbedaan waktu tempuh pasangan *event* gempa mikro dan proses kedua yaitu pemrosesan data fase menggunakan ph2dt, kemudian perbedaan waktu tempuh yang diketahui digunakan untuk menentukan lokasi hiposenter

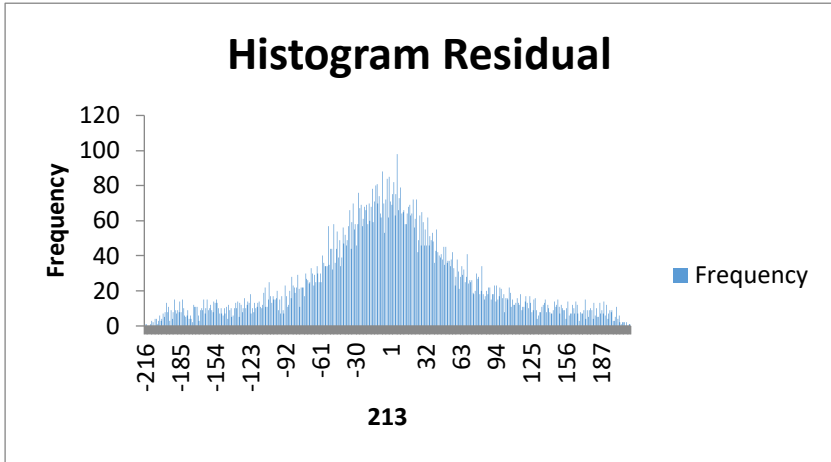
dengan menggunakan metode ini. Pengolahan ini tentunya merupakan perhitungan matematis yang menggunakan matriks untuk mendapatkan lokasi relokasi titik hiposenter dan error dari data input yang telah dibahas sebelumnya. Pada pengolahan *event* gempa mikro sebanyak 261 data menggunakan metode *Double Difference*, digunakan iterasi (pengulangan) sebanyak 15 kali, jika dalam metode ini disebut Niter (*Number of Iteration*) dan juga digunakan yaitu Maxdist atau Dist yang mana merupakan jarak terjauh antara pasangan *event* dengan lokasi stasiun diberikan jarak sebesar 20 km, parameter maxsep atau wdct yang mana merupakan jarak terjauh antara masing-masing pasangan *event* diberikan jarak sebesar 15 km dan juga parameter minobs atau obsct yang mana merupakan jumlah minimal hubungan antar *event* yang tersimpan diberikan nilai sebesar 8. Parameter-parameter diatas bisa dikatakan sebagai variabel kontrol dalam pengolahan metode *Double Difference*.

Hasil dari pembentukan kelompok gempa bumi atau *clustering* menggunakan program ph2dt menghasilkan hanya 1 kelompok gempa bumi dengan jumlah *event* 261 *event*. Pada hasil *clustering* tersebut menunjukkan bahwa nilai *outliers* sebesar 8% dan nilai *weakly linked events* sebesar 1%. Semakin kecil nilai *outliers*, maka semakin baik data yang dimiliki. Begitu juga dengan nilai *weakly linked events*, semakin kecil nilainya maka semakin kecil pula presentase eror yang akan dihasilkan. Pada pengolahan data menggunakan hypoDD menunjukkan hasil relokasi hiposenter yang terdiri atas 1 *cluster* dengan jumlah *event* 260 karena terdapat satu *event* yang hilang yaitu *event* ke-79 yang tergabung dengan *event* lain dikarenakan memiliki jarak yang relatif kecil dengan *event* lainnya,. Dalam proses *running* relokasi ini menghasilkan nilai 50-70. Menurut referensi, nilai CND tersebut memenuhi range yang baik untuk menekan faktor damping, sehingga hasil relokasi bisa dikatakan stabil dengan jumlah iterasi yang diberikan. Output dari pengolahan relokasi hiposenter menggunakan hypoDD, yaitu hypoDD.reloc yang merupakan hasil relokasi hiposenter, hypoDD.res yang merupakan nilai residual dari hasil relokasi yang didapatkan, dan hypoDD.sta merupakan satasiun pencatat *event* gempa mikro tersebut.

Sebelum dilakukan analisa hasil relokasi gempabumi, dilakukan uji hasil relokasi dalam penelitian ini, yaitu pengujian distribusi frekuensi residual waktu tempuh untuk data setelah relokasi menggunakan grafik histogram pada perangkat lunak Ms. Excel. Indikator hasil yang baik adalah nilai-nilai residual setelah dilakukan relokasi hiposenter menggunakan program hypoDD relatif mendekati nol. Semakin kecil nilai residual atau semakin mendekati nol maka inversi hasil perhitungan dan hasil observasi semakin mendekati sama. Hal ini menunjukkan bahwa relokasi hiposenter yang dilakukan menghasilkan perubahan posisi hiposenter yang lebih baik dan lebih akurat. Pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai residual mendekati nol sehingga dapat dikatakan bahwa pengolahan data relokasi hiposenter menggunakan *hypoDD* dalam penelitian ini sudah cukup baik.



Gambar 4.3 menunjukkan hasil histrogram nilai residual relokasi hiposenter.

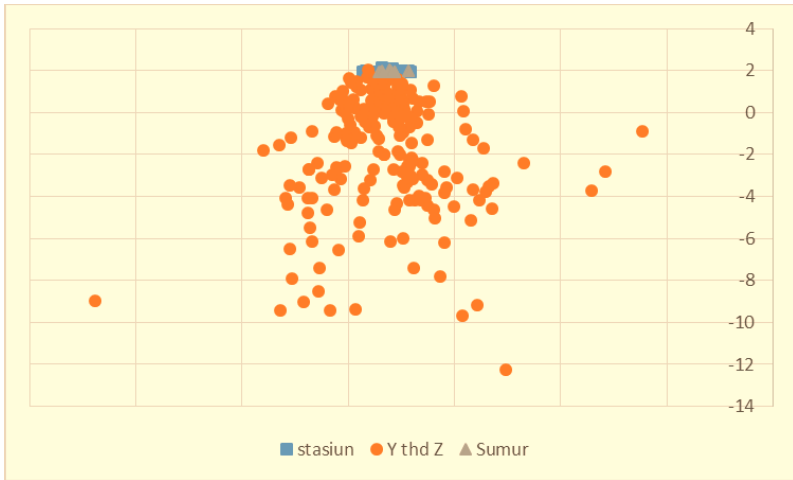


**Gambar 4. 3** Histogram Nilai Residual Relokasi Hiposenter menggunakan hypoDD

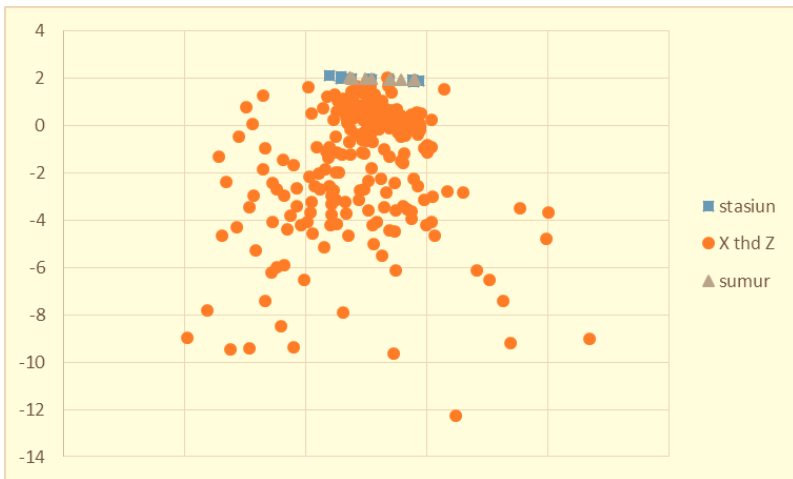
Kemudian untuk hasil relokasi yang didapatkan yaitu sejumlah 260 titik lokasi hiposenter dan nilai error. Hasil relokasi ini akan divisualisasikan dengan plotting antara hiposenter dengan kedalamannya. Berikut akan disajikan tabel contoh 10 data hasil relokasi, dan untuk lengkapnya akan dicantumkan pada lampiran :

**Tabel 4. 2** Hasil Uji Lokasi dengan metode *Double Difference*

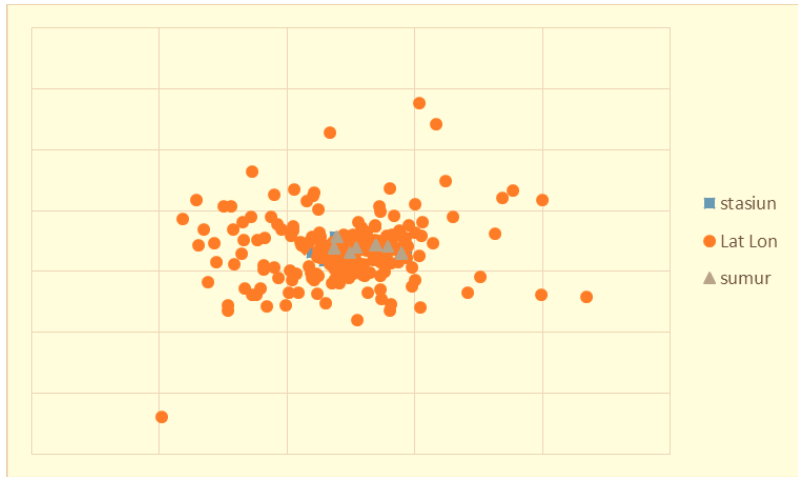
No. Event	Latitude	Longitude	Depth(km)	RMS
1	-xx.175516	xxx.43007	2.288	0.071
2	-xx.175912	xxx.429403	2.5	0.066
3	-xx.175272	xxx.429606	2.35	0.068
4	-xx.177097	xxx.430428	2.851	0.077
5	-xx.176515	xxx.428418	1.685	0.068
6	-xx.176724	xxx.428011	1.841	0.082
7	-xx.162326	xxx.434465	3.088	0.077
8	-xx.203209	xxx.430428	2.867	0.08
9	-xx.178869	xxx.439526	3.442	0.046
10	-xx.181837	xxx.423096	1.467	0.057



**Gambar 4. 4** Plot Hiposenter Latitude terhadap Kedalaman



**Gambar 4. 5** Plot Hiposenter Longitude terhadap Kedalaman



**Gambar 4. 6** Plot Hiposenter Longitude terhadap Latitude

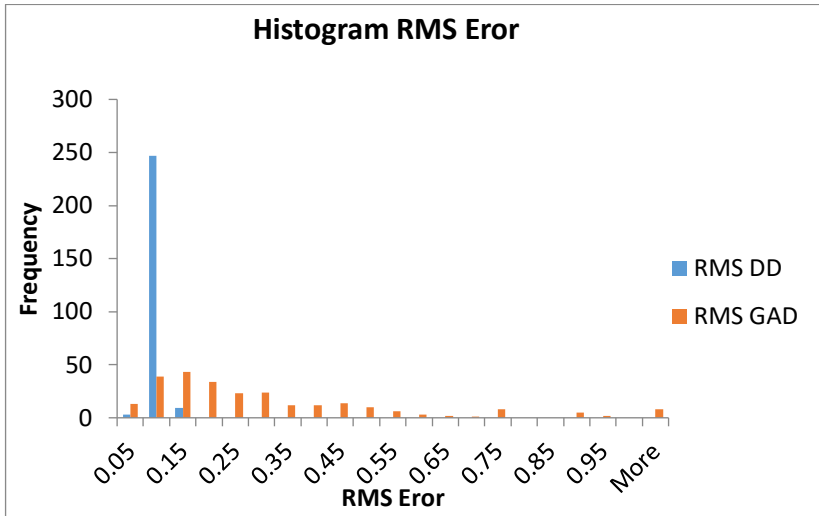
Pada hasil relokasi metode *Double Difference* dihasilkan nilai rms (root mean square) yang merupakan hasil error dari proses relokasi metode ini. Hasil nilai rms error ini akan dianalisa secara kuantitatif, dengan membandingkan nilai error metode penelitian sebelumnya dengan metode *Double Difference* tentunya dengan jumlah data dan waktu perekaman data yang sama. Berikut perbandingannya :

**Tabel 4. 3** Perbandingan *Average* Nilai RMS Error GAD dan DD

Perbandingan <i>Average</i> Nilai RMS Error	
<i>Average</i> RMS error DD	<i>Average</i> RMS error GAD
0.078426923	0.291211538

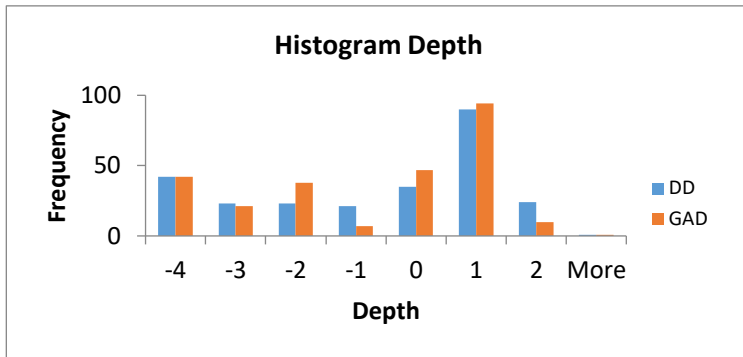
Dari perbandingan nilai rms error kedua metode dengan jumlah 260 *event*, terbukti bahwa metode *Double Difference* menghasilkan nilai rms yang lebih kecil. Jika dihitung secara persentase nilai rms error metode GAD dengan nilai rms DD (*Double Difference*) mengalami penurunan sebesar 73,06%. Dari presentase turunnya nilai rms error ini bisa dikatakan bahwa metode *Double Difference* menghasilkan titik relokasi yang lebih akurat dibandingkan penelitian sebelumnya. Nilai rms error ini dikaitkan dengan *condition number* (CND) pada saat proses *running* relokasi, dimana nilai CND yang memengaruhi *damping factor* menghasilkan nilai yang memenuhi range kondisi sesuai yakni 40-80, karena apabila nilai *damping* sangat tinggi maka nilai CND harus diturunkan, namun jika nilai CND terlalu tinggi maka sistem *Double Difference* berada pada kondisi yang tidak sesuai. Selain disajikan perbandingan rms error pada kedua

metode berikut disajikan gambar histogram perbedaan nilai rms error secara statistik sebagai berikut



**Gambar 4. 7** Histogram Nilai RMS Error metode GAD dan DD

Dapat dilihat dari histogram yang dihasilkan metode *Double Difference* menunjukkan nilai rms error pada range 0.05 - 0.15 sebanyak 247 data. Sedangkan pada metode *Geiger Adaptive Damping* (GAD) dengan range nilai rms error yang sama hanya menunjukkan sebanyak 39 data, dan data lainnya tersebar pada range rms error lainnya. Perhitungan secara statistik ini menunjukkan nilai rms error pada metode *Double Difference* banyak terletak pada range nilai rms error yang kecil hal ini mendukung perhitungan rata-rata nilai rms error yang sebelumnya, sedangkan nilai rms error pada metode GAD hampir tersebar rata di berbagai range nilai rms error yang ada. Selain disajikan histogram nilai rms error, maka berikut disajikan pula histogram nilai kedalaman antara metode *Double Difference* dan metode *Geiger Adaptive Damping* :

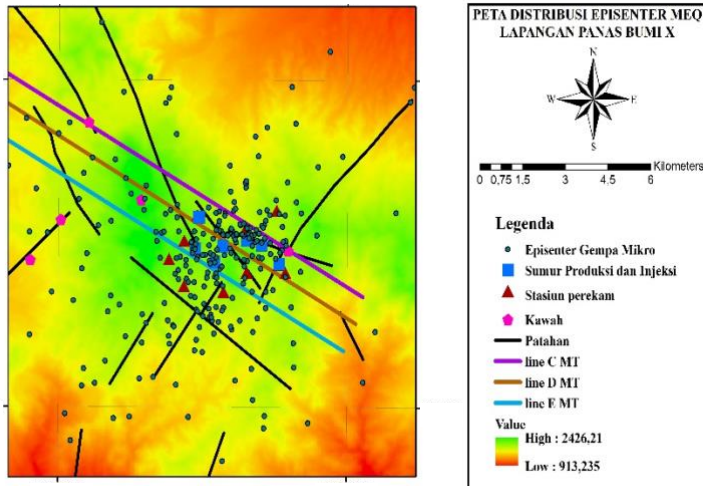


**Gambar 4. 8** Histogram Nilai Kedalaman metode GAD dan DD

Hasil histogram kedalaman dari kedua metode ini menunjukkan nilai kedalaman yang dihasilkan dari proses relokasi hiposenter ataupun dari titik inisial hiposenter tersebar rata, sesuai dengan model kecepatan 1-D yang diberikan. Terlihat dari metode *Double Difference* frekuensi nilai kedalaman hampir sama dengan titik inisialnya, namun di beberapa range kedalaman jumlah *event* yang dihasilkan dari metode *Double Difference* memiliki jumlah yang lebih sedikit, hal ini sesuai dengan definisi metode ini yaitu akan dianggap hanya menjadi satu *event* pada raypath yang sama jika perbedaan waktu tempuh sama dan jarak antar pasang *event* relatif kecil.

### 4.3 Analisis Hasil Pengolahan Relokasi Metode *Double Difference* terhadap Lapangan Panas Bumi

Analisis hasil relokasi titik hiposenter akan dilakukan secara kualitatif dengan melihat data-data sekunder sebagai pendukung. Data sekunder tersebut dapat berupa model konseptual dari pengukuran secara metode geofisika yaitu magnetotelurik, keberadaan patahan geologi, posisi titik sumur pada daerah lapangan panas bumi. Titik hiposenter ini dapat menggambarkan adanya satu kejadian atau *event* yang terjadi dibawah permukaan bumi. Selain titik hiposenter, berikut akan disajikan gambar persebaran titik episenter dari *event* gempa mikro yang sudah dilakukan relokasi, sebagai berikut :



(dari Nurjanji Rahmawati  
27 Januari 2020)

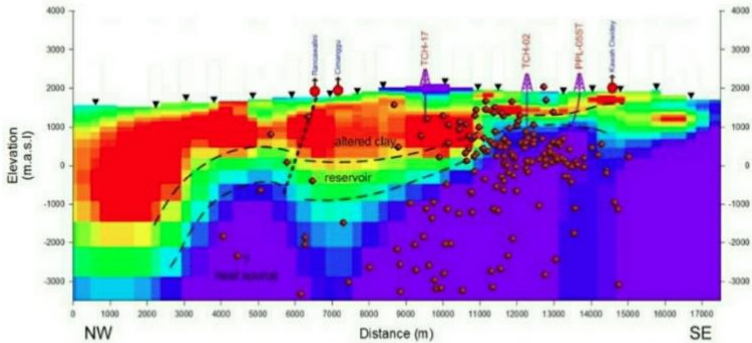
**Gambar 4. 9** Peta Distribusi Episcenter MEQ

Gambar diatas menunjukkan peta persebaran titik episcenter dari hasil proses relokasi metode *Double Difference* terhadap data titik stasiun pengukuran, patahan geologi, dan titik kawah. Pada peta diatas titik-titik episcenter banyak terletak di daerah patahan geologi dan lokasi sumur produksi atau injeksi dengan kotak berwarna biru. Persebaran titik episcenter menggambarkan memang benar *event* gempa mikro terjadi dikarenakan adanya aktivitas produksi atau aktivitas dari patahan geologi yang ada.

Kemudian, jika titik relokasi episcenter tersebut diproyeksikan terhadap kedalaman maka disebut hipocenter. Titik hipocenter tersebut diplottingkan secara 3 dimensi menggunakan software leapfrog dan untuk melihat kesesuaian dengan data pendukung yang ada maka dilakukan cross section penampang 2 dimensi dari hasil pengukuran metode geofisika magnetotellurik berupa penampang dari nilai resistivitas dan merupakan referensi konseptual model lapangan panas bumi daerah penelitian. Penampang resistivitas tersebut menunjukkan model konseptual panas bumi dibawah permukaan line pengukurannya. Terdapat 3 line pengukuran yaitu C,D dan E. Penampang tersebut dideskripsikan sebagai 3 zona yaitu *altered clay*, *reservoir*, dan *hot source*. Warna-warna pada hasil penampang pengukuran metode geofisika magnetotellurik ini adalah range nilai resistivitas yang memiliki range (0-1000) ohm.m, semakin warna merah menunjukkan nilai resistivitas yang rendah sedangkan semakin berwarna ungu maka menunjukkan nilai resistivitas yang

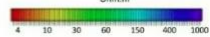
tinggi. Hasil penampang 2D pengukuran metode geofisika magnetotellurik ini akan dilayoutkan dengan titik hiposenter. Berdasarkan jumlahnya, titik hiposenter yang berada dalam rentang kedalaman model konseptual MT sebanyak 78.07%. Rentang kedalaman tersebut berkisar antara (4000 hingga -3400) m. Berikut disajikan hasil cross section antara penampang MT dengan titik relokasi hiposenter :

**Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikro Terhadap Penampang 2D Lintasan C pada Pengukuran Magnetotelurik**



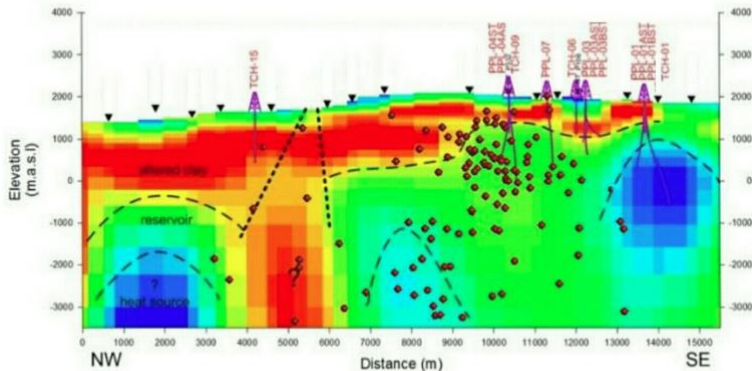
Keterangan :

● Hiposenter Uji Lokasi Metode Double Difference



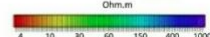
**Gambar 4. 10** Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikro terhadap Penampang 2D Lintasan C

**Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikro Terhadap Penampang 2D Lintasan D pada Pengukuran Magnetotelurik**



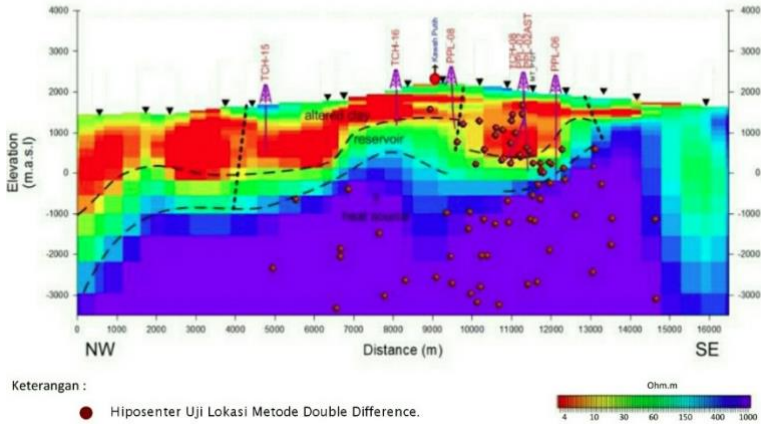
Keterangan :

● Hiposenter Uji Lokasi Metode Double Difference



**Gambar 4. 11** Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikro terhadap Penampang 2D Lintasan D

**Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikro Terhadap Penampang 2D  
Lintasan E pada Pengukuran Magnetotelurik**



**Gambar 4. 12** Persebaran Hiposenter Gempa Bumi Mikiro terhadap Penampang 2D Lintasan E

Gambar (4.10 – 4.12) merupakan hasil layout antara titik relokasi hiposenter dengan penampang 2D lintasan pengukuran metode Magnetotelurik. Masing-masing lintasan MT menunjukkan adanya *event* gempa mikro yang terjadi. Pada (Gambar.10) diberikan hasil korelasi antara penampang 2D dari line pengukuran MT C dengan persebaran titik hasil relokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference* (titik berwarna merah). Pada line MT C titik relokasi hiposenter mayoritas tepat berada dibawah jalur bawah sumur PPL-05ST yang merupakan sumur produksi sistem panas bumi. Jika dilihat pada gambar titik relokasi menyebar di tiap- tiap zona, namun pada line MT C titik relokasi hiposenter mayoritas berada pada zona *heat –source* dari model konseptual pengukuran metode geofisika magnetotelurik. Sedangkan pada (Gambar.11) merupakan hasil korelasi antara penampang 2D dari line D dengan persebaran titik hasil relokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference* (titik berwarna merah). Pada line MT D titik relokasi hiposenter mayoritas tepat berada dibawah jalur sumur PPL-04ST, PPL04AST dan PPL-07 yang merupakan sumur produksi dari lokasi panas bumi daerah penelitian. Sedangkan pada (Gambar. 12) yakni line MT E titik relokasi hiposenter tersebar tepat berada dibawah jalur sumur PPL-06, PPL-02AST dan PPL-02ST. Dimana sumur-sumur tersebut merupakan sumur produksi juga. Setelah dianalisa, hasil relokasi persebaran hiposenter menunjukkan bahwa titik hiposenter lebih banyak berkumpul di daerah lintasan magnetotelurik C dan D.

Adanya titik relokasi hiposenter yang berada tepat dibawah jalur sumur produksi mengindikasikan adanya aktivitas pada zona tersebut seperti aliran-



aliran fluida yang mengalir pada reservoir panas bumi. Maka dari itu, bisa disimpulkan bahwa adanya *event* gempa mikro yang terjadi merupakan akibat adanya aktivitas-aktivitas produksi didalam sistem geothermal yang terjadi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Hasil relokasi hiposenter gempa mikro pada lapangan panas bumi "X" menunjukkan bahwa clustering terbagi menjadi 1 kelompok dengan jumlah *event* 260 data. Jika dihitung secara kuantitatif hasil relokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference* menghasilkan nilai eror yang jauh lebih kecil dibandingkan metode yang digunakan dalam penelitian sebelumnya yaitu *Geiger Adaptive Damping*. Dengan menggunakan data yang sama nilai RMS eror metode *Double Difference* memiliki rata-rata nilai RMS eror sebesar 0.078426923 sedangkan, metode *Geiger Adaptive Damping* menghasilkan rata-rata nilai RMS eror sebesar 0.291211538. Jika dihitung persentasenya, metode *Double Difference* dapat menurunkan persentase eror sebesar 73.06% dari eror metode relokasi sebelumnya. Sehingga dapat dikatakan, relokasi hiposenter menggunakan metode *Double Difference* memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi. Sedangkan jika dilihat dari persebaran kedalaman dari relokasi hiposenter, hasil relokasi hiposenter tersebar rata sesuai dengan model kecepatan 1-D, hampir sama dengan hasil metode penelitian GAD sebelumnya.
2. Hasil relokasi hiposenter menunjukkan lokasinya tepat berada dibawah jalur sumur pada daerah penelitian. Hal ini didukung dengan hasil layout antara titik relokasi hiposenter dengan penampang 2D lintasan pengukuran metode Magnetotellurik. Lintasan C,D dan E menunjukkan hasil hiposenter berada pada sumur PPL-04ST, PPL-04AST, PPL-07, PPL-06, PPL-02AST, dan PPL02ST. Sumur-sumur tersebut merupakan sumur produksi didaerah penelitian. Adanya titik relokasi hiposenter yang berada tepat dibawah jalur sumur produksi mengindikasikan adanya aktivitas pada zona tersebut seperti aliran-aliran fluida yang mengalir pada reservoir panas bumi. Maka dapat disimpulkan terjadinya event gempa mikro merupakan akibat adanya aktivitas-aktivitas produksi didalam sistem geothermal yang terjadi.

#### **5.2 Saran**

Untuk mengembangkan penelitian selanjutnya, input data perlu dilakukan kembali secara runtut dan urut agar tahap *pre-processing* tidak memakan waktu yang sangat lama.

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Almira, A. (2013). *Penentuan Struktur Patahan di Lapangan Panas Bumi "X" dengan menggunakan Metode Relokasi Relatif Kasus Gempa Mikro*. Universitas Pendidikan Indonesia.
- Angelia, N. (2019). Penentuan Lokasi Hiposenter Gempa Bumi Mikro Menggunakan Metode Geiger dengan Arrival Times P-wave dan S-wave berdasarkan S-Transform. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Armi, R. d. (2018). Reservoir Lapangan Panas Bumi Wayang Windu dengan Metode Inversi Tomografi dari Data Microearthquake (MEQ). *Jurnal Teknik POMITS, Vol. 1 No.1*, 1-8.
- Fathan, F. d. (2014). *Aplikasi Metode Double-Difference pada Data Microearthquake dengan Program berbasis Matlab*. Depok: Departemen Fisika, FMIPA Universitas Indonesia.
- Fauzi, M. d. (2015). Hypocenter Determination of Microearthquake Data in Geothermal Area Using MATLAB. *Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition*. Jakarta.
- Gadis, Shabila. (2019). Relokasi Hiposenter dan Koreksi Stasiun MEQ Lapangan Panas Bumi X menggunakan Metode *Coupled Velocity-Hypocenter*. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Garini, S. d. (2014). Relokasi Hiposenter Gempa Bumi di Sulawesi Tengah dengan menggunakan Metode Geiger dan Coupled Velocity-Hypocenter. *Jurnal Fisika*, 107-112.
- Han, L. (2010). *Micoseismic Monitoring and Hypocenter Location*. University Of Calgary.
- Heditama, D. (2015). Software Development of Spectrogram Analysis and Tomography Study of MEQ Data for Delineating Fracture Zone in Geothermal Area. *Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2015*. Jakarta.
- Hochstein, M.P. dan Browne, P.R.L., 2000, Surface Manifestation of Geothermal Systems with Volcanic Heat Sources. In *Encyclopedia of Volcanoes*, H.Sigurðsson, B.F. Houghton, S.R. McNutt, H. Rymer dan J. Stix (eds.), Academic Press
- Julian, B. R., G. R. Foulger, and F. Monastero (2009), Seismic monitoring of EGS stimulation tests at the Coso geothermal field, California, using microearthquake locations and moment tensors, paper presented at Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 9-11.

- Monteiller, V. d. (2005). Imaging Kilauea Volcano Magmatic System Using an Efficient Algorithm for Double-Difference Tomography and Cross-Spectral Time-Delays. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110.
- Nishi, K. (2001). A Three-Dimensional Robust Seismic Ray Tracer for Volcanic Regions. *Earth Planets Space*, 53, 101-109.
- Nugraha, A. (2017). Joint 3-D Tomographic Imaging of Vp, Vs and Vp/Vs and Hypocenter Relocation at Sinabung Volcano, Indonesia from November to December 2013. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1-14.
- Noor, Djauhari. 2006. Geologi Lingkungan . Jogjakarta: Graha Ilmu.
- Putrohari, D.R., 2009. Limbah Panasbumi Mengandung Emas. <http://rovicky.wordpress.com/2009/12/30/limbah-panas-bumi-mengandung-emas/>. Diakses tanggal 02 Oktober 2019.
- Rahmawati, D. (2016). *Estimasi Model Kecepatan 1-D Hasil Relokasi Gempa Bumi Wilayah Maluku Utara dengan menggunakan Metode Double Difference*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rejeki, S. d. (2010). Geologic Conceptual Model Update of the Darajat Geothermal Field, Indonesia. *Proceesings World Geothermal Congress 2010*. Bali.
- Saemundsson, K. d. (2011). Geothermal Systems in Global Perspective. *Short Course on Geothermal Drilling, Resource Development and Power Plants*, (pp. 16-22). El Salvador.
- Suparman, Y. d. (2010). Simulasi Perhitungan Waktu Tempuh Gelombang dengan Metoda Eikonol : Suatu Contoh Aplikasi dalam Estimasi Ketelitian Hiposenter Gempa. *Bulletin Vulkanologi dan Bencana Geologi, Volume 5 Nomor 1*, 1- 6.
- Syaifudin, F. (2014). Micro Earthquake Survey Design, Optimization with Modelling. *PIT HAGI 39*. Solo: Researchgate.
- Waldhauser, F. (2001). *hypoDD- A Program to Compute Double-Difference Hypocenter Locations*. U.S: U.S.Geol.Survey.
- Waldhauser, F. d. (2000). A Double-Difference Earthquake Location Algorithm: Method and Application to the Northern Hayward Fault, California. *Bulletin of the Seismological Society of America 90,6,pp*, 1353-1368.
- Zhang, H. d. (2012). Advanced 3D Geophysical Imaging Technologies for Geothermal Resource Characterization. *GRC Transactions, Vol 36*.

## LAMPIRAN

### 1. Script HypoDD Relokasi

#### SCRIPT

```
* RELOC.INP:
*--- input file selection
* cross correlation diff times:
*
*catalog P diff times:
dt.ct
*
* event file:
event.dat
*
* station file:
stasiun.dat
*
*--- output file selection
* original locations:
hypoDD.loc
* relocations:
hypoDD.reloc
* station information:
hypoDD.sta
* residual information:
hypoDD.res
* source parameter information:
*hypoDD.src
*
*--- data type selection:
* IDAT: 0 = synthetics; 1= cross corr; 2= catalog; 3= cross & cat
* IPHA: 1= P; 2= S; 3= P&S
* DIST: max dist [km] between cluster centroid and station
```

```

* IDAT IPHA DIST
  2  3  20
*
*--- event clustering:
* OBSCC:  min # of obs/pair for crosstime data (0= no clustering)
* OBSCT:  min # of obs/pair for network data (0= no clustering)
* OBSCC OBSCT
  0  8
*
*--- solution control:
* ISTART:      1 = from single source; 2 = from network sources
* ISOLV:       1 = SVD, 2=lsqr
* NSET:        number of sets of iteration with specifications
following
* ISTART ISOLV NSET
  2   2  3
*
*--- data weighting and re-weighting:
* NITER:                last iteration to used the following weights
* WTCCP, WTCCS:         weight cross P, S
* WTCTP, WTCTS:        weight catalog P, S
* WRCC, WRCT:          residual threshold in sec for cross,
catalog data
* WDCC, WDCT:          max dist [km] between cross,
catalog linked pairs
* DAMP:                damping (for lsqr only)
*   --- CROSS DATA ----- CATALOG DATA ----
* NITER WTCCP WTCCS WRCC WDCC WTCTP WTCTS
WRCT WDCT DAMP
  5  -9  -9  -9  -9  1  1  3  15  45
  5  -9  -9  -9  -9  1  1  3  15  40
  5  -9  -9  -9  -9  1  1  3  15  35
* 7  -9  -9  -9  -9  1  1  6  15  30
*
*--- 1D model:

```



```

* NLAY:      number of model layers
* RATIO:     vp/vs ratio
* TOP:       depths of top of layer (km)
* VEL:       layer velocities (km/s)
* NLAY RATIO
  6  1.1614
* TOP
0.0 2.0 3.0 4.0 5.0 8.0
* VEL
2.42 2.95 3.57 3.74 3.78 4.10
*
*--- event selection:
* CID:  cluster to be relocated (0 = all)
* ID:   cusps of event to be relocated (8 per line)
* CID
  1
* ID

```

**2. Hasil Running ph2dt**

```

Tyas@LAPTOP-7VL04JP1 /cygdrive/f/SHERLY/DD/hypoDD/HYPODD/src/ph2dt/nyoba/GADTYAS
/GADTYAS2
$ ph2dt ph2dt.inp
starting ph2dt (v1.3 - 08/2010)...

reading data ...
> stations = 9
> events total = 261
> events selected = 261
> phases = 2915
forming dtimes...
> P-phase pairs total = 22495
> S-phase pairs total = 22346
> outliers = 3981 ( 8 %)
> phases at stations not in station list = 0
> phases at distances larger than MAXDIST = 0
> P-phase pairs selected = 9044 ( 40 %)
> S-phase pairs selected = 8926 ( 39 %)
> weakly linked events = 3 ( 1 %)
> linked event pairs = 1975
> average links per pair = 9
> average offset (km) betw. linked events = 2.28662324
> average offset (km) betw. strongly linked events = 2.28662324
> maximum offset (km) betw. strongly linked events = 14.8463516

Done.

Output files: dt.ct; event.dat; event.sel; ph2dt.log
ph2dt parameters were:
(minwght,maxdlist,maxsep,maxngh,minlnk,minobs,maxobs)
0.00000000 20.0000000 15.0000000 10 8
8 100

```

### 3. Hasil Running relokasi hypoDD

```

Tyas@LAPTOP-7VL04JP1 /cygdrive/f/SHERLY/DD/hypoDD/HYPODD/src/hypoDD/tyasnyoba/GA
DTYAS/GADTYAS2
$ hypoDD hypoDD.inp
starting hypoDD (v1.3 - 11/2010)... Sat Jan 4 10:59:20 2020
INPUT FILES:
cross dtme data:
catalog dtme data: dt.ct
events: event.dat
stations: stasiun.dat
OUTPUT FILES:
initial locations: hypoDD.loc
relocated events: hypoDD.reloc
event pair residuals: hypoDD.res
station residuals: hypoDD.sta
source parameters:
Relocate cluster number 1
Relocate all events
Reading data ... Sat Jan 4 10:59:20 2020
# events = 261
# stations < maxdlist = 9
# catalog P dtimes = 9044
# catalog S dtimes = 8926
# dtimes total = 17970
# events after dtme match = 261
# stations = 9
clustering ...
Clustered events: 261
Isolated events: 0
# clusters: 1
Cluster 1: 261 events

```

```

RELOCATION OF CLUSTER: 1      Sat Jan  4 10:59:20 2020
-----
Initial trial sources = 261

  IT  EV  CT  RMSCT  RMSST  DX  DY  DZ  DT  OS  AQ  CND
   %   %   ms   %   ms   m   m   m   ms  m
1  1 100 93 204 -16.1 333 399 429 157 31 51 0 62
2  2 100 87 151 -25.9 252 192 164 84 16 35 0 59
3  3 100 83 128 -15.1 225 120 122 62 12 28 0 57
4  4 100 80 113 -11.9 202 97 96 46 10 49 0 55
5  5 100 77 101 -10.2 174 72 76 44 8 70 0 52
6  6 100 75 92 -8.8 161 64 78 39 8 88 0 61
7  7 100 73 86 -7.3 143 54 71 37 7 101 0 60
8  8 100 71 80 -6.7 135 50 58 33 6 111 0 58
9  9 100 69 75 -6.5 128 45 57 32 6 120 0 58
10 10 100 67 70 -6.7 121 41 54 28 5 128 0 56
11 11 100 66 65 -6.8 113 44 53 32 6 139 0 67
12 12 100 64 61 -6.7 109 40 45 27 5 148 0 66
13 13 100 62 56 -7.1 101 36 37 24 5 156 0 64
14 14 100 61 53 -6.3 94 30 32 22 4 163 0 64
15 15 100 59 50 -6.1 87 25 29 20 4 168 0 62

writing out results ...

```

4. Hasil Relokasi metode *Double Difference*

No.	Latitude	Longitude	Depth	RMS
1	XX.17552	XX.43007	0.712	0.071
2	XX.17591	XX.4294	0.5	0.066
3	XX.17527	XX.42961	0.65	0.068
4	XX.1771	XX.43043	0.149	0.077
5	XX.17652	XX.42842	1.315	0.068
6	XX.17672	XX.42801	1.159	0.082
7	XX.16233	XX.43447	-0.088	0.077
8	XX.20321	XX.43043	0.133	0.08
9	XX.17887	XX.43953	-0.442	0.046
10	XX.18184	XX.4231	1.533	0.057
11	XX.17684	XX.43136	0.837	0.074

12	XX.16325	XX.43437	0.496	0.083
13	XX.19305	XX.42747	-4.191	0.075
14	XX.19781	XX.41864	0.275	0.08
15	XX.16534	XX.3672	-2.389	0.107
16	XX.18111	XX.41766	0.767	0.071
17	XX.16795	XX.41256	-0.484	0.096
18	XX.1904	XX.43356	2.04	0.065
19	XX.20262	XX.42971	0.617	0.082
20	XX.1619	XX.44779	0.509	0.064
21	XX.16542	XX.37871	-2.944	0.096
22	XX.17406	XX.44021	0.122	0.062
23	XX.17288	XX.44068	-0.134	0.064
24	XX.17418	XX.43949	0.449	0.075
25	XX.18411	XX.4349	0.346	0.081
26	XX.17013	XX.426	-2.341	0.074
27	XX.1412	XX.36435	-1.306	0.092
28	XX.12591	XX.46192	-12.246	0.066
29	XX.13917	XX.48447	-9.175	0.098
30	XX.18398	XX.42285	1.387	0.065
31	XX.18477	XX.42318	0.892	0.065
32	XX.17078	XX.45249	-3.021	0.086
33	XX.17961	XX.42276	0.58	0.066
34	XX.16845	XX.44998	-4.189	0.065
35	XX.15689	XX.35919	XX.816	0.071
36	XX.17712	XX.37135	-4.314	0.097
37	XX.16077	XX.3964	-3.421	0.07
38	XX.19737	XX.42285	0.602	0.1
39	XX.16581	XX.39801	-4.185	0.058
40	XX.1421	XX.40757	-5.14	0.075
41	XX.17135	XX.41301	-4.161	0.081
42	XX.16285	XX.40256	-3.236	0.067

43	XX.14886	XX.41244	-3.128	0.085
44	XX.22746	XX.39956	-6.498	0.087
45	XX.19113	XX.42709	-0.262	0.071
46	XX.18293	XX.41388	-1.994	0.073
47	XX.146	XX.378	0.077	0.096
48	XX.20078	XX.40922	-1.331	0.076
49	XX.18296	XX.4123	-1.983	0.094
50	XX.16265	XX.43455	-1.305	0.097
51	XX.1721	XX.4XX	-3.304	0.077
52	XX.17793	XX.41835	-0.134	0.09
53	XX.21707	XX.40076	-4.068	0.075
54	XX.16989	XX.42205	-3.142	0.09
55	XX.15492	XX.46496	-2.832	0.083
56	XX.19435	XX.41829	-1.2	0.072
57	XX.183	XX.40709	0.754	0.075
58	XX.17403	XX.38323	-0.933	0.107
59	XX.17434	XX.4325	-3.454	0.094
60	XX.20612	XX.41888	0.759	0.089
61	XX.18892	XX.41563	1.13	0.094
62	XX.19247	XX.44349	-3.622	0.088
63	XX.14681	XX.37533	0.796	0.094
64	XX.06181	XX.45181	-0.888	0.086
65	XX.18225	XX.42157	0.376	0.078
66	XX.18083	XX.42522	0.486	0.069
67	XX.18372	XX.41537	0.933	0.07
68	XX.18792	XX.41197	1.3	0.109
69	XX.13181	XX.44009	-3.393	0.052
70	XX.19589	XX.40872	1.238	0.097
71	XX.19122	XX.42118	1.694	0.087
72	XX.13518	XX.41047	-3.759	0.091
73	XX.17673	XX.42855	0.603	0.089

74	XX.18301	XX.42495	1.3	0.067
75	XX.18236	XX.42414	0.489	0.077
76	XX.19716	XX.42509	0.248	0.098
77	XX.1858	XX.38239	-1.836	0.103
78	XX.18304	XX.43844	0.068	0.069
79	XX.1462	XX.43622	-9.657	0.076
80	XX.1962	XX.42111	1.463	0.083
81	XX.13646	XX.39507	-1.681	0.093
82	XX.19843	XX.419	1.445	0.076
83	XX.20947	XX.42055	0.402	0.073
84	XX.18618	XX.42618	0.971	0.093
85	XX.17781	XX.424	0.567	0.057
86	XX.18257	XX.4193	0.312	0.092
87	XX.21725	XX.47056	-6.136	0.076
88	XX.17974	XX.44719	-0.076	0.062
89	XX.18093	XX.44599	0.565	0.055
90	XX.18369	XX.41886	1.315	0.08
91	XX.2022	XX.41148	0.24	0.069
92	XX.17869	XX.43132	0.558	0.076
93	XX.17558	XX.4266	0.343	0.065
94	XX.13808	XX.41005	-4.2	0.085
95	XX.07923	XX.45841	-2.798	0.096
96	XX.17042	XX.40172	-2.166	0.091
97	XX.18798	XX.42234	-2.724	0.079
98	XX.20027	XX.43822	-0.273	0.073
99	XX.17056	XX.42769	1.054	0.082
100	XX.20679	XX.45002	-1.145	0.093
101	XX.19971	XX.42106	0.43	0.107
102	XX.17474	XX.43557	1.397	0.05
103	XX.17571	XX.41308	1.069	0.074
104	XX.17106	XX.44203	-0.252	0.057

105	XX.15472	XX.39372	-3.803	0.078
106	XX.16671	XX.40232	0.5	0.069
107	XX.16902	XX.48159	-7.404	0.067
108	XX.19016	XX.41815	-0.675	0.074
109	XX.17003	XX.44098	-0.426	0.066
110	XX.21406	XX.3896	-8.494	0.097
111	XX.18556	XX.43393	0.164	0.074
112	XX.20349	XX.41242	-3.154	0.097
113	XX.19274	XX.4408	0.044	0.073
114	XX.19035	XX.42525	0.046	0.068
115	XX.17436	XX.44605	-0.111	0.055
116	XX.16983	XX.43051	0.659	0.081
117	XX.21376	XX.38347	-7.427	0.095
118	XX.21263	XX.4488	-3.115	0.082
119	XX.17398	XX.38829	-5.988	0.084
120	XX.19719	XX.42737	0.236	0.068
121	XX.18179	XX.41764	0.468	0.081
122	XX.20536	XX.40992	-0.927	0.088
123	XX.21831	XX.41172	-2.713	0.092
124	XX.21463	XX.43663	-2.43	0.104
125	XX.17621	XX.41812	-0.698	0.092
126	XX.19954	XX.4012	1.62	0.072
127	XX.19838	XX.39072	-1.443	0.072
128	XX.19222	XX.37236	-0.461	0.089
129	XX.18544	XX.41522	-1.239	0.079
130	XX.20559	XX.39653	-2.633	0.087
131	XX.17268	XX.39126	-2.962	0.084
132	XX.19991	XX.42331	-1.147	0.086
133	XX.18335	XX.44391	0.474	0.065
134	XX.1993	XX.42343	-0.579	0.071
135	XX.2015	XX.42587	0	0.088

136	XX.15384	XX.44179	-3.554	0.085
137	XX.21871	XX.38814	-2.702	0.11
138	XX.18916	XX.41301	0.592	0.087
139	XX.16385	XX.42936	-4.075	0.081
140	XX.18872	XX.43417	1.69	0.087
141	XX.19431	XX.43015	-0.164	0.088
142	XX.20398	XX.43673	0.612	0.08
143	XX.17644	XX.40795	-1.858	0.072
144	XX.21727	XX.40453	-0.906	0.075
145	XX.13367	XX.48827	-3.509	0.065
146	XX.18708	XX.41678	0.325	0.077
147	XX.19394	XX.41694	1.085	0.079
148	XX.17832	XX.44702	0.065	0.068
149	XX.22865	XX.39225	-4.392	0.073
150	XX.1176	XX.38615	-2.415	0.077
151	XX.22747	XX.37686	-3.459	0.078
152	XX.17867	XX.44638	-0.392	0.062
153	XX.22961	XX.45216	-4.08	0.098
154	XX.17757	XX.43613	0.247	0.076
155	XX.14496	XX.45003	-0.8	0.082
156	XX.23175	XX.37685	-9.433	0.086
157	XX.15952	XX.45304	-4.646	0.091
158	XX.17586	XX.40528	-2.024	0.076
159	XX.15039	XX.43665	-4.459	0.066
160	XX.21925	XX.49938	-4.797	0.079
161	XX.17806	XX.36542	-4.639	0.066
162	XX.18307	XX.43141	1.064	0.08
163	XX.18211	XX.44221	0.215	0.076
164	XX.19265	XX.43676	0.165	0.079
165	XX.18847	XX.44706	-0.184	0.072
166	XX.18708	XX.45177	0.26	0.081



167	XX.17586	XX.40846	-1.108	0.082
168	XX.17374	XX.42584	-3.589	0.079
169	XX.18671	XX.41301	-1.118	0.069
170	XX.18329	XX.43955	-0.021	0.072
171	XX.17039	XX.4249	-0.393	0.071
172	XX.17768	XX.44039	0.131	0.073
173	XX.17877	XX.43739	0.217	0.064
174	XX.17126	XX.42768	-0.668	0.069
175	XX.17838	XX.43796	0.182	0.079
176	XX.17901	XX.44211	-0.026	0.081
177	XX.17267	XX.42603	-0.198	0.053
178	XX.17977	XX.43651	0.565	0.051
179	XX.23232	XX.44041	-1.559	0.083
180	XX.0855	XX.4167	-3.708	0.084
181	XX.17567	XX.42597	0.622	0.072
182	XX.17631	XX.42095	-0.353	0.076
183	XX.18892	XX.42433	-0.282	0.083
184	XX.18748	XX.42514	-0.637	0.084
185	XX.15482	XX.386	-6.198	0.08
186	XX.1723	XX.44636	-2.576	0.075
187	XX.17682	XX.45715	1.558	0.056
188	XX.1953	XX.39104	-5.879	0.064
189	XX.20088	XX.43259	-1.012	0.078
190	XX.17534	XX.42501	0.705	0.075
191	XX.19443	XX.37941	-5.254	0
192	XX.3194	XX.35105	-8.989	0.134
193	XX.16284	XX.43445	-4.415	0.064
194	XX.17981	XX.41794	0.722	0.058
195	XX.18069	XX.41825	0.697	0.06
196	XX.17927	XX.41847	0.714	0.076
197	XX.221	XX.5172	-9.023	0.067

198	XX.21785	XX.43171	-5.479	0.066
199	XX.13222	XX.40265	-4.571	0.083
200	XX.17476	XX.43986	0.288	0.071
201	XX.18056	XX.42942	0.454	0.067
202	XX.17438	XX.43467	0.332	0.072
203	XX.1748	XX.43573	0.306	0.072
204	XX.17615	XX.43556	0.633	0.075
205	XX.17678	XX.43705	0.527	0.084
206	XX.17483	XX.43471	0.504	0.076
207	XX.17688	XX.43362	0.316	0.07
208	XX.17655	XX.43317	0.708	0.069
209	XX.17656	XX.43518	0.107	0.071
210	XX.17693	XX.43595	0.183	0.081
211	XX.1753	XX.43771	0.699	0.069
212	XX.18171	XX.44528	0.277	0.075
213	XX.14111	XX.50009	-3.688	0.094
214	XX.17632	XX.43864	-0.281	0.08
215	XX.22645	XX.41526	-7.893	0.07
216	XX.19677	XX.39487	-9.358	0.086
217	XX.19693	XX.44873	-0.953	0.087
218	XX.17638	XX.4314	0.651	0.065
219	XX.17484	XX.42988	-0.067	0.071
220	XX.17376	XX.43254	0.181	0.068
221	XX.16747	XX.43062	0.089	0.088
222	XX.18873	XX.42209	0.642	0.092
223	XX.1787	XX.41699	0.126	0.061
224	XX.17667	XX.42722	0.172	0.08
225	XX.22302	XX.43717	-3.589	0.092
226	XX.18358	XX.43394	0.012	0.074
227	XX.20438	XX.47585	-6.535	0.082
228	XX.18558	XX.42678	1.675	0.08

229	XX.20744	XX.41049	-2.947	0.078
230	XX.18236	XX.42076	0.729	0.075
231	XX.16656	XX.44382	-3.954	0.09
232	XX.18233	XX.4276	0.006	0.076
233	XX.18274	XX.43728	0.178	0.072
234	XX.18014	XX.43714	-6.137	0.051
235	XX.20851	XX.36901	-9.446	0.109
236	XX.17853	XX.40571	-2.697	0.082
237	XX.1747	XX.43324	-2.822	0.087
238	XX.17134	XX.40986	-2.537	0.096
239	XX.15933	XX.42808	-5.01	0.058
240	XX.16953	XX.43118	-2.242	0.086
241	XX.17032	XX.43917	-1.467	0.082
242	XX.22677	XX.44073	-1.193	0.097
243	XX.17801	XX.43092	0.101	0.094
244	XX.21913	XX.38617	-4.074	0.084
245	XX.18612	XX.43909	0.429	0.059
246	XX.19796	XX.42708	0.273	0.099
247	XX.18179	XX.42972	0.906	0.057
248	XX.18437	XX.42453	1.373	0.095
249	XX.18877	XX.42525	0.095	0.081
250	XX.20521	XX.42423	-2.677	0.087
251	XX.20096	XX.42398	-1.179	0.098
252	XX.19993	XX.42359	0.235	0.084
253	XX.20278	XX.4198	1.006	0.07
254	XX.18976	XX.41623	-3.212	0.09
255	XX.17097	XX.44465	-2.264	0.084
256	XX.20992	XX.41782	-4.654	0.093
257	XX.20681	XX.40201	-3.671	0.093
258	XX.23978	XX.42734	-1.786	0.076
259	XX.20156	XX.40352	-2.55	0.094

260	XX.15966	XX.38244	1.288	0.076
-----	----------	----------	-------	-------

## BIOGRAFI PENULIS



Nur Isnaini Rahmaningtyas lahir di Gresik, 14 September 1998. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai di SDN Kemlokolegi 2 Baron (2004-2010), SMP Negeri 2 Kertosono (2010-2013), SMA Negeri 20 Surabaya (2013-2016), dan pada tahun 2016 penulis resmi menjadi mahasiswa Teknik Geofisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS penulis mempunyai beberapa pengalaman yang telah didapatkan. Penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia Wilayah IV (HMGI) sebagai Ketua Divisi Eksternal 2018-2019. Penulis juga turut menjadi bagian dari event yang diadakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG) yaitu Geoscience Atmosphere sebagai Koordinator Publikasi (2019-2020). Penulis juga mengambil peran sebagai Bendahara dalam kepengurusan Badan Eksekutif Mahasiswa tingkat Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan (2018-2019). Penulis juga aktif sebagai Pemandu LKMM di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Pengalaman pelatihan yang penulis dapatkan yaitu LKMM tingkat Pra-Dasar yang diselenggarakan oleh BEM FTSP ITS pada tahun 2016, LKMM tingkat Dasar yang diselenggarakan oleh HMTG ITS pada tahun 2017, Pelatihan Pemandu LKMM pada tahun 2017, LKMM tingkat Menengah yang diselenggarakan oleh BEM FTSP ITS bersama dengan BEM FTE ITS pada tahun 2018, dan Petrophysics Training yang diselenggarakan oleh HMTG ITS pada tahun 2019. Selain itu, penulis mendapatkan pengalaman kerja praktik di PT. Intertek Utama Services dengan judul “Analisis Core untuk mengetahui Sifat Fisika Batuan Reservoir dan Fluida yang terkandung didalamnya sebagai Parameter Input dalam Perhitungan Petrofisika”.

Apabila ingin berdiskusi lebih lanjut terkait Tugas Akhir dapat menghubungi penulis melalui alamat e-mail [nuraini.rahmaningtyas@gmail.com](mailto:nuraini.rahmaningtyas@gmail.com) atau [nurisnaini.rahmaningtyas@yahoo.com](mailto:nurisnaini.rahmaningtyas@yahoo.com) Sekian dan terimakasih.

