



TUGAS AKHIR - RF 184838

UJI LOKASI HIPOCENTER GEMPA MIKRO DENGAN METODE INVERSI SIMULATED ANNEALING PADA LAPANGAN PANAS BUMI “XX”

GIAN RICARDO HALIM
NRP 03411640000009

Dosen Pembimbing
Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Mariyanto, S.T, M.T.
NIP. 199120171 1 044

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - RF 184838

UJI LOKASI HIPOSENTER GEMPA MIKRO DENGAN METODE INVERSI SIMULATED ANNEALING PADA LAPANGAN PANAS BUMI “XX”

GIAN RICARDO HALIM
NRP 0341164000009

Dosen Pembimbing
Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Mariyanto, S.Si, M.T.
NIP. 199120171 1 044

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



UNDERGRADUATE THESIS - RF 184838

MICRO-EARTHQUAKE HYPOCENTER TESTING USING SIMULATED ANNEALING METHOD IN “XX” GEOTHERMAL FIELD

GIAN RICARDO HALIM
NRP 03411640000009

Supervisor:

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

Mariyanto, S.Si, M.T.
NIP. 199120171 1 044

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan


PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan tugas akhir saya dengan "Uji Lokasi Hiposenter Gempa Mikro dengan Metode Inversi Simulated Annealing pada Lapangan Panas Bumi "XX"" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

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

Surabaya, 9 Januari 2020



Gian Ricardo Halim

Halaman ini sengaja dikosongkan


LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

NAMA : Gian Ricardo Halim
NRP : 0341 16 40000 009
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Uji Lokasi Hiposenter Gempa Mikro dengan Metode Inversi Simulated Annealing pada Lapangan Panas Bumi "XX"

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, 15 Juli 2019

- 
.....
1. Dr. Widva Utama, DEA. (Pembimbing 1)
NIP. 1961102 4198803 1 001
.....
2. Mariyanto, S.Si, M.T. (Pembimbing 2)
NIP. 199120171 1 044
.....
3. Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si. (Penguji 1)
NIP. 19591010 198803 1 002
.....
4. Moh. Singih Purwanto, S.Si, M.T. (Penguji 2)
NIP. 19800916 200912 1 002

Mengetahui,

Komala Laboratorium Petrofisika
Dipulau Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya




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

Uji Lokasi Hiposenter Gempa Mikro dengan Metode Inversi Simulated Annealing pada Lapangan Panas Bumi “XX”

Nama Mahasiswa : Gian Ricardo Halim
NRP : 0341164000009
Departemen : Teknik Geofisika
Dosen Pembimbing I : Dr. Widya Utama, DEA
Dosen Pembimbing II : Mariyanto, S.Si, M.T.

ABSTRAK

Energi sangat berpengaruh untuk kegiatan-kegiatan manusia. Sumber energi sendiri didapatkan melalui proses – proses eksplorasi sumber daya alam. Kini sudah banyak macam kegiatan eksplorasi yaitu eksplorasi mineral, eksplorasi minyak dan gas bumi serta yang baru-baru ini sedang digalakkan yaitu eksplorasi panas bumi atau biasa disebut dengan geothermal. Eksplorasi panas bumi adalah terobosan untuk sumber energi terbarukan. Untuk memenuhi kegiatan eksplorasi, maka dari itu perlu dilakukan survei geofisika untuk menggambarkan kondisi penampang bawah permukaan agar dapat memaksimalkan kegiatan eksplorasi dan pemanfaatan sumber energi. Untuk menunjang kegiatan di area panas bumi digunakan metode seismik pasif yaitu pencatatan aktivitas gempa mikro. Data gempa mikro merupakan hasil perekaman gelombang seismik natural dengan frekuensi yang rendah dan memiliki nilai magnitudo (≤ 3 SR). Gempa dalam skala yang kecil ini biasanya disebabkan oleh simulasi hidraulik, produksi/injeksi, pengeboran atau kegiatan lainnya yang berhubungan dengan eksplorasi reservoir sekitar area panas bumi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan uji lokasi titik hiposenter dengan metode inversi *Simulated Annealing*. Hasil dari metode inversi ini akan dilihat hasilnya dengan penelitian yang ada sebelumnya. Parameter untuk menentukan baik tidaknya suatu metode akan dilihat dari nilai *misfit* atau RMS. Metode inversi *Simulated Annealing* ternyata lebih baik dibandingkan metode-metode yang sering digunakan untuk menentukan titik hiposenter karena hasilnya tidak terjebak pada minimum lokal dan memiliki nilai misfit yang lebih kecil. Input dari metode inversi ini adalah lokasi stasiun, model kecepatan 1 dimensi, travel time, dan inisiasi hiposenter awal. Untuk hasil yang didapatkan dari metode ini pada dasarnya adalah lokasi yang lebih presisi secara perhitungan dilihat dari nilai misfit yang didapat.

Kata kunci : eksplorasi, geothermal, misfit, *Simulated Annealing*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Uji Lokasi Hiposenter Gempa Mikro dengan Metode Inversi Simulated Annealing pada Lapangan Panas Bumi “XX”

Name : Gian Ricardo Halim
Student ID : 03411640000009
Department : Teknik Geofisika
Advisor 1 : Dr. Widya Utama, DEA
Advisor 2 : Mariyanto, S.Si, M.T.

ABSTRACT

Energy is very influence for human activities. The energy source itself is obtained through the process of exploration of natural resources. Now there are many kinds of exploration activities, namely mineral exploration, oil and gas exploration and recently being promoted, namely geothermal exploration or commonly referred to as geothermal. Geothermal exploration is a breakthrough for renewable energy sources. To fulfill exploration activities, a geophysical survey is needed to describe the subsurface conditions in order to maximize exploration activities and the utilization of energy sources. To support activities in the geothermal area, a passive seismic method is used to record micro-earthquake activity. Micro-earthquake data is the result of recording natural seismic waves with low frequency and has a magnitude value (≤ 3 SR). These small-scale earthquakes are usually caused by hydraulic simulations, production /injection, drilling or other activities related to reservoir exploration around geothermal areas. This study aims to test the hypocenter point with the Simulated Annealing inversion method. The results of this inversion method will be seen the results with existing research. The parameter to determine whether or not a method will be seen from the value of misfit or RMS. The Simulated Annealing inversion method turns out to be better than the methods used before because the result is not trapped at the local minimum and has a smaller misfit value. Inputs from this inversion method are station location, 1-dimensional speed models, travel time, and initial hypocenter initiation. For the results obtained from this method is basically a location that is more precise in calculations calculated from the value of the misfit obtained.

Key Words : exploration, geothermal, misfit, Simulated Annealing

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat-Nya laporan tugas akhir yang berjudul “Uji Lokasi Hiposenter Gempa Mikro dengan Metode Inversi Simulated Annealing pada Lapangan Panas Bumi “XX”” 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. Papa, Mama, Bang Juan, Oma dan semua keluarga yang memberikan dukungan moril maupun materi selama penulis menjalani tugas akhir ini.
2. Dr. Widya Utama, DEA dan Mariyanto, S.Si, 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 (Mba Sherly, Tyas, Rizki Putri, dan Christopher) yang telah membantu dalam pengolahan data hingga laporan tugas akhir.
7. Adjeng Yalastri A.N., Amelia Rosana Putri, dan Bagoes Idcha Mawardi yang telah membantu dan menemani saat penulis mengerjakan tugas akhir ini.
8. Semua teman-teman yang senantiasa yang menemani dan membantu penuliss saat mengerjakan tugas akhir di Lab. Komputasi.
9. Seluruh teman-teman 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 kebermanfaatan laposan tugas akhir ini semakin dirasakan bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 9 Januari 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	viii
<i>ABSTRACT</i>	x
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	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	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Dasar Teori	5
2.1.1 Sistem Panas Bumi.....	5
2.1.2 Gelombang Seismik	5
2.1.3 Seismik Pasif	6
2.1.4 Mikro-earthquake atau Gempa Mikro.....	7
2.1.5 Jaringan Gempa Mikro.....	8
2.1.6 Uji Lokasi Gempa Mikro	8
2.1.7 Penentuan Ray Tracing Metode Shooting.....	9
2.1.8 Metode Geiger Adaptive Damping	9
2.1.9 Simulated Annealing	10
2.2 Penelitian Terdahulu.....	11
BAB III METODOLOGI.....	13
3.1 Diagram Alir.....	13
3.1.1 Diagram Alir Penelitian.....	13
3.1.2 Diagram Alir Inversi Simulated Annealing.....	14
3.2 Data dan Model.....	14
3.3 Perangkat	14
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Data Masukkan untuk Pengolahan Metode Simulated Annealing	17
4.1.1 Travel times P-wave.....	17
4.1.2 Lokasi Stasiun	17
4.1.3 Model Kecepatan 1-D Gelombang P.....	18

4.1.4	Inisial Hiposenter.....	19
4.2	Hasil Pengolahan Metode Simulated Annealing	19
4.3	Pembahasan Hasil Pengolahan terhadap Lapangan Panas Bumi.....	24
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	29
5.1	Kesimpulan	29
5.2	Saran	29
DAFTAR	PUSTAKA	31
BIODATA	PENULIS	48

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel lokasi stasiun pengukuran.....	17
Tabel 4. 2 Tabel Model Kecepatan 1-Dimensi	18
Tabel 4. 3 Variabel kontrol pengolahan.....	19
Tabel 4. 4 Hasil Uji lokasi dengan metode Simulated Annealing	20
Tabel 4. 5 Perbandingan error GAD dan SA	22

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skema Sistem Panas Bumi	5
Gambar 2. 2 Konsep Penjalaran Gelombang Gempa Bumi Mikro	8
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 3. 2 Diagram Alir Metode Simulated Annealing.....	14
Gambar 4. 1 Hasil Plotting Stasiun Menggunakan MATLAB.....	18
Gambar 4. 2 Hasil Plotting 1-Dimensi Nilai V_p (Km/s) Menggunakan MATLAB.....	19
Gambar 4. 3 Penampang 3-Dimensi North-South.....	20
Gambar 4. 4 Penampang 3-Dimensi East-West	21
!Unexpected End of Formula	
Gambar 4. 6 Penampang 3-Dimensi South-North.....	22
Gambar 4. 7 Histogram Error dari Metode Geiger dan Simulated Annealing 23	
Gambar 4. 8 Histogram Kedalaman dari Metode Geiger dan Simulated Annealing	23
Gambar 4. 9 Peta Distribusi Episentris dengan Stasiun, Kawah, Patahan geologi, Line MT dan Sumur	26
Gambar 4. 10 Korelasi Plot Hiposenter SA dengan Line D Metode Pengukuran Magnetotelurik	27
Gambar 4. 11 Korelasi Plot Hiposenter SA dengan Line E Metode Pengukuran Magnetotelurik	27

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi panas bumi di Indonesia memiliki cadangan yang sangat besar, yakni mencapai 40% cadangan panas bumi dunia berada di Indonesia. Namun potensi ini belum teroptimalkan, sehingga perlu dilakukan eksplorasi potensi tersebut agar dapat dimanfaatkan dengan baik. Energi panas bumi sendiri merupakan energi panas yang terbentuk di bawah permukaan bumi secara alami, dimana energi panas alami yang berasal dari bumi terjebak cukup dekat dengan permukaan dan dapat dengan mudah dieksploitasi untuk dimanfaatkan secara ekonomis (Faul A, 2012).

Dalam pemanfaatannya, ekstraksi fluida (uap panas) yang terus-menerus dari reservoir panas bumi menyebabkan terjadinya pengurangan massa. Pengurangan massa ini dapat dikompensasi dengan pengisian kembali (recharge) baik secara alami maupun secara buatan melalui proses reinjeksi. Recharge buatan ini dilakukan dengan cara menginjeksikan air sisa ekstraksi uap melalui sumur-sumur reinjeksi. Pada masa produksi terjadi perubahan tekanan, temperature dan fasa fluida panas bumi oleh adanya pergerakan struktur dan perubahan fase air panas menjadi uap dari fluida injeksi. Hal ini merupakan salah satu penyebab terjadinya gempa bumi mikro dalam reservoir (Hikmah N, 2013).

Jaringan gempa mikro sendiri merupakan sekumpulan stasiun pencatat aktivitas gempa mikro yang telah dioperasikan sejak tahun 1960. Kegunaan jaringan gempa mikro diantaranya sebagai pemetaan sesar aktif, monitoring aktivitas seismik sebagai prediksi gempa, serta investigasi struktur kerak dan mantel bumi. Data jaringan gempa mikro dapat menduga penyebab dari gempa itu sendiri. Permasalahan dalam monitoring dengan data gempa mikro yaitu dalam menentukan lokasi hiposenter, sebab penentuan lokasi hiposenter dapat menyulitkan dalam interpretasi. Data hasil pengambilan di lapangan dengan gempa mikro dapat merekam dalam periode yang cukup lama, sehingga jumlah data yang dihasilkan dapat mencapai ratusan bahkan ribuan. Data hasil rekaman tersebut merupakan data mentah dari keseluruhan aktivitas panas bumi ataupun kegiatan lain di sekitar area. Oleh sebab itu diperlukan suatu pengolahan data untuk memperbaiki rekaman data tersebut sehingga didapatkan data yang lebih akurat. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan metode inversi Coupled-Velocity Hypocenter dengan metode inversi Simulated Annealing. Banyak metode inversi yang dapat diterapkan pada data gempa mikro terutama untuk menentukan lokasi hiposenter gempa mikro itu sendiri. Semua metode inversi memiliki kelebihan dan kekurangan, tergantung pada kebutuhan yang ingin dicapai. Dengan adanya penelitian ini akan dibandingkan metode Coupled-Velocity Hypocenter dan metode Simulated Annealing yang lebih cocok untuk diterapkan pada data gempa mikro lapangan panas bumi "XX". Adapun parameter untuk menentukan baik atau tidaknya kedua metode tersebut adalah misfit atau RMS dari proses inversi masing-masing metode.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian pada tugas akhir ini adalah

1. Bagaimana proses inversi *Simulated Annealing* pada data gempa mikro?
2. Bagaimana hasil inversi *Simulated Annealing* untuk menguji lokasi hiposenter gempa mikro?
3. Bagaimana efisiensi metode inversi *Simulated Annealing* untuk menguji lokasi hiposenter gempa mikro?

1.3 Batasan Masalah

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

1. Pengujian lokasi dilakukan dengan program berbasis MATLAB yang telah dibuat oleh Rexha V. Ry, & Nugraha, A. D. (2012);
2. Metode inversi *Simulated Annealing* dilakukan dengan menggunakan fungsi internal yang ada di dalam perangkat lunak MATLAB;
3. Data yang digunakan adalah data yang diambil dari pencatatan gempa mikro pada lapangan panas bumi "XX". Data yang didapatkan adalah data mentah perekaman dalam format (*.msd).
4. Kondisi geologi disekitar area pencatatan data disamakan berdasarkan kontrak penggunaan data.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk :

1. Menguji program berbasis MATLAB untuk inversi *Simulated Annealing* pada data gempa mikro;
2. Mengetahui hasil metode inversi *Simulated Annealing* untuk menguji lokasi hiposenter data gempa mikro; dan
3. Mengetahui efisiensi metode inversi *Simulated Annealing* untuk menguji lokasi hiposenter data gempa mikro.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Memberikan informasi mengenai proses suatu program berbasis MATLAB dan;
2. menghasilkan referensi dalam penentuan metode pengolahan data gempa mikro baik oleh kalangan akademisi, peneliti, dan masyarakat.

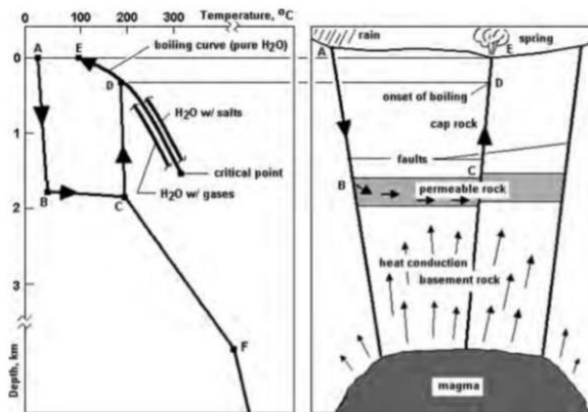
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Sistem Panas Bumi

Sistem Panas Bumi Area panas bumi biasanya diklasifikasikan atau dibagi kedalam beberapa macam. Sebagian sebagai tipe dominan air atau dominan uap, rendah atau tingginya temperatur panas bumi, proses sedimentasi atau keberadaan vulkanik dan lain sebagainya. Pembagian sistem panas bumi berdasarkan keadaan kesetimbangan reservoir panas bumi, tipe fluida, temperatur reservoir, host rock, dan sumber panas. Berdasarkan tipe fluida sebuah reservoir panas bumi dapat dibagi menjadi sebagian dominasi cair dan dominasi uap. Temperatur reservoir menjadi salah satu pertimbangan dalam penentuan potensi sumber energi dan host rock sebagai peninjau komposisi air dan gas dari reservoir. Kesetimbangan reservoir merupakan dasar dari sistem panas bumi dan menjadi acuan untuk sirkulasi fluida dan aliran panas dalam reservoir. Sistem dinamika kesetimbangan akan secara terus menerus diisi kembali oleh air yang memasuki reservoir. Air dipanaskan dan dikeluarkan dari reservoir ke permukaan ataupun ke bawah zona permeabel. Panas diteruskan melalui sistem dengan konveksi dan aliran dari fluida.



Gambar 2. 1 Skema Sistem Panas Bumi

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 menjalar 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 menjalar ke segala arah di seluruh bagian bumi dan mampu dicatat oleh seismograf.

2.1.3 Seismik Pasif

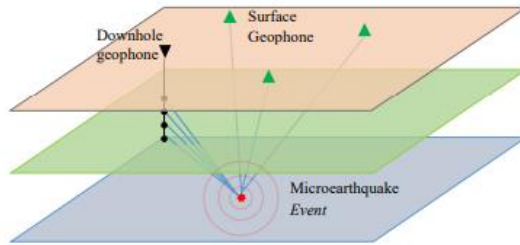
Pada proses eksplorasi sumber daya alam di bumi saat ini sering digunakan metode geofisika yang didasarkan pada konsep penalaran gelombang pada medium di dalam bumi yaitu metode seismic. Pada dasarnya metode seismic dibagi dua bagian yaitu metode seismic aktif dan metode seismic pasif. Metode seismic aktif (refraksi dan refleksi) merupakan sebuah metode konvensional yang sudah menjadi standar di dalam dunia eksplorasi, sedangkan metode seismic pasif masih jarang digunakan untuk keperluan eksplorasi dan masih sedikit pengembangannya. Metode seismic pasif ini menggunakan gelombang seismik yang dihasilkan oleh alam dengan frekuensi rendah yang 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. Secara umum, sinyal mikroseismik terekam dan terproses hampir sama dengan sinyal gempa tektonik. Namun, pada analisa sinyal gempa tektonik berbicara mengenai magnitude diatas 5Mw, sedangkan analisa gempa mikro di area geothermal berada pada magnitude kurang dari 3 Mw (Julian and Foulger, 2009).

Pada eksplorasi panas bumi dilakukan berbagai tahap sampai dilakukannya produksi panas bumi yaitu: survey awal, eksplorasi, pengeboran, *quality control*, eksploitasi, dan pemanfaatannya. Hampir di semua tahap seismik alam dapat digunakan untuk memaksimalkan hasil yang diperoleh. Mulai dari identifikasi seismik alam hingga perkiraan cadangan yang tersedia di tempat berpotensi panas bumi. Fungsi pertama dari penggunaan data mikroseismik pada pemantauan sumur tua yaitu injeksi fluida (uap atau air) yang mengakibatkan penambahan tekanan pada sumur yang melawan formasi batuan menciptakan *hydraulic fracturing* sehingga menyebabkan timbulnya gempa kecil (microearthquake) yang melepaskan gelombang seismic (Phillips et al, 2001).

Tidak hanya *hydraulic fracturing*, patahan alami yang aktif karena adanya *hydraulic fracturing* juga memainkan peran penting di dalam pengembangan dan produksi pada panas bumi. Dari data gelombang seismic yang dihasilkan tersebut bisa digunakan untuk menggambarkan orientasi, tinggi, lebar, kompleksitas, dan pertumbuhan temporal dari patahan yang diinduksi. Pada aktivitas perekaman *event* selama injeksi, data mikroseismik juga bisa digunakan untuk pengukuran secara langsung patahan secara dimensi dan geometry. Data mikroseismik juga dapat digunakan untuk memonitor pergerakan massa batuan akibat dari deformasi batuan dan mengetahui ketebalan lapisan lapuk yang dapat menyebabkan pemasangan sumur untuk kegiatan eksploitasi menjadi gagal. Pengaplikasian fungsi ini pernah dilakukan di *Valhall* dan *Cold Lake Field* untuk mengidentifikasi aktivitas mikroseismik akibat deformasi yang berada di wilayah potensial dari panas bumi, sehingga dapat dipetakan daerah yang tepat untuk dilakukannya pemasangan pipa sumur untuk kegiatan eksplorasi dan untuk pemasangan *casing* untuk keamanan operasional. Bisa juga dilakukan untuk monitoring area asal gempa yang bertujuan untuk indikasi permasalahan di dalam area panas bumi.

2.1.4 Mikro-earthquake atau Gempa Mikro

Metode microearthquake (MEQ) merupakan salah satu metode geofisika yang menggunakan sumber pengukuran gelombang seismic natural yang memiliki frekuensi rendah. Konsep pengukuran mikroseismik sama dengan metode seismic, yaitu dengan menangkap gelombang getar yang berasal dari sumber getar atau sumber gempa. Mikroseismik merekam gempa-gempa atau gerakan-gerakan kecil (≤ 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 seismic (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. Untuk monitoring digunakan asumsi bahwa segala signature geofisika (event seismic, perubahan gravity dll) terkait dengan perubahan di dalam reservoir karena ekstraksi fluida (steam pada geothermal atau hidrokarbon pada lapangan migas).



Gambar 2. 2 Konsep Penjalaran Gelombang Gempa Bumi Mikro

Terjadinya gempa mikro pada lapangan geothermal 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).

2.1.5 Jaringan Gempa Mikro

Jaringan gempa mikro memperluas studi seismologi mengenai jangkauan gempa mikro. Jaringan tersebut memerlukan jarak yang berdekatan dan stasiun seismografis dengan tingkat sensitivitas tinggi. Jaringan ini dapat dioperasikan dengan sinyal telemetri ke pusat pencatatan data atau dengan pencatatan langsung di area. Jaringan ini memiliki banyak aplikasi diantaranya: pemetaan seismisitas dan patahan aktif, studi tekanan tektonik, penyelidikan struktur kecepatan dari kerak bumi, eksplorasi sumber panas bumi, seismisitas oleh kegiatan manusia, monitoring seismisitas gunung vulkanik dan lainnya.

2.1.6 Uji Lokasi Gempa Mikro

Penentuan lokasi gempa memerlukan perhitungan komputasi dari travel time antara sumber dengan stasiun melalui koreksi lokasi. Lokasi hiposenter didapatkan melalui komputasi dari model gempa. Model gempa yang digunakan merupakan model gempa dengan struktur bumi yang mirip dengan struktur aslinya. Solusi dalam pemodelan struktur bumi didapatkan

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N R_i^2}{N-1}} \quad (2.1)$$

dari meminimalisir root mean square (RMS) residual. RMS residual didapatkan dari selisih antara waktu observasi dengan waktu datang

kalkulasi (Ri). Penentuan RMS dapat dilakukan dengan menggunakan dugaan hiposenter awal, linearisasi persamaan, dan perhitungan solusi. Solusi tersebut dapat digunakan sebagai dugaan hiposenter setelahnya, proses ini berlangsung sampai perubahan dugaan hiposenter semakin kecil.

2.1.7 Penentuan Ray Tracing Metode Shooting

Untuk menentukan waktu tempuh gelombang P dan S yang merambat dari sumber gempa ke stasiun penerima melalui model kecepatan seismik 1-D dilakukan perhitungan menggunakan metode ray tracing metode shooting. Metode ini menerapkan hukum Snell untuk menentukan sudut datang dan transmisi pada setiap batas lapisan kecepatan gelombang seismik, diformulasikan oleh persamaan:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (2.2)$$

Pada metode shooting permasalahan dirumuskan dengan mencari sudut atau arah tembak yang tepat, sehingga lintasan gelombang berujung tepat pada koordinat stasiun penerima.

2.1.8 Metode Geiger Adaptive Damping

Metode Geiger menggunakan data waktu tiba gelombang P dan atau gelombang S. Anggapan yang digunakan adalah bahwa bumi terdiri dari lapisan datar yang homogen isotropik, sehingga waktu tiba gelombang gempa yang karena pemantulan dan pembiasan untuk setiap lapisan dapat dihitung. Cara yang digunakan dengan memberikan harga awal hiposenter, kemudian menghitung waktu rambat gelombang untuk setiap stasiun yang digunakan. Dari perhitungan ini didapatkan residu, yaitu perbedaan antara waktu rambat gelombang yang diamati dengan waktu rambat gelombang yang dihitung untuk setiap stasiun. Penentuan lokasi sumber gempa (hiposenter) merupakan tahap awal dalam melakukan analisa kegempaan. Berbagai software dapat digunakan untuk menentukan posisi hiposenter salah satunya adalah metode GAD.

Geiger's Adaptive Damping (GAD) (Nishi, 2001), merupakan salah satu software yang umum digunakan untuk penentuan posisi hiposenter terutama dalam penentuan lokasi hiposenter gempa di daerah gunungapi atau pada daerah yang mempunyai jarak yang relatif dekat antara sumber gempa dan penerima (receiver). Data yang harus dipersiapkan untuk menjalankan program ini adalah data waktu tiba, posisi seismometer dan struktur kecepatan. Beberapa model sintesis 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.

Model sintesis dikembangkan untuk verifikasi program GAD (Nishi, 2001), sehingga dapat diketahui pengaruh input data terhadap output yang berupa posisi sumber gempa. Input data untuk menjalankan program ini adalah posisi seismometer, waktu tiba dan struktur kecepatan. Posisi sumber yang terletak di tengah dan terkepung jaringan seismometer/ penerima merupakan posisi ideal dalam penentuan koordinat hiposenter (Andri, 2006).

2.1.9 Simulated Annealing

Salah satu metode guided random search atau pencarian acak terarah adalah metode simulated annealing (SA). Metode simulated annealing (Grandis, 2009) dalam inversi didasarkan pada proses termodinamika pembentukan kristal suatu substansi. Pada temperatur tinggi suatu substansi padat mencair, kemudian proses pendinginan secara perlahan-lahan menyebabkan terbentuknya kristal yang berasosiasi dengan energi sistem yang minimum.

Pada proses simulated annealing ini, ruang model harus didefinisikan terlebih dahulu dengan menentukan secara “a priori” interval harga minimum dan maksimum parameter model, dalam penelitian kali ini parameter modelnya adalah posisi gempa. Pemilihan harga parameter model ditentukan secara acak sebagai bilangan sembarang dalam interval nilai minimum dan maksimum masing-masing. Caranya adalah mengambil bilangan acak R dengan probabilitas uniform antar 0 dan 1 yang dipetakan menjadi harga parameter model.

Proses pembentukan kristal (annealing) dalam termodinamika diadopsi dalam penyelesaian masalah inversi dengan menggunakan parameter model untuk mendefinisikan konfigurasi sistem dan fungsi objektif (misfit) sebagai energi. Faktor temperatur merupakan faktor pengontrol dengan satuan sama dengan fungsi objektif. Probabilitas perturbasi model dinyatakan oleh :

$$P(\Delta E) = \exp\left(-\frac{\Delta E}{T}\right) \quad (2.3)$$

dimana ΔE adalah perubahan fungsi objektif atau perubahan misfit akibat perturbasi model tersebut. Jika $\Delta E < 0$, maka perubahan model diterima. Namun jika $\Delta E \geq 0$, maka penentuannya ditentukan secara probabilistik menggunakan bilangan acak R yang terdistribusi uniform pada interval $[0,1]$. Jika $R < P(\Delta E)$ maka perubahan diterima, sebaliknya jika $R \geq P(\Delta E)$ perubahan ditolak dan kembali ke model sebelumnya. Proses iterasi dimulai dengan temperatur cukup tinggi sehingga hampir semua perturbasi model diterima. Pada saat temperatur turun secara perlahan, perturbasi model yang diterima akan mengecil jika $\Delta E \geq 0$.

2.2 Penelitian Terdahulu

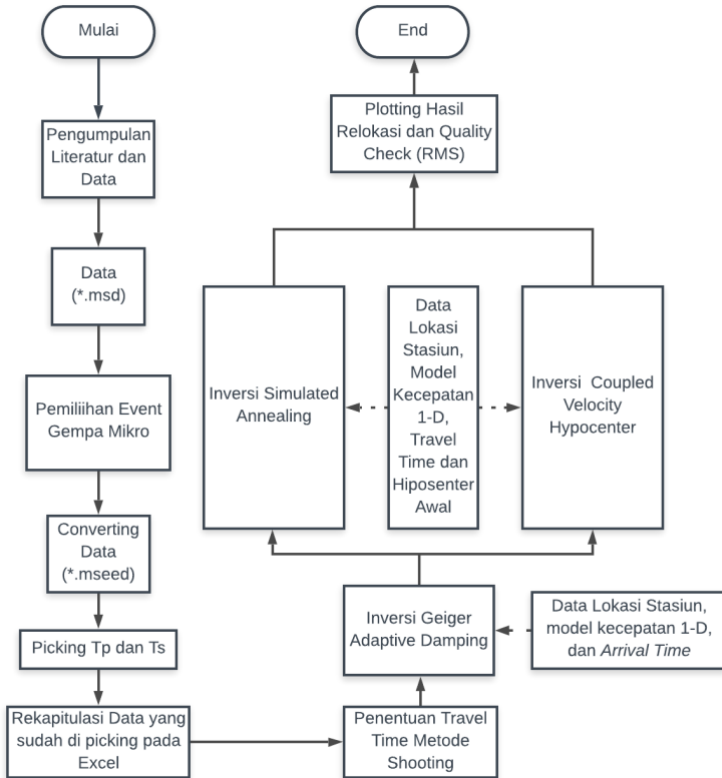
Penelitian mengenai Micro-Earthquake pada lapangan panas bumi "XX" pernah dilakukan oleh Naomi Nadya Angelia Siregar dengan judul "Penentuan Lokasi Hiposenter Gempa Bumi Mikro Menggunakan Metode Geiger dengan Arrival Times P-wave dan S-wave berdasarkan S-Transform". Gempa bumi mikro menjadi salah satu metode monitoring pasif untuk pemetaan zona rekahan pada daerah panas bumi, menentukan batas reservoir, dan zona permeabel. Identifikasi rekahan diawali dengan menentukan lokasi hiposenter gempa bumi mikro. 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 subjektivitas 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. Demikian review mengenai penelitian terdahulu untuk dikembangkan lagi pada Tugas Akhir ini.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

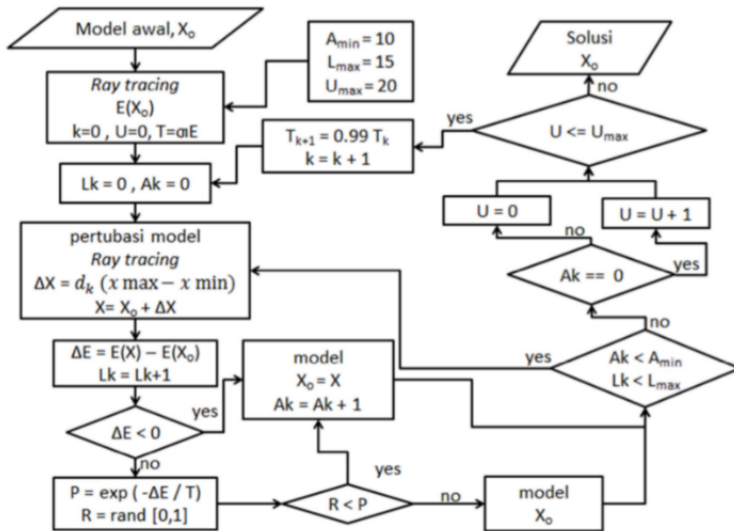
3.1 Diagram Alir

3.1.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1.2 Diagram Alir Inversi Simulated Annealing



Gambar 3. 2 Diagram Alir Metode Simulated Annealing

3.2 Data dan Model

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data riil yang diambil pada lapangan “XX” dengan format (*.msd). Data yang digunakan akan disortir berdasarkan kenampakan event dalam masa perekaman data. Setelah dilakukan sortir data, selanjutnya adalah converting data dari (*.msd) menjadi (*.mseed). Setelah di convert, maka data akan di picking pada program Seisgram 2K dan dilakukan rekapitulasi hasil picking pada Ms. Excel. Selanjutnya, proses yang cukup memegang peranan yang besar yaitu pembuatan model kecepatan bawah permukaan. Model ini nanti nya akan menjadi input data pada proses Inversi Simulated Annealing. Setelah Model dibuat, lalu masuk ke bagian perhitungan inversi. Pada proses ini input data yang dibutuhkan sudah dijelaskan pada alur penelitian pada subbab 3.1.1. Output dari proses inversi ini adalah lokasi hiposenter terupdate setelah perhitungan. Hasil dari proses inversi akan direkapitulasi di Ms. Excel dan dievaluasi nilai RMS nya setelah di lakukan Inversi Simulated Annealing.

3.3 Perangkat

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah MATLAB 2017a (64 bit), VELEST, dan GAD yang dijalankan pada perangkat keras laptop dengan spesifikasi :

Operating System : Windows 10 Pro 64-bit (10.0, Build 17134)

Processor : Intel® Core™ i7-6700HQ Processor (2.6 GHz,
6M Cache) up to 3.50 GHz
GPU : Nvidia GEFORCE GTX 950M
RAM : 8 Gb DDR4

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Masukan untuk Pengolahan Metode Simulated Annealing

Pada pengolahan dengan menggunakan metode Simulated Annealing membutuhkan beberapa data masukan berupa *travel times* P-wave dari *event* gempa bumi mikro, lokasi stasiun, 1-D model kecepatan dan Inisial Hiposenter. Data masukan tersebut dibahas lebih lanjut pada subbab berikut.

4.1.1 Travel times P-wave

Travel time digunakan sebagai data input untuk metode Simulated Annealing. Travel time sendiri adalah arrival time diselisihkan dengan origin time. Dalam sebuah event pencatatan nilai travel time dicatat oleh beberapa stasiun. Nilai travel time ini didapatkan dari penelitian sebelumnya untuk tiap event yang akan diolah. Pada pengolahan kali ini digunakan 363 event yang tiap eventnya memiliki minimal 3 stasiun yang mencatat. Untuk melihat data yang diinputkan, akan ditampilkan pada lampiran.

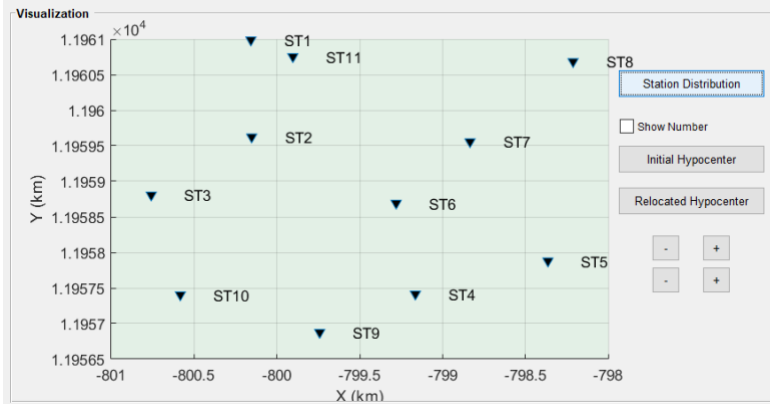
4.1.2 Lokasi Stasiun

Lokasi stasiun berupa titik latitude, longitude, dan elevasi dalam kilometer yang terdapat *event* gempa bumi mikro sebagai data masukan pada metode Simulated Annealing. Stasiun pada lokasi ini digunakan sejumlah 11 titik stasiun dengan koordinat yang ditunjukkan pada tabel 4.1 dan Gambar 4.x. Pada tabel, titik stasiun ditunjukkan dengan latitude, longitude, dan altitude.

Tabel 4. 1 Tabel lokasi stasiun pengukuran

Stasiun			
NO STASIUN	Latitude (Km)	Longitude (Km)	Z (Km)
1	-XXX.1570	XXX60.9887	1.904
2	-XXX.1522	XXX59.6247	1.917
3	-XXX.7582	XXX58.8069	1.941
4	-XXX.1649	XXX57.4143	2.061
5	-XXX.3656	XXX57.8785	2.002
6	-XXX.2809	XXX58.6923	1.978
7	-XXX.8356	XXX59.5562	1.965
8	-XXX.2139	XXX60.6832	1.940
9	-XXX.7422	XXX56.8754	2.120

10	-XXX.5825	XXX57.4047	1.992
11	-XXX.9038	XXX60.7526	1.850



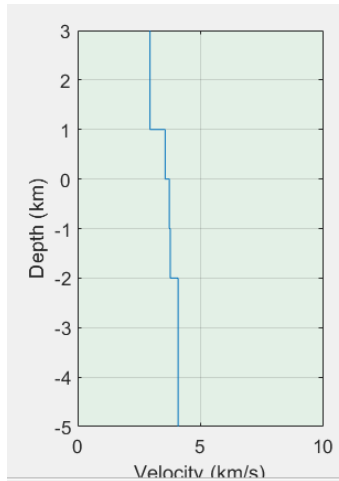
Gambar 4. 1 Hasil Plotting Stasiun Menggunakan MATLAB

4.1.3 Model Kecepatan 1-D Gelombang P

Model kecepatan awal yang digunakan sebagai data masukan untuk metode Simulated Annealing berdasarkan informasi yang diberikan oleh perusahaan akan wilayah pengukuran. Pada tabel 4.2 merupakan informasi yang menunjukkan model kecepatan yang digunakan dengan keterangan kecepatan dari P-wave terhadap kedalaman dalam kilometer.

Tabel 4. 2 Tabel Model Kecepatan 1-Dimensi

Kedalaman (Km)	Vp (Km/s)
3	X.42
1	X.95
0	X.57
-1	X.74
-2	X.78
-5	X.1



Gambar 4. 2 Hasil Plotting 1-Dimensi Nilai Vp (Km/s) Menggunakan MATLAB

4.1.4 Inisial Hiposenter

Pada metode Simulated Annealing bertujuan untuk melakukan uji lokasi, sehingga posisi hiposenter awal diperlukan untuk melakukan proses perhitungan. Posisi hiposenter yang digunakan sebagai input adalah hasil dari pengolahan pada penelitian sebelumnya. Sama halnya dengan travel time yang digunakan sebagai input juga, total inisial hiposenter yang digunakan berjumlah 363 posisi hiposenter. Untuk nilai inisial hiposenter yang digunakan akan dicantumkan pada lampiran.

4.2 Hasil Pengolahan Metode Simulated Annealing

Pengolahan dengan metode Simulated Annealing sebagai sebuah matematis yang melibatkan sebuah matriks untuk mendapatkan parameter hiposenter relokasi dan *error* dengan menggunakan data masukkan yang telah dibahas sebelumnya. Untuk pengolahan dengan metode Simulated Annealing diberikan variable control yang ditetapkan untuk menguji akurasi dengan melihat nilai error dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Maka dari itu ditetapkan sebuah parameter yang disamakan yaitu :

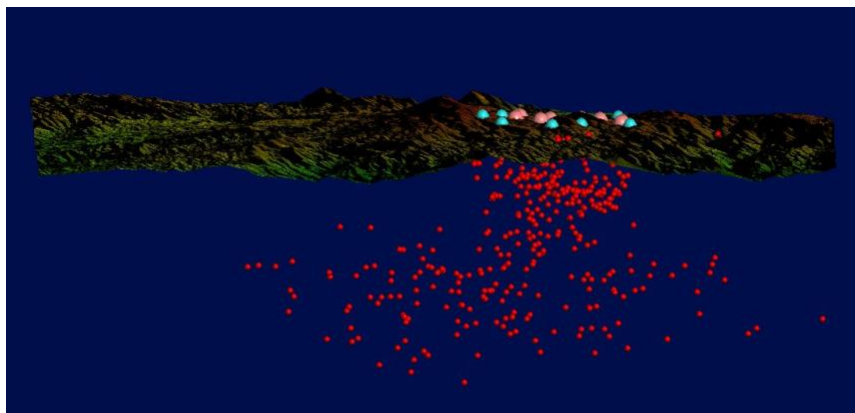
Tabel 4. 3 Variabel kontrol pengolahan

Iterasi	9
Error max	0.05 km

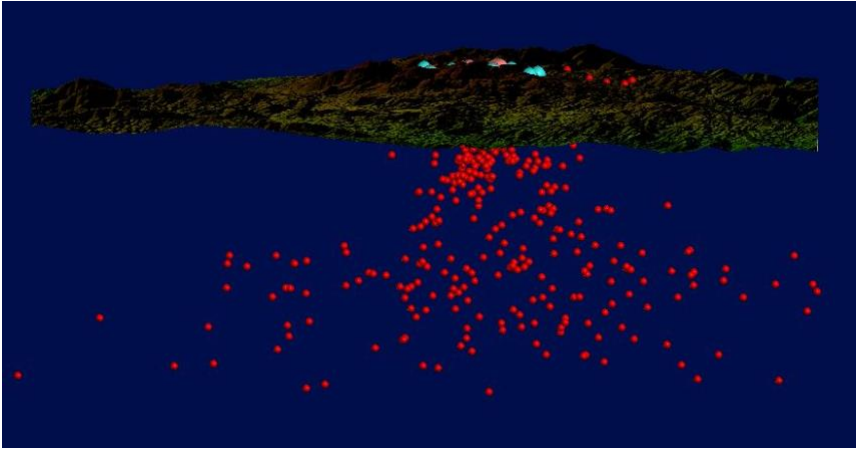
Untuk hasil yang didapatkan dari pengolahan berupa 363 titik lokasi hiposenter dan nilai error. Untuk hasil visualisasi titik hiposenter, dilakukan plotting secara 3-Dimensi dan menambahkan ilustrasi topografi disekitar lokasi dengan data DEM dan peta RBI. Dikarenakan data output yang banyak akan ditampilkan 10 event awal dan untuk melihat lebih lengkapnya akan ditampilkan pada lampiran. Untuk hasil pengolahan akan ditampilkan sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Hasil Uji lokasi dengan metode Simulated Annealing

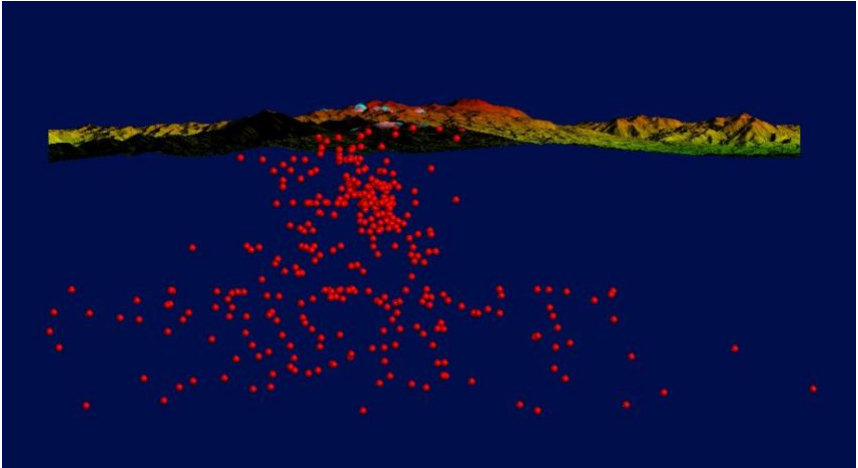
Hasil Relokasi Simulated Annealing				
NO. EVENT	Latitude (Km)	Longitude (Km)	Z (Km)	RMS
1	-XXX.12171	XXX58.882	0.354079	0.0154700
2	-XXX.17970	XXX58.827	0.134880	0.0112134
3	-XXX.12994	XXX58.841	0.258073	0.0219552
4	-XXX.94341	XXX58.984	0.461412	0.0340334
5	-XXX.08030	XXX58.985	-0.321127	0.0118788
6	-XXX.35327	XXX58.886	-0.110767	0.0097206
7	-XXX.23320	XXX58.668	1.301712	0.0318007
8	-XXX.27979	XXX58.659	0.730077	0.0094656
9	-XXX.58571	XXX59.322	-0.824349	0.0038877
10	-XXX.51416	XXX58.522	-0.672963	0.2614571



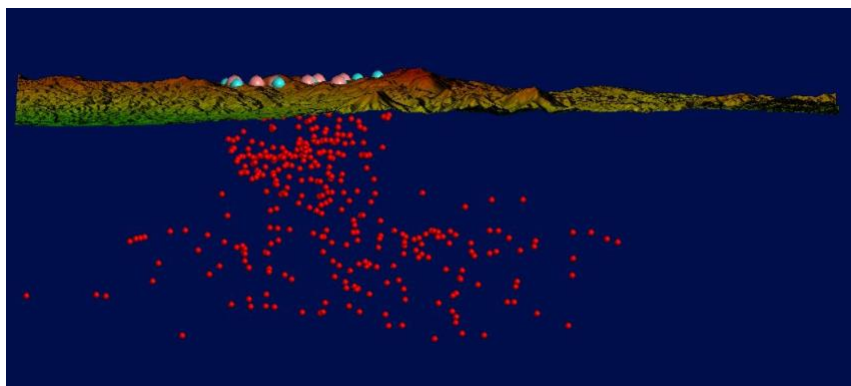
Gambar 4. 3 Penampang 3-Dimensi North-South



Gambar 4. 4 Penampang 3-Dimensi East-West



Gambar 4. 5 Penampang 3-Dimensi West-East



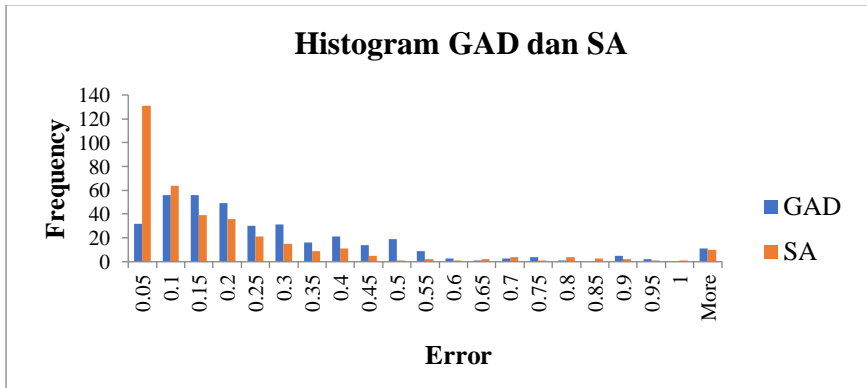
Gambar 4. 6 Penampang 3-Dimensi South-North

Setelah melihat hasil titik Hiposenter dan nilai error dari hasil pengolahan metode Simulated Annealing, selanjutnya akan dianalisa hasil dari metode ini. Analisa yang akan dilakukan berupa Analisa kuantitatif, dengan membandingkan nilai error metode penelitian sebelumnya dengan metode Simulated Annealing. Untuk perbandingan nilai error akan ditampilkan secara lengkap pada lampiran, dan pada pembahasan ini akan ditampilkan average error tiap metode sebagai berikut :

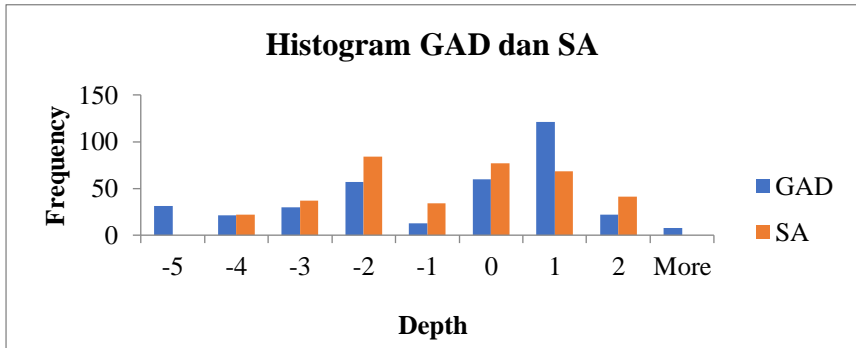
Tabel 4. 5 Perbandingan error GAD dan SA

Analisis	
Average error GAD	Average error SA
0.3673	0.2308207

Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa dari 363 event yang memiliki nilai error, terbukti bahwa metode Simulated Annealing dapat menurunkan error sejauh 37.165%. Nilai penurunan error ini menunjukkan bahwa proses kalkulasi dalam metode Simulated Annealing lebih tinggi nilai akurasinya dibandingkan dengan metode yang diusung peneliti sebelumnya. Keakurasian yang didapatkan disebabkan oleh hilangnya faktor damping yang menyebabkan solusi tidak terjebak pada minimum lokal. Faktor damping memang memiliki peranan yang baik, namun apabila diaplikasikan pada pencarian titik hiposenter maka akan membatasi solusi yang dihasilkan. Selain melihat dari persentase penurunan error, secara statistik dengan membentuk histogram dapat dilihat perbedaan pengelompokkan nilai error antar 2 metode sebagai berikut :



Gambar 4. 7 Histogram Error dari Metode Geiger dan Simulated Annealing



Gambar 4. 8 Histogram Kedalaman dari Metode Geiger dan Simulated Annealing

Dapat dilihat dari histogram, nilai error yang dihasilkan antara 2 metode melihat bahwa metode Simulated Annealing terbukti lebih mengelompokkan hasil pengolahan dengan nilai error yang berada pada range 0 - 0.05 sebanyak 131 data. Sedangkan pada metode Geiger Adaptive Damping dengan range yang sama hanya menghasilkan 32 data. Ini mendukung bahwa penurunan nilai average error yang telah dibahas sebelumnya dibuktikan oleh hasil nilai error metode Simulated Annealing yang dihasilkan terletak pada range 0 – 0.05 bertambah cukup banyak. Sedangkan pada histogram perbandingan kedalaman antara 2 metode tersebut, dapat dilihat bahwa solusi yang dihasilkan tersebar merata pada range yang didefinisikan pada 1-D model velocity yang diinputkan. Ini mendukung bahwa solusi dari metode Simulated Annealing tidak terjebak pada minimum lokal. Mengacu pada solusi metode Geiger yang digunakan sebagai data input, terbukti bahwa walaupun input yang diberikan berada diatas permukaan sekalipun, tetap terkoreksi dengan baik dengan metode Simulated Annealing

ditandai dengan nilai histogram kedalaman diatas 2 kilometer diatas permukaan laut awalnya berjumlah 8 data menjadi 0 data.

4.3 Pembahasan Hasil Pengolahan terhadap Lapangan Panas Bumi

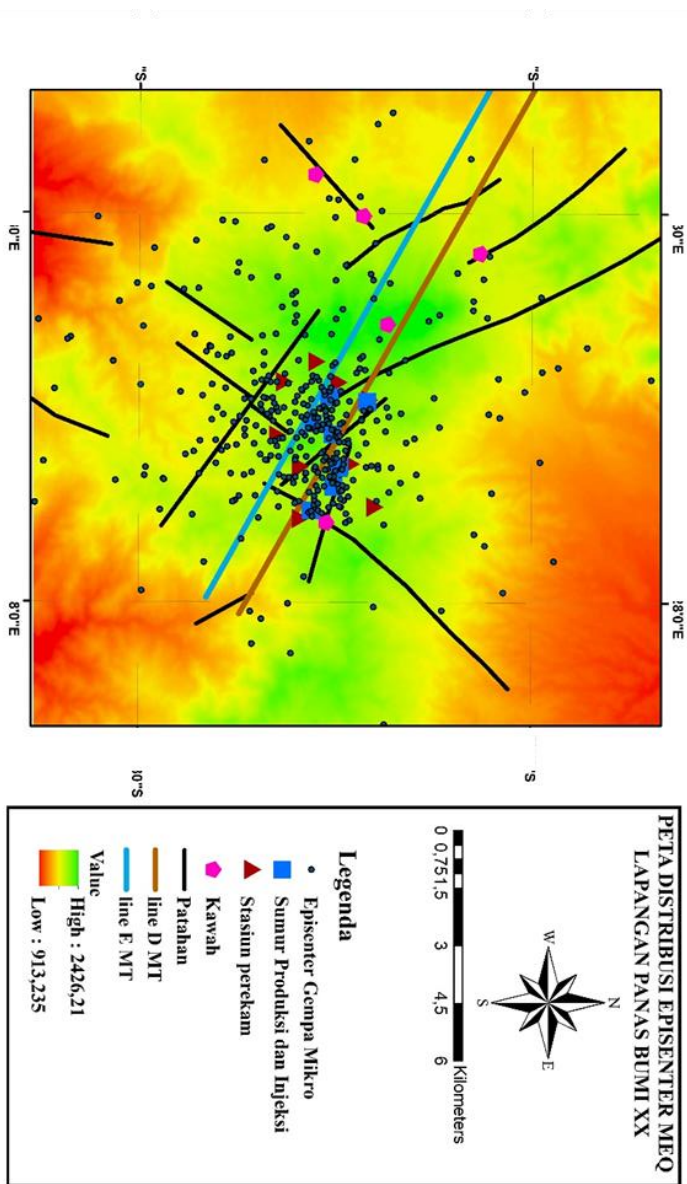
Titik hiposenter gempa-mikro pada lokasi panas bumi berkorelasi dengan kejadian atau event yang terjadi dibawah permukaan bumi. Analisis mengenai titik hiposenter hasil pengolahan akan dibahas lebih lanjut dengan data sekunder yaitu model konseptual dari pengukuran dengan metode magnetotelurik, patahan geologi, dan lokasi sumur pada lokasi panas bumi. Pada Gambar 4.7, menunjukkan peta persebaran episenter dari hasil pengolahan menggunakan metode Simulated Annealing terhadap titik stasiun pengukuran, patahan geologi, kawah, dan 3 lintasan pengukuran metode magnetotelurik. Berdasarkan persebaran episenter tersebut, titik episenter tersebar lebih rapat pada daerah line pengukuran metode magnetotelurik D dan E. Hasil episenter tersebut diproyeksikan terhadap kedalaman menghasilkan titik hiposenter dan dilihat secara 3-Dimensi dengan cross-section penampang 2D dari pengukuran metode magnetotelurik yang berupa model resistivitas dan menjadi model referensi konseptual model panas bumi lokasi penelitian. Pada masing-masing model resistivitas pengukuran metode magnetotelurik tersebut menunjukkan model konseptual panas bumi dibawah permukaan line pengukurannya.

Hasil dari kejadian gempa bumi mikro yang termasuk dalam range kedalaman yang sesuai dengan model konseptual pengukuran metode magnetotelurik sebesar 88.98% dari total 363 event. Secara statistik karena solusi dari metode Simulated Annealing ada yang berada diluar jangkauan kedalaman data sekunder, maka data tersebut akan dihiraukan untuk pembahasan secara kualitatif ini.

Pada *line D* dan *line E* pengukuran metode magnetotelurik diindikasikan terdapat 3 bagian yaitu *altered clay*, *reservoir*, dan *heat source* pada lokasi panas bumi. Lintasan atau line pengukuran metode magnetotelurik serta lokasi sumur tersebut digabungkan terhadap hasil hiposenter dan dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9. Pada Gambar 4.8 yang merupakan korelasi terhadap penampang 2D dari *line D* tersebut dapat dilihat persebaran titik hiposenter menggunakan metode Simulated Annealing (titik berwarna hitam). Pada hasil tersebut, dominasi kejadian gempa bumi mikro dengan menggunakan metode Simulated Annealing terdapat pada lokasi persis di area jalur sumur PPL-04 yang merupakan sumur produksi sistem panas bumi. Pada distribusi lokasi kejadian gempa bumi mikro pada area sumur produksi mengindikasikan aliran-aliran fluida yang mengalir pada reservoir panas bumi. Dan apabila dibandingkan dengan metode Geiger, titik hiposenter menggunakan metode Simulated Annealing lebih mendangkal dan terletak

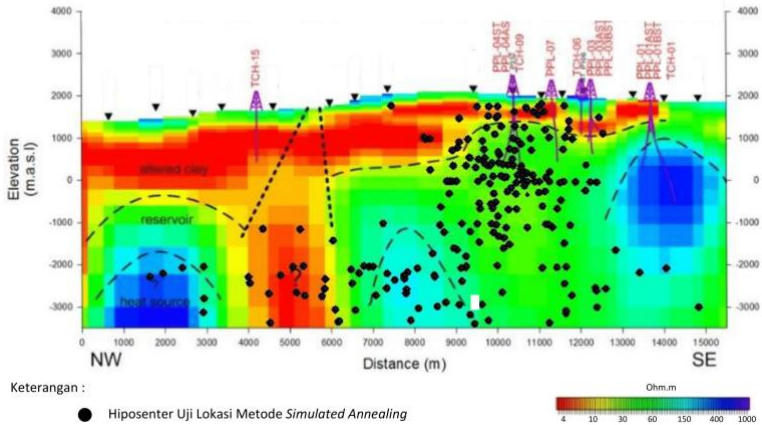
pada area Heat-Source dan Reservoir dari model konseptual pengukuran metode magnetotelurik.

Pada Gambar 4.9 yang merupakan korelasi terhadap penampang 2D dari *line* E tersebut dapat dilihat persebaran titik hiposenter menggunakan metode Simulated Annealing (titik berwarna hitam). Dari persebarannya dapat dilihat bahwa titik hiposenter menyebar disekitaran area Heat-Source dari model konseptual pengukuran metode magnetotelurik dan terletak pada jalur sumur PPL-02 dan PPL-06. Hasil dari kejadian gempa bumi mikro akan lebih baik untuk digunakan dalam analisa distribusi gempa bumi mikro terhadap panas bumi jika dilakukan pada data pengukuran yang terperiodik sehingga kejadian gempa bumi mikro dapat dianalisis terhadap waktu dan dapat dilihat keaktifan rekahan dan pergerakan fluida-nya secara periodik.



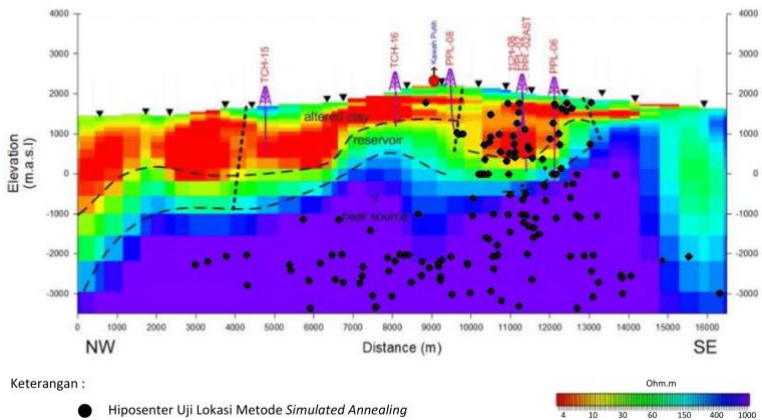
Gambar 4. 9 Peta Distribusi Episenter dengan Stasiun, Kawah, Patahan geologi, Line MT dan Sumur.

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



Gambar 4. 10 Korelasi Plot Hiposenter SA dengan Line D Metode Pengukuran Magnetotelurik

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



Gambar 4. 11 Korelasi Plot Hiposenter SA dengan Line E Metode Pengukuran Magnetotelurik

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Metode Simulated Annealing teruji memberikan solusi yang tidak terjebak pada minimum lokal dan menghilangkan efek damping dari penelitian sebelumnya;
2. Metode Simulated Annealing memerlukan data input meliputi model kecepatan, lokasi stasiun, travel time, dan inisial hiposenter. Output dari pengolahan menghasilkan 363 event gempa bumi mikro yang jumlahnya sesuai dengan jumlah data input inisial hiposenter. Melihat dari hasil persebaran titik Hiposenter, mayoritas data terletak di area Heat-Source hingga Reservoir pada model konseptual pengukuran metode Magnetotelurik sebagai data sekunder yang digunakan. Hal ini mengindikasikan adanya aktifitas fluida disekitar well produksi lapangan panas bumi;
3. Hasil perhitungan hiposenter dengan metode Simulated Annealing menurunkan nilai error sebesar 37.165% dibandingkan dengan metode Geiger yang digunakan sebagai data input. Secara histogram jumlah nilai error terbanyak berada pada range 0 – 0.05 sebanyak 131 data dari 363 data.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal kepada pembaca ataupun penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Penggunaan model kecepatan yang sesuai dengan lapangan untuk mendapatkan hasil hiposenter yang lebih akurat;
2. Menganalisis data seismogram secara periodik untuk memonitoring aktivitas seismik pada sekitar lapangan panas bumi;
3. Pengolahan data lebih lanjut dengan tujuan mengetahui pergerakan fluida pada aktivitas eksploitasi.

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.
- 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.
- Fauzi, M. d. (2015). Hypocenter Determination of Microearthquake Data in Geothermal Area Using MATLAB. *Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition*. Jakarta.
- Garini, S. d. (2014). Relokasi Hiposenter Gempa Bumi di Sulawesi Tengah dengan menggunakan Metode Geiger dan Coupled Velocity-Hypocenter. *Jurnal Fisika*, 107-112.
- Grandis, H., 2009. Pengantar Permodelan Inversi Geofisika. Penerbit Himpunan Ahli Geofisika Indonesia, pp. 93-100.
- Julian, B. R. and Foulger, G. R. (2009), "Monitoring Geothermal Processes with Microearthquake Mechanisms", Proceedings of Thirty-Fourth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, SGP-TR-187.
- Pramatadie, A. M., "Relokasi Hiposenter Gempa dengan Menggunakan Data Meramex dan Metode Double Difference", Tugas Akhir Program Studi Teknik Geofisika, Institut Teknologi Bandung, 2011.
- Sahara, D. P., Kusumo, A. W., Widiyantoro, S., & Sule, R., 2009, Aplikasi Metode Double Difference Untuk Relokasi Hiposenter Gempa Vulkanik Gunung Kelud Secara Akurat. JTM.
- Siregar, Naomi N. A., 2019, Penentuan Lokasi Hiposenter Gempa Bumi Mikro Menggunakan Metode Geiger dengan Arrival Times P-wave dan S-wave berdasarkan S-Transform, Tugas Akhir Program Studi Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Vakil-Baghmishes, M. dan Navarbafe, A., 2008. Modified Very Fast Simulated Annealing Algorithm. International Symposium on Telecommunications.
- White, S. R., 1984. Concepts of scale in simulated annealing. Proc. IEEE Int. Conference on Computer Design, Port Chester, pp. 646-651.

LAMPIRAN

Hasil Relokasi Simulated Annealing				
NO EVENT	Latitude (Km)	Longitude (Km)	Z (Km)	RMS
1	XXX12171	11958.882	0.354079	0.0154700
2	XXX17970	11958.827	0.134880	0.0112134
3	XXX12994	11958.841	0.258073	0.0219552
4	XXX94341	11958.984	0.461412	0.0340334
5	XXX08030	11958.985	-0.321127	0.0118788
6	XXX35327	11958.886	-0.110767	0.0097206
7	XXX23320	11958.668	1.301712	0.0318007
8	XXX27979	11958.659	0.730077	0.0094656
9	XXX58571	11959.322	-0.824349	0.0038877
10	XXX51416	11958.522	-0.672963	0.2614571
11	XXX96187	11959.463	-0.007376	0.1840107
12	XXX71503	11958.281	1.546337	0.0212639
13	XXX29631	11959.030	1.011136	0.0042251
14	XXX12348	11958.727	0.960774	0.0290558
15	XXX18981	11958.876	-0.000127	0.2060864
16	XXX38786	11959.910	-3.736766	0.3722768
17	XXX13133	11957.992	0.553141	0.1415039
18	XXX71130	11951.569	-2.026249	0.1133066
19	XXX57011	11958.105	0.370938	0.0622282
20	XXX50329	11958.369	-1.032589	0.2171460

21	XXX21810	11959.897	1.230895	0.0218076
22	XXX34755	11960.690	0.483656	0.0037507
23	XXX75664	11959.057	0.737660	0.0780919
24	XXX86664	11959.232	1.774802	0.2536032
25	XXX85191	11958.070	-2.783640	0.1468572
26	XXX69040	11951.548	-3.111560	0.1186132
27	XXX49808	11962.100	-4.682716	1.1954711
28	XXX54708	11956.610	1.041138	0.3055996
29	XXX08109	11956.237	-2.562399	0.3008509
30	XXX37933	11959.643	-0.725541	0.0323358
31	XXX16232	11953.766	-1.140028	0.4082222
32	XXX96254	11960.515	0.674046	0.0025105
33	XXX28113	11954.569	-3.042223	0.4801620
34	XXX73334	11958.247	1.511003	0.0312934
35	XXX06242	11958.320	0.624516	0.0837405
36	XXX62101	11961.524	-2.167747	0.3441946
37	XXX49416	11958.049	0.374603	0.0113038
38	XXX09150	11956.195	-2.660322	1.3890295
39	XXX12424	11960.088	-0.421247	0.0410345
40	XXX24900	11959.857	-0.012753	0.0627509
41	XXX71834	11959.980	-0.486645	0.0987908
42	XXX69901	11959.718	-0.451392	0.0296349
43	XXX82571	11953.705	-2.639258	0.0645632

44	XXX81610	11957.136	-2.702276	0.0265082
45	XXX88989	11956.657	-3.457758	0.0478845
46	XXX64088	11957.167	-0.294909	0.0029209
47	XXX17980	11957.779	0.322756	0.0031518
48	XXX81014	11962.920	-3.250630	0.6678901
49	XXX15209	11956.836	-2.230572	0.0029708
50	XXX35769	11959.776	0.750496	0.0025863
51	XXX58094	11955.439	-2.022893	0.0597954
52	XXX84339	11958.625	1.019086	0.0102784
53	XXX19225	11955.955	-2.344868	0.3172714
54	XXX96327	11958.398	0.400269	0.0029120
55	XXX34234	11964.275	-3.805692	0.0188137
56	XXX88312	11958.705	1.720960	0.0443921
57	XXX20136	11958.244	-3.842913	0.1256573
58	XXX89620	11954.326	-2.551533	0.2733100
59	XXX32260	11964.523	-3.746992	0.0732368
60	XXX84339	11960.416	-0.420449	0.0228059
61	XXX81189	11953.205	-3.974833	0.2622945
62	XXX90074	11960.892	-4.061099	0.0085830
63	XXX17715	11963.304	-2.172192	0.1310494
64	XXX28544	11958.354	-4.183255	0.2185849
65	XXX26015	11960.392	-3.883431	0.0223709
66	XXX88980	11958.610	0.525837	0.1489931
67	XXX20622	11953.088	-3.358298	0.1444083

68	XXX39378	11954.672	-3.316965	0.0290898
69	XXX05429	11956.288	-3.299382	0.0250494
70	XXX63574	11958.892	1.274799	0.0876454
71	XXX32218	11955.119	-2.178756	0.1522793
72	XXX78304	11954.814	-3.706821	0.1627649
73	XXX07847	11959.596	-0.732037	7.4335430
74	XXX97362	11953.383	-3.955595	0.1605102
75	XXX04446	11957.650	-4.020776	0.0740184
76	XXX79540	11957.159	-2.925752	0.0407579
77	XXX37752	11956.829	-2.402006	0.0044826
78	XXX76832	11955.804	-2.466724	0.2533158
79	XXX56297	11952.541	-4.202963	0.3130047
80	XXX87331	11957.409	-2.930735	0.0053687
81	XXX34857	11958.698	-0.300794	0.0782734
82	XXX10952	11957.360	-1.628562	0.0043660
83	XXX24749	11955.716	-2.627072	0.1297434
84	XXX92936	11956.234	-2.157164	0.0276550
85	XXX67031	11958.311	-1.307441	0.1340810
86	XXX50076	11958.424	-1.588192	0.1552883
87	XXX69963	11959.086	0.143301	0.0198582
88	XXX91565	11958.272	-2.000057	0.0800388
89	XXX90242	11960.861	1.585960	0.0033013
90	XXX51487	11959.906	1.426981	0.0078736

91	XXX48984	11960.049	0.071990	0.1270157
92	XXX93317	11954.342	-2.321728	0.3577452
93	XXX99998	11958.468	0.101619	0.1278957
94	XXX13886	11954.983	-2.425041	0.2688990
95	XXX46027	11957.754	-3.379120	0.0738181
96	XXX54211	11956.788	-1.713148	0.1671261
97	XXX40827	11963.398	-2.148400	0.1875381
98	XXX80072	11958.431	-1.342821	0.0293750
99	XXX85256	11958.938	-0.638162	0.7839357
100	XXX23726	11957.932	0.956087	0.2322153
101	XXX00149	11952.916	-1.131007	0.6518827
102	XXX39848	11958.396	-2.637837	0.0968624
103	XXX32320	11957.125	-0.000464	0.2575117
104	XXX81038	11957.399	0.928554	0.1874425
105	XXX28873	11957.432	-3.602122	0.2917227
106	XXX40389	11957.021	-3.564561	0.1225734
107	XXX34818	11954.706	-2.017477	0.6120116
108	XXX74782	11958.191	-0.293201	0.0129712
109	XXX62043	11958.582	-0.159505	0.0355825
110	XXX50636	11957.194	-0.005028	0.1699149
111	XXX78188	11957.243	0.729042	0.0657595
112	XXX70947	11957.405	1.490809	0.2010992
113	XXX52513	11958.080	1.773877	0.1011545
114	XXX84369	11955.173	-2.048359	0.8551399

115	XXX06585	11958.822	0.360848	0.0878090
116	XXX72269	11958.358	1.297450	0.0295458
117	XXX60387	11958.099	-0.056574	0.0210081
118	XXX54757	11958.643	0.371266	0.1352865
119	XXX46898	11956.463	-2.066797	0.3466980
120	XXX48858	11959.463	0.221797	0.0294751
121	XXX77235	11959.498	-3.358165	6.2918081
122	XXX58933	11962.137	-2.064163	1.5984387
123	XXX89867	11958.297	0.692686	0.1754774
124	XXX61228	11955.523	-2.006082	0.7795564
125	XXX04222	11956.632	0.996709	0.3012681
126	XXX22567	11960.022	0.337062	0.0029432
127	XXX00623	11955.498	-2.708721	0.1725207
128	XXX70047	11958.951	1.716882	0.1516641
129	XXX97899	11958.807	0.289551	0.0913433
130	XXX42019	11958.300	0.436142	0.0355628
131	XXX38979	11963.429	1.760991	0.0662555
132	XXX54378	11958.657	1.643954	0.0028603
133	XXX41496	11958.427	0.087890	0.0372334
134	XXX17860	11960.975	-1.635756	0.1393121
135	XXX21291	11962.887	-2.986936	0.4277569
136	XXX06571	11951.592	-2.781398	0.7275263
137	XXX72365	11960.501	-0.428280	0.0198818

138	XXX63030	11960.779	0.214682	0.0059668
139	XXX79095	11960.515	-2.532488	0.1963963
140	XXX91549	11958.026	1.271043	0.0512564
141	XXX65802	11960.680	1.131649	0.0049952
142	XXX96238	11957.344	-0.003020	0.1901731
143	XXX49447	11959.225	-0.009477	0.0429775
144	XXX68690	11958.703	-0.035638	0.0160196
145	XXX26686	11957.656	-2.260627	0.7580683
146	XXX20084	11955.219	-2.006054	0.1571584
147	XXX26204	11958.083	-3.302399	0.1467534
148	XXX64855	11956.491	-4.398406	2.6292155
149	XXX93945	11959.359	1.218954	0.0027122
150	XXX42894	11959.378	-1.020000	0.2125755
151	XXX84617	11959.017	0.364109	0.0216849
152	XXX28694	11959.543	-1.090671	0.2361699
153	XXX37486	11958.473	-1.102310	0.0010804
154	XXX99016	11957.834	-0.005004	0.2407655
155	XXX80451	11961.032	-2.289560	0.0727383
156	XXX05393	11958.732	0.144683	0.0053647
157	XXX17766	11959.739	0.728614	0.0186885
158	XXX26499	11956.977	-0.612951	0.1367234
159	XXX62027	11957.367	0.798948	0.0578300
160	XXX25301	11957.490	-2.371051	0.2894356
161	XXX89024	11960.164	-0.554434	0.0364247

162	XXX90801	11951.092	-2.054519	0.3343401
163	XXX75689	11954.952	-2.094144	0.1903433
164	XXX48161	11956.731	0.267140	0.0491632
165	XXX12724	11958.892	-4.141664	0.2389899
166	XXX51990	11959.922	0.120420	0.0041080
167	XXX37835	11953.089	-2.667221	0.7706156
168	XXX84759	11958.169	-0.643193	0.0642725
169	XXX22340	11953.848	-2.012589	0.3740616
170	XXX55116	11958.885	0.007446	0.0030348
171	XXX06662	11960.278	-0.599828	0.0119616
172	XXX90647	11959.808	1.791572	0.0152154
173	XXX02495	11954.541	-4.684032	0.2844584
174	XXX91621	11955.784	-2.538579	0.6940103
175	XXX68218	11958.188	-1.214918	6.3754464
176	XXX21130	11959.382	0.087338	0.0621563
177	XXX86605	11960.296	0.386030	0.0032823
178	XXX20034	11956.901	-2.969650	0.1528814
179	XXX68887	11960.281	-0.225149	0.0527864
180	XXX53834	11958.820	0.881317	0.1616889
181	XXX03826	11960.691	-0.132552	0.0061091
182	XXX14082	11959.208	1.573466	0.0529729
183	XXX98553	11954.915	-4.275416	0.0792299
184	XXX73745	11960.763	-2.548949	0.1132827

185	XXX21732	11954.729	-4.283774	0.0494336
186	XXX75960	11958.958	-0.009404	0.0653916
187	XXX10393	11958.261	-1.032879	0.0351843
188	XXX27633	11958.142	0.433402	0.0338860
189	XXX39192	11957.476	-1.004386	0.1089286
190	XXX84834	11956.162	-2.237461	0.0874547
191	XXX40483	11963.214	-2.195224	0.0882886
192	XXX72685	11959.818	-2.428387	0.1587456
193	XXX30909	11957.877	-0.653362	0.0868419
194	XXX02783	11956.748	1.005161	0.0726744
195	XXX41436	11957.450	-2.060453	0.5604611
196	XXX37749	11952.595	-2.273880	0.2020366
197	XXX98871	11962.516	-2.033841	0.0298449
198	XXX33153	11957.650	-1.195910	0.0783120
199	XXX71302	11954.283	-2.730026	0.2032786
200	XXX04742	11960.472	-0.257038	0.0011152
201	XXX11574	11959.653	-2.045132	0.2228918
202	XXX18676	11954.741	-3.675594	0.2017445
203	XXX50503	11958.408	1.735921	0.0065641
204	XXX87423	11960.832	0.181580	0.0047230
205	XXX77848	11960.931	0.454361	0.0043630
206	XXX80495	11960.798	0.418190	0.0039427
207	XXX09279	11963.620	-2.331264	0.0058493
208	XXX67806	11957.278	-1.589833	0.2553788

209	XXX73119	11960.396	0.190448	0.0473698
210	XXX24786	11958.557	-1.499350	0.0875610
211	XXX70099	11954.646	-3.335001	0.0008721
212	XXX10907	11958.141	-1.006192	0.1830594
213	XXX91807	11961.147	-2.918159	0.3886979
214	XXX65386	11959.953	-1.043671	0.0504660
215	XXX48461	11953.613	-2.027477	0.4418354
216	XXX05026	11957.634	0.560872	0.0776118
217	XXX98549	11956.175	-3.580029	0.2932521
218	XXX57106	11961.393	-3.084047	1.9367651
219	XXX96562	11959.981	0.999382	0.0829610
220	XXX34419	11958.997	1.714730	0.1318171
221	XXX13309	11959.308	-0.593488	0.1725494
222	XXX71662	11958.068	1.545069	0.0048883
223	XXX48982	11955.640	-2.560163	0.3640872
224	XXX26547	11960.055	-0.018944	0.0907742
225	XXX54696	11957.851	0.522172	0.1488137
226	XXX54962	11957.545	-2.049426	0.1070873
227	XXX14986	11959.867	-2.029553	0.1924465
228	XXX23020	11955.037	-3.059212	0.3998577
229	XXX29362	11958.935	1.750559	0.1091918
230	XXX88653	11966.388	-3.717299	0.9408412
231	XXX92124	11957.252	-0.001107	0.1552441

232	XXX07569	11959.830	-2.552021	0.0296801
233	XXX77451	11957.969	0.752670	0.0837475
234	XXX48996	11957.597	-2.014650	0.3735339
235	XXX22978	11960.592	-0.002128	0.0201096
236	XXX65548	11959.365	-0.243733	0.0323838
237	XXX24937	11956.706	-4.318305	0.8273207
238	XXX98145	11957.333	-3.382094	0.8371135
239	XXX99402	11959.106	1.643395	0.0998230
240	XXX63717	11959.967	-4.128032	0.1552628
241	XXX89819	11958.270	1.773768	0.0074421
242	XXX61971	11957.822	1.713746	0.3415319
243	XXX74735	11954.535	-1.410615	0.3716066
244	XXX65425	11958.547	0.764249	0.0039203
245	XXX72738	11960.637	1.022104	0.0032000
246	XXX89988	11959.998	-2.709390	0.2342102
247	XXX03012	11959.688	-0.046744	0.0315055
248	XXX29123	11961.693	-2.430717	0.8705803
249	XXX15677	11956.299	-4.703799	0.9946837
250	XXX24756	11955.850	1.788262	0.5431065
251	XXX86729	11959.499	-2.127975	0.0226593
252	XXX91331	11961.096	-1.004173	0.0690624
253	XXX18021	11955.754	-2.189828	0.0793865
254	XXX11549	11960.314	-2.895953	0.1037720
255	XXX13924	11952.625	-2.417172	1.4846566

256	XXX14034	11953.168	-3.563362	0.0802382
257	XXX22191	11959.453	1.034782	0.0032820
258	XXX67766	11960.134	-0.016300	0.0543890
259	XXX63032	11960.592	-0.452983	0.0305845
260	XXX12103	11960.536	-0.025192	0.0585223
261	XXX53332	11960.845	0.143768	0.1463752
262	XXX63337	11960.252	-0.042193	0.0008019
263	XXX55711	11957.052	-1.209235	0.0634548
264	XXX78431	11960.299	-4.004195	0.2409199
265	XXX21311	11957.670	-3.164488	0.0033843
266	XXX20711	11955.668	-1.001358	0.1777670
267	XXX81390	11957.862	-1.443457	0.0281942
268	XXX63250	11959.781	-0.009944	0.0447960
269	XXX43644	11958.282	-0.829728	0.0506907
270	XXX07968	11960.201	-0.156101	0.0217847
271	XXX31747	11959.922	-0.283756	0.0291152
272	XXX38764	11959.010	-1.237888	0.0304511
273	XXX72846	11959.698	-0.036897	0.0408188
274	XXX01410	11960.260	-0.014640	0.0077179
275	XXX46970	11958.714	-1.356993	0.0473614
276	XXX38587	11959.702	-0.120765	0.0415324
277	XXX05669	11956.970	-1.037209	0.0045212
278	XXX98960	11960.582	-2.989776	0.6486309

279	XXX19111	11957.973	0.427594	0.0220358
280	XXX43133	11958.123	-0.541429	0.1037624
281	XXX87382	11958.960	-1.097027	0.3513327
282	XXX05447	11958.715	-0.660214	0.0308725
283	XXX69440	11953.991	-4.817364	0.1879806
284	XXX29785	11956.151	-2.310821	0.0326578
285	XXX10372	11960.526	-2.373796	0.1354504
286	XXX47473	11960.144	-0.379555	0.0906799
287	XXX90752	11953.901	-2.713560	0.2614632
288	XXX00349	11959.451	-1.025925	0.0468692
289	XXX06563	11958.508	0.384986	0.0607044
290	XXX19102	11954.100	-3.351457	0.8128126
291	XXX18120	11951.570	-4.313813	1.2428735
292	XXX14729	11957.948	0.094351	0.0697503
293	XXX30769	11957.556	0.367467	0.0088318
294	XXX47728	11957.642	0.551758	0.0050934
295	XXX86278	11959.346	1.649291	0.1600543
296	XXX60986	11955.280	-4.817027	0.6661909
297	XXX99834	11960.118	-0.479967	0.0432080
298	XXX09831	11959.124	-0.012530	0.2082157
299	XXX31540	11959.496	-0.032870	0.0524185
300	XXX22832	11959.520	-0.004309	0.0407120
301	XXX45113	11959.712	0.230701	0.1016937
302	XXX22245	11959.892	-0.006352	0.0425557

303	XXX29202	11959.554	-0.026647	0.0679126
304	XXX21781	11959.396	-0.252628	0.0320449
305	XXX97056	11959.567	-0.352393	0.0291302
306	XXX15645	11959.415	-0.024763	0.0422639
307	XXX00333	11959.699	-0.497201	0.0537929
308	XXX32585	11959.879	-0.014958	0.0616984
309	XXX07885	11960.665	-0.060706	0.0480393
310	XXX25830	11960.055	-0.466656	0.0978630
311	XXX34709	11954.827	-4.584925	0.0249775
312	XXX94993	11957.312	-4.077901	0.0367927
313	XXX68223	11960.398	-0.018775	0.2474151
314	XXX13773	11959.265	0.055358	0.0214958
315	XXX44896	11958.159	-0.005779	0.1325797
316	XXX97032	11959.431	-0.021585	0.0341301
317	XXX48059	11958.228	1.493703	0.1953519
318	XXX07541	11957.602	0.994208	0.2733914
319	XXX05150	11957.815	1.769341	0.1869935
320	XXX31983	11957.263	0.367474	0.0262249
321	XXX35420	11958.500	-0.245897	0.1113885
322	XXX83135	11958.464	-4.268074	0.2333248
323	XXX70213	11959.636	-0.654425	0.0690609
324	XXX54674	11959.277	1.839926	0.1347383
325	XXX95077	11957.515	-3.506373	0.1012083

326	XXX28606	11958.111	-2.292772	0.0896698
327	XXX01505	11957.980	0.418767	0.0775731
328	XXX64406	11959.842	-3.134120	0.1401759
329	XXX64368	11958.351	0.126220	0.0098692
330	XXX07330	11959.684	0.792925	0.1121572
331	XXX85175	11960.545	-2.601118	0.0143137
332	XXX97237	11960.447	-2.564419	0.4129704
333	XXX42067	11957.089	-2.874423	0.0565628
334	XXX72636	11950.339	-2.264548	0.1524316
335	XXX91517	11959.205	-3.294855	0.1217838
336	XXX95704	11959.814	1.039770	0.0043918
337	XXX94597	11959.797	-1.470961	0.0020716
338	XXX80062	11958.314	-2.129251	0.0653334
339	XXX72682	11959.652	-4.013739	0.0893950
340	XXX81720	11957.915	-2.924565	0.1520244
341	XXX24463	11959.607	-1.382746	0.1197812
342	XXX08420	11959.315	-2.055789	0.1770602
343	XXX23451	11960.588	1.510154	0.0046321
344	XXX35033	11959.221	-0.270517	0.2134250
345	XXX87399	11953.334	-2.228609	0.3771706
346	XXX10994	11958.418	-0.645564	0.1071189
347	XXX95616	11958.240	-0.494388	0.0973095
348	XXX80508	11958.943	0.194245	0.0181249
349	XXX11686	11950.636	-2.189194	0.0757640

350	XXX22818	11958.215	1.113110	0.0328944
351	XXX44015	11958.169	0.116307	0.0841891
352	XXX63923	11957.770	-3.615919	0.1101876
353	XXX04263	11957.569	-1.779312	0.1759858
354	XXX81768	11957.820	-1.008361	0.1824924
355	XXX38081	11957.865	-0.524908	0.2034709
356	XXX42844	11956.485	-3.014729	0.1817673
357	XXX55654	11959.847	-3.070581	0.0700721
358	XXX81382	11955.298	-4.072934	0.1911411
359	XXX73818	11956.149	-3.885178	0.2174345
360	XXX96624	11956.871	-2.264048	0.4369160
361	XXX91322	11958.337	-2.060551	0.5054785
362	XXX24572	11955.350	-2.029529	0.2606211
363	XXX47945	11958.587	-2.004313	0.3519157

BIODATA PENULIS



Gian Ricardo Halim lahir di Surabaya, 14 Juli 1998. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai di SD Kr. Petra 9 Surabaya (2004-2010), SMP Kr. Petra 9 Surabaya (2010-2013), SMA Kr. Petra 5 Surabaya (2013-2016), dan pendidikan sarjana di Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menjadi mahasiswa, penulis menjalani berbagai kegiatan, baik akademik maupun non-akademik. Penulis pernah menjadi asisten mata kuliah geofisika dan komputasi geofisika. Di bidang non-akademik, penulis pernah menjadi staf

Departemen Professionalism divisi Company Visit Society of Petroleum Engineering ITS SC, staf Biro Big Event Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS pada periode 2018/2019. Selain menjadi fungsionaris organisasi, penulis juga berkesempatan menjadi ketua pelaksana (Project Officer) salah satu acara terbesar Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS (HMTG ITS) yaitu GEOSPHERE pada tahun 2019. Demikian sekilas tentang penulis. Penulis sangat berkesan apabila ada saran, kritik, maupun ajakan diskusi tentang komputasi, pemrograman, atau yang lain. Berikut kontak email penulis gianhalim@yahoo.com jika ada pertanyaan maupun diskusi yang ingin disampaikan.