

# Widya Utama

**Sherly Ardhya Garini** 

# PENGOLAHAN DATA MICRO-EARTHQUAKE Pengantar Evaluasi Reservoir Panas Bumi

Penulis: Widya Utama, Sherly Ardhya Garini



# PENGOLAHAN DATA MICRO-EARTHQUAKE Pengantar Evaluasi Reservoir Panas Bumi

Penulis : Widya Utama, Sherly Ardhya Garini Desain Sampul : Halimul Lathif Humam, Dihein Reksa Ikmaluhakim Tata Letak : Andriyan Yulikasari © 2020, ITS Press, Surabaya Hak cipta dilindungi undang-undang

Diterbitkan pertama kali oleh ITS PRESS, Surabaya 2020



Anggota IKAPI dan APPTI

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit.

Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan yang melanggar HAK CIPTA pada buku ini, akan dikenai sangsi sesuai undang undang nomor 19 tahun 2002 pasal 72.

Dicetak oleh Percetakan ITS Press Isi di luar tanggung jawab percetakan

#### PRAKATA

Buku pengolahan data *micro-earthquake* (*MEQ*) menjelaskan tentang panduan mekanisme pengolahan data *micro-earthquake*. Penentuan lokasi hiposenter awal (inisial) menggunakan metode *Geiger* dan uji lokasi lanjutan menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* untuk evaluasi kinerja *reservoir* panas bumi.

Panduan ini dapat diterapkan pada data *micro-earthquake* (*MEQ*) lain dengan *background noise* yang rendah (kualitas data perekaman baik), data hasil perekaman berformat .mseed, dan untuk metode penentuan lokasi hiposenter inisial menggunakan metode *Geiger* digunakan minimal 4 fasa gelombang. Sedangkan untuk metode *Coupled Velocity-Hypocenter* menggunakan minimal 6 fasa gelombang seismik. Langkah-langkah proses pengolahan data *MEQ* dalam buku ini telah disusun dan dilengkapi gambar-gambar dengan harapan dapat mempermudah pembaca dalam penggunaannya.

Dengan terbitnya modul panduan ini diharapkan dapat membantu pembaca dalam pengolahan data *micro-earthquake*. Atas terbitnya panduan pengolahan data *micro-earthquake* (*MEQ*) ini, kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada semua anggota tim penyusun yakni saudari Andriyan Yulikasari, Naomi Nadya Angelia Siregar dan Shabila Gadis Halida, serta pihakpihak yang berperan atas sumbangsih yang telah diberikan mulai dari menggagas dan menyusun sampai dengan penerbitan.

Meskipun penyusunan buku ini telah diupayakan sebaik mungkin, namun dengan segala keterbatasan yang ada pada buku ini, tentu masih memerlukan berbagai penyempurnaan. Sehubungan dengan itu penyusun mengharapkan saran dan kritik dari pembaca guna perbaikan buku ini.

Disertai dengan rasa terima kasih yang tulus, semoga buku ini dapat memberi manfaat dalam mempelajari masalah pegolahan data *micro-earthquake* (*MEQ*).

Surabaya, November 2019

Penyusun

# **DAFTAR ISI**

PRAKATAi
DAFTAR ISI1
PENDAHULUAN
RUANG LINGKUP ISI
SASARAN PEMBELAJARAN
PERANGKAT LUNAK (SOFTWARE) YANG DIGUNAKAN
ALUR KERJA
KAJIAN PUSTAKA
Gempa Bumi Mikro 6
Parameter Gempa Bumi
Metode Inversi
A. PENENTUAN KOMPONEN EVENT GEMPA MIKRO MENGGUNAKAN
PERANGKAT LUNAK GEOPSY 11
B. PENENTUAN WAKTU TIBA (PICKING ARRIVAL TIME) GELOMBANG
PRIMER (P) DAN SEKUNDER (S) MENGGUNAKAN SEISGRAM2K70 15
C. MENGHITUNG NILAI MAGNITUDO GEMPA 18
D. PENENTUAN LOKASI AWAL HIPOSENTER GEMPA BUMI MIKRO
MENGGUNAKAN METODE GEIGER (GAD) 19
E. PENINGKATAN KEAKURASIAN PENENTUAN WAKTU TIBA
GELOMBANG PRIMER (P) DAN SEKUNDER (S) MENGGUNAKAN
ALGORITMA S-TRANSFORM
F. UJI LOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI MIKRO MENGGUNAKAN
METODE COUPLED VELOCITY-HYPOCENTER (VELEST 3.3)
G. PLOTTING LOKASI EPISENTER GEMPA BUMI MIKRO
WIEINUUUNANAN PEKANUNAT LUNAN AKUUIS

H. PLOTTING LOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI MIKRO PADA
PENAMPANG 2D MAGNETOTELLURIK MENGGUNAKAN PERANGKAT
LUNAK LEAPFROG GEO 40
I. PLOTTING LOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI MIKRO
MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK PETREL 2019 47
DAFTAR PUSTAKA

#### PENDAHULUAN

Metode gempa mikro adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya gempa-gempa kecil dengan nilai magnitudo  $\leq 3$  SR (Hurukawa, 2008), yang umumnya disebabkan oleh rekahan hidraulik (*hydraulic fracturing*), kegiatan produksi maupun injeksi dan pengeboran. Sehingga metode gempa mikro khususnya pada eksplorasi panas bumi digunakan untuk mengamati hasil *hydraulic fracturing* maupun proses injeksi, identifikasi kebocoran *casing* sumur (Rutledge dan Phillips, 2001).

Metode gempa mikro dapat menunjukkan sebaran zona-zona kejadian gempa melalui letak hiposenter dan episenter gempa bumi mikro. Dalam industri panas bumi, informasi lokasi hiposenter gempa bumi mikro dapat digunakan untuk melihat kecenderungan arah aliran air injeksi dan menggambarkan sesar yang merupakan zona dengan permeabilitas relatif tinggi untuk penentuan sumur produksi baru (Anissofira, dkk. 2013).

#### **RUANG LINGKUP ISI**

Ruang lingkup isi pada modul ini adalah sebagai berikut:

- 1. Penentuan komponen gempa mikro
- 2. Picking gelombang primer (P) dan sekunder (S)
- 3. Perhitungan magnitudo gempa mikro
- 4. Penentuan hiposenter inisial gempa mikro menggunakan metode Geiger
- 5. Uji lokasi hiposenter gempa mikro menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter*
- 6. Visualisasi atau plotting event gempa mikro

### SASARAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti modul ini mahasiswa diharapkan:

- 1. Menentukan waktu tiba gelombang primer (P) dan sekunder (S)
- 2. Menghitung nilai magnitudo gempa mikro
- 3. Menentukan lokasi hiposenter gempa mikro inisial dengan menggunakan metode *Geiger*
- 4. Menentukan lokasi hiposenter gempa mikro dengan menggunakan metode uji lokasi *Coupled Velocity-Hypocenter*
- 5. Menentukan model kecepatan 1-D gelombang primer (P) wilayah penelitian
- 6. Menentukan lokasi hiposenter gempa bumi mikro berdasarkan metode *Geiger* dan *Coupled Velocity-Hypocenter*
- Memvisualisasikan hasil penentuan serta uji lokasi hiposenter sehingga menghasilkan peta distribusi lokasi hiposenter dan episenter gempa mikro baik 2D maupun 3D

#### PERANGKAT LUNAK (SOFTWARE) YANG DIGUNAKAN

Software yang digunakan dalam modul ini adalah sebagai berikut:

- 1. Ms. Excel
- 2. Seisgram2K70
- 3. Java
- 4. Geopsy
- 5. Velest 3.3
- 6. GAD
- 7. ArcGis
- 8. Matlab
- 9. Petrel
- 10. Leapfrog Geo

### **ALUR KERJA**



### **KAJIAN PUSTAKA**

#### Gempa Bumi Mikro

Metode mikroseismik atau metode gempa mikro adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya gempa-gempa kecil dengan nilai magnitudo  $\leq$  3 SR (Hurukawa, 2008), yang umumnya disebabkan oleh simulasi hidraulik (*hydraulic fracturing*), kegiatan produksi maupun injeksi dan pengeboran. Sehingga metode gempa mikro khususnya pada eksplorasi panas bumi digunakan untuk mengamati hasil *hydraulic fracturing* maupun proses injeksi, identifikasi kebocoran *casing* sumur (Rutledge dan Phillips, 2001).

Metode gempa mikro dapat menunjukkan sebaran zona-zona kejadian gempa melalui letak hiposenter dan episenter gempa bumi mikro. Dalam industri panas bumi, informasi lokasi hiposenter gempa bumi mikro dapat digunakan untuk melihat kecenderungan arah aliran air injeksi dan menggambarkan sesar yang merupakan zona dengan permeabilitas relatif tinggi untuk penentuan sumur produksi baru (Anissofira, dkk. 2013).

Secara umum terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gempa bumi mikro pada lapangan panas bumi, antara lain:

- 1. Adanya zona lemah yang terbuka atau bergeser akibat injeksi air sehingga meningkatkan tekanan pada batuan
- 2. Adanya kontak air dingin dengan batuan beku bersuhu tinggi (*heat source*)
- 3. Berkurangnya tekanan pori yang mengakibatkan menutupnya pori batuan reservoar karena hilangnya fluida pengisi pori batuan (akibat produksi fluida).

Analisis data gempa bumi mikro diawali dengan melakukan identifikasi waktu tiba gelombang Primer (P) dan gelombang (S) berdasarkan data gelombang seismik yang terekam pada tiga komponen oleh stasiun perekam (seismometer). Gelombang P merupakan gelombang seismik yang pertama kali terekam oleh seismometer dan yang mengalami perubahan frekuensi paling awal, pada saat perubahan frekuensi awal itulah dilakukan penentuan waktu tiba gelombang P. Sedangkan untuk penentuan waktu tiba gelombang S dilakukan pada gelombang yang mengalami perubahan frekuensi yang lebih besar setelah gelombang P mengalami pelemahan frekuensi (Pribadi, 2010). Gambar dibawah ini merupakan tahap awal pengolahan data gempa bumi mikro, berupa identifikasi fasa gelombang P dan gelombang S.



Gambar penentuan waktu tiba gelombang Primer (P) dan gelombang Sekunder (S) gempa bumi mikro (Zhang, dkk. 2009)

Berdasarkan data waktu tiba gelombang P dan gelombang S yang dapat digunakan untuk mengetahui lokasi hiposenter gempa bumi mikro. Pola distribusi hiposenter gempa bumi mikro pada area lapangan panas bumi dapat digunakan untuk mengidentifikasi rekahan-rekahan yang sangat mempengaruhi pengisian *reservoir* (Hilyah, 2010). Menurut Hijriani, dkk. (2017) daerah dengan tingkat seismisitas tinggi dapat merepresentasikan bahwa daerah tersebut memiliki rekahan dengan permeabilitas yang tinggi. Rekahan-rekahan tersebut merupakan salah satu faktor penting dalam kesetimbangan *reservoir* panas bumi (sirkulasi fluida dan aliran panas dalam *reservoir*). Sistem kesetimbangan tersebut akan secara terus menerus terisi kembali oleh air yang memasuki *reservoir*, kemudian air tersebut terpanaskan dan uap keluar dari *reservoir* menuju permukaan (Idat, dkk. 2016).

#### Parameter Gempa Bumi

Setiap kejadian gempa bumi akan menghasilkan informasi seismik berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang yang seteah melalui proses manual atau nonmanual akan menjadi data bacaan fase. Informasi seismik selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolah dan analisis sehingga menjadi parameter gempa bumi. Parameter gempa bumi tersebut meliputi: waktu kejadian gempa bumi, lokasi episenter, kedalaman sumber gempa bumi, kekuatan gempa bumi, dan intensitas gempa bumi.

- a. Waktu kejadian gempa bumi (*Origin Time*) adalah waktu terlepasnya akumulasi tegangan yang terbentuk penjalaran gelombang gempa bumi atau waktu saat gelombang meninggalkan sumber gempa dan dinyatakan dalam hari, tanggal, bulan, tahun, jam, menit, detik dalam satuan UTS (*Universal Time Coordinated*) (Stein, S.; Wysession, 2003).
- b. Episenter adalah titik di permukaan bumi yang merupakan refleksi tegak lurus dari hiposenter atau fokus gempa bumi. Lokasi episenter dibuat dalam system koordinat kartesian bola bumi atau system koordinat geografis dan dinyatakan dalam derajat lintang dan bujur (Stein, S.; Wysession, 2003).
- c. Kedalaman sumber gempa bumi adalah refleksi vertikal ke atas dari fokus gempa ke episenter.
- d. Hiposenter adalah lokasi dari gempa bumi atau sebagai fokus dari gempa bumi yang diketahui dari *arrival time* dari gelombang seismik yang terekam ada seismometer pada lokasi yang berbeda (Stein, S.; Wysession, 2003).
- e. Kekuatan gempa bumi atau magnitudo adalah ukuran kekuatan gempa bumi, menggambarkan besarnya energi yang terlepas pada saat gempa bumi terjadi dari amplitudo gelombang yang terekam dari seismogram (Stein, S.; Wysession, 2003).
- f. Intensitas gempa bumi adalah ukuran kerusakan akibat gempa bumi berdasarkan hasil pengamatan efek gempa bumi terhadap manusia, struktur bangunan dan lingkungan pada tempat tertentu, dinyatakan dalam skala MMI (*Modified Mercalli Intensity*) (Stein, S.; Wysession, 2003).

#### **Metode Inversi**

Metode inversi digunakan pada bidang seismologi, karena perekaman yang dilakukan tidak mungkin dilakukan secara langsung di bawah permukaan bumi. Proses inversi merupakan proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Tujuan proses inversi adalah untuk mengestimasi parameter fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya. Contoh masalah inversi dalam bidang geofisika adalah penentuan struktur bawah tanah, estimasi parameter-parameter bahan tambang, estimasi parameter-parameter akumulasi sumber energi, dan penentuan lokasi gempa bumi berdasarkan waktu gelombang dating (Supriyanto, 2007).

Tujuan utama dari kegiatan eksplorasi geofisika adalah untuk membuat model bawah permukaan bumi dengan mengandalkan data lapangan yang diukur pada permukaan bumi atau di bawah permukaan bumi atau di atas permukaan bumi dari ketinggian tertentu. Untuk mencapai tujuan ini, idealnya kegiatan pengukuran harus dilakukan secara terus menerus, berkelanjutan dan terintegrasi menggunakan sejumlah ragam metode geofisika (Supriyanto, 2007).



Gambar alur pemodelan inversi (Supriyanto, 2007)

Beberapa metoda inversi telah berhasil dikembangkan untuk mengekstraksi informasi parameter gempa dan struktur kecepatan gelombang gempa dari sekumpulan data waktu tiba gelombang gempa. Sejak itulah secara teoritis dan teknis struktur kecepatan gelombang gempa di bawah permukaan bumi dapat ditentukan dengan melakukan inversi pada sekumpulan data waktu tiba gelombang gempa yang terekam pada seismogram (Puspito, 1996).

# A. PENENTUAN KOMPONEN *EVENT* GEMPA MIKRO MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK GEOPSY

Dalam tahap ini perangkat lunak yang digunakan adalah perangkat lunak Geopsy. Berikut adalah tahap-tahap penetuan komponen *event* gempa mikro .

1. Masukkan (pilih) semua data rekaman seismograf yang akan ditentukan komponen *event* gempa mikro tersebut kedalam perangkat lunak Geopsy.

Name	Date modified	Type	Size
	12/6/2010 0.51 444	File felder	
2018001_210000_0b4ae_1_1	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,980 KB
2018001_210000_0b4ae_1_2	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	2,204 KB
2018001_210000_0b4ae_1_3	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	2,068 KB
2018001_210000_0b13c_1_1	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,508 KB
2018001_210000_0b13c_1_2	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,508 KB
2018001_210000_0b13c_1_3	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,552 KB
2018001_210000_0b14e_1_1	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	3,500 KB
2018001_210000_0b14e_1_2	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,632 KB
2018001_210000_0b14e_1_3	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,544 KB
2018001_210000_0b157_1_1	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	3,284 KB
2018001_210000_0b157_1_2	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,448 KB
2018001_210000_0b157_1_3	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,532 KB
2018001_210000_0b240_1_1	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,988 KB
2018001_210000_0b240_1_2	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	2,320 KB
2018001_210000_0b240_1_3	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	2,240 KB
2018001_210000_0b269_1_1	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	2,000 KB
2018001_210000_0b269_1_2	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,904 KB
2018001 210000 0b269 1 3	1/2/2018 3:40 PM	MSD File	1,876 KB
20180101-2137-35	1/9/2018 2:02 PM	JPEG image	65 KB
20180101-2137-35	1/9/2018 2:00 PM	PICK File	1 KB
20180101-2137-35_EVENT	1/9/2018 2:04 PM	JPEG image	170 KB
pick2wadati_1ev_2017.m	1/9/2018 8:18 AM	M File	2 KB
SeisGram2K	1/9/2018 2:06 PM	PICK File	1 KB
SeisGram2K70	9/26/2017 11:20 AM	Executable Jar File	3,869 KB
ed			
ils			

Berikut tampilan data yang telah berhasil masuk dalam perangkat lunak Geopsy.

File       Edit       View       Waveform       Tools       Windows       Help         Image: Solution of the second secon	sveform Tools Windows Help
Image: Second system       Image: Second system <td< th=""><th></th></td<>	
Files     B<×	6 x
All signals Temporary signals All files Temporary files 2018001_210000_0b13c_1_1.msd 2018001_210000_0b13c_1_2.msd	
2018001_210000_0b13c_1_3.msd         2018001_210000_0b14c_1_3.msd         2018001_210000_0b14c_1_3.msd         2018001_210000_0b157_1_1.msd         2018001_210000_0b157_1_3.msd         2018001_210000_0b240_1_3.msd         2018001_210000_0b240_1_3.msd         2018001_210000_0b240_1_3.msd         2018001_210000_0b240_1_3.msd         2018001_210000_0b250_1_3.msd         2018001_210000_0b250_1_3.msd         2018001_210000_0b250_1_3.msd         2018001_210000_0b250_1_3.msd         2018001_210000_0b269_1_3.msd         2018001_210000_0b269_1_3.msd         2018001_210000_0b269_1_3.msd         2018001_20000_0b269_1_3.msd         2018001_20000_0b269_1_3.msd	1.msd 2.msd 3.msd 1.msd 2.msd 3.msd 1.msd 2.msd 3.msd 1.msd 2.msd 3.msd 1.msd 2.msd 3.msd 1.msd 2.msd 3.msd 1.msd 2.msd 3.msd 1.msd 3.msd 1.msd 3.msd 1.msd 3.msd 1.msd 3.msd 1.msd 3.msd 3.msd 1.msd 3.
2018001_210000_0b4ae_1_2.msd 2018001_210000_0b4ae_1_3.msd	_2.msd

Lakukan analisis *event* gempa pada rekaman seismograf, apakah terdapat *event* gempa yang direkam (dicatat oleh minimal 3 stasiun pencatat), dan apakah kualitas rekaman gelombang gempa terdapat banyak *noise* atau tidak (*background noise*) pada data hasil perekaman.

Pilih semua rekaman pada setiap stasiun > klik kanan > graphic



Muncul grafik seperti gambar di bawah ini,

Geopsy -		-	transformenties. Mount	rilling.		
File Edit View Waveform Tools W	indows Help					
🥖 🖥 🖗 • 🔲 🗠 🗎			) 🔊 层 💹 🔟			
Files & X	Graphic - File 2018001 210	1000 0b13c 1 1.msd+File 2018001	210000 0b13c 1 2.msd+File 201800	1 210000 0b		
All signals Temporary signals	KX_B13C Z					
All files	YY 8120 7					
Temporary files	W_9190 2-					
2018001_210000_0b13c_1_1.msd	0(_B13C Z			<b>L</b>		
2018001_210000_0b13c_1_2.msd 2018001_210000_0b13c_1_3 mrd	XX_B14E Z-					
7010001_510000_00146_1_11100	XX_814E Z	le e contractione				
2018001_210000_0b14e_1_2.msd 2018001_210000_0b14e_1_3_msd	XX_B14E Z					
2018001_210000_0b157_1_1.msd	XX 8157 7-	and a standard		a a a a a a a a a a a a a a a a a a a	a a company a company a state of the second se	
2018001_210000_0b157_1_2.msd 2018001_210000_0b157_1_3.msd						
2018001_210000_0b240_1_1.msd	X 51572-					
2018001_210000_0b240_1_2.msd 2018001_210000_0b240_1_3.msd	XX_B157 Z					
2018001_210000_0b269_1_1.msd	XX_TES Z-					+ =
2018001_210000_0b269_1_2.msd 2018001_210000_0b269_1_3.msd	XX_TES Z-		- 19 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19 - 19		···	
2018001_210000_0b4ae_1_1.msd	XX_TES Z-					
2018001_210000_0b4ae_1_2.msd 2018001_210000_0b4ae_1_3.msd	YY TES 7					
	XX_1ES 2-					T. T.
	XX_TES Z-					
	XX_TES Z-			<b> </b> }		
	XX_TES Z			<b> </b>		
	XX_TES Z-					
	h 21h5m	21h10m 21h15m	21h20m 21h25m	21h30m 21h35m	21h40m 21h45m 21h50m 21h55m	n' 22
< <u> </u>		0		Time	Num Common and others	
Groups Files	Ime	U	wap.	U	word. Common V Offset	no •
100					18 signals, 18 files, free cache 264.808 Mb	0%

Keterangan :



= stasiun dan *event* gempa yang digunakan.

= *event* yang tidak digunakan karena hanya direkam oleh satu stasiun.

3. Pendefinisian komponen *vertical* dan *horizontal* pada masing-masing stasiun perekam gempa mikro.



Blok stasiun yang akan didefinisikan > klik kanan > *table* 

Geopsy -					-	i pro	-
File Edit View Waveform Tools W	ndows Help						
🥟 🗟 🐖 - 🔲 🗠 🖾	ER ER SPAC	F-K	574C		æ		🔝 🔝
Files 🗗 🕹							
All signals Temporary signals All files Temporary files Permanent files 2018001_210000_0b13c_1_1.msd							
2018001_210000_0b13c_1_2.msd	Table	Ctrl+T					
2018001_210000_0b13c_1_3.msd 2018001_210000_0b14e_1_1.msd 2018001_210000_0b14e_1_2.msd 2018001_210000_0b14e_1_3.msd 2018001_210000_0b157_1_1.msd 2018001_210000_0b157_1_2.msd 2018001_210000_0b240_1_1.msd 2018001_210000_0b240_1_2.msd 2018001_210000_0b240_1_3.msd 2018001_210000_0b269_1_1.msd 2018001_210000_0b269_1_3.msd 2018001_210000_0b269_1_3.msd 2018001_210000_0b269_1_3.msd 2018001_210000_0b269_1_3.msd 2018001_210000_0b269_1_3.msd	Graphic Map Time frequency analysis Particle Motion Noise reduction Spectrum H/V Remove	Ctrl+G					
2018001_210000_0b4ae_1_2.msd 2018001_210000_0b4ae_1_3.msd							

Klik *edit* > Uncheck lock table edition

🖝 Geopsy -				-		ander Manuel	-						
File Edit View Waveform Tools	Windows Hel	lp											
✓ Lock table edition Ctrl+K		🔛 🖶 🗖 🛛	N 🖾 🖾		¥ 层								
Files Sort	🔲 Table -	File 2018001_210000_0	)b13c_1_1.msd+File 2	018001_2100	00_0b13c_1	_2.msd+File 2018001_2	10000_0	0b13					10
Temp Set headers	ID N	Name Component	Time reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	ec z Type	
All file Set receivers	1 1 XX	(_B13C Vertical	01/01/2018 00:00:00	21h	22h	500	0.002	1800000	1h	0	0 0	Waveform	
Temp Set sources	2 2 XX	CB13C Vertical	01/01/2018 00:00:00	21h	22h	500	0.002	1800000	1h	0	0 0	Waveform	
20180 New group(s)	3 3 XX	(_B13C Vertical	01/01/2018 00:00:00	21h	22h	500	0.002	1800000	1h	0	0 0	Waveform	
2015001_210000_0013;1_3.mmd 2015001_210000_0013;1_3.mmd 2015001_210000_0014;1_3.mmd 2015001_210000_0014;1_3.mmd 2015001_210000_0015/7_1_3.mmd 2015001_210000_0015/7_1_3.mmd 2015001_210000_0015/7_1_3.mmd 2015001_210000_0015/0_1_3.mmd 2015001_210000_0015/0_1_3.mmd 2015001_210000_0015/0_1_3.mmd 2015001_210000_0015/0_1_3.mmd 2015001_210000_0015/0_1_3.mmd 2015001_210000_0014;1_3.mmd 2015001_210000_014;1_3.mmd 2015001_210000_014;1_3.mmd													

Kemudian rubah informasi "component" menjadi vertical, north, east. Rubah "name" sesuai file stasiun yang dibuka, apabila telah sesuai klik *edit > check lock table edition* seperti pada gambar berikut :

📕 Geopsy -					-	and an	service Nexada
File Edit View Waveform Tools Wir	idows	Help					
	<b>E</b> K	File Space	F-K F-K	M 🖾 🖾		¥ 层	
Files 🗗 🗙	Tak	ole - File 20	18001 210000 0	lb13c 1 1.msd+File 2	018001 21000	00 0b13c 1	2.msd+File 2018001 21
All signals Temporary signals	ID	Name	Component	Time reference	- Start time	End time	Sampling frequency
All files	11	XX_B13C	Vertical	01/01/2018 00:00:00	21h	22h	500
Temporary files	2 2	XX_B13C	North	01/01/2018 00:00:00	21h	22h	500
2018001_210000_ b13c_1_1.insd	33	XX_B13C	East	01/01/2018 00:00:00	21h	22h	500
2018001_210000_b13c_1_2.nsd 2018001_210000_b13c_1_3.nsd							

4. *Export* data dengan format .mseed agar dapat dibaca oleh perangkat lunak

Seisgram2K70.

🖝 Geopsy -					-	-	write thread	•						
File Edit View Waveform Tools Wir	ndows	Help												
$\swarrow \models \checkmark \models $														
Tes ଟ X 🔲 Table - File 2018001 20000 0h13r 1 1 mode File 2018001 20000 0h13r 1 2 mode File 2018001 20000 0h13r 1 2 mode File 2018001 20000 0h13														
All signals		Jie - File 20	10001_210000_0	JDISC_I_I.IIISU+FILE2	010001_2100	0_0015C_1	_2.11150 # File 2010001_2	10000_0						-
Temporary signals	D	Name	Component	lime reference	Start time	End time	Sampling frequency	dt	N samples	Duration	Rec x	Rec y	Rec z	Туре
All files	11	XX_B13C	Vertical	01/01/2018 00:00:00	21h	22h	500	0.002	1800000	1h	0	0	0	Waveform
Temporary files	22	XX B13C	North	01/01/2018 00:00:00	21h	22h	500	0.002	1800000	1h	0	0	0	Waveform
Permanent files	2.2	VV P12C	Fast.	01/01/2019 00:00:00	216	221	500	0.000	100000	11.	0	0	0	Way
2018001_210000_0b13c_1_1.msd	2.2	VV_DIDC	EdSL	01/01/2018 00:00:00	21n	220	500	0.002	100000	IU	U	U	U	waverorm
2018001_210000_0b13c_1_2.msd														
2018001_210000_0b13c_1_3.msd														
2018001_210000_0b14e_1_1.msd														
2018001_210000_0b14e_1_2.msd														
2018001_210000_0b14e_1_3.msd				6-				2	Y					
2018001_210000_0b157_1_1.msd				l 🔳 🖬 🖞	pe of file to	export	l	8	<u> </u>					
2018001_210000_0b157_1_2.msd														
2018001_210000_0b157_1_5.msd				Min	i seed (*.msee	ed *.msd *)			•					
2018001_210000_0b240_1_1.msd					lee orignal has	e name								
2018001_210000_0b240_1_3.msd					Dae original Das	SC FIGHTE								
2018001 210000 0b269 1 1.msd					maximum numb	er of signals	per file 3		A. V					
2018001_210000_0b269_1_2.msd														
2018001_210000_0b269_1_3.msd							OK	Cancel						
2018001_210000_0b4ae_1_1.msd														
2018001_210000_0b4ae_1_2.msd				_	_			-						
2018001_210000_0b4ae_1_3.msd														

*File* > *export* > pilih .mseed > *ok* 

# B. PENENTUAN WAKTU TIBA (*PICKING ARRIVAL TIME*) GELOMBANG PRIMER (P) DAN SEKUNDER (S) MENGGUNAKAN SEISGRAM2K70

Dalam tahap ini, yang perlu diperhatikan adalah kesamaan jam dan menit waktu tiba gelombang P dan S pada setiap *event* gempa mikro. Perhatikan saat menentukan waktu tiba gelombang P dan S, *event* gempa mikro tersebut terjadi dalam jam dan menit yang sama dan juga dengan detik yang berdekatan. Perhatikan langkah-langkah berikut untuk menentukan waktu tiba gelombang P dan S untuk setiap stasiun pengamat.

1. Buka *file* hasil *export* dari perangkat lunak Geopsy yang akan ditentukan waktu tiba gelombangnya menggunakan perangkat lunak Seisgram2K70



2. Penentuan waktu tiba gelombang gelombang P dilakukan pada komponen Z (*vertical*), Gelombang P adalah gelombang yang pertama kali terekam dan memiliki waktu perambatan relatif singkat. Sedangkan gelombang S memiliki ciri ada perubahan frekuensi setelah gelombang P dan ditentukan pada komponen N (*north*) atau E (*east*). Dalam proses penentuan waktu tiba gelombang P dan S, data yang digunakan adalah data *event* gempa yang memiliki nilai selisih waktu tiba gelombang S dan P (ts-tp) ≤ 3 detik.

Penentuan waktu tiba gelombang P dan S untuk setiap stasiun pengamat. Perhatikan gambar berikut,



 Mencatat data hasil penentuan waktu tiba gelombang P dan S ke dalam PRS (*Phase Report Sheet*)

FI	ILE HOM	IE INSERT	PAGE LAY	OUT F	ORMULAS	DATA	REVIE	W VIEV	v	
Pas	Cut E Copy te	t Painter	<u>u</u> - E	• 11 • E • 2		= = =	≫. €≣ <del>1</del> ≣	F Wrap T 🖽 Merge	Text & Center	Genera • \$ •
	Clipboard	Fa	For	it	G		Alignn	nent		<u>s</u> 1
01	.7 -	: × 🗸	$f_x$							
	В	С	D	E	F	G	н	1	J	К
1	Stasiun	Hari Perekaman	Arrival	Time Gelor	nbang P	Arrival	Time Gelo	mbang S	ts-tp	T Durasi
2	Stastan		Jam tp	Menit tp	Sekon tp	Jam ts	Menit ts	Sekon ts		· Durus
3	b13c		21	37	35.372	21	37	38.971	3.599	
4	b157		21	37		21	37			
5	b240	2018001_21	21	37		21	37			
6	b269		21	37		21	37			
7	b4ae		21	37		21	37			
8										

4. Mencari T durasi (Durasi /lama terjadinya gempa)

Cara menentukan lama gempa adalah mencari selisih antara waktu tiba gelombang Primer dan waktu akhir gempa dari gelombang yang berakhir pada latar belakang amplitudo yang sama dengan sebelum gelombang Primer tiba. Klik *del prev*, sehingga tanda *picking* gelombang S hilang > klik pada gelombang terakhir tepat sebelum *amplitude* kembali seperti semula.



Kemudian masukan nilai yang ada di dalam kotak merah ke PRS kolom "T durasi".

### C. MENGHITUNG NILAI MAGNITUDO GEMPA

Magnitudo gempa adalah sebuah besaran yang menyatakan besarnya energi seismik yang dipancarkan oleh sumber gempa. Skala yang kerap digunakan untuk menyatakan magnitudo gempa ini adalah Skala Richter (*Richter Scale*).

Secara umum besar kecilnya energi suatu gempa sangat bergantung pada *amplitude* maksimum (*peak to peak*) dan durasi gempa. Semakin besar dan lama gempa itu maka makin besar energinya. Terdapat hubungan antara *magnitude* (M) dengan logaritma durasi/lama gempa (Tdur) secara linier, dan dirumuskan seperti di bawah ini:

$$M = C_1 + C_2 \log T dur$$

Keterangan:

$$C_1 = -0.860$$
  
 $C_2 = 1,049$   
 $Tdur = durasi/lama gempa (s)$ 

Besarnya tetapan di atas dicari melalui regresi linier antara logaritma lama gempa dengan magnitudo (Suandayani, 2017). Cara menentukan lama gempa adalah mencari selisih antara waktu tiba gelombang Primer dan waktu akhir gempa dari gelombang yang berakhir pada latar belakang amplitudo yang sama dengan sebelum gelombang Primer tiba.

# D. PENENTUAN LOKASI AWAL HIPOSENTER GEMPA BUMI MIKRO MENGGUNAKAN METODE GEIGER (GAD)

Metode *Geiger* merupakan metode penentuan hiposenter tunggal, prinsip yang digunakan yakni dengan menghitung residual antara waktu perekaman (*observed*) dan waktu perhitungan (*calculated*) (Rohadi, dkk. 2012). Waktu perekaman (*observed*) merupakan waktu tempuh gelombang seismik pada stasiun ke-i dari hiposenter. Sedangkan waktu perhitungan (*calculated*) merupakan waktu tempuh yang dikalkulasi berdasarkan model kecepatan bawah permukaan.

$$r_{i} = t_{obs}^{i} - t_{cal}^{i}$$
$$= \left(\frac{\partial t_{i}^{cal}}{\partial x_{i}}\right) \Delta x + \left(\frac{\partial t_{i}^{cal}}{\partial y_{i}}\right) \Delta y + \left(\frac{\partial t_{i}^{cal}}{\partial z_{i}}\right) \Delta z + \Delta t_{0}$$

dengan :

 $r_i$  = selisih antara hasil observasi dan hasil kalkulasi pada stasiun ke-i  $\left(\frac{\partial t^{cal}}{\partial_x}\right), \left(\frac{\partial t^{cal}}{\partial_y}\right), \left(\frac{\partial t^{cal}}{\partial_z}\right)$  = turunan parsial waktu tempuh kalkulasi terhadap lokasi hiposenter inisial.

 $\partial_x$ ,  $\partial_y$ ,  $\partial_z$ ,  $\partial_t$  = perubahan lokasi hiposenter dan waktu tiba.

Metode *Geiger* hanya valid digunakan maksimum untuk 6 lapisan dan membutuhkan minimal data dari 4 fasa gelombang (Madrinovella, dkk. 2012).

Menurut hasil penelitian Madrinovella, dkk. (2012) hasil penentuan lokasi hiposenter menggunakan metode *Geiger* lebih banyak yang sesuai dengan data keadaan geologi (lebih dekat dengan sumber, yaitu sesar dan gunung api) dibandingkan dengan menggunakan metode tiga lingkaran. Namun, perhitungan dengan menggunakan metode tersebut umumnya masih mengandung kesalahan dari struktur kecepatan gelombang seismik yang tidak termodelkan (Rohadi, dkk. 2012). Oleh karena itu, kelemahan metode tersebut membutuhkan pembaharuan model struktur kecepatan gelombang 1-D.

Parameter gempa bumi mikro yang dihasilkan oleh metode ini diantaranya adalah waktu terjadinya gempa (*origin time*), nilai RMS *error*, koordinat dan kedalaman hiposenter gempa bumi mikro seperti pada gambar berikut :



Gambar skema perancangan metode inversi menggunakan metode Geiger.

Terdapat 4 *file* yang dalam penentuan lokasi hiposenter inisial menggunakan metode *Geiger* (GAD) :

- *File* yang berisi informasi tentang kode stasiun dan koordinat stasiun pengamat (*station.dat*)
- *File* yang berisi informasi tentang model kecepatan gelombang 1-D (*velocity.dat*)
- *File* yang berisi informasi tentang waktu tiba (*arrival time*) gelombang P dan S untuk setiap stasiun pengamat (*arrival.dat*)
- *File* yang berisi lokasi hiposenter gempa bumi inisial hasil inversi menggunakan metode *Geiger (Result.dat)* (Nishi, 2005).

Berikut *file* yang harus diperhatikan dalam metode *Geiger* (GAD): *File Arrival.dat* 

👕 arrival.dat - Notepad										
File Edit Fo	rmat	View	He	elp						
1201210128 1201210128	SDT BAS	29.4 32.3	104 371	+ +	I I	36.5 41.7	64 64	I I		
								-		
9999999999										

Keterangan :



#### File Station.dat



Keterangan :

Jumlah stasiun yang digunakan dan kode stasiun
Latitude stasiun pengamat gempa (UTM)
Longitude stasiun pengamat gempa (UTM)
Elevasi stasiun pengamat gempa

# File Velocity.dat

Eile Edit Format V	iew Heln					200 74 110	
nzLayer :	5			(15x,	i4)		~
zLayer : Vpl (nzl aver+1):	0.2	2.0	3.0	7.0	5.0	(15x,5f8.3) (15x,6f8.3)	
VsL(nzLayer+1):	2.0	23	2.5	2.6	2 9	(15x,6f8.3)	
							-
4							F

## Keterangan :

Jumlah lapisan	Nilai-nilai kecepatan gelombang P
Ketebalan lapisan	Nilai-nilai kecepatan gelombang S

## File Result.dat

Results.dat - Notepad		×
File Edit Format View Help		
nst : 2 Station List SDT 847.763 830.820661 BAS 866.505 821.540168 nZLayer: 5 zLayer: : .200 2.000 3.000 7.000 Vp : 3.500 4.000 4.300 4.500 Vs : 2.000 2.300 2.500 2.600	5.000 2.900	* III
Hypocenter Date 12 1 21 Time 1:28 Focal Element Probable Error X 837.251 .000 Y 873.673 .000 Z 13.561 .000 T 19.483 .000 Travel time residual rms= .013sec.		Ŧ
		▶

Keterangan :

Hasil inversi	
X : Latitude	
Y : Longitude	
Z : kedalaman	
T : detik origin time	
Nilai RMS Error	

# E. PENINGKATAN KEAKURASIAN PENENTUAN WAKTU TIBA GELOMBANG PRIMER (P) DAN SEKUNDER (S) MENGGUNAKAN ALGORITMA S-TRANSFORM

Pengunaan identifikasi *arrival times* gelombang P dan gelombang S dari *event* gempa bumi mikro dengan S-Transform dilakukan dengan proses komputasi. Menggunakan *script* yang telah dibuat dengan MATLAB.

a. *Script* yang telah dibuat di *run* terlebih dahulu.

Berikut adalah *script* untuk pengolahan S-Transform : clear all clc, close all %Read Data File [filename, pathname]= uigetfile ({'\*.mseed'},'File Selector','Select file(s)', 'MultiSelect', 'on'); pathname = repmat (pathname,length (filename),1); filename = [pathname char(filename')]; a = ReadMSEEDFast (filename (1,:)) %Komponen Vertikal b = ReadMSEEDFast (filename (2,:))%Komponen North c = ReadMSEEDFast (filename (3,:))%Komponen East %%

time=0:1/a.sampleRate:(a.numberOfSamples-1)\*(1/a.sampleRate); time2=0:1/b.sampleRate:(b.numberOfSamples-1)\*(1/b.sampleRate); time\_3=0:1/c.sampleRate:(c.numberOfSamples-1)\*(1/c.sampleRate); figure (1) subplot (3,1,1) plot (time , a.data)%(1:numel(a.data)) axis tight xlabel ('Waktu (s)') ylabel ('Amplitudo') title ('Data Seismogram Komponen Vertikal') subplot (3,1,2) plot (time2, b.data)%(1:numel(a.data)) axis tight xlabel ('Waktu (s)') ylabel ('Amplitudo') title ('Data Seismogram Komponen North') subplot (3,1,3) plot (time\_3 , c.data)%(1:numel(a.data)) axis tight xlabel ('Waktu (s)') ylabel ('Amplitudo') title ('Data Seismogram Komponen East') % Time windowing 1 pada Komponen Vertikal [x,y] = ginput (2);for i=1:2 selisih\_time = time-x(i); [~,pilih(i)] = min(abs(selisih\_time)); end time1=time(pilih(1):pilih(2)); data1=a.data(pilih(1):pilih(2)); % Time windowing 1 pada Komponen Vertikal [x1,y1] = ginput (2);for i=1:2selisih\_time1 = time2-x1(i); [~,pilih(i)] = min(abs(selisih\_time1));

end time3=time2(pilih(1):pilih(2)); data3=b.data(pilih(1):pilih(2)); %Plot hasil windowing figure (2)

%Komponen Vertikal subplot(3,2,1) plot (time1, data1) axis tight xlabel ('Waktu (s)') ylabel ('Amplitudo') title ('Time Windowing Seismogram Komponen Vertikal') hold on %Komponen N/E subplot(3,2,2) plot (time3, data3) axis tight xlabel ('Waktu (s)') ylabel ('Amplitudo') title ('Time Windowing Seismogram Komponen North/East')

% Time windowing 2 pada Komponen Vertikal [x,y] = ginput (2); for i=1:2selisih\_time2 = time1-x(i); [~,pilih(i)] = min(abs(selisih\_time2));

end time4=time1(pilih(1):pilih(2)); data4=data1(pilih(1):pilih(2)); subplot(3,2,3) plot (time4, data4) axis tight xlabel ('Waktu (s)') ylabel ('Amplitudo')

title ('Time Windowing Seismogram Komponen Vertikal') hold on

%% Pengolahan ST Komponen Vertikal [st,t,f] = st(data4,0,600,1/500,10); % atur frekuensi sampling dan periodenya sesuai dengan reading % figure, pcolor(t,f,abs(st)) % timeseries,minfreq,maxfreq,samplingrate,freqsamplingrate t = time4; z = abs(st); subplot (3,2,5) pcolor(t,f,abs(st)); shading interp; hold on contour (t,f,abs(st),'r'); xlabel ('Waktu (s)') ylabel ('Frekuensi') title ('S-transform') zoom on zoom off zoom out zoom reset zoom xon zoom yon hold on

%% %Time windowing 2 pada Komponen N/E [x,y] = ginput (2); for i=1:2 selisih\_time3 = time3-x(i); [~,pilih(i)] = min(abs(selisih\_time3)); end time5=time3(pilih(1):pilih(2)); data5=data3(pilih(1):pilih(2)); subplot(3,2,4) plot (time5, data5) axis tight xlabel ('Waktu (s)') ylabel ('Amplitudo') title ('Time Windowing Seismogram Komponen North/East')

%Pengolahan ST untuk Komponen N/E
[st2,t2,f2] = st2(data5,0,600,1/500,10); % atur frekuensi sampling dan
periodenya sesuai dengan reading
% figure, pcolor(t,f,abs(st))
% timeseries,minfreq,maxfreq,samplingrate,freqsamplingrate t2 = time5;
z2 = abs(st2); subplot
(3,2,6)
pcolor(t2,f2,abs(st2)); shading interp; hold on contour (t2,f2,abs(st2),'r');
xlabel ('Waktu (s)')
ylabel ('Frekuensi') title ('S- transform') zoom on
zoom off zoom out zoom reset zoom xon zoom yon hold on

%% Picking Arrival Time pada Komponen Vertikal [x y]=ginput(1) x1 = x(1,1) plot ([x1 x1],[0 y],'Color',[1 1 0])

x=x/3600 x\_j = floor (x) x\_m=(x- x\_j)\*60 x\_m1=floor(x\_m) x\_s=(x\_m-x\_m1)\*60

 $[x_j x_m1 x_s]$ annotation ('textbox', [0.25, 0.050, 0, 0],'String',"MM : SS ="+ x\_m1 + ":" + x\_s,'FitBoxToText','on','FontSize',9) %Picking Arrival Time pada Komponen N/E [x y]=ginput(1) x2 = x(1,1) plot ([x2 x2],[0 y],'Color',[1 1 0]) x2=x2/3600 x\_j2 = floor (x2) x\_m2=(x2-x\_j2)\*60 x\_m3=floor(x\_m2) x\_s2=(x\_m2-x\_m3)\*60 [x\_j2 x\_m3 x\_s2] annotation ('textbox', [0.70, 0.050, 0, 0],'String',"MM : SS =" + x\_m3 + ":" + x\_s2,'FitBoxToText','on','FontSize',9)

b. Pilih 3 data yang merupakan komponen-komponen (*East*, *North*, dan *Vertical*) yang berupa format .mseed telah disiapkan. Dari hasil tampilan dengan durasi 1 jam tersebut dilakukan *time windowing* terhadap komponen vertikal dan *North/East* domain waktu yang terdapat *event* gempa bumi mikro.

c. Data *event* gempa bumi yang akan digunakan telah diketahui karena telah dilakukan proses *picking* terlebih dulu secara kualitatif sehingga mempermudah mengetahui event gempa bumi mikro. Berikut adalah tampilan data seismogram (Kotak dengan garis lurus berwarna merah merupakan data yang dilakukan *time windowing*).



- d. Hasil dari *time windowing* pada kedua komponen tersebut ditampilkan kembali untuk dilakukan *time windowing* kembali untuk mempermudah proses komputasi dalam tahap S-Transform. *Time windowing* dengan terdapatnya *function* dari *script* untuk dapat memilih waktu yang akan di*cut*.
- e. Terdapat baris pertama yang menunjukkan hasil *time windowing* dari gambar pada komponen Z dan N/E, baris kedua menunjukkan tampilan data seismogram yang terdapat *event* gempa bumi mikro yang telah dilakukan *time windowing* kembali pada baris pertama dan dari *time windowing* baris kedua yang akan selanjutnya dilakukan proses komputasi untuk menghasilkan S-Transform.

f. Perhatikan gambar berikut,



g. Hasil akhir berupa tampilan S-Transform yang ditampilkan pada gambar diatas, baris ketiga. Kemudian dilakukan *picking arrival time* gelombang P dari hasil komponen *vertical* dan gelombang S pada komponen *North/East*. Pada hasil S-Transform, terdapat garis berwarna merah yang menunjukkan kontur pada spektrum amplitudo untuk mempermudah mengetahui adanya peningkatan amplitudo. Hasil *picking* pada masing-masing komponen berupa waktu (dalam menit dan detik) tersebut ditampilkan kolom bagian bawah S-Transform.

# F. UJI LOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI MIKRO MENGGUNAKAN METODE COUPLED VELOCITY-HYPOCENTER (VELEST 3.3)

Uji lokasi hiposenter lanjutan yang dilakukan dalam modul ini adalah uji lokasi hiposenter yang dilakukan secara simultan menggunkan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* (Kissling, dkk. 1995). Metode ini merupakan metode relokasi gempa dengan dan koreksi stasiun secara bersamaan menggunakan prinsip metode *Geiger*, model kecepatan hasil dari metode ini diperbaharui menggunakan persamaan *Kissling* berikut,

$$r_{res} = t_{obs}^{i} - t_{cal}^{i}$$
$$= \sum_{k=1}^{4} \frac{\partial_f}{\partial h_k} \Delta h_k + \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial_f}{\partial m_i} \Delta m_i + e$$

Keterangan :

 $r_{res}$  = residual waktu tempuh observasi dan waktu tempuh kalkulasi

f = fungsi terhadap s, h, m. S = lokasi stasiun, h = lokasi hiposenter dan waktu tiba, m= model kecepatan

k =jumlah hiposenter

n = jumlah parameter model kecepatan dan mewakili semua kesalahan termasuk kesalahan perekaman, perhitungan dan kesalahan model kecepatan

i =jumlah stasiun

e = koreksi stasiun.

Metode *Coupled Velocity-Hypocenter* merupakan metode inversi *travel time*. Data waktu penjalaran gelombang (*travel time*) yang digunakan dalam penelitian merupakan selisih antara waktu tiba gelombang dengan waktu terjadinya gempa. Parameter *input* yang dibutuhkan dalam metode ini antara lain data koordinat serta elevasi stasiun perekam gelombang seismik, model kecepatan satu dimensi gelombang P, data waktu penjalaran gelombang P dan S untuk setiap *event* gempa, nilai rasio Vp/Vs, dan nilai elevasi rata-rata stasiun perekam gelombang sismik, seperti yang digambarkan pada gambar berikut:



# Gambar skema perancangan metode inversi menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter*

Parameter-parameter tersebut diolah sehingga menghasilkan parameter *output* dan parameter terkoreksi hasil uji lokasi menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter*. Hasil uji lokasi hiposenter gempa bumi mikro (koordinat dan kedalaman), nilai RMS *error*, nilai GAP, model kecepatan gelombang P 1-D hasil inversi dan nilai koreksi stasiun. Sedangkan untuk parameter terkoreksi dari metode ini terdiri dari, model kecepatan satu dimensi gelombang P daerah penelitian, lokasi hiposenter, nilai koreksi stasiun serta waktu terjadinya gempa bumi mikro.

Kedua distribusi lokasi hiposenter gempa bumi mikro baik hasil penentuan menggunkaan metode *Geiger* ataupun hasil uji lokasi menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* dipetakan/ divisualisasikan sehingga dapat dilakukan identifikasi dan analisa lokasi hiposenter gempa bumi mikro di daerah penelitian.

Metode *Coupled Velocity-Hypocenter* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan antara lain gempa lokal, eksplorasi lapangan tambang, dan seismik aktif (Rachman dan Nugraha, 2012). Metode ini telah digunakan untuk relokasi hiposenter dan pembaharuan kecepatan, diantaranya oleh (Rachman dan Nugraha 2012; Rochman, dkk. 2012; Garini, dkk. 2014; Akbar, dkk. 2015; Utama dan Garini, 2018).

Pada *processing* data MEQ menggunakan VELEST 3.3, terdapat beberapa data *input* dengan format *file* sebagai berikut:

- File dengan format .cmn merupakan file yang berisi parameter kontrol
- File dengan format .sta merupakan file yang berisi informasi stasiun pengamat
- File dengan format .mod merupakan file model kecepatan 1-D inisial
- *File* dengan format .cnv merupakan *file* data waktu tempuh (*Travel time*) gempa
- *File* dengan format .out merupakan *file* hasil inversi (hiposenter, *origin time*, koreksi stasiun, serta model kecepatan 1-D hasil inversi daerah penelitian) (Kissling, 1995)

	= caldlimod - We	edPad.	-		00	an Xana	
D · X	Counter New + 11 B Z U aba × x	· A' x' 1	K (K )⊟ + (S +	ansert	A Find E Replace		Keterangan :
Copesant -Z-1-1-	Fant 1 - 2 - 1 - 3 - 1 - 4 - 1 - 5	-1-6-1-7-1-	Paragraph 8 • • • 9 • • • 10 • • •	11 - + -1	Edding 2 · + -13 · + ·14 · + ·15	ij + 16+	Stasiun referensi
CALAV	ERASID-modell (n vel.depth.t	od1.1 EK280 damp,phase	993) Ref. : (f5.2,5x,f7.)	tati 2,2x,	on PMBM £7.3,3x,al)	Â	Jumlah lapisan
3.28 3.46 3.18 2.95 5.59 5.10	0.0 00 1.0 00 6.0 00 10.0 00 15.0 00 20.0 00	01.00 01.00 01.00 01.00 01.00	P-VELOC:	ITY M	ODEL	E	Nilai-nilai kecepatan gelombang P
6.68 6.98 9.07	25.0 00 30.0 00 36.0 00	01.00					Kedalaman
9.07	36.0 00	01.00	CAP	100%	© — 0 —	•	

File model kecepatan gelombang Primer (P) 1-D inisial (.mod)

File stasiun pengamat gempa (.sta)

🛎 । 🔜 🤊	🖓 🗢 🛛 calvel.sta - WordPad	ł	and the second second	a 1000 at	-		x
H I	Home View						۲
Paste	Courier New         *         11           B         I         II         abe         X <sub>2</sub> x <sup>2</sup>	• A* A* Ø • <u>A</u> •			Insert *	라 Find 라 Replace	
Clipboard	Font		Para	agraph		Editing	
H COIMOO SDTMO1 BASM01 PMBM00 LBAM00	4,a1,1x,f8.4,a1,1 90555 119.9967E 37318 119.9726E 20638 119.8601E 98098 119.9537E 62048 119.5896E	<pre>x, i4, 1x 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1</pre>	,i1,1x, 1 0.00 2 0.00 3 0.00 4 0.00 5 0.00	i3,1x,f5 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	.2,2x 1 1 1 1	,£5.2)	
Ketera	ngan ·			100	% (=) <sup>,</sup>	0	ا

Kode nama, *latitude* dan *longitude* stasiun pencatat gempa yang digunakan

## *File* data waktu tempuh (*travel time*) gempa bumi (.cnv)

<b>B</b> 1 <b>G</b> 9	🗧 🗢 🛛 calarea7.cnv - WordPad	Contraction Reality		
	Home View			Ô
Paste Clipboard	Courier New $\bullet$ 11 $\bullet$ $A^*$ <b>B</b> <i>I</i> $\underline{U}$ abs $\times_2$ $\times^2$ $\underline{A}^*$ Font	fr fr i⊟ • ↓≣• E = = = = fr Paragraph	Picture Paint Date and Insert	와 Find 라 Replace Select all Editing
· · · 1 · · · >	12345	6 · · · 7 · · · 8 · · · 9 ·	· ·10· · ·11· · ·12· · ·13· · ·14·	· ·15 <u>人</u> · ·16 · · ·17 · ·
	- 120818 751 59.59 01.3100 0.03 1.0 1.0	s 120.0300E	3.80 0.00 7 0	).0
	SDTMPO 2.31PMBMPO 7.18P 4.22PMBMSO 12.38 LBAMSO 24.34	CIMPO 9.26LBAN	MPO 13.92SDTMS0	÷
1			100% 🔵 🦟	- <b>0</b> +

Keterangan :



### File Prameter kontrol (.cmn)

💭 velest - Notepad	23
File Edit Format View Help	
****** CONTROL-FILE FOR PROGRAM VELEST (28-SEPT1993) ******	
*** (all lines starting with * are ignored!) *** (where no filename is specified, *** leave the line BLANK. Do NOT delete!) ***	
*** next line contains a title (printed on output): CALAVERAS area7 1.10.93 EK startmodell vers. 1.1 *** starting model 1.1 based on Castillo and Ellsworth 1993, JGR *** olat olon icoordsystem zshift itrial ztrial ised -07.1917 107.4147 0 -1.970 0 0.00 0	
*** neqs nshot rotate 457 0 0.0	
*** isingle iresolcalc 0 0	
*** dmax itopo zmin veladj zadj lowveloclay 360 0 -0.20 0.20 5.00 0	
*** nsp swtfac vpvs nmod 1 0.00 1.299 1	Ŧ
<	•

Keterangan :

<i>Latitude</i> dan <i>Longitude</i> stasiun referensi	Jumlah data	Elevasi rata-rata	Nilai rasio
	gempa bumi	stasiun pengamat	vp/vs
			-

# *File* model kecepatan 1-D gelombang P hasil inversi daerah penelitian (.mod)

Output	model: 6	
2.61 2.70 2.81 2.87 2.89 3.50	-3.( -1.( 0.( 1.( 2.( 5.(	$\begin{array}{cccc} 00 & 1.000 \\ 00 & 1.000 \\ 00 & 1.000 \\ 00 & 1.000 \\ 00 & 1.000 \\ 00 & 1.000 \\ 00 & 1.000 \end{array}$

Keterangan :

Kedalaman	Kecepatan	Jumlah lapisan
-----------	-----------	----------------

## File hasil inversi/relokasi (.out)

~~	output	final	hypocenters	
----	--------	-------	-------------	--

GAP of final ep	icenters:			
Event# -> GAP 1 -> 232 6 -> 247 11 -> 240 16 -> 317 21 -> 317 26 -> 317 31 -> 313 36 -> 265 41 -> 284 GAPs were betwe (average G	Event# -> GAP 2 -> 238 7 -> 334 12 -> 324 17 -> 319 22 -> 321 27 -> 319 32 -> 319 32 -> 319 37 -> 268 42 -> 349 en 156 and 349 AP was 287)	Event# -> GAP 3 -> 251 8 -> 213 13 -> 318 18 -> 318 23 -> 324 28 -> 329 33 -> 273 38 -> 267	Event# -> GAP 4 -> 226 9 -> 248 14 -> 318 19 -> 318 24 -> 316 29 -> 341 34 -> 156 39 -> 330	Event# -> GAP 5 -> 199 10 -> 258 15 -> 313 20 -> 319 25 -> 319 30 -> 317 35 -> 162 40 -> 311

# G. *PLOTTING* LOKASI EPISENTER GEMPA BUMI MIKRO MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK ARCGIS

Pada tahap ini digunakan perangkat lunak ArcGis. Pada *file* ini sudah terdapat data mendukung untuk penampilan peta ini yang dapat dilihat pada gambar berikut (selain titik episenter).



Untuk memasukkan data yang dalam hal ini berupa data episenter gempa bumi mikro, maka data tersebut dibuat terlebih dahulu dalam bentuk *file* dengan format .txt. Setelah data berupa titik episenter (X,Y) maka dimasukkan kedalam perangkat lunak dengan langkah sebagai berikut:



Klik pada toolbar 'File' lalu klik 'Add Data' > 'Add XY Data'

Setelah itu tampil dialog box '*Add XY Data'*. Setelah itu pilih *file* dengan klik yang terdapat kotak berwarna merah tersebut.

Klik file yang akan digunakan dalam bentuk format .txt.

Add	Add XY Data A table containing X an map as a layer Choose a table from th	d Y coordinate data can e map or browse for an	be added to the other table:	×
Look in: GEODIPA CREATE CRE	Home - Naomi Nadya_( er mi 0624T121817Z-001	0341154C V Le La gad.txt gad.crgis.txt geiger_petrel.txt plot_Geiger.txt produksi.txt pth_arcgis.txt st_petrel.txt stransform_petrel.txt	Image: wide of the second	arcgis.bt eiger.bt a.bt ansform.bt
<				>
Name:	gad.txt			Add
Show of type	Tables		~	Cancel
225	Show Details	lting layer will have rest	Edit	S
В	About adding XY data	OK	Cancel	E

Setelah itu atau keterangan kolom dari data .txt. yang berupa X dan Y. Klik 'OK'.

Add	Add XY Data A table containing X and Y coordinate data of map as a layer Choose a table from the map or browse for	can be added to the another table:
GEODIPA GEODIPA New Fold PETA Peta Naoi Plot-2019 aster.asc cvh1.bt cvh2.bt cvh3.bt	gad.txt ler gad_arcgis.txt geiger_petrel.txt injeksi.txt 0624T121817Z-001 plot_Geiger.txt produksi.txt pth_arcgis.txt sta_petrel.txt stransform_petrel	ww_arcgis.bt ww_arcgis.bt xy_geiger.bt xy_sta.bt xy_transform.bt
Name: Show of type:	gad.txt Tables	Add Cancel
- Z Z B	Show Details       Warn me if the resulting layer will have r       About adding XY data	Edit restricted functionality Cancel

oose a table from the map or browse for a	nother table:
pecify the fields for the X, Y and Z coordin	nates:
Field:	·
Field:	
Field:	
Description: Projected Coordinate System: Name: WGS_1984_UTM_zone_48S	^
Description: Projected Coordinate System: Name: WGS_1984_UTM_zone_48S Geographic Coordinate System: Name: GCS_WGS_1984	^
Coordinate system of input Coordinates Description: Projected Coordinate System: Name: WGS_1984_UTM_zone_48S Geographic Coordinate System: Name: GCS_WGS_1984	~ ~

Untuk mengatur beberapa hal terkait dengan warna, bentuk, dan nama dapat dilakukan dengan klik kanan pada data *input* akan diatur pada '*Table of Contents*'. Setelah itu, pilih pada bagian '*Properties*'.



Maka akan muncul *dialog box 'Layer Properties'* yang dapat diatur nama, warna, bentuk dari simbol dan sebagainya.

General Source Selection Display Symbology Fields Definition Query Labels Joins & Relates Time HTML Popup         Show:         Features         Single symbol         Categories         Quarities         Oharts         Multiple Attributes         Egend         Label appearing next to the symbol in table of contents:         Description         Additional description appearing next to the symbol in your map's legend	Layer Properties									×
Show:       Praw all features using the same symbol.       Import         Single symbol:       Categories       Symbol         Charts       Charts       Advagced •         Multiple Attributes       •       Advagced •         Label appearing next to the symbol in table of contents:	General Source Select	on Display	Symbology	Fields	Definition Query	Labels	Joins & R	elates	Time	HTML Popup
	General Source Select Show: Features Single symbol Categories Quantifies Charts Multiple Attributes	Draw all f	pearing next	to the state of th	ymbol in table of co	Adva Adva	Joins & H	elates Ir	Ime Inport	HIML Popup

gad.txt Events		$\checkmark$	Visible	
			^	
ne range of scales	at which this laver will	he shown:		
t all scales				
ver when zoomed				
(Mana)	(		Hoff 1 M	
<none></none>		ae)		
<none></none>	(maximum s	vcale)		
<none></none>	(maximum s	icale)		
<none></none>	(maximum s)	cale)	A X	
<none></none>	√ (maximum s	cale)	and a second	
<none></none>	v (maximum s	cale)	A F	
	naclist Events	readed and the second	graduitation     Image: Second S	saduktevents     ✓ Visible   Image of scales at which this layer will be shown: t all scales yer when zoomed: (None> ✓ (minimum scale)

Centang pada bagian '*Table of Contents*' yang akan ditampilkan pada peta (sesuai dengan kebutuhan)



Jika peta sudah siap, maka dapat peta data di-export menjadi gambar (.jpeg)

# H. PLOTTING LOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI MIKRO PADA PENAMPANG 2D MAGNETOTELLURIK MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK LEAPFROG GEO

Disiapkan data berupa penampang 2D yang pada hal ini merupakan hasil penampang pengolahan 2D Magnetotelurik dan titik koordinat dari masing-masing awal dan akhir lintasan penampang.

Setelah data siap, maka dapat dilakukan pengolahan dengan menggunakan perangkat lunak yaitu, Leapfrog Geo. Lalu membuat '*New Project*' atau membuka *project* yang sudah ada.

Tampak awal saat membuka perangkat lunak Leapfrog Geo adalah seperti gambar di bawah ini,



Hal pertama yang dilakukan yaitu memasukkan *cross section* dari penampang 2D Magnetotelurik (MT). Langkah-langkah untuk hal tersebut, sebagai berikut:

1. Pada bagian '*Project Tree*', klik kanan pada pilihan '*Cross Section and Contours*' dan pilih '*New Cross Section From Image*' dikarenakan data penampang berupa gambar.

Leapfrog Geo 🔻 📘			🔻 🔡 Pro	jects 🗊
e Project Iree	<b></b>			
APP CAH WMM				
🤹 gad				
GAD_MT_FIX1				
🎭 pth				4
∜⊳ ww				3
🍫 GAD_MT_FIX1				
🍫 GAD_MT_FIX1				2
🚞 Polylines				
Structural Modelling			n l	, <u> </u>
E Form Interpolants				evat n.a.:
🛅 Stereonets				前り
🛅 Structural Trends				-1
🛅 Meshes				
🛅 Geological Models				-2
🛅 Interpolants			=	-3
Combined Models				
🛅 Hydrogeology				
Elock Models				
E Saved Scenes and Movies		=	- * CVII	DTU
Cross Sections and Contours	(449		0 85 CVH	PIR
🕨 🇊 Gambar VI 143. Profil resist	New Cross S	section	From Image	
🕨 🇊 Gambar VI 144. Profil resist	Mew Cross S	section		K1
🕨 🧊 Gambar VI 145. Profil resist	Mew Fence	Section	1	
Geochemistry	Mill New Serial S	ection		
ioGAS [not connected]	New Contor	ur Line	s From Surface.	·
Concertainty Studies	🛅 New Subfol	der		43 1
Estimation			a 🥙 Gami	or VI 144
🛅 Colour Gradients			Game	oar vi 144. i
Notes		~	🔹 🧆 🖉 Gamb	oar VI 145. I
4		+		

2. Pilih gambar penampang yang akan digunakan.



3. Gambar penampang/cross section akan muncul, lalu masukkan keterangan koordinat (X,Y) serta kedalaman (Z) sesuai dengan posisi dari masing masing marker. Titik koordinat untuk pengolahan ini harus konsisten dari awal. Setelah selesai memasukkan keterangan koordinat, maka klik 'Import' yang berada pada toolbar bagian atas dan ditanda oleh kotak



berwarna merah.

Klik Internet and the second se



5. Ulang tahap-tahap tersebut jika terdapat penampang 2D lainnya.

Setelah semua penampang sudah dimasukkan pada 'Scene View'. Selanjutnya memasukkan titik atau points yang pada hal ini berupa titik gempa bumi mikro. Data tersebut disiapkan terlebih dahulu pada Microsoft Excel yangterdiri dari 3 kolom yaitu koordinat berupa X dan Y serta data kedalaman Z. Perlu diingat kembali, sistem koordinat dan dimensi kedalaman yang digunakan harus sesuai dengan titik koordinat yang telah digunakan saat memasukkan data penampang 2D. Setelah data pada Microsoft Excel sudah disiapkan, maka file tersebut disimpan dalam format .csv. Jika sudah siap, maka dapat diolah pada perangkat lunak Leapfrog, sebagai berikut:



- Klik kanan pada bagian project tree 'Points', kemudian klik 'Import Point'.
- 7. Kemudian pilih data yang akan digunakan dalam format .csv.



Setelah itu, data dalam *file* tersebut akan dimunculkan kembali. Lalu, aturlah pada bagian '*Column Summary*' terkait dengan keterangan kolom pada *file* tersebut yang sesuai. Dalam *file* ini merupakan susunan X, Y, dan Z. Lalu klik '*Finish*' yang terdapat pada pojok bawah kanan.

			Name: R Profil re	esistivitas 2D untuk	cline C	···// Cror	lmage 👘	X (+	/ 50%		▼ (−) (1:1)	🖻 import	leln			_
Z						Import i	oints gao							_ □	×	
File	Data									0	Column Summary					
	Not Imported	Not Imported <del>v</del>	Not Imported <del>v</del>						, Â		Column	Import As	Imp	ort Name		
1	767796.0495	9205086.995	2568						=		column	Not Imported	•			
2	766827.0013	9203389.048	2275							1	column_1	Lithology				
3	768486.0325	9202485.991	2207								column_2	Category				
4	768013	9207507	2166									Text				
5	767665	9204146	2083									Numeric				
6	765141	9205162	2078									Time Stamp				
7	767639	9205819	2034									Date				
8	767462	9208372	2028									URL				
9	768497	9205002	1993									Not Importe	d			
10	769850	9206300	1970							Ξ		East (X)				
11	768280	9206548	1967									North (Y)				
12	768316	9202730	1946							ľ		Elev (Z)				
13	769814	9205507	1935							1	Na <u>m</u> e:	gad				
14	770117	9203866	1933							0	C <u>h</u> aracter encoding:	Auto (Windows-12	52)			
15	768437	9203065	1923												=	
16	766938	9203851	1916							1	Unique Row ID:	None				
17	768726	9202661	1849							5	Select Header <u>R</u> ow:	1			\$	
18	768139	9204406	1840									Import	All Co	lumns		
19	773002	9204039	1826								No. 177 5					
20	768009.9664	9207170.013	1630								Date and Lime For	mats				
21	767425 9570	0204670 156	1511						•		CSV characters					
	telp											<b>×</b>	ancel	<b>₽</b>	nish	

9. Klik dan lalu klik '*Run All'* yang akan menampilkan data pada '*Scene View*'.

<mark>ይ</mark> Leapfrog Geo ▼	11	⊽	🔡 Projects 🗊 Scene V
Project Tree			0:00:00
CVH_WWW			
ad gad	▶ <u>R</u> un All	Priority Only	Pause
GAD_MT_FIX			
pth	No processina tasks		
www.	the processing cashs		
🍫 GAD_MT_FIX			
🍫 GAD_MT_FIX			
Polylines			
▼ 🛅 Structural Model			
🛅 Form Interpo			
Stereonets			
🛅 Structural Tre			
🛅 Meshes			
🛅 Geological Mode			
interpolants			
🛅 Combined Mode			
📄 Hydrogeology			
🛅 Block Models			
📄 Saved Scenes an			
▼ 🛅 Cross Sections a			
🕨 👂 Gambar VI 1			
🕨 🎉 Gambar VI 1			
🕨 🇊 Gambar VI 1			
▼ 🛅 Geochemistry			
ioGAS [not c			
🚞 Uncertainty Stud			
Estimation			
Colour Gradients			
Notes		~	
4		•	

10. Setelah itu, atur data menjadi *'Spherical Points'* dengan klik kanan pada bagian data yang digunakan lalu ukuran dari *point* dan warna itu sendiri yang terdapat pada bagian bawah kanan *'Scene View'* yang diatur sesuai dengan kebutuhan.

8				04	iomi - Lea	ptrog Geo					- 2
keapfrog Geo *	• 😹 Pro	ojects 🞯 Scene	View 🛄 G	iambar VI	143. Profil re	sistivitas 2D untuk L	ine C ×				
😫 Project Iree 👘 🔍	5	Look +	18	1		1 1					
Åj: CVH, WWW       Åj: gad       Åj: GAD_MT,FIX1       Åj: GAD_MT,FIX1       Åj: GAD_MT,FIX1       Åj: GAD_MT,FIX1       Polylines       Polylines       Structural Modelling       Environments       Environments		4000 - 3000 - 2000 - © 5 ⊕ 1000 - © 500 to Project Qascity	Tree							4000 LIN Magne	IE E totelurik
Structural Trends  Meches Geological Models Combined Models Hydrogeology		Slice Mode Display Colour Spherical Poi	nts	•	4000 5000	ecco rose ecco Distan	a seco 10000 11000 ice (m)	12000 13000 14000	1500 1000 SE		Plunge 00 Azimuth 042
Block Models Saved Scenes and Movies Concestance and Contenues	· A, CVI	Remove All Ir	wisible			×	& Flat col			A Ry gad	
Gambar VI 143. Profil resistivitas 2D untuk Line     Gambar VI 144. Profil resistivitas 2D untuk Line     Gambar VI 144. Profil resistivitas 2D untuk Line	<ul> <li>Age GAE</li> <li>Age gad</li> </ul>	Move List to I	Right parate Tab			×	Flat col			Slice mode: Query filter:	From Scene No Filter
Generative     Geochemistry	<ul> <li>Appendix</li> <li>Appendix&lt;</li></ul>					x	S Flat col •			A Point radius: A Radius value	90.000 Fixed Radius
Uncertainty Studies	👁 🍏 Gam	bar VI 143. Profil re	esistivitas 2D	untuk Lir	ne C	ж	Gamba•			For	mat Display Text
Colour Gradients	👁 🥵 Gam 👁 🌋 Gam	bar VI 144. Profil re bar VI 145. Profil re	esistivitas 2D esistivitas 2D	untuk Lir untuk Lir	ne E	×××	Gamba•		8		

Setelah itu, pada 'Scene View' dapat mengatur penampilan data yang diinginkan secara 3 dimensi. Atur penampilan sesuai keinginan dan hasil penampilan dapat dijadikan gambar dengan klik pada bagian 'Leapfrog Geo' pada pojok atas kiri dan klik pada 'Render Image'. Setelah itu simpan gambar dengan klik pada bagian 'Save' sesuai dengan folder.



Berikut adalah contoh hasil *plotting* distribusi lokasi hiposenter gempa bumi mikro menggunakan perangkat lunak Leapfrog Geo.



# I. *PLOTTING* LOKASI HIPOSENTER GEMPA BUMI MIKRO MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK PETREL 2019

Untuk menampilkan data berupa titik titik gempa bumi mikro (X,Y,Z) pada perangkat lunak Petrel 2019 dapat dilakukan melalui tahap sebagai berikut:

- Data titik gempa bumi mikro (X, Y, Z) sudah dapat format .txt.
- File project sudah terdapat surface berupa data dari DEM (Digital Elevation Model)





Look i	n: 🚺 hasl mt	÷	0 1 0 0-	
A Quick access	Neme	*	Date modified 12/16/2016 12:24 12/16/2016 13:25	Type * PNG Fi
Desister	6c.png		12/16/2016 12:23 12/16/2016 12:24	PNG Fi PNG Fi
Desitop	Tepng		12/16/2016 12:26 12/16/2016 12:23 12/16/2016 12:23	PING FI PING FI PING FI
Libraries	Tepng gad.cov		12/16/2016 12:26 08/16/2019 11:12	PING Fi Micros
This PC	Cipth.csv Www.csv		06/16/2019 11:13 06/16/2019 11:13	Micros v
4	¢ File name:		-	3 Open
Network	Files of type:	Petrel points with attributes (ASCII)	() v	Cancel
File example/de	notytion:	Chartena 20 interpretation lines (A Ovariana 30 interpretation lines (A Chartena 30 interpretation lines us Ovariana 30 interpretation lines us	SCIE(*,*) SCIE(*,*) Ing XY coordinates (*,*) Ing inline/sline keys (*,*)	
II Petrel Points II Lines starting VERSION 1 BEGIN HEAD X Y	with Athibutes ; with # are comments ER	Dutationa lago 20 interpretation line Onationa fault stoke (ASCII) (* 7) Deeckahota format (ASCII) (* 7) Connect well big (ASCII) (* 7) Conse plot X,Y (ASCII) (* 7) Cose plot X,Y (ASCII) (* 7) ECLIPSE AUTUAE keyword (* 7) ECLIPSE National Senalator (* 0.4)	A (ASCII) (* 1)	
	anatom petrel bit ov of atransform petrel spetrel bit spetrel bit ters folder	ELLIPSE Volume and HOCK (Hock) ECLIPSE (MY format (* 1) ECLIPSE fluid reodel (Keywords) (* Earth and hostion patchese in SGE1 Function X.Y (ASCI) (* 1) General 30 integration lines (AS General Sector Social (* 2)	ביין (משמע איז	
keput P	Cases 🍋 Template	Gooad TSuf ("H) (ESX 20 interpretation lines (ASCI) (ESX 30 interpretation lines (ASCI) (ESX 30 interpretation lines using ) (ESX 30 interpretation lines using ) (ESX fault polygons (ASCI) (".")	(C.) (C.) W coordinates (C.) nine vilne keys (C.)	
		IESX fault sticks (ASCI) (* *) Irap RMS wel (ASCI) (* *) Irap classic grid (ASCI) (* *)		

- Pada bagian '*Input*', klik kanan dan pilih '*Import File*'. Setelah itu, pilih '*File of type*' yaitu '*General lines/points (ASCII)(*".")' dan pilih data format .txt yang akan digunakan.
- Setelah data dipilih, maka akan muncul '*Import lines/points*' dan akan ditampilkan data yang dipilih dan atur keterangan kolom sesuai dengan data yang merupakan nilai X, Y, dan Z. Jika sudah, dapat klik 'OK'.

9200000	9204000 ,
🔀 Import lines/points	×
Number of header lines: Newline value: Undefined Z value:	0 -999 -999
<ul> <li>Read as points</li> <li>Read as lines</li> </ul>	
X-value column: Y-value column:	1 None ? 2 Aways
Z-value column:	3 O Sometimes
Header info (first 30 lines):	
Line 1: 768080.0	642 9205089.3 A
Line 2: 766668.1	324 9205572.6
Line 3: 769673.5	67 9205501.3
Line 4: 765828.9	078 9212027.6
Line 5: 772157.3	004 9207048.2:
Line 6: 764058.5	007 9209492.0:
<	>
✓ OK for all ✓	OK 🗡 Cancel

- Pada '*Input Data*' dapat diatur beberapa keterangan berupa seperti nama dan sebagai. Pada bagian '*Negative Z-values when mostly positive*' (kotak berwarna merah) dalam hal ini tidak dicentang. Lalu klik 'OK'.
- Pada '*Input Data*' dapat diatur beberapa keterangan seperti nama dan sebagainya.
   Pada bagian '*Negative Z-values when mostly positive*' (kotak berwarna merah) dalam hal ini tidak dicentang. Lalu klik 'OK'.

Name:	CVH_PTH.txt			
// Type:	Lines/polygons			
S' Template:	Z Elevation depth ~			
Line type:	🎲 Other 🗸			
File CRS:	WGS_1984_UTM_Zone_48S [EPSG, v]			
File CRS:	WGS_1984_UTM_Zone_485 IEPSG.			
	Other CRS			
sulting data range (a	approx.)			
X range: Y range: Z range:				
nit conversion	-			
the second se				
XY conversion:	none	-		

• Setelah itu, klik kanan pada data yang telah dimasukkan dan pilih '*Convert* to' > '*Convert to points*'.

	- (3)	Settings				
		Send to Studio				
🛅 Input 🕋 Cas	se 🦕	Retrieve from Studio				
Models		<u>E</u> xport object				
:	-	E <u>di</u> t global color table				
		<u>C</u> olor legend	F.			
	×	<u>D</u> elete				
	=	Calculator				
		Spr <u>e</u> adsheet				
		Attribute spreadsheet				
	Đ	Copy lines/polygons (data only)				
	1	Flight player				
	4	Create intersection				
	ŧZ	Domain convert by active velocity model				
		Convert to		9 <b>(</b> ]	Convert to points	
	y <sub>B</sub> ΦS'	Insert new attribute				
	1	Split				Conver
	1	Create trajectory from polygon				points.
	10	Create simulation (grid) fault				
🙀 Models 🔢 F	7. 🎽	Convert to geopolygon				
Convert to points	•	Convert to geological target				

• Lalu centang pada bagian data yang telah diubah menjadi *point* dan akan tampil bersamaan dengan data awal yang berupa DEM.



• Titik tersebut dapat diubah mengenai warna, bentuk, dan ukuran dengan klik kanan lalu klik '*Settings*' dan ubahlah sesuai dengan kebutuhan.

	_ 1.4m			* Settings for	CVH PT	H.b.t'			×	
CVH_PTH.ba	G	<u>S</u> ettings		X Operatio	ons	Calculations Z Variogram				
GAD_PETREL		Send to Studio Retrieve from Studio Import (on selection)	Settings [Alt+R Open the settin object.	Style Style Colo	Info me: pr: we:	Statistics CVH_PTH.txt	II. Histogr	ram Colo	rs	
🛅 Input 📸 Cases 🧓	6	Export object		Tem	nplate:	Z Elevation	depth	~	6	
Models	2	Edit global color table		Colo	or table:	Ge	neral continuou	is 🗸 👔	2	
		Color legend	<b>*</b>	Cate	egory:	22.22.22.2				
	×	Delete		Date     Date	e:	08/20/2019		10	ž.,	
		Calculator		5	<b>U</b> 1154	ory original cris		^	1	
	▦	Spr <u>e</u> adsheet								
	E	Copy points (data only)								
	-	Zoom to object								
	忆	Domain convert by active ve	locity model							
	٠	Add to active well tops as h	orizon							
	Ø	Add to active well tops as fa	ault							
	4	Add to active well tops as w	vell							
	11	Convert to polygons								
	y₀ ΦS'	Insert new attribute								
	聖	Convert to interpretation								
	-1-	Structural operations	•		Determine		2 0C- E 4041 0			
	88	Create / update quick look	surface	Petrel filename: Orig. filename:	(Made by	s.ptd[://Petrel/e2/c2d2/-3ba5-4241-341c-23d104e/a14b] le by Petrel)				
	6	Create / update boundary p	olygon			( Anal	104	- Come -		
en the settings for the active	۲	Convert to geological targe	it .			* Apply	V OR	∧ Cancel	h. 1	

### **DAFTAR PUSTAKA**

- Akbar, A. F., Ryannugroho, R., Jousset, P., Gassner, A., Jaya, M. S., Sule, R., Diningrat, W., Hendryana, A., Kusnadi, Y., Nugraha, A. D., Umar, M., Indrinanto, Y., & Erbas, K. (2015). "Study on Seismicity and Seismic Tomography on a Hydrothermal System in West Java", In World Geothermal Congress, Australia, hal. 1–5.
- Anissofira, A. (2013), Penentuan Struktur Patahan Di Lapangan Panas Bumi 'X' Dengan Menggunakan Metode Relokasi Relatif Kasus Gempa Mikro. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Garini, S.A., Madlazim., Rahmawati, E. (2014). "Relokasi Hiposenter Gempa Bumi Di Sulawesi Tengah Dengan Menggunakan Metode Geiger Dan Coupled Velocity-Hypocenter". Jurnal Fisika, Vol. 03, No. 02, hal. 107–112.
- Hijriani, A., Sahara, D. P., Nugraha, A. D., Ramadhan, I., & Sidik, R. P. (2017).
  "Peningkatan Akurasi Lokasi Gempa Mikro dengan Menggunakan Metoda Double-Difference dan Korelasi". *Jurnal Geofisika*, Vol. 15, No. 04, hal. 21–25.
- Hilyah, A. (2010). "Studi Gempa Mikro Untuk Mendeteksi Rekahan di Area Panas Bumi Kamojang Kabupaten Garut". Jurnal Fisika dan Aplikasinya, Vol. 6, No. 2, hal. 1–5.
- Hurukawa, N. (2008). Practical Analyses of Local Earthquakes, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IISEE), Building Research Institute, Tsukuba, Japan.
- Idat, C. F., & Harmoko, U. (2016). "Relokasi Hiposenter Gempa Mikro dengan Metode SED dan JHD Sebagai Analisis Reservoar Area Panas Bumi-X". *Youngster Physics Journal*, Vol. 5, No. 3, hal. 97–104.

- Kissling, E. (1995). Program Velest User's Guide-Short Introduction, Institute of Geophysics, ETH Zuerich.
- Madrinovella, I., Widiyantoro, S., Nugraha, A. D., & Triastuty, H. (2012). "Studi Penentuan Dan Relokasi Hiposenter Gempa Mikro Sekitar Cekungan Bandung". J. Geofisika, Vol. 13, No. 2, hal. 80–88.
- Nishi, K. (2005). *Hypocenter Calculation Software GAD ( Geiger's Method with Adaptive Damping )*, Silver Expert JICA Indonesia.
- Pribadi, E. (2010). Delineasi Zona Rekahan Pada Reservoir Geothermal Melalui Pengamatan Mikroseismik. Universitas Indonesia, Depok.
- Puspito, N.T. (1996). "Struktur Kecepatan Gelombang Gempa Dan Koreksi Stasiun Seismologi Di Indonesia". *JMS*, Vol. 1, No. 2, hal. 20–39.
- Rachman, T. D., & Nugraha, A. D. (2012). "Penentuan Model 1-D Kecepatan Gelombang P Dan Relokasi Hiposenter Secara Simultan Untuk Data Gempabumi Yang Berasosiasi Dengan Sesar Sumatra Di Wilayah Aceh Dan Sekitarnya". *JTM*, Vol. 19, No. 1, hal. 27–33.
- Rochman, J. P. G. N., Santosa, B. J., & Firdaus, F. R. (2012). "Model Struktur 1-D Kecepatan Gelombang P di Daerah Minahasa". *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 8, No. 2, hal. 1–4.
- Rohadi, S., Widiyantoro, S., Nugraha, A. D., & Masturyono. (2012). "Relokasi Hiposenter Gempa Di Jawa Tengah Menggunakan Inversi Tomografi Double-Difference". *JTM*, Vol. 18, No. 2, hal. 95–105.
- Rutledge, J. T., & Philips, W. S. (2001). "Hydraulic Stimulation Of Natural Fractures As Revealed By Induced Microearthquakes, Carthage Cotton Valley Gas Field, East Texas". Los Alamos National Laboratory Mail Stop D443 Geophysics Group Seismic Research Center, hal. 1–3
- Stein, S., Wysession, W. (2003), "An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure" by Seth Stein and Michael Wysession.

http://doi.org/10.1785/gssrl.74.6.824.

- Suandayani, N. K. T. (2017), Penentuan Nilai Magnitudo Gempa Vulkanik Gunung Guntur Jawa Barat Berdasarkan Data Seismik, Universitas Udayana, Denpasar.
- Supriyanto. (2007), *Analisis Data Geofisika : Memahami Teori Inversi*, edisi 1, Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia., Depok.
- Utama, W., & Garini, S. A. (2018). "The Relocation of Earthquake Hypocenter by Using Coupled Velocity-Hypocenter Method". Submitted on International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology.
- Zhang, H. (2009). "Passive Seismic Tomography Using Induced Seismicity at Petroleum Field in Oman", Earth Resources Laboratory Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts, hal. 1-50.