

RELOKASI HIPOSENTER DAN ESTIMASI STRUKTUR MODEL KECEPATAN 1-D GELOMBANG P DI PAPUA MENGUNAKAN VELEST 3.3

Yonita Fadhilah Faridiarti dan Madlazim

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya
E-mail: yonitafadhilah@gmail.com

Abstrak

Pulau Papua berada pada pertemuan dua lempeng samudera, yaitu lempeng Indo-Australia dan lempeng Pasifik yang membentuk daerah subduksi. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan mengambil data dari katalog WebDC3 dengan koordinat *latitude* $-1,77^{\circ}\text{LS}$ $-4,20^{\circ}\text{LS}$ dan *longitude* $135,36^{\circ}\text{BT}$ $140,79^{\circ}\text{BT}$ dengan *magnitudo* ≥ 4 SR dengan kedalaman < 70 km dan rentang waktu pada 21 Mei 2008 - 25 Mei 2016. Tujuan untuk merelokasi hiposenter dan estimasi model kecepatan 1-D gelombang P menggunakan metode Coupled Velocity-Hypocenter di Papua. Terdapat 267 data event gempa bumi yang diambil dari WebDC sebanyak 59 data. Setelah dilakukan pengolahan data didapatkan hasil model kecepatan akhir pada lapisan ke-1 dengan kedalaman 0 - 17,40 km memiliki kecepatan sebesar 6,03 km/s dan dari penelitian sebelumnya didapat kecepatan sebesar 6,15 km/s, pada lapisan ke-2 dengan kedalaman 17,40 - 38,10 km memiliki kecepatan sebesar 7,40 km/s. Sehingga didapat hasil relokasi hiposenter dengan RMS 0,065 detik, dengan lapisan *conrad* pada kedalaman 0 - 17,40 km mempunyai kecepatan gelombang P sebesar 6,03 km/s dan lapisan *moho* pada kedalaman 17,40 - 38,10 km mempunyai kecepatan gelombang P sebesar 7,40 km/s. Serta didapat nilai GAP sebesar 235° .

Kata Kunci: lempeng, relokasi hiposenter, model kecepatan 1-D gelombang P, metode *Coupled Velocity-Hypocenter*, *conrad*, *moho*.

Abstract

Papua island is located at the confluence of two ocean plates, they are Indo-Australia plate and Pasifik plate that make the subduction zone. Therefore, had been done research by taking data from the catalog WebDC3 with coordinates of *latitude* $-1,77^{\circ}\text{LS}$ $-4,20^{\circ}\text{LS}$ and *longitude* $135,36^{\circ}\text{BT}$ $140,79^{\circ}\text{BT}$ and *magnitudo* ≥ 4 SR and depth < 70 km and out of date 21 May 2008 - 25 May 2016. The research purposed to relocated hypocenter and estimated the model velocity 1-D wave using Coupled Velocity-Hypocenter. There are 267 earthquakes event of data taken from as many as 59 from WebDC3 data. After going through processing obtained in initial velocity model output result, the first layer to a depth 0 - 17,40 km has a velocity of 6,03 km/s and from old research has a velocity of 6,15 km/s, the second layer with a depth 17,40 - 38,10 km has a velocity of 7,40 km/s. So, obtained result hypocenter relocation with RMS of 0,065 seconds with the *conrad* layer at a depth of 0 - 17,40 km has a P wave velocity of 6,03 km/s and the *moho* layer at a depth of 17,40 - 38,10 km has a P wave velocity of 7,40 km/s. And has a GAP value 235° .

Keywords: plate, relocation hypocenter, velocity model 1-D P wave, *Coupled Velocity-Hypocenter* method, *conrad*, *moho*.

I. PENDAHULUAN

Secara geologi, wilayah Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik aktif yaitu Lempeng Indo-Australia di bagian selatan, Lempeng Eurasia di bagian utara dan Lempeng Pasifik di bagian Timur. Ketiga lempengan tersebut bergerak dan saling bertumbukan sehingga Lempeng Indo-Australia menunjam ke bawah Lempeng Eurasia dan menimbulkan gempa bumi tektonik dengan jalur sesar atau patahan.

Menurut teori lempeng tektonik, permukaan bumi terpecah menjadi beberapa lempeng tektonik besar. Gerakan lempeng tektonik saling mengunci, sehingga terjadi pengumpulan energi yang

berlangsung terus sampai pada suatu saat batuan pada lempeng tektonik tersebut tidak lagi kuat menahan gerakan, sehingga terjadi pelepasan mendadak yang kita kenal sebagai gempa bumi.

Dari sekian banyak kejadian gempa bumi yang terjadi di Indonesia, salah satu daerah yang rawan terhadap gempa bumi adalah daerah Papua. Daerah Papua merupakan salah satu daerah di bagian Indonesia timur yang rawan mengalami gempa bumi karena tektonik pulau Papua pada saat ini berada pada bagian tepi utara Lempeng Indo-Australia yang berkembang akibat adanya pertemuan antara Lempeng Australia yang bergerak ke utara dan Lempeng Pasifik yang bergerak ke

barat. Di wilayah Papua juga terdapat sejumlah lipatan (*folding*) maupun sesar naik yang merupakan hasil dari interaksi konvergen lempeng-lempeng bersangkutan, seperti sesar Sorong, sesar Ransiki, dan sesar Lungguru.

Salah satu upaya mengurangi dampak gempa bumi adalah dengan melalui peringatan dini seperti yang dilakukan oleh pemerintah. Hal ini menjadikan perlu adanya banyak informasi parameter gempa bumi. Salah satunya adalah model kecepatan gelombang primer (P) dan relokasi hiposenter gempa bumi.

Model kecepatan gelombang P merupakan suatu fungsi dari kedalaman (h) terhadap kecepatan gelombang P (V_p) dan relokasi hiposenter merupakan koreksi dari lintang, bujur, dan kedalaman dari gempa bumi. Koreksi dari parameter hiposenter digunakan untuk memperbaharui informasi yang dikeluarkan secara cepat saat terjadi gempa bumi.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Purwatiningsih, devi 2011 yang melakukan penelitian berjudul “Estimasi Model Kecepatan Lokal Gelombang P dan S 1-D Di Wilayah Papua Barat Menggunakan Metode Inversi Algoritma Genetika”. Pada penelitian ini dihasilkan menggunakan *software* HypoGA yang didapatkan relokasi gempa di daerah Papua Barat, menghasilkan lapisan *upper crust* dan lapisan *lower crust* terdapat lapisan *conrad*, sedangkan di antara lapisan *lower crust* dan lapisan *upper mantle* dibatasi oleh lapisan *moho*. Serta Model kecepatan lokal gelombang P dan S 1D di wilayah Papua Barat gelombang primer dan sekunder mempunyai kedalaman sama.

II. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

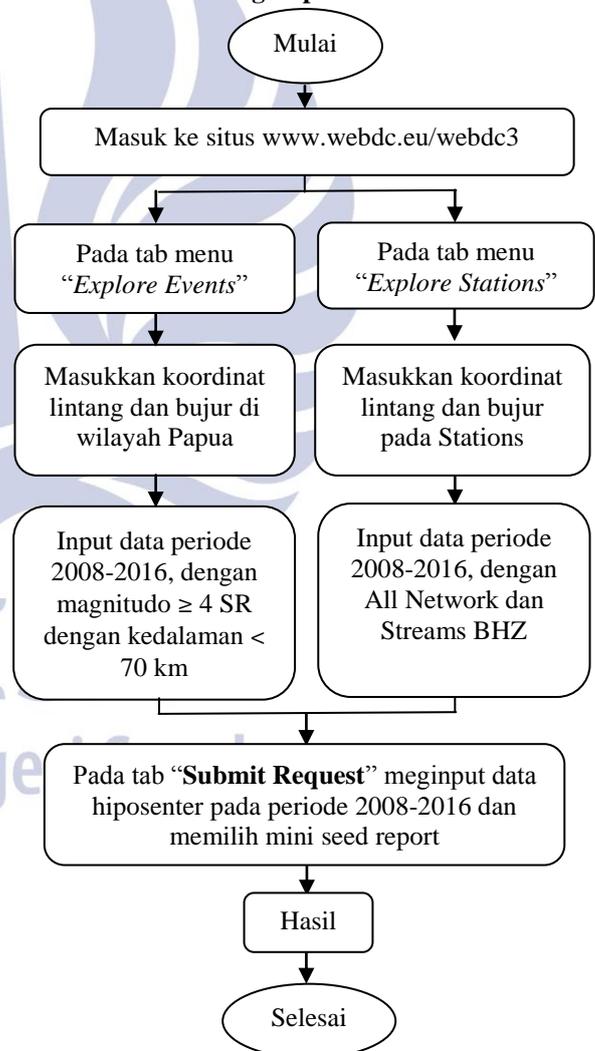
Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental yang dilakukan dengan melakukan penentuan relokasi hiposenter tunggal dengan prinsip metode *Coupled Velocity Hypocenter* yang berbasis komputasi dilakukan dengan menggunakan piranti lunak Velest 3.3. Dalam penelitian ini data yang dianalisis dapat di akses dan diunduh melalui situs WebDC3 (<http://webdc.eu/webdc3>).

Permasalahan dari penelitian ini, bagaimana menentukan relokasi hiposenter gempa bumi tektonik di Papua dengan menggunakan *software* velest 3.3, bagaimana model kecepatan I-D gelombang P di Papua dengan menggunakan *software* velest 3.3, bagaimana perbedaan hasil perhitungan antara WebDc3 dengan *software* velest 3.3.

B. Variabel Penelitian

Tiga variabel operasional penelitian, yaitu variabel manipulasi, variabel respon, dan variabel kontrol. Variabel manipulasi adalah letak lintang dan bujur pada tiap-tiap lokasi kejadian gempa bumi di Papua, hal ini dikarenakan gempa bumi yang terjadi di wilayah Papua tidak terjadi di titik lintang, bujur, dan kedalaman yang sama tetapi di beberapa tempat yang berbeda-beda. Variabel respons adalah besaran yang nilainya berubah sebagai akibat manipulasi data. Dalam penelitian ini, variabel respons adalah hasil relokasi hiposenter yang diolah menggunakan *software* Velest 3.3. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah *software* Velest 3.3.

C. Mekanisme Pengumpulan Data



Gambar 1. Flowchart Pengumpulan Data

Selanjutnya model kecepatan awal yang digunakan adalah diambil dari penelitian sebelumnya (Purwatiningsih, Devi. 2011) dengan kecepatan gelombang P di daerah Papua.

Tabel 1. Model Kecepatan 1-D Gelombang P di Daerah Papua

Kedalaman (km)	Model Kecepatan Awal
0 - 17,40	6,15
17,40 - 38,10	7,02
> 38,10	8,33

Dan untuk stasiun pencatat gempa yang digunakan diambil dari WebDC3 yang telah diolah.

Tabel 2. Stasiun Pendeteksi Gempa di Papua

Nama Stasiun	Lokasi	
	Latitude	Longitude
GENI	-2,59	140,17
JAY	-2,51	140,70
NBPI	-3,37	135,50
SMPI	-1,98	138,71
SRPI	-1,87	136,24
WAMI	-4,1	138,95

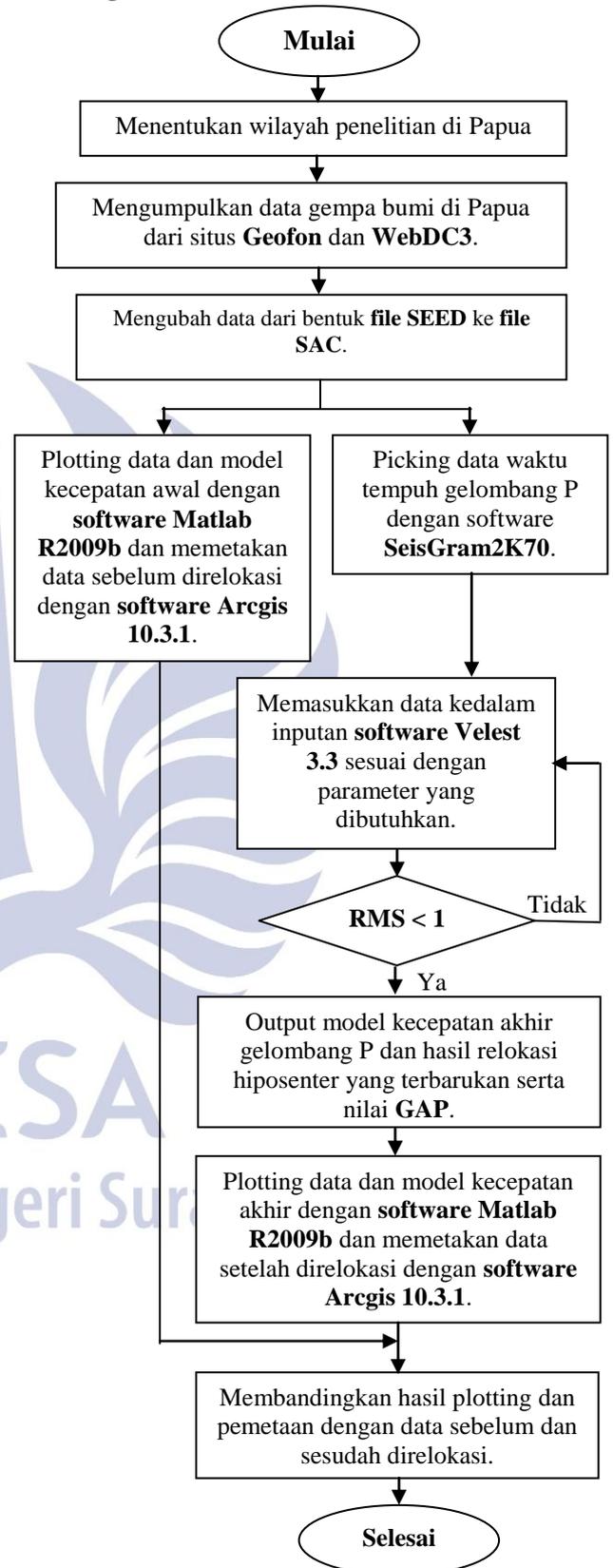
D. Teknik Pengolahan Data

Penelitian dengan metode inversi ini menggunakan prinsip *Coupled Velocity-Hypocenter* dengan menggunakan *software Velest 3.3*. Data input merupakan data yang berupa travel time dari picking gelombang P. Kemudian diproses dengan menggunakan *coupled velocity* dengan metode *inverse travel time*. Dan akhirnya menghasilkan model kecepatan, relokasi hiposenter dan koreksi stasiun di sekitar wilayah Papua.

Setelah diketahui *travel time*, selanjutnya dilakukan pemasukan data ke dalam file input *Velest 3.3* dengan parameter gempa bumi yang disesuaikan, yaitu *latitude*, *longitude* terjadinya gempa (hiposenter), *magnitude*, kedalaman gempa, *origin time*, model kecepatan awal dan *travel time* serta koordinat stasiun. Terdapat beberapa format dalam penginputan data *Velest 3.3* sehingga diperlukan ketelitian dalam memasukkan data. Dimana file input *Velest 3.3* terdiri dari file *.mod* (*initial velocity model*) berupa data kedalaman dan model kecepatan awal, file *.sta* (*station list*) berupa data letak koordinat stasiun pencatat gempa beserta kodenya, file *.cnv* (*local earthquake data*) berupa data travel time setiap event gempa dan file *.cmn* (*control parameter*) berupa jumlahnya data yang digunakan serta koordinat stasiun referensi. Setelah itu dilakukan *running* yang menghasilkan output data dengan hasil relokasi hiposenter yang yang

lebih relevan serta model kecepatan yang terbaru.

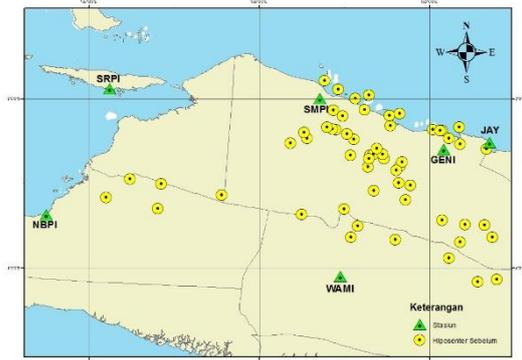
E. Diagram Alir



Gambar 2. Diagram Alir Pengolahan Data

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Posisi Hiposenter Sebelum di Relokasi Tahun 2008-2016

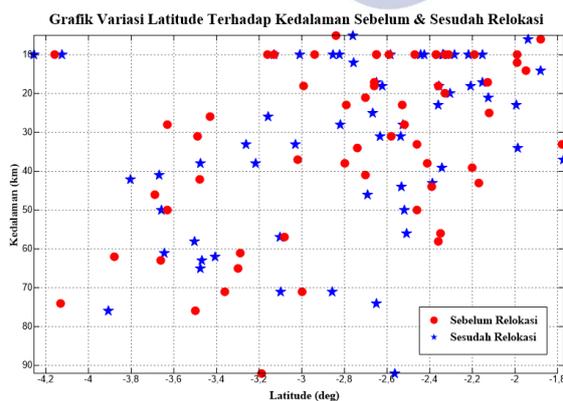


Gambar 3. Peta Letak dan Posisi Awal Gempa Bumi

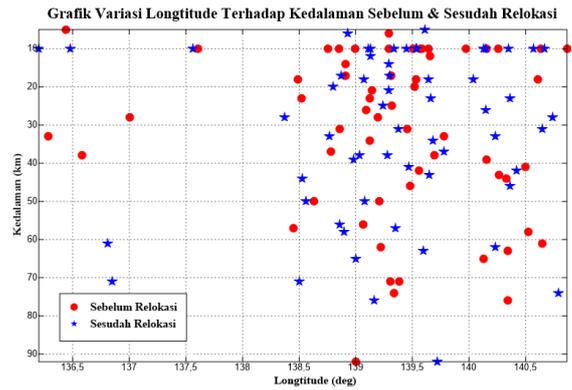
A. Relokasi Hiposenter di Daerah Papua

Tujuan dari relokasi hiposenter ini dengan menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* pada software *Velest 3.3* adalah untuk memperbaiki dari *latitude*, *longitude*, serta *origin time* dari data gempa bumi awal. Dan data hiposenter awal ini menggunakan waktu perjalanan (*travel time*) gelombang P. Relokasi hiposenter ini merupakan perbandingan data yang telah didapatkan dari *WebDC3* dengan menggunakan data 59 event gempa bumi dengan rentang waktu 21 Mei 2008 - 25 Mei 2016 dan menggunakan 6 stasiun pencatat gelombang seismik gempa bumi yaitu GENI, JAY, NBPI, SMPI, SRPI dan WAMI.

Berikut gambar yang menjelaskan hasil pengolahan software *Velest 3.3* pada kejadian gempa yang telah di relokasi:



Gambar 4. Grafik *Latitude* Terhadap Kedalaman Sebelum dan Sesudah Relokasi



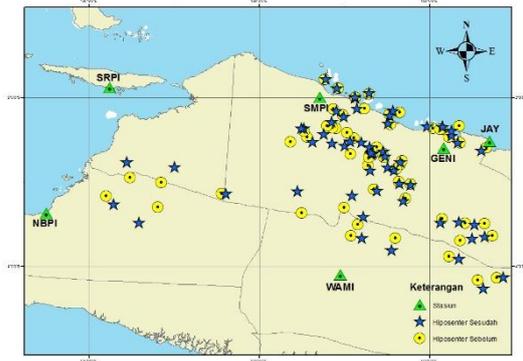
Gambar 5. Grafik *Longitude* Terhadap Kedalaman Sebelum dan Sesudah Relokasi

Pada gambar 4 dan 5 menunjukkan posisi dalam grafik sebelum dan sesudah hiposenter gempa bumi mengalami pergeseran yang relatif sedang. Dimana terlihat bahwa posisi awal (lingkaran warna merah) mengalami pergeseran atau perubahan (bintang warna biru). Perubahan atau pergeseran tersebut didapat dari hasil pengolahan data dari *Velest 3.3* yang kemudian di plot menggunakan software *Matlab*.

Di dalam model kecepatan gelombang sangat berpengaruh terhadap posisi hiposenter, sebab hiposenter merupakan fungsi dari kedalaman. Apabila model kecepatan yang berbeda, maka letak posisi hiposenter akan mengalami perubahan atau pergeseran juga.

Gelombang primer merupakan gelombang longitudinal yang memiliki arah getaran kedepan dan kebelakang dengan arah rambatan kedepan, sehingga kerapatan struktur tanah sangat mempengaruhi kecepatan gelombang, karena saat struktur lapisan berongga maka arah rambatan gelombang akan terhambat atau terganggu. Dan sifat dari gelombang primer akan menjadi lebih besar untuk kedalaman yang semakin dalam yang diukur dari permukaan tanah, karena setiap lapisan atau struktur tanah memiliki kerapatan dan massa jenis yang berbeda. Sehingga semakin dalam permukaan bumi maka semakin cepat karena strukturnya semakin rapat.

Posisi Hiposenter Sebelum & Sesudah di Relokasi Tahun 2008-2016



Gambar 6. Peta Persebaran Relokasi Hiposenter Sebelum dan Sesudah

Dalam gambar peta diatas merupakan letak posisi sebelum dan sesudah hiposenter, dimana data sebelum (data awal) gempa belum diteliti dan direlokasi (lingkaran warna kuning), serta data sesudah (data akhir) gempa sudah diteliti dan direlokasi (bintang warna biru) menggunakan hasil dari *software* Velest 3.3 yang kemudian di plot menggunakan *software* Arcgis. Dalam hasil penelitian ini beberapa data *latitude*, *longitude* dan kedalaman mengalami pergeseran setelah direlokasi, tetapi masih berada dalam wilayah yang sama yaitu daerah Lajur Anjak Membrano, Lajur Ofiolit, Lajur Anjak Pegunungan Tengah, Sesar Direwo dan Sesar Sungkun yang terletak sebagian kecil berada di lautan dan sebagian besar pada daratan Pulau Papua.

Dari hasil penelitian relokasi hiposenter diatas bisa menjadi referensi bagi peneliti atau pembaca dan masyarakat khususnya di daerah Papua. Karena hasil data yang didapat lebih cenderung mengalami gempa dangkal. Yang dimana sifat gempa dangkal adalah destruktif, yang artinya lebih berpotensi mengalami kerusakan pada bangunan serta pada dataran lainnya. Jadi, diharapkan para mitigasi bencana lebih dioptimalkan pada daerah Papua.

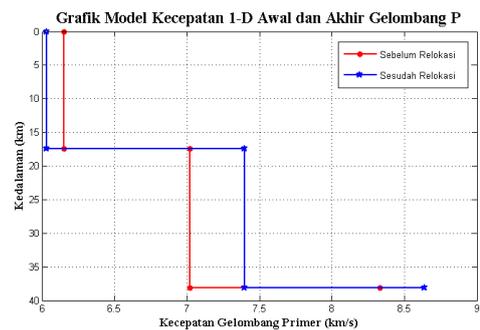
B. Model Kecepatan 1-D Gelombang P di Daerah Papua

Pada penelitian ini menggunakan model kecepatan awal pada hasil penelitian sebelumnya pada daerah Papua oleh Purwatiningsih, Devi 2011. Kemudian digunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* sehingga menghasilkan model kecepatan yang lebih fokus pada daerah penelitian. Yang dimana terdapat pada hasil output Velest 3.3 pada file *velout.mod*. Model kecepatan 1-D gelombang P yang dihasilkan ini menunjukkan perbedaan antara hasil penelitian sebelumnya

dengan hasil penelitian yang dilakukan dengan metode *Coupled Velocity-Hypocenter*.

Tabel 3. Model Kecepatan Awal dan Akhir

Kedalaman (km)	Model Kecepatan (km/s)	
	Awal (Devi Purwatiningsih, 2011) (km/s)	Akhir (Velest) (km/s)
0 - 17,40	6,15	6,03
17,40 - 38,10	7,02	7,40
> 38,10	8,33	8,64



Gambar 7. Grafik Model Kecepatan 1-D Gelombang P Awal dan Akhir

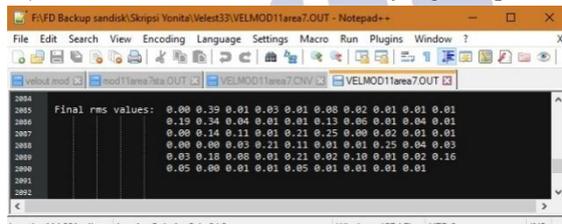
Dari tabel dan gambar diatas terdapat perubahan pada nilai kecepatan awal dengan kecepatan akhir, dikarenakan perbedaan cakupan kondisi letak geografis pada daerah penelitian dan kurun waktu pengambilan data penelitian. Sehingga dari model diatas didapatkan kedalaman dan kecepatan dari masing-masing lapisan *conrad* dan *moho*. Dimana lapisan *conrad* terdiri dari batuan granit, sedangkan lapisan *moho* terdiri dari batuan basalt. Hasil Penelitian sebelumnya (Purwatiningsih, Devi 2011) memiliki lapisan *conrad* pada kedalaman 0 - 17,40 km dengan kecepatan 6,15 km/s, sedangkan lapisan *moho* pada kedalaman 17,40 - 38,10 km dengan kecepatan 7,02 km/s. Sehingga setelah dilakukan penelitian menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* dengan kedalaman yang sama didapatkan hasil akhir yang pada lapisan *conrad* terdapat pada kedalaman 0 - 17,40 km dengan kecepatan 6,03 km/s, sedangkan lapisan *moho* terdapat pada kedalaman 17,40 - 38,10 km dengan kecepatan 7,40 km/s.

Model kecepatan hasil inversi penelitian ini menunjukkan bahwa semakin dalam maka semakin besar pula kecepatan gelombang P, dikarenakan semakin kedalam maka lapisan penyusun bumi semakin rapat yang ditandai dengan semakin besarnya kecepatan gelombang P. Dan lapisan

susunan bagian bawah bumi pada setiap daerah memiliki struktur yang berbeda-beda, sehingga dibutuhkan model kecepatan yang lebih fokus terhadap wilayah penelitian agar parameter gempa untuk merelokasi hiposenter gempa lebih akurat.

C. Nilai RMS dan GAP

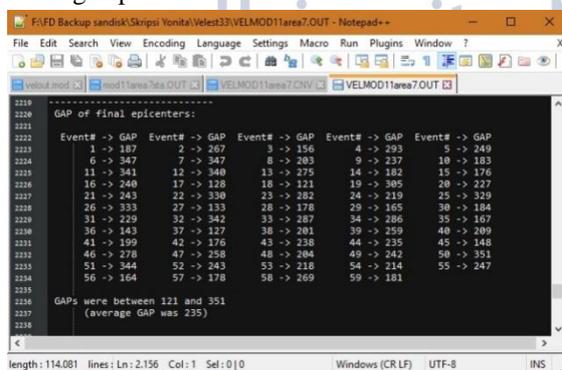
Kontrol dari metode ini adalah kesesuaian dengan kondisi seismotektonik penelitian dan nilai kesalahan minimum (RMS), dimana sifat dari RMS adalah <1 . Semakin kecil nilai RMS maka dianggap relatif baik dan akan dianggap paling baik bila nilai dari RMS adalah nol. Yang artinya bila RMS ini mendekati nol maka tidak ada selisih antara hasil observasi dan kalkulasi, sehingga dianggap hampir tidak ada selisih yang dianggap penelitian dianggap baik. RMS didapatkan dari residual selisih waktu tempuh (*travel time*) antara waktu pengamatan (*tobs*) dan waktu perhitungan (*tcal*) dari *software* Velest 3.3. Berikut rincian yang didapat.



Gambar 8. Hasil RMS pada Velest 3.3

Dari gambar diatas didapatkan hasil relokasi dengan menggunakan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* ini terbilang relatif baik, karena ditandai dengan nilai rata-rata RMS yang relatif kecil yaitu 0,065 Velest 3.3 detik yang didapat pada output yaitu pada file VELMOD11area7.OUT

GAP Azimuth ialah selisih sudut azimuth antara dua kejadian gempa bumi terdekat terhadap stasiun referensi. Berikut rincian GAP pada setiap event gempa:



Gambar 9. Hasil GAP pada Velest 3.3

Beberapa syarat dalam memilih beberapa kejadian gempa adalah gempa yang terjadi harus

memiliki GAP yang lebih kecil ($<240^\circ$) dan gempa tersebut harus terjadi di sekitar stasiun yang dipilih. Sehingga didapatkan rata-rata GAP Azimuth dari hasil output Velest 3.3 yaitu 235° . Hasil ini dianggap baik karena nilai rata-rata kurang dari 240° . Dan ada juga data yang nilai GAPnya lebih dari 240° , hal ini disebabkan karena beberapa lokasi gempa bumi berada jauh dengan stasiun pencatat gempa bumi dan dalam beberapa event jarak koordinat antara dua buah event yang berdekatan terlalu jauh sehingga nilai GAP yang terdeteksi cukup besar.

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan, sehingga diberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil relokasi hiposenter mengalami pergeseran yang relatif sedang antara latitude, longitude dan kedalaman, tetapi masih berada dalam wilayah yang sama yaitu daerah Lajur Anjak Membrano, Lajur Ofiolit, Lajur Anjak Pegunungan Tengah, Sesar Direwo dan Sesar Sungkun yang terletak sebagian kecil berada di lautan dan sebagian besar pada daratan Pulau Papua. Dan dari hasil penelitian ini lebih cenderung mengalami gempa dangkal, karena dari 59 data terdapat 50 data yang disebut gempa dangkal. Yang dimana sifat gempa dangkal adalah destruktif, yang artinya lebih berpotensi mengalami kerusakan pada bangunan serta pada dataran lainnya. Jadi, diharapkan para mitigasi bencana lebih dioptimalkan pada daerah Papua.
2. Model Kecepatan sangat mempengaruhi hasil relokasi hiposenter, karena model kecepatan menggambarkan struktur geologi bawah tanah permukaan penelitian. Sehingga setelah dilakukan penelitian dengan metode *Coupled Velocity-Hypocenter* didapatkan perubahan nilai pada model kecepatan awal dan akhir, dikarenakan perbedaan cakupan kondisi letak geografis pada daerah penelitian dan kurun waktu pengambilan data penelitian. Dimana lapisan conrad pada kedalaman 0-17,40 km dengan kecepatan awal 6,15 km/s sedangkan pada kecepatan akhir 6,03 km/s dan lapisan moho pada kedalaman 17,40 - 38,10 km dengan kecepatan awal 7,02 km/s sedangkan pada kecepatan akhir 7,40 km/s.

3. Hasil relokasi hiposenter pada wilayah Papua menggunakan metode Coupled Velocity-Hypocenter berada pada sesar-sesar yang dimana pada 59 data penelitian dihasilkan relokasi yang cukup baik, karena didapatkan nilai rata-rata RMS yang kecil yaitu 0,065 detik dan nilai rata-rata GAP sebesar 235°.

B. Saran

Adapun saran dalam melakukan penelitian ini yang telah dilakukan dalam menyelesaikan masalah yang ditemukan, sehingga diharapkan dalam penelitian selanjutnya didapatkan hasil penelitian yang lebih baik:

1. Hasil data event yang ditampilkan dan pengambilan data pada situs WebDC3 yang terkadang berbeda pada pengaksesan waktu yang berbeda. Oleh sebab itu, perlu digunakan situs penyedia data gempa yang lain agar data yang dihasilkan lebih akurat.
2. Perlu dilakukan dengan software penelitian yang lebih berbasis GUI, karena software *Velest* 3.3 yang masih berbasis Running. Sehingga terdapat beberapa kesalahan teknis dalam penulisan input data pada *Velest* 3.3.
3. Ketepatan hasil relokasi bergantung pada model kecepatan yang digunakan, sehingga diharapkan membuat dan menggunakan model kecepatan gelombang seismik sendiri sesuai dengan data yang dijadikan penelitian, agar hasil relokasi pada penelitian lebih baik dan lebih akurat.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pembimbing, biro skripsi, WebDC3, Universitas Negeri Surabaya dan teman-teman yang telah membantu sehingga penelitian ini terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. *Seismologi*, Penerbit ITB, Bandung.
- Purwatiningsih, Devi. 2011. *Estimasi Model Kecepatan Lokal Gelombang P dan S 1-D di Wilayah Papua Barat Menggunakan Metode Inversi Algoritma Genetika*. Surabaya: UNESA.
- Irsyam, M., Sengara, I.W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., Ridwan, M. 2010. *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. Bandung.
- Jerry Bramasto. 2015. *Laporan Coop Penelitian / Kerja Praktek PT. Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang*. Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA - ITS.
- Kissling, E. 1995. *Program Velest User's Guide-Short Introduction*. Institute of Geophysics and Swiss Seismological Service, ETH-Zuerich, Switzerland.
- Kissling, E., W. L. Ellsworth, D. Eberhart-Philips, and U. Kradolfer. 1994. Initial Reference Models in Local Earthquake Tomography. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 99 No. B10, 19.635-19.646.
- Madlazim and Santoso, J.S., 2010. *Simultan Inversion for 1-D P-Wave Velocity Model, Stasiun Correction and Hypocenter of Sumatra Earthquake*, 5 th Ketingan Physics Forum.
- Medicaliana, Noviska. 2011. *Analisis Hasil Komputasi Perbaikan Hiposenter, Model Kecepatan Gelombang P Dan Koreksi Stasiun Gempa Bumi Dikepulauan Papua Dengan Metode Inversi*. Surabaya: UNESA.
- Puspito, Nanang.T. 1996. *Struktur Kecepatan Gelombang Gempa dan Koreksi Stasiun Seismologi di Indonesia*. Bandung: ITB.
- Yashinta Salsabella, Madlazim, Endah Rahmawati. 2014. *Penentuan Model Kecepatan 1D Gelombang P, Koreksi Stasiun dan Relokasi Hiposenter Gempa Bumi di Jawa Barat Dengan Metode Coupled Velocity-Hypocenter*. Surabaya: Jurusan Fisika FMIPA UNESA