

## KORELASI MAGNITUDO GEMPA BUMI LOKAL DENGAN PERIODE DOMINAN GELOMBANG P UNTUK PERINGATAN DINI TSUNAMI

Dewi HR, Madlazim

Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya

### Abstrak

Provinsi Sumatra Barat merupakan daerah yang tergolong berpotensi tinggi terhadap bencana gempabumi disebabkan letaknya di pantai barat Sumatra yang secara tektonik berada berdekatan dengan zona subduksi (subduction zone) dan terdapat sesar Semangko. Telah diketahui gempabumi merupakan fenomena alam yang dapat terjadi sewaktu waktu dan menimbulkan banyak kerugian. Dalam upaya mengurangi dampak bencana yang disebabkan oleh gempa bumi maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan menentukan rumus empiris korelasi antara magnitudo gempabumi lokal dengan periode dominan gelombang P di wilayah Sumatra Barat. Dalam penelitian ini digunakan 63 data kejadian gempabumi lokal di Sumatra Barat yang diperoleh dari webDC, setiap kejadian gempa dicatat oleh beberapa stasiun yang berbeda sehingga kita mendapatkan beberapa  $T_d$  dari setiap kejadian gempabumi, kemudian  $T_d$  tersebut diambil rata-rata dari setiap kejadian gempabumi. Hasil dari rata-rata periode dominan dicari logaritmanya kemudian dibandingkan dengan nilai magnitudo dari setiap kejadian gempabumi melalui grafik. Dari hasil penelitian ini didapatkan rumus empiris korelasi antara logaritma periode dominan dengan magnitudo gempabumi lokal di Provinsi Sumatra Barat yaitu  $Magnitudo = 4,009 + 14,903 \log T_d$  dengan didapatkan koefisien korelasi sebesar 73,1 %. Hasil ini menunjukkan bahwa data yang digunakan layak untuk penelitian dan untuk penerapan rumus estimasi magnitudo ini hanya berlaku untuk wilayah Sumatra Barat.

Kata Kunci: Gempabumi lokal, Periode dominan, Magnitudo Periode Dominan

### Abstract

West Sumatra province is an area of relatively high potential for earthquake disaster due to its location on the west coast of Sumatra, which is located adjacent to the tectonic subduction zone (subduction zone) and there is a fault Semangko. It is known earthquake is a natural phenomenon that can occur at any time and cause much harm. In an effort to reduce the impact of disasters caused by earthquakes is a necessary part of research aimed at determining the empirical formula of the correlation between the magnitude of local earthquakes with dominant period P waves in the region of West Sumatra. This study used 63 local earthquakes in the incidence data obtained from the West Sumatra webDC, each seismic events recorded by several different stations so that we get some of each occurrence of the earthquake  $T_d$ , then  $T_d$  is taken the average of each occurrence of earthquake. The results of the predominant period of the average logarithm sought is then compared with the value of each occurrence of earthquake magnitudes through the graph. From the results of this study found a correlation between the logarithm of the empirical formula of the dominant period of the magnitude of local earthquakes in West Sumatra province is  $magnitude = 14.903 + 4.009 \log T_d$  to obtain the correlation coefficient of 73.1%. These results indicate that the data used for research and for the proper application of magnitude estimation formula is only applicable to areas of West Sumatra.

**Keywords :** Local earthquakes, dominant period, magnitude Dominant Period

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi bencana alam yang tinggi. Jika dilihat secara geografis Indonesia adalah negara kepulauan yang berada pada pertemuan empat lempeng tektonik yaitu lempeng Benua Australia, Benua Asia, Samudera Pasifik dan Lempeng Samudera Hindia (Madlazim dkk., 2010a; 2010b; Madlazim et al., 2010c; Bagus JS dan Madlazim, 2012a). Selain itu di sebelah timur dan selatan Indonesia terdapat sabuk vulkanik yang memanjang dari Pulau Sumatera kemudian Pulau Jawa, Nusa Tenggara dan

berakhir di Sulawesi. Dengan karakteristik yang demikian ini, menjadikan Indonesia memiliki potensi sekaligus rawan terhadap bencana seperti letusan gempabumi, tsunami, gunung berapi, banjir dan tanah longsor (Madlazim, 2011a; 2011b; 2012b). Data menunjukkan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai tingkat kegempaan yang tinggi di dunia dimana lebih dari 10 kali lipat tingkat kegempaan yang terjadi di Amerika Serikat (Ario, 2008).

Provinsi Sumatra Barat merupakan salah satu daerah yang tergolong berpotensi tinggi terhadap bencana gempabumi disebabkan letaknya di pantai barat Sumatra

yang secara tektonik berada berdekatan dengan **zona subduksi** (*subduction zone*), yaitu zona pertemuan/perbatasan antara 2 lempeng tektonik berupa penunjaman lempeng India-Australia ke bawah lempeng Eurasia. Selain itu, **Patahan/sesar besar Sumatra** atau disebut juga dengan **Sesar Semangko**, memanjang di sepanjang Pulau Sumatra, mulai dari ujung Aceh hingga Selat Sunda, dengan bidang vertikal dan pergerakan lateral mengkanan (*dextral-strike slip*), sesar ini menyebabkan terjadinya gempa bumi di darat, pelepasan energi di patahan Semangko apabila sesar tersebut teraktifkan kembali (peristiwa reaktivasi sesar) dengan bergesernya lapisan batuan di sekitar zona sesar tersebut. Bagian barat sesar ini bergerak ke utara dan bagian timur bergerak ke selatan (Madlazim, 2010a; 2010b; Madlazim et al., 2010c). Ditambah pula, **aktivitas gunung berapi** yang masih aktif, misalnya Marapi, Tandikat, dan Talang dapat menimbulkan getaran yang cukup kuat. Antara zona subduksi, Sesar Sumatra, dan gunung-gunung berapi aktif ini saling berkaitan dan mempengaruhi [2].

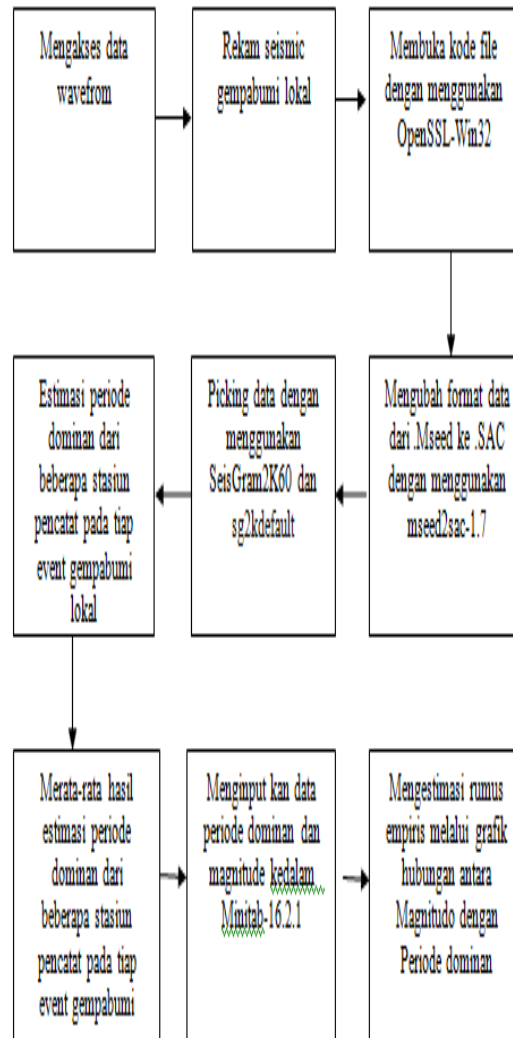
Gempabumi merupakan salah satu fenomena alam yang dapat terjadi sewaktu waktu dan berlangsung secara alami yang sifatnya lokal dan terjadi karena adanya pelepasan energi atau pergeseran elastic di daerah patahan pada suatu waktu, tempat yang tertentu dan menimbulkan kerugian. Mengingat secara geologis dan klimatologis wilayah Indonesia termasuk daerah rawan bencana alam seperti gempa bumi, oleh karena itu perlu diadakan penelitian mengenai estimasi magnitudo gempa bumi secara cepat dengan mencari rumus empiris korelasi antara magnitudo gempa bumi lokal dengan periode dominan gelombang P (Madlazim, 2011a; 2011b; 2012b). Penelitian tentang peringatan dini gempa bumi dengan mengestimasi magnitudo secara cepat telah dilakukan oleh beberapa ahli seismologi salah satunya Gunawan (2011) telah melakukan riset tentang potensi peringatan dini gempa di Jawa Barat dengan mengestimasi magnitudo secara cepat menggunakan data periode dominan pada tiga detik pertama gelombang-P dan hasil penelitian tersebut hanya berlaku di wilayah Jawa Barat sedangkan masih banyak lagi daerah-daerah di Indonesia yang berpotensi gempa bumi salah satunya adalah Sumatra Barat oleh karena itu peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian yang berjudul “Korelasi Antara Magnitudo Gempabumi Lokal Dengan Periode Dominan Gelombang P di Wilayah Sumatra Barat”.

## METODE

### A. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen laboratorium, dalam eksperimen laboratorium data yang dianalisis dapat di akses dan diunduh melalui internet.

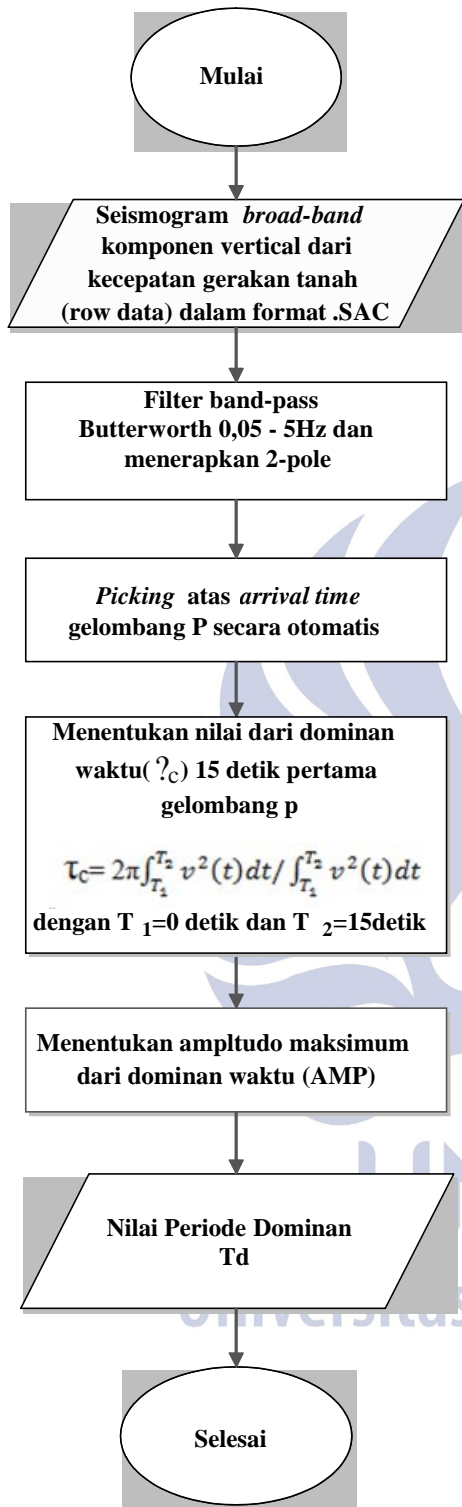
### B. Rancangan Penelitian



Bagan 1 Langkah-langkah penelitian

### C. Perancangan Program Penelitian

#### Flowchart Program



Bagan 2 Flowchart Program

#### D. Alur Kerja Penelitian

##### Pemilihan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gempabumi tektonik yang diperoleh dari WebDC, yang dapat diakses dengan alamat

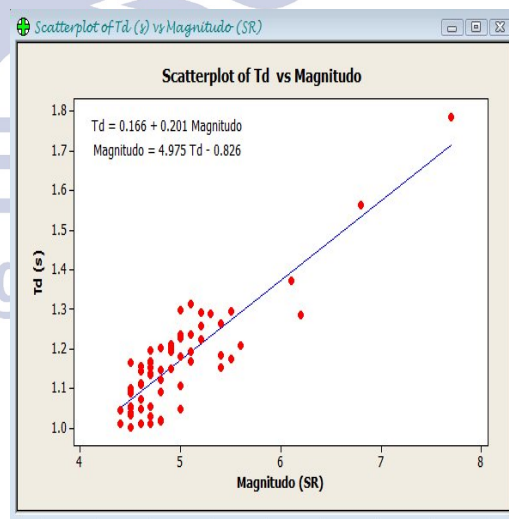
(<http://www.webDc.eu/arclink/query?sesskey =e18d507e> dari kejadian gempabumi sejak tanggal 1 Januari 2009 sampai dengan 31 Mei 2012, sedangkan tempat yang dijadikan objek penelitian adalah wilayah Sumatra Barat dengan batas wilayah  $-3.36^{\circ}\text{LS} - 0.93^{\circ}\text{LS}$  dan  $97.58^{\circ}\text{BT} - 101.83^{\circ}\text{BT}$  dengan besar Magnitudo dengan pembatasan lebih besar dari 4 SR dan jarak antara stasiun gempabumi dan kejadian gempabumi pada penelitian ini 0 sampai dengan 3.5 .

#### E. Teknik Analisa Data

Data gempabumi yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 63 kejadian gempabumi, setiap kejadian gempa dicatat oleh beberapa stasiun yang berbeda, sehingga kita mendapatkan beberapa  $T_d$  (Periode Dominan) dari setiap kejadian gempa, kemudian periode dominan tersebut di ambil rata-rata dari setiap kejadian gempabumi kemudian dibandingkan dengan magnitudo dari tiap peristiwa gempabumi melalui grafik dengan menggunakan software Minitab-16.2.1 dari grafik tersebut nantinya akan di cari 2 korelasi linier yaitu  $\log T_d = a + b \text{Magnitudo}$  dan  $T_d = a + b \text{Magnitudo}$ , sehingga didapatkan model estimasi magnitudo nya adalah  $\text{Magnitudo} = - + - \log T_d$ , jika persamaan tersebut disederhanakan maka akan dihasil model estimasi  $\text{magnitudo} = A + B \log T_d$  dan  $\text{magnitudo} = A + B T_d$  hasil persamaan tersebutlah yang nantinya akan digunakan untuk mengestimasi magnitudo gempabumi secara cepat di wilayah Sumatra Barat.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

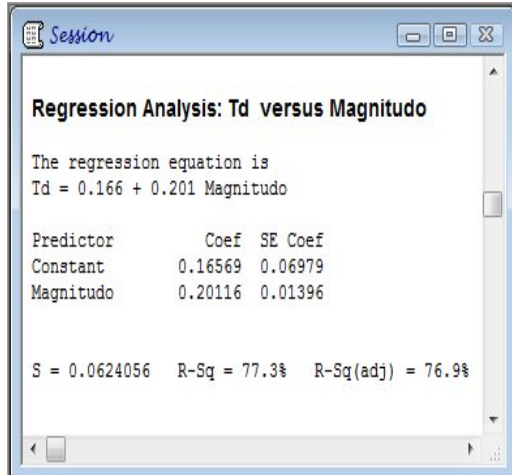
A. Hasil grafik dan regresi hubungan antara magnitudo dengan periode dominan



Gambar 1 Output minitab hasil grafik hubungan antara magnitudo dengan periode dominan

Dari hasil penelitian didapatkan grafik korelasi antara magnitudo dengan periode dominan seperti gambar 4.1, dimana sumbu X merupakan magnitudo dari

webDC dan sumbu Y merupakan nilai Td (periode dominan) yang telah kami hitung. Dari hasil uji regresi didapatkan persamaan regresi linier hubungan antara periode dominan (Td) dengan magnitudo adalah  $\log Td = 0,166 + 0,201 \text{ Magnitudo}$ , karena dalam penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi magnitudo maka persamaan ini dikonversikan menjadi  $\text{Magnitudo} = 4,975 Td - 0,826$ .

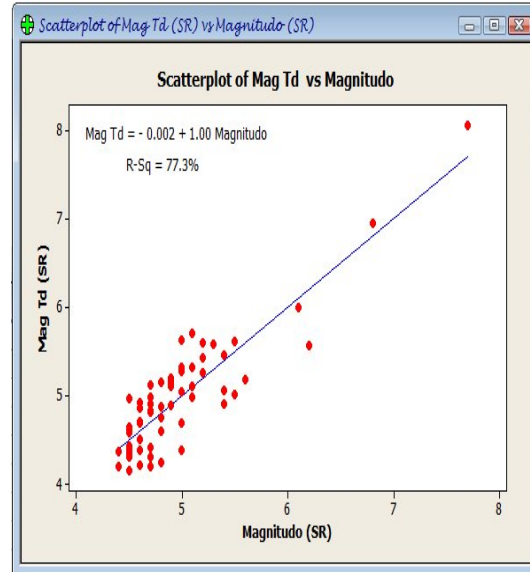


Gambar 2 Hasil nilai regresi hubungan antara magnitudo dengan periode dominan

Dari gambar 4.2 ditunjukkan bahwa hasil regresi hubungan Td dengan magnitudo didapatkan R-Square sebesar 77,3% data tersebut menunjukkan bahwa R-Sq (R Square) memiliki nilai 77,3 % yang artinya adalah ketepatan data terhadap model atau garis yang digunakan sebesar 77,3 % jadi dapat dikatakan bahwa hasil penelitian ini mendapatkan hasil regresi yang bagus.

Ditampilkan pula hasil R-Sq(adj) (*R-square adjusted*) yang merupakan hasil determinannya yang sudah dikoreksi atau disesuaikan yaitu sebesar 76,9 %. Dari hasil penelitian ini juga dapat diketahui bahwa standard error koefisien (Se Coef) dari magnitudo dan constant yaitu untuk constant standard error 0,06979 dan Magnitudo standard error 0,01396. Selain itu juga di dapatkan nilai S (*standard deviation*) dimana standard deviasi ini menunjukkan keheterogenan yang terjadi dalam data yang sedang diteliti, semakin kecil nilai S menandakan semakin berkumpul disekitar rata-rata hitungannya, dan memiliki kecenderungan setiap data identik satu sama lain. Dari output didapatkan nilai S sebesar 0,0624056, hasil ini menunjukkan bahwa nilai S yang mendekati 0 hal ini menandakan bahwa data pengamatan mendekati tingkat homogen, semua data memiliki nilai yang hampir identik.

Sedangkan untuk grafik korelasi antara magnitudo dari webDC dengan magnitudo dari hasil perhitungan rumus empiris yang telah didapatkan dari korelasi antara magnitudo dengan periode dominan dihasilkan sebagai berikut :

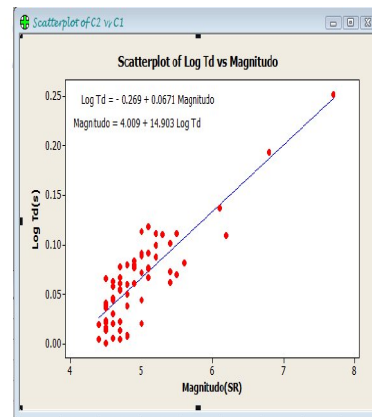


Gambar 3 Output minitab hasil grafik korelasi antara Magnitudo dengan Mag Td

Dari gambar 4.3 ditunjukkan bahwa perhitungan regresi magnitudo didapatkan persamaan

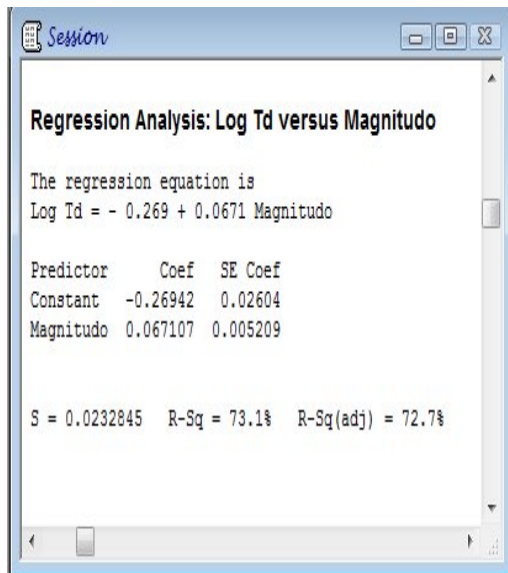
$\text{Mag Td} = -0,006 + 1,00 \text{ Magnitudo}$ , dimana sumbu X merupakan magnitudo dari webDC dan sumbu Y merupakan magnitudo dari hasil perhitungan rumus empiris yang telah didapatkan. Dan didapatkan nilai R-square sebesar 77,3 % ,data tersebut menunjukkan bahwa R-Sq (R Square) memiliki nilai 77,3 % yang artinya adalah ketepatan data terhadap model atau garis yang digunakan sebesar 77,3 %, dan hasil model yang mendekati 100% menunjukkan bahwa koreksi hasil analisa Magnitudo yang diperoleh dari persamaan regresi linier hubungan magnitudo dari hasil perhitungan rumus empiris yang telah didapatkan dengan Magnitudo yang berasal dari situs resmi Webdc memiliki tingkat akurasi hasil analisa magnitudo yang cukup baik.

- B. Hasil grafik dan regresi hubungan antara magnitudo dengan logaritma periode dominan
- C.



Gambar 4 Hubungan antara magnitudo dengan logaritma periode dominan

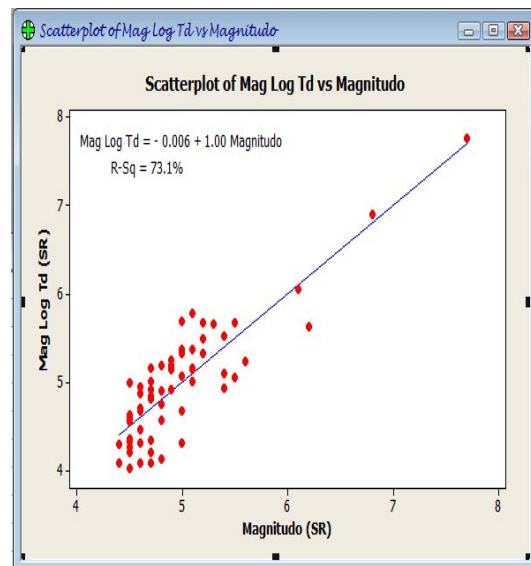
Dari hasil penelitian didapatkan grafik korelasi antara magnitudo dengan logaritma periode dominan seperti gambar 4.4, dimana sumbu X merupakan magnitudo dari webDC dan sumbu Y merupakan nilai logaritma Td (periode dominan) yang telah kami hitung. Dari hasil uji regresi didapatkan persamaan regresi linier hubungan antara logaritma periode dominan dengan magnitudo adalah  $\log Td = -0,269 + 0,0671 \text{ Magnitudo}$ , karena dalam penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi magnitudo maka persamaan ini dikonversikan menjadi  $\text{Magnitudo} = 4,009 + 14,903 \text{ Log Td}$ .



Gambar 5 Hasil nilai regresi korelasi antara magnitudo dengan logaritma periode dominan

Dari gambar 4.5 ditunjukkan bahwa hasil regresi hubungan log Td dengan magnitudo didapatkan R-Square sebesar 73,1 % yang artinya adalah ketepatan data terhadap model atau garis yang digunakan sebesar 73,1 % ,jadi dapat dikatakan bahwa hasil penelitian ini mendapatkan hasil regresi yang bagus. Ditampilkan pula hasil R-Sq(adj) (*R-square adjusted*) yang merupakan hasil determinannya yang sudah dikoreksi atau disesuaikan yaitu sebesar 72,7 %. Dari hasil penelitian ini juga dapat diketahui bahwa standard error koefisien (Se Coef) dari constant dan magnitudo yaitu untuk constant standard error 0,02604 dan Magnitudo standard error 0,005209. Selain itu juga di dapatkan nilai S (*standard deviation*) sebesar 0,0232845 ,hasil ini menunjukkan bahwa nilai S yang mendekati 0 hal ini menandakan bahwa data pengamatan mendekati tingkat homogen, semua data memiliki nilai yang hampir identik.

Sedangkan untuk grafik hubungan antara magnitudo dari webDC dengan magnitudo dari hasil perhitungan rumus empiris yang telah didapatkan dari hubungan magnitudo dengan log Td dihasilkan sebagai berikut :



Gambar 6 Output minitab hasil grafik korelasi antara Magnitudo dengan Mag log Td

Dari gambar 4.6 ditunjukkan bahwa perhitungan regresi magnitudo didapatkan persamaan

$\text{Mag Td} = -0,006 + 1,00 \text{ Magnitudo}$ , dimana sumbu X merupakan magnitudo dari webDc dan sumbu Y merupakan magnitudo dari hasil perhitungan rumus empiris yang telah didapatkan dari korelasi magnitudo dengan logaritma periode dominan. Dan didapatkan nilai R-square sebesar 73,1 % ,data tersebut menunjukkan bahwa R-Sq (R Square) memiliki nilai 73,1 % yang artinya adalah ketepatan data terhadap model atau garis yang digunakan sebesar 73,1 %, dan hasil model yang mendekati 100% menunjukkan bahwa koreksi hasil analisa Magnitudo yang diperoleh dari persamaan regresi linier hubungan magnitudo dari hasil perhitungan rumus empiris yang telah didapatkan dengan Magnitudo yang berasal dari situs resmi Webdc memiliki tingkat akurasi hasil analisa magnitudo yang cukup baik.

#### **D. Perbandingan antara hasil persamaan regresi hubungan magnitudo dengan periode dominan dan hubungan magnitudo dengan logaritma periode dominan.**

Dari penelitian ini didapatkan dua hasil persamaan regresi yaitu korelasi antara magnitudo dengan periode dominan dan korelasi magnitudo dengan logaritma periode dominan. Korelasi antara magnitudo dengan periode dominan didapatkan persamaan regresi  $\text{Magnitudo} = 4,975 \text{ Td} - 0,826$  dengan nilai R-Square sebesar 77,3% ,sedangkan untuk korelasi antara magnitudo dengan logaritma periode dominan didapatkan persamaan regresi  $\text{Magnitudo} = 4,009 + 14,903 \text{ Log Td}$  dengan didapatkan R-Square sebesar 73,1 % . Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa hasil persamaan regresi hubungan antara magnitudo dengan periode dominan lebih bagus dari pada hasil persamaan regresi hubungan antara magnitudo dengan logaritma periode dominan karena nilai R-Square yang dihasilkan lebih besar, akan

tetapi pada penelitian ini rumus empiris untuk estimasi magnitudo yang digunakan adalah hasil rumus empiris korelasi antara magnitudo dengan logaritma periode dominan yaitu Magnitudo =  $4,009 + 14,903 \text{ Log Td}$ . Perumusan ini digunakan atas pertimbangan bahwa pada penelitian-penelitian sebelumnya belum pernah ada penelitian yang mengestimasi rumus magnitudo dengan menggunakan regresi linier yang menghubungkan antara magnitudo dengan periode dominan. Adapun penelitian sebelumnya yang dilakukan untuk mengestimasi rumus magnitudo dengan menghubungkan magnitudo dengan logaritma periode dominan  $M = 0,64 \text{ Log Td} - 10,48$  dengan  $R^2 = 1$  [3] dan Magnitudo =  $4,156 \text{ log (Td)} + 5,6797$  [4].

Sehingga rumus empiris untuk mengestimasi magnitudo yang sesuai untuk daerah Sumatra Barat dapat dituliskan Magnitudo =  $4,009 + 14,403 \text{ Log Td}$ .

#### E. Perbandingan hasil penelitian terhadap penelitian sejenis

Berdasarkan hasil persamaan yang diperoleh dari penelitian ini diketahui bahwa magnitudo sebanding dengan periode dominan hal ini sesuai dengan penelitian Hendar Gunawan yang berjudul *Analysis The first Arrival of P-Wave of Ina-TEWS and CTBT stations to Support Earthquake Early Warning*. Penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui estimasi magnitudo secara cepat dengan menggunakan data periode dominan pada tiga detik pertama gelombang-P. Adapun hasil penelitiannya diperoleh rumus empiris estimasi magnitudo sebagai berikut untuk hubungan antara magnitudo dengan periode dominan ( $\text{Log Td}$ ) =  $0,2406M - 1,3665$  atau Magnitudo =  $4,156 \text{ log (Td)} + 5,6797$  dengan  $R\text{-Sq (R Square)} = 73\%$  dan untuk hasil regresi hubungan  $\text{Mag}$  dengan  $\text{Mag\_Td}$  didapatkan Magnitudo =  $1,001M + 0,005$  dengan  $R\text{-Sq} = 72\%$ , hasil ini menunjukkan bahwa magnitudo sebanding dengan periode dominan sama dengan hasil perolehan rumus empiris penelitian kami dapatkan regresi Magnitudo =  $4,009 + 14,403 \text{ Log Td}$  dengan nilai  $R\text{-Square}$  sebesar  $73,1\%$  dan untuk hasil regresi hubungan  $\text{Mag}$  dengan  $\text{Mag Td}$  didapatkan  $\text{Mag Td} = -0,006 + 1,00 \text{ Magnitudo}$  dengan  $R\text{-Sq} = 73,1\%$ . Hasil penelitian ini juga menunjukkan adanya kesesuaian dengan teori yang menyatakan bahwa Periode dominan ini merupakan komponen utama dalam peringatan dini mitigasi potensi bencana gempa bumi yang dinyatakan dalam perhitungan perioda dominan ( $\text{Td}$ ) dan prakiraan magnitudo secara cepat untuk menentukan ukuran gempa bumi dan kapan rayapan patahan gempa (*rupture*) berhenti selama periode gerak gempa bumi terjadi [5].

#### PENUTUP

##### Simpulan

Dari hasil penelitian ini didapatkan persamaan empiris korelasi antara magnitudo dengan logaritma periode dominan untuk mengestimasi magnitudo gempa bumi lokal di Sumatra Barat yaitu Magnitudo =

$4,009 + 14,903 \text{ Log Td}$  dengan didapatkan  $R\text{-Square}$  sebesar  $73,1\%$ .

#### Saran

1. Diharapkan ada penelitian selanjutnya mengenai estimasi magnitudo gempa bumi lokal dengan periode dominan gelombang P untuk daerah lain yang juga rawan terhadap gempa bumi.
2. Diharapkan ada penelitian lain di Sumatra Barat yang memanfaatkan periode dominan sebagai model penelitian, karena pemanfaatan periode dominan mungkin tidak hanya digunakan sebagai estimasi magnitudo saja.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ario, Yuwono. 2008. *Pengembangan Model Mitigasi Bencana Melalui Pengaturan Penggunaan Lahan Kaitannya Terhadap Tata Ruang*. Semarang : JURUSAN PERENCANAAN WILAYAH DAN KOTA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO
- Bagus Jaya Santosa and Madlazim, 2012a, Earthquakes Sources Parameter Estimation of 20080917 and 20081114 Near Semangko Fault, Sumatra Using Three Components of Local Waveform Recorded by IA Network Station. *Makara Journal of Science* 16/1 (2012) 27-32 doi: 10.7454/mss.v16i1.1277/*Makara J. Sci.* 16/1 (2012) 27-32
- Mindaryati, Siti. 2008. *Penentuan Besar Magnitudo Momen Gempabumi (Mw) dengan Menggunakan Hubungan Durasi dan Momen Seismik (Studi Kasus Gempabumi di Jawa Timur)*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Gunawan, Hendar. 2011. *Analysis The first Arrival of P-Wave of Ina-TEWS and CTBT stations to Support Earthquake Early Warning*. Jakarta : BADAN METEOROLOGI DAN GEOFISIKA.
- Gunawan, Hendar. 2011. *Potensi Dini Gempa (Belajar Dari Gempa Tasikmalaya, 2 September 2009, M 2.7 SR Di Jawa Barat)*. Jakarta : BADAN METEOROLOGI DAN GEOFISIKA
- Madlazim, Bagus Jaya Santosa, and Widya Utama, 2010a, Three Components Seismogram Analysis of Tasikmalaya, Indonesia on September 2, 2009 Earthquake to Investigate the Coulomb Stress Change and Seismicity Rate Change. Vol 21 No. 3, July 2010, *Indonesian Journal of Physics*.
- Madlazim, Bagus Jaya Santosa, and Widya Utama, 2010b, Seismic Moment Tensors of Padang 20090930 and Jambi 20091001 Events in Jambi using Three Component Local Waveforms: Identification of the

Active Fault Plane. Vol 21 No. 4, July 2010, Indonesian Journal of Physics.

Madlazim, Bagus Jaya Santosa, Jonathan M. Lees and Widya Utama, 2010c. Earthquake Source Parameters at Sumatran Fault Zone: Identification of the Activated Fault Plane, Cent. Eur. J. Geosci.,2(4),2010.DOI:10.2478/v10085-010-0016-5.

Madlazim (2011a), Toward Indonesian Tsunami Early Warning System by Using Rapid Rupture Duration Calculation, Science of Tsunami Hazards, Vol 30, No. 4, Tsunami Society International, USA.

Madlazim, (2011b), Estimasi Durasi, Arah dan Panjang Rupture, serta Lokasi-lokasi Gemabumi Susulan Menggunakan Perhitungan Cepat, Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA), Vol 2, No. 2.

Madlazim (2012b), Toward tsunami early warning system in Indonesia by using rapid rupture durations estimation, AIP Conf. Proc. 1454, pp. 142-145; doi:<http://dx.doi.org/10.1063/1.4730707> (4 pages) INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND ITS APPLICATIONS: (ICPAP 2011).

