

ANALISIS KORELASI ANTARA MAGNITUDO MOMEN GEMPA BUMI REGIONAL DENGAN PERIODE DOMINAN GELOMBANG P DI WILAYAH INDONESIA

Desi Intan Purnamasari¹⁾, Madlazim²⁾

¹⁾Program Studi S1 Fisika, FMIPA, UNESA, E-mail dinta.ituintan@gmail.com

²⁾Dosen Fisika, FMIPA, UNESA, E-mail madlazimm@yahoo.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi bencana kebumihan, misalnya gempa bumi. Hal ini karena Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng besar yaitu lempeng IndoAustralia, Eurasia, dan Pasifik, dengan berada di antara pertemuan tiga lempeng tektonik menjadikan Indonesia merupakan kawasan seismik aktif yang memicu gempa bumi. Indonesia sudah memiliki alat mitigasi gempa bumi yang berpotensi tsunami yaitu InaTEWS, tetapi pada kenyataannya alat itu masih kurang akurat. Pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan rumus empiris korelasi antara magnitudo momen (M_w) gempa bumi regional dengan periode dominan (T_d) gelombang P di wilayah Indonesia. Magnitudo momen merupakan ukuran untuk menyatakan kekuatan gempa bumi berdasarkan energi momen seismik yang dipancarkan pada saat terjadinya gempa bumi. Periode dominan adalah waktu pada saat amplitudo dari domain waktu (τ_c) bernilai maksimum. Periode dominan ini menggambarkan besarnya energi kinetik maksimum dari gelombang P. Rumus empiris korelasi antara magnitudo momen dengan periode dominan dikonversi dengan magnitudo yang diumumkan oleh lembaga seismologi (BMKG) yang menggunakan InaTEWS, sehingga dapat memberi informasi lebih akurat mengenai peringatan dini gempa bumi yang berpotensi tsunami. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode langsung dengan mengolah data periode dominan menggunakan software Joko Tingkir. Data periode dominan diperoleh dari webDC periode 2008-2014 di wilayah Indonesia dengan kedalaman < 100km dan menggunakan data regional sebanyak 50 event gempa bumi. Magnitudo momen diperoleh dari globalCMT. Hasil dari korelasi antara magnitudo momen dengan periode dominan diperoleh persamaan linier $M_{wT_d} = 5,303 + 0,277T_d$ dengan koefisien korelasi sebesar 87,3% dan koefisien determinasi sebesar 0,762. Nilai koefisien determinasi pada rentang 0,75-0,99 menyatakan kriteria korelasi sangat kuat. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa korelasi antara magnitudo momen dan periode dominan masuk pada korelasi yang memiliki kriteria sangat kuat. Rumus empiris ini dapat digunakan untuk penentuan magnitudo momen dengan menentukan periode dominan dari seismogram yang terekam oleh masing-masing stasiun.

Kata Kunci: Magnitudo momen, Periode dominan, Gempa bumi Regional.

Abstract

Indonesia is a country that has potential of terrestrial disasters, such as earthquakes. This is because Indonesia is located at the confluence of three major plates, namely Indoaustralia, Eurasia, and the Pacific plates, to be among the confluence of three tectonic plates make Indonesia an active seismic region that triggers earthquakes. Indonesia already has a mitigation tool tsunamigenic earthquake that InaTEWS, but in reality it is still less accurate tool. In this study aims to determine the empirical formula of correlation between the magnitude of the moment (M_w) regional earthquake with a dominant period (T_d) P waves in the area of Indonesia. The magnitude of the moment is a measure to express the strength of the earthquake based on seismic moment of the energy emitted in the event of an earthquake. The dominant period is the time when the amplitude of the time domain (τ_c) is worth a maximum. Dominant period illustrates the magnitude of the maximum kinetic energy of waves P. The empirical formula of correlation between the magnitude of the moment with a dominant period converted to the magnitude announced by seismological agency (BMKG) which uses InaTEWS, so it can provide more accurate information about an earthquake early warning of potentially tsunami, The method used in this research is the direct method by processing dominant period data using software Joko Tingkir. Dominant period data obtained from webDC period 2008-2014 in Indonesia with a depth <100km and uses regional data 50 earthquake event. Moment magnitude obtained from globalCMT. Results of the correlation between the magnitude of the moment with a dominant period of the linear equation $M_{wT_d} = 5.303 + 0.277T_d$ with a correlation coefficient of 87.3% and the coefficient of determination of 0.762. The coefficient of determination in the range from 0.75 to 0.99 expressed very strong correlation criteria. In this study we can conclude that the correlation between the magnitude of the moment and get in on the dominant period of the correlation that has very strong criteria. The empirical formula can be used to determine the magnitude of the moment to determine the dominant period of seismograms recorded by each station.

Keywords: The magnitude of the moment, the dominant period, Regional Earthquakes

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi bencana kebumiharian, misalnya gempa bumi. Hal ini karena Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng besar yaitu lempeng IndoAustralia, Eurasia, dan Pasifik, dengan berada di antara pertemuan tiga lempeng tektonik menjadikan Indonesia merupakan kawasan seismik aktif yang memicu gempa bumi (Baeda dan Husain, 2012).

Lempeng-lempeng yang ada di dalam bumi setiap waktu mengalami proses pergerakan secara kontinyu walaupun relatif sangat kecil, sehingga tidak secara signifikan kita rasakan (Nandi, 2006).

Pergerakan antar lempeng yang ada di dalam bumi mengakibatkan adanya lipatan, setelah melewati batas elastisitasnya maka lempeng tersebut akan mengalami patahan. Pada saat itulah gempa bumi terjadi. Ketika terjadi dislokasi di zona pertemuan lempeng di bawah laut, selain terjadi getaran gempa bumi, juga akan mengakibatkan terjadinya perpindahan massa air laut dengan jumlah yang sangat besar yang akan memicu terjadinya tsunami.

Indonesia sudah memiliki alat yang canggih dalam mitigasi bencana tsunami yaitu *Ina-TEWS* (Indonesia Tsunami Early Warning System). Saat ini masyarakat dapat mengetahui informasi tentang kapan, dimana dan seberapa besar magnitudo gempa bumi terjadi yaitu dari BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika). BMKG dapat mengetahui terjadinya gempa bumi berpatokan pada kriteria sistem *Ina-TEWS* yaitu jika ada gempa di atas 7,0 Mw dengan episentrum di laut dan kedalaman kurang dari 100 kilometer, tsunami berpotensi terjadi.

Pada peristiwa gempa bumi berkekuatan 7,8 Mw di Kabupaten Simeulue, Provinsi Aceh (6 April, 2010) sirene meraung-raung bertanda adanya tanda bahaya ternyata tsunami tidak terjadi. Gempa bumi di Mentawai berkekuatan 7,6 Mw (Oktober, 2010) sirene juga terdengar meraung dan ternyata kali ini tsunami menyapu daratan. (Majalah Tempo, 2013). Peristiwa-peristiwa gempa bumi yang terjadi membuktikan bahwa parameter yang digunakan pedoman *Ina-TEWS* belum akurat jika digunakan untuk peringatan dini tsunami. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mencari parameter lain yang dapat diintegrasikan dengan *Ina-TEWS* supaya lebih akurat.

Pada penelitian sebelumnya oleh Madlazim dan Hariyono (2011) telah dilakukan riset kesejumlah lembaga seismologi termasuk BMKG dan dihasilkan *software* bahasa pemrograman BASH yang dapat membaca peluang terjadinya tsunami setelah gempa bumi. *Software* tersebut diberi nama "Joko Tingkir".

Software Joko Tingkir merupakan program komputer yang berfungsi untuk mengestimasi parameter sumber gempa bumi. Parameter yang ada pada *software* ini yaitu durasi *rupture* (T_{dur}), periode dominan (T_d), durasi lebih dari 50 detik (T_{50Ex}) dari gelombang P yang terekam oleh stasiun pencatat kejadian gempa bumi. Hasil riset ini dapat mendukung *Ina-TEWS* dalam mengatasi mitigasi bencana gempa bumi yang berpotensi tsunami. Namun agar dapat diterapkan, *software* ini masih perlu diuji coba menggunakan data *real time* supaya dapat diintegrasikan dengan *Ina-TEWS* milik BMKG. (Majalah Tempo, 2013).

Dalam penelitian sebelumnya oleh Gunawan, et al (2011) tentang Potensi Peringatan Dini Gempa di Jawa Barat yang membuat hubungan matematis periode dominan (T_d) dengan Magnitudo. Selain itu penelitian oleh Dewi dan Madlazim (2012) menggunakan korelasi magnitudo gempa bumi lokal dengan periode dominan gelombang P dan Ubaidillah (2012) menggunakan gempa bumi regional. Dari penelitian keduanya yang membedakan yaitu jarak dan lokasi. Dengan menggunakan data gempa bumi lokal di daerah Sumatra Barat dan gempa bumi regional di daerah Sumatra Selatan.

Penelitian yang dilakukan oleh Gunawan (2011), Dewi HR (2012), dan Ubaidillah (2012) didapatkan formula rumus empiris yang berbeda karena di setiap wilayah memiliki karakteristik dan struktur tanah yang berbeda pula. Berdasarkan penelitian tersebut formula rumus empiris yang ada hanya berlaku di daerah yang diteliti. Pada kenyataannya masih banyak wilayah di Indonesia yang tergolong daerah rawan bencana gempa bumi, atas dasar inilah yang membuat perlu dilakukannya penelitian mengenai "**Analisis Korelasi antara Magnitudo Momen Gempa bumi Regional dengan Periode Dominan Gelombang P di Wilayah Indonesia**".

METODE

A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini berjenis penelitian korelasional yang berbasis komputasi. Variabel dalam penelitian ini tidak ada yang dimanipulasi. Data yang digunakan yaitu data dari Geofon yang bisa di akses di (<http://geofon.gfz-potsdam.de>), kemudian di analisis di laboratorium komputasi menggunakan *software* Joko Tingkir.

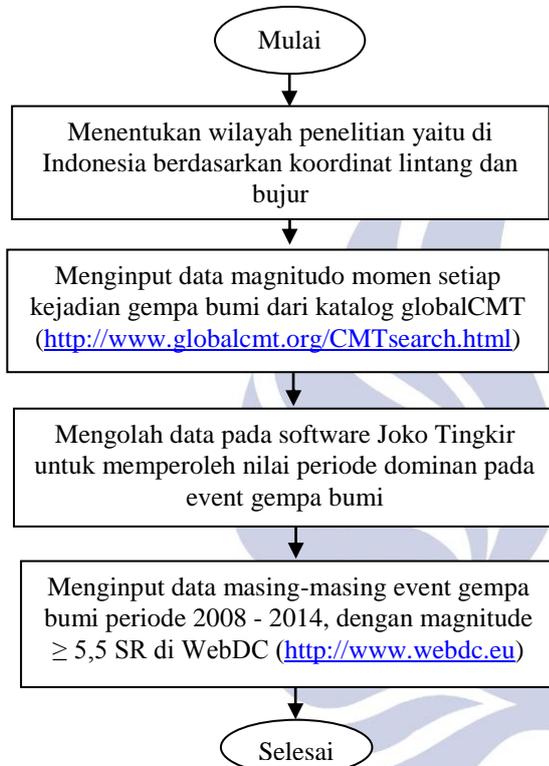
B. Sumber Data dan Data Penelitian

Data pada penelitian ini menggunakan data kuantitatif yang dapat di akses di (<http://geofon.gfz-potsdam.de>) dengan periode antara 2008 sampai 2014. Tempat yang

dijadikan penelitian yaitu di wilayah Indonesia dengan batas wilayah latitude antara 06,08 ° LU sampai 11,15° LS dan longitude 94,45° sampai 141,05°BT. Magnitudo yang digunakan yaitu $\geq 5,5$ SR, dengan kedalaman ≤ 100 km dan jarak stasiun terhadap sumber gempa bumi antara 10° sampai 15°. Dimana dalam 1° mewakili 111 km.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini diperlukan prosedur untuk memudahkan perhitungan analisis data gempa bumi dalam studi kegempaan secara matematis.



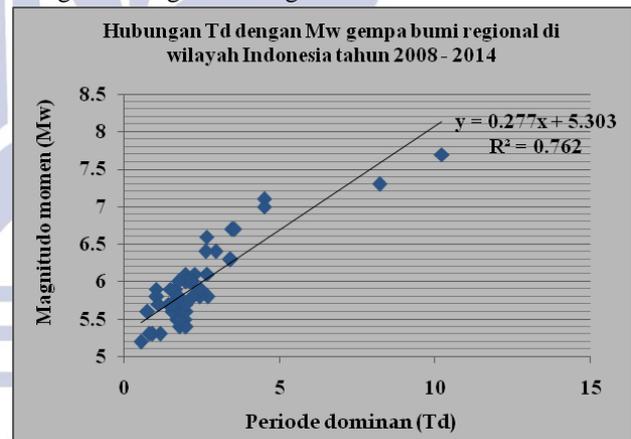
Gambar 3.1 Diagram alir pengumpulan data

Gambar 3.2 Alur pengolahan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

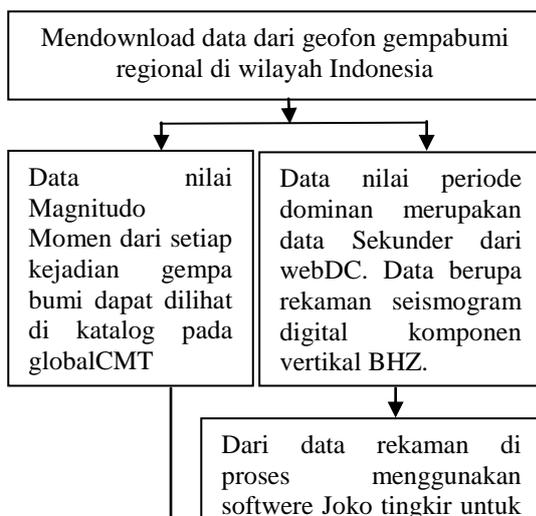
A. Hasil Penelitian

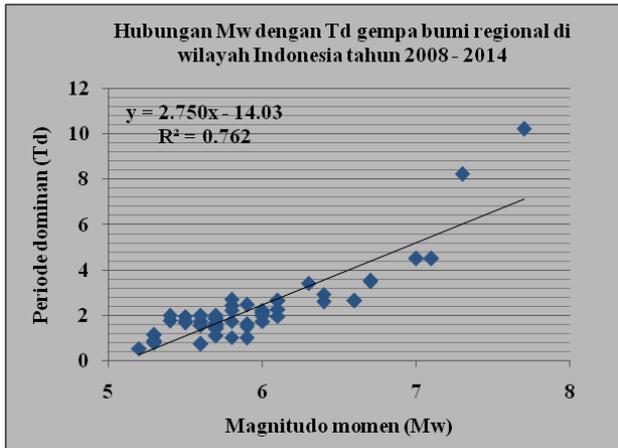
Hasil pada penelitian ini yaitu data magnitudo momen yang diperoleh dari <http://www.globalcmt.org> dan periode dominan dari <http://www.webdc.eu> yang telah diolah dengan menggunakan software Joko Tingkir. Hasil analisis regresi hubungan antara magnitudo momen dengan periode dominan dengan metode tangan bebas menghasilkan grafik sebagai berikut:



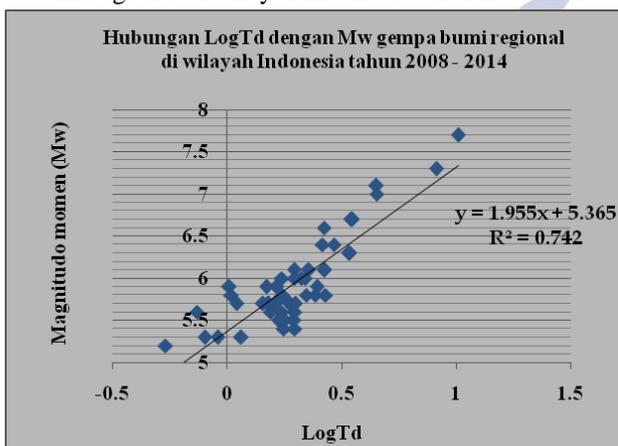
Gambar 4.1 Grafik korelasi antara Td dan Mw gempa bumi regional di wilayah Indonesia tahun 2008-2014

D. Alur pengolahan data





Gambar 4.2 Grafik korelasi antara Mw dan Td gempa bumi regional di wilayah Indonesia tahun 2008-2014



Gambar 4.3 Grafik korelasi antara LogTd dan Mw gempa bumi regional di Indonesia tahun 2008-2014

B. Pembahasan

Pada penelitian ini di dapatkan nilai Magnitudo momen , Periode dominan, dan LogTd yang merupakan parameter-parameter gempa bumi. Data tersebut dicari korelasi antara kedua variabel tersebut dengan analisis regresi dengan metode tangan bebas. Dari metode ini dihasilkan grafik seperti pada gambar 4.1, 4.2 dan 4.3 . Dimana pada gambar 4.1 sumbu X merupakan nilai periode dominan yang diolah dari *software* Joko Tingkir dan sumbu Y merupakan nilai magnitudo momen dari globalCMT. Pada gambar 4.2 yaitu sebaliknya dimana sumbu X merupakan nilai magnitudo momen dari globalCMT dan sumbu Y merupakan nilai periode dominan yang diolah dari *software* Joko Tingkir.

Pada gambar 4.3 variabel pada sumbu X yaitu LogTd dan Y merupakan magnitudo momen. Pada ketiga grafik korelasi, dapat dilihat bahwa titik-titik yang ditentukan oleh sumbu X dan sumbu Y digambarkan berupa diagram pencar. Dengan memperhatikan letak titik-titik dalam diagram, titik-titik terlihat berada di sekitar garis dan nampak bahwa ada gejala linieritas atau kelurusan, maka dapat diduga bentuk regresi pada penelitian ini yaitu berupa regresi linier. Dari diagram pencar juga

diperoleh nilai $r^2=0,762$; $y = 0,277X+ 5,303$ untuk gambar 4.1, $r^2=0.762$; $y=2.750X- 14.03$ untuk gambar 4.2 dan gambar 4.3 sebesar $r^2=0.742$; $y = 1.955X+ 5.365$. Nilai r^2 yang diperoleh dari masing-masing diagram terlihat bahwa r^2 untuk korelasi logTd dengan magnitudo momen hasilnya lebih kecil dibandingkan dengan korelasi periode dominan dan magnitudo momen, maka dari itu yang digunakan dalam analisis selanjutnya hanya korelasi periode dominan dan magnitudo momen.

Dalam menentukan dugaan bentuk regresi apakah linier atau tidak maka digunakan analisis dengan menggunakan metode kuadrat kecil. Dalam metode ini yaitu mencari bentuk persamaan dari sebuah garis yang memiliki koefisien-koefisien regresi berupa koefisien a dan b untuk regresi linier . Dari perhitungan menggunakan persamaan (3.2) dan (3.3) diperoleh koefisien a sebesar 5,303 dan koefisien b sebesar 0,277, maka persamaan linier Y atas X adalah $\hat{Y} = 5,303 + 0,277X$ untuk gambar 4.1. Sedangkan untuk gambar 4.2 yaitu koefisien a sebesar - 14.03 dan koefisien b sebesar 2.750, maka persamaan linier Y atas X adalah $\hat{Y}=- 14.03+2.750X$.

Proses selanjutnya yaitu menentukan ketepatan persamaan estimasi yang dihasilkan untuk mengestimasi nilai variabel dependen (Y) dengan metode kuadrat kecil. Ketepatan persamaan estimasi dapat ditentukan dengan mencari besarnya kesalahan standar estimasi (S_e).

Pada penelitian ini kesalahan standar estimasi dihitung dengan menggunakan persamaan (3.4) sehingga didapatkan nilai untuk gambar 4.1 sebesar dan gambar 4.2 sebesar 0,826. Nilai ketepatan persamaan estimasi dapat menjelaskan nilai variabel dependen yang sesungguhnya. Semakin kecil nilai kesalahan standar estimasi, maka semakin tinggi ketepatan persamaan estimasi yang dihasilkan dan sebaliknya. Dari kedua hasil tersebut terdapat suatu perbedaan dan terlihat bahwa nilai kesalahan standar estimasi pada gambar 4.1 lebih kecil, menandakan bahwa ketepatan persamaan estimasi yang dihasilkan oleh gambar 4.1 lebih tinggi. Sehingga hasil yang digunakan untuk analisis selanjutnya yaitu menggunakan gambar 4.1.

Uji selanjutnya yaitu menggunakan pengujian statistik koefisien korelasi agar mengetahui keeratan hubungan linier antara magnitudo momen dan periode dominan. Ada beberapa langkah untuk menguji hipotesis terhadap koefisien korelasi yang pertama yaitu perumusan hipotesis. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.3), pada persamaan (3.7) hasilnya masuk pada persamaan $H_A \rightarrow b \neq 0$, yang berarti variabel independen (periode dominan) berpengaruh terhadap variabel dependen (magnitudo momen). Selain itu pada persamaan (3.8) sesuai dengan persamaan $H_A \rightarrow b > 0$,

berarti pada penelitian ini variabel periode dominan memiliki korelasi positif dengan magnitudo momen.

Langkah kedua yaitu mencari nilai t_{hitung} dan t_{tabel} . Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan (3.9) dan nilai pada tabel diperoleh masing-masing nilai sebesar 12,3978 dan 2,423. Nilai $t_{hitung} > t_{tabel}$ menandakan bahwa pada penelitian ini menolak hipotesis nol dan menerima hipotesis alternatif yang artinya nilai magnitudo momen mempunyai korelasi linier positif dengan periode dominan. Pada uji normalitas diperoleh nilai $Dn < KS_{tabel}$ yang berarti data pada penelitian ini terdistribusi normal.

Selain menggunakan analisis regresi dengan metode tangan bebas, kuadrat kecil, dan mencari kesalahan standar estimasi, pada penelitian ini juga menggunakan analisis korelasi dalam regresi linier. Pada analisis ini digunakan untuk menyatakan derajat hubungan antar kedua variabel yang dinyatakan dengan r dan biasanya dinamakan koefisien korelasi. Besarnya koefisien korelasi berkisar antara +1 s/d -1. Koefisien korelasi menunjukkan kekuatan (*strength*) hubungan linear dan arah hubungan dua variabel.

Pada penelitian ini variabel yang digunakan yaitu magnitudo momen dan periode dominan. Perhitungan koefisien korelasi yang digunakan yaitu perhitungan r . Berdasarkan sekumpulan data (X_i, Y_i) dengan menggunakan persamaan (3.5) diperoleh nilai r sebesar 0,873. Hasil perhitungan didapat koefisien korelasinya berupa korelasi positif, dimana kedua variabelnya mempunyai hubungan searah. Artinya jika nilai variabel X (magnitudo momen) tinggi, maka nilai variabel Y (periode dominan) akan tinggi pula. Selain koefisien korelasi, untuk memudahkan melakukan interpretasi mengenai kekuatan hubungan antara dua variabelnya maka menggunakan koefisien determinasi, dengan menggunakan persamaan (3.6) dan diperoleh nilai koefisien determinasi sebesar $r^2 = 0,762$. Dengan melihat nilai r_{hitung} dan r_{tabel} didapatkan hasil $r_{hitung}(0,873) > r_{tabel}(0,368)$ yang berarti adanya korelasi antara T_d dan M_w .

Selain menggunakan analisis perhitungan manual juga digunakan analisis menggunakan komputer untuk membandingkan nilai r dan r^2 dari hasil perhitungan dengan analisis dari komputer. Dari komputer diperoleh nilai seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.2 Hasil analisis komputer

Regression Statistics	
Multiple R	0.873383162
R Square	0.762798148
Adjusted R Square	0.7577513
Standard Error	0.250967452
Observations	49

Untuk nilai r dan r^2 dari perhitungan masing-masing yaitu 0,873 dan 0,762 sedangkan pada analisis dari komputer masing-masing sebesar 0.873383162 dan 0.762798148. Dari keduanya diperoleh nilai r dan r^2 yang sama dan menandakan tidak ada kesalahan dalam perhitungan manual pada penentuan koefisien korelasi dan koefisien determinasi. Pada tabel 3.1, untuk nilai koefisien determinasi sebesar 0,762 masuk pada rentang kriteria korelasi sangat kuat, maka korelasi pada penelitian ini masuk pada korelasi yang memiliki kriteria sangat kuat.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Gunawan, et al (2011) tentang penentuan model empiris LogTd dengan magnitudo secara deterministik untuk 68 data signal gempa yang dicatat Stasiun CISI, dari Megathrust di Selatan Jawa. Penelitian yang lain yaitu oleh Dewi dan Madlazim (2012) menggunakan Korelasi antara Magnitudo Gempa bumi Lokal Dengan Periode Dominan Gelombang P di Wilayah Sumatra Barat untuk 63 data kejadian gempa bumi yang diperoleh dari webDC, setiap kejadian gempa dicatat oleh beberapa stasiun yang berbeda sehingga kita mendapatkan beberapa periode dominan dari setiap kejadian gempa bumi, kemudian periode dominan tersebut diambil rata-rata dari setiap kejadian gempa bumi. Pada penelitian Gunawan, et al (2011) menggunakan LogTd dan menggunakan 1 stasiun.

Pada penelitian Dewi dan Madlazim (2012) kelebihanannya yaitu menggunakan lebih dari 1 stasiun dan menggunakan periode dominan. Kedua penelitian tersebut sama-sama menggunakan magnitudo dengan jenis gempa bumi lokal yang pada kenyataannya gempa bumi lokal banyak terdapat nois. Pada penelitian ini menggunakan magnitudo momen dan gempa bumi regional yang noisnya lebih sedikit jika dibandingkan dengan gempa bumi lokal. Magnitudo momen ini merupakan magnitudo yang memiliki ketelitian lebih jika dibandingkan dengan magnitudo lain.

Hasil dari beberapa analisis pada penelitian ini didapatkan persamaan rumus empiris hubungan periode dominan dengan magnitudo momen dan LogTd dengan magnitudo momen. Kedua persamaan tersebut dikonversi dengan magnitudo dari globalCMT, sehingga menghasilkan perbandingan yang membuktikan bahwa rumus empiris hubungan periode dominan dengan magnitudo momen memiliki selisih yang sedikit dan mendekati nilai magnitudo momen dari globalCMT. Pada penelitian dengan judul **Analisis Korelasi antara Magnitudo Momen Gempa bumi Regional dengan Periode Dominan Gelombang P di Wilayah Indonesia** menggunakan rumus empiris yang memiliki tingkat keakuratan tinggi yaitu $M_{wTd} = 0,277X + 5,303$ dengan presentase koefisien korelasi sebesar 87,3%.

SIMPULAN DAN SARAN

A. SIMPULAN

Dari hasil analisis dan pembahasan pada penelitian dengan judul Analisis Korelasi antara Magnitudo Momen Gempa bumi Regional dengan Periode Dominan Gelombang P di Wilayah Indonesia didapatkan simpulan sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini didapatkan data magnitudo momen gempa bumi regional dari globalCMT dan periode dominan gelombang P dari webDC, kemudian diolah menggunakan *software* Joko Tingkir. Dari kedua data tersebut diperoleh persamaan rumus empiris korelasi antara magnitudo momen gempa bumi dengan periode dominan di Wilayah Indonesia tahun 2008-2014 yang didapatkan dari analisis regresi sebesar $M_{wTd}=5,303+0,277Td$.
2. Hasil dari analisis korelasi diperoleh koefisien regresi dimana koefisien a sebesar 5,303 dan koefisien b sebesar 0,277. Koefisien korelasi dan determinasi masing-masing sebesar 0,873 dan 0,762. Nilai koefisien determinasi pada rentang 0,75-0,99 masuk pada kriteria korelasi sangat kuat, maka korelasi pada penelitian ini termasuk pada korelasi yang memiliki kriteria sangat kuat.

B. SARAN

Adapun saran untuk penelitian ini yaitu:

1. Untuk meminimalisir terjadinya noise perlu adanya perbaikan atau pengontrolan pada setiap stasiun yang mencatat kejadian gempa bumi.
2. Perlu adanya penelitian lain di wilayah Indonesia dengan memanfaatkan parameter selain Magnitudo moment dan periode dominan yang digunakan sebagai mitigasi bencana gempa bumi.

DAFTAR PUSTAKA

Algifari. *Analisis Regresi (Teori, Kasus, dan Solusi) Edisi 2*. Yogyakarta: BPFE Yogyakarta, 2000.

Arif U. & Madlazim. "Korelasi Antara magnitudo gempabumi regional dengan periode dominan gelombang P di wilayah sumatra selatan". *Inovasi Fisika Indonesia*, 2012.

Baeda, Aydan 2008 dalam Achmad Yasir, dan Firman Husain. "Kajian Potensi Tsunami Akibat Gempa Bumi Bawah Laut di Perairan Pulau Sulawesi." *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 2012: 1.

Edwiza, Daz. "Analisis terhadap Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa SUMBAR ." No. 29 Vol 1 Thn.XV, 2008.

Gunawan, Hendar, Gunawan Ibrahim, Nanang T.Puspito, dan Pj.Priharyadi. "Potensi Peringatan Dini Gempa (Belajar dari Gempa Tasikmalaya, 2 September 2009, M 7,2 SR)." (BMKG) 2011.

Hara, Hara 2007 dalam Tatsuhiro. "Magnitude determination using duration of high frequency energy radiation and displacement amplitude: application to the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake." *Earth Planets Space*, 2011.

Helvin R.D. & Madlazim. "Korelasi magnitudo gempa bumi lokal dengan perimide dominan gelombang P untuk peringatan dini tsunami." *Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Vol 1, No. 1,* 2012.

Lomax, Anthony. "Tsunami early warning using earthquake rupture duration and P-wave dominant period: the importance of length and depth of faulting." *Geophysical Journal International*, 2010.

Madlazim. *Panduan Bagi Pengguna Program Komputer Joko Tingkir*. Surabaya: Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya, 2013.

Madlazim, dan E Hariyono. "Joko Tingkir Program for Estimating Tsunami Potential Rapidly." 2014.

Nandi. *Gempa bumi*. Universitas Pendidikan Indonesia, 2006.

Susilawati, Sumner 1970 dalam. "Penerapan penjalaran gelombang seismik gempa pada penelaahan struktur bagian dalam bumi." *Sumatra Utara*, 2008.

24 Februari 2013. <http://majalah.tempo.co> (diakses oktober 25, 2014).