

ANALISIS KEAKURATAN ESTIMASI PARAMETER TSUNAMI SECARA *REAL TIME* PADA *SOFTWARE* JOKO TINGKIR DAN *EARLY-EST* UNTUK GEMPA PERIODE JANUARI – APRIL 2020 DI INDONESIA

Irma Agresita Suroso¹, Dzulkiifli², Madlazim³

¹Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: irmasuroso16030224015@mhs.unesa.ac.id

²Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: dzulkiifli@unesa.ac.id

³Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: madlazim@unesa.ac.id

ABSTRAK

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk menganalisis keakuratan dari estimasi parameter tsunami dan prediksi tsunami secara *real time* di wilayah Indonesia periode Januari hingga April 2020 yang dihasilkan pada penggunaan *software* Joko Tingkir dan *Early-est*. Hal ini dilakukan karena Indonesia merupakan wilayah dengan tingkat seismisitas yang cukup tinggi. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa 30 event gempa bumi yang terjadi di wilayah Indonesia yang didapat melalui *software* Joko Tingkir dan *Early-est*. Data event gempa tersebut menampilkan estimasi nilai dari parameter-parameter tsunami yaitu T_d , T_{dur} , T_{50Ex} , $T_d * T_{dur}$, dan $T_d * T_{50Ex}$. Hasil analisis yang telah dilakukan dengan uji T (*Independent T-Test*) pada kelima parameter tersebut menunjukkan bahwa secara numerik terdapat perbedaan dimana hasil estimasi yang dilakukan oleh *Early-est* lebih kecil dibandingkan dengan hasil dari perekaman *software* Joko Tingkir. Pada beberapa hasil estimasi nilai parameter tsunami, Joko Tingkir lebih unggul. Namun, secara keseluruhan estimasi yang dihasilkan oleh *software* Joko Tingkir dan *Early-est* telah menunjukkan kemajuan dimana keterangan yang dihasilkan oleh kedua *software* relatif tidak terdapat perbedaan. Hal ini sangat baik untuk bidang mitigasi bencana di Indonesia karena hasil yang relatif sama dari kedua *software* tersebut dapat menjadi acuan dalam pengambilan keputusan tentang peringatan dini tsunami yang disampaikan kepada masyarakat lebih akurat.

Kata Kunci : Parameter Tsunami, Joko Tingkir, *Early-est*, Mitigasi Bencana

ABSTRACT

This study aims to analyze the accuracy of estimated tsunami parameters and tsunami predictions in real time in the Indonesia region from January to April 2020 resulting from the use of Joko Tingkir and *Early-est* software. This is important because Indonesia is a region with high level of seismicity. This study used 30 earthquake events that occurred in the territory of Indonesia from Joko Tingkir and *early-est* software. The earthquake data shows estimated values from tsunami parameters, they are T_d , t_{dur} , t_{50Ex} , $T_d * T_{dur}$, and $T_d * T_{50Ex}$. The results of the analysis conducted by the T-test (*Independent T-Test*) on the five parameters indicate that numerically are differences, the *Early-est* estimated are smaller than Joko Tigkir result. In some case, Joko Tingkir have a better result estimation. However, all estimates generated by Joko Tingkir and *Early-est* software shown the informations has relatively no difference. This is very good for disaster mitigation in Indonesia, because the relatively similar result from the two software can be a reference for making decisions about tsunami early warning to the public more accurately.

Keywords: Tsunami Parameters, Joko Tingkir, *Early-est*, Disaster Mitigations

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan suatu wilayah dengan tingkat seismisitas yang relatif cukup tinggi. Hal ini disebabkan letak Indonesia yang berada pada pertemuan tiga lempeng besar dunia yang terus bergerak, lempeng-lempeng besar tersebut ialah Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik (Bock, 2003). Tidak hanya ketiga lempeng tersebut, di Indonesia juga terdapat lempeng-lempeng tektonik yang lebih kecil, yaitu : Lempeng Filipina, Sangihe, Halmahera, dan lempeng pada laut Maluku. Aktivitas lempeng di Indonesia ini dapat menimbulkan gempa-gempa tektonik dengan kekuatan yang besar, bahkan gempa tersebut dapat memicu terjadinya tsunami. Tsunami merupakan salah satu bencana kebumihangsan yang terjadinya dapat dipicu oleh berbagai gangguan berskala besar diantaranya

adalah gempa Bumi, pergeseran lempeng, erupsi gunung berapi dan tanah longsor (*landslide submarine*) yang terjadi di bawah permukaan laut. Data statistik mencatat sejak tahun 1612 hingga 1999 terjadi 105 *event* tsunami di Indonesia dengan kerusakan yang fatal, 90% disebabkan oleh gempa Bumi dibawah laut, 9% disebabkan oleh aktivitas vulkanik dan 1% disebabkan oleh tanah longsor yang terjadi dibawah permukaan laut (Hamzah *et al.*, 2000).

Lembaga seismologi seperti BMKG yang memiliki sebuah sistem yaitu *Indonesia Tsunami Early Warning System* (Ina-TEWS), Japan Meteorology Agency (JMA), dan Pasific Tsunami Warning Center (PTWC) telah melakukan banyak penelitian terhadap proses gempa Bumi yang menyebabkan terjadinya tsunami berdasarkan parameter gempa Bumi seperti

kedalaman, magnitudo, dan lokasi gempa yang dapat diidentifikasi dengan cepat (Madlazim, 2013). Namun perhitungan potensi tsunami menggunakan parameter tersebut perlu dilakukan pengembangan agar mendapatkan hasil yang lebih akurat (Masturyono, 2012). Lomax dan Michelini (2009) menentukan gempa bumi yang dapat membangkitkan tsunami dengan mengestimasi nilai rupture dari gempa bumi yang terjadi.

Menurut Madlazim dan Prastowo (2016) Indonesia telah memiliki sebuah sistem yang dapat digunakan untuk menentukan potensi terjadinya tsunami yaitu Ina-TEWS. Sistem tersebut melakukan pemrosesan otomatis pada magnitudo lokal, hiposenter, dan MWP. Apabila terjadi gempa bumi di lempeng bawah laut dengan magnitudo > 7 dengan kedalaman < 70 km, maka sistem akan mengumumkan peringatan dini bahwa gempa tersebut dapat memicu terjadinya tsunami. Ina-TEWS dirancang untuk memproses dan menghasilkan peringatan tsunami dalam waktu 5 menit setelah gempa Bumi terjadi.

Gempa Bumi yang berpotensi tsunami dapat dideteksi menggunakan software Joko Tingkir dan Early-Est. Perbedaan mendasar dari kedua software tersebut terletak pada skala yang diukur. Joko Tingkir mampu mendeteksi gempa pada skala lokal dan regional dengan waktu perhitungan kurang dari 2 menit sejak data diterima (Koerniawan dan Madlazim, 2017) sedangkan Early-est mampu mendeteksi gempa pada skala global (teleseismik) yang telah terbukti mampu mengetahui lokasi gempa Bumi pertama pada rentang waktu 7 menit untuk gempa Bumi diseluruh dunia dengan ketepatan data 95% (Bernardi *et al.*, 2015).

Kerjasama yang dilakukan oleh lembaga negara dengan lembaga pendidikan dalam hal ini adalah Pusat Penelitian dan Pengembangan (Puslitbang) BMKG dengan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya (UNESA) untuk melakukan penelitian mengenai metode yang dapat digunakan dengan tepat untuk hasil prediksi yang lebih baik dan akurat. Penelitian tersebut dilakukan dengan mengkolaborasi software Joko Tingkir dan Graphical User Interface (GUI) dari Puslitbang BMKG. Metode yang telah digabung dan disempurnakan tersebut digunakan untuk mengevaluasi peringatan dini tsunami dengan menggunakan data yang dikumpulkan stasiun-stasiun yang diteruskan dan diakses oleh BMKG-Net (Madlazim *et al.*, 2015).

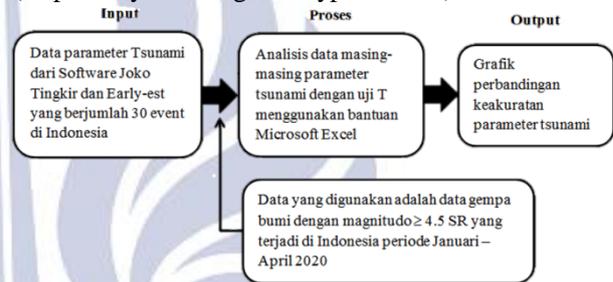
Penelitian skripsi ini dilakukan dengan menganalisis hasil estimasi parameter tsunami secara *real time* menggunakan software Joko Tingkir dan Early-est untuk gempa di wilayah Indonesia. Menurut Madlazim (2013) terdapat 5 parameter sumber gempa Bumi yang digunakan untuk pengestimasiannya yaitu: a) Periode dominan (T_d); b) durasi lebih dari 50 detik (T_{50Ex}); c) durasi rupture (T_{dur}); d) perkalian antara durasi rupture dengan durasi lebih dari 50 detik ($T_{dur} * T_{50Ex}$); e) perkalian antara durasi dominan dengan durasi lebih dari 50 detik ($T_d * T_{50Ex}$) pada gelombang P yang pertama datang.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis keakuratan dari estimasi parameter tsunami dan prediksi

tsunami yang dihasilkan pada penggunaan software Joko Tingkir dan Early-est. Penelitian skripsi ini dilakukan dengan maksud untuk mendeskripsikan tentang penggunaan software Early-est sebagai pembandingan dari software Joko Tingkir untuk memprediksi gempa Bumi yang berpotensi tsunami secara tepat dan diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai upaya mitigasi dan pengurangan risiko bencana saat gempa Bumi terjadi di wilayah Indonesia.

METODE

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian berjenis eksperimen laboratorium yang berbasis komputasi. Data yang digunakan dalam penelitian merupakan data sekunder yang bersumber dari software Joko Tingkir dan Early-Est berupa 30 event gempa bumi secara real time yang terjadi di Indonesia dalam periode Januari hingga April 2020. Data tersebut diakses melalui puslitbang BMKG (<http://aptsunami.fmipa.unesa.ac.id>) dan melalui web alomax dari software early-est (<http://early-est.rm.ignv.it.hypolist.html>).



Gambar 1. Mekanisme penelitian

Terdapat tiga variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu, variabel bebas berupa 30 event gempa bumi yang terjadi di Indonesia, variabel kontrol berupa dua software yang mampu mengestimasi parameter tsunami yaitu Joko Tingkir dan Early-est, dan untuk variabel respon penelitian didapatkan dari hasil perhitungan statistik dengan metode Uji t (Independent T-test) berupa kurva.

Data gempa bumi yang telah didapatkan kemudian dikelompokkan berdasarkan parameter yang diukur dan dianalisis menggunakan metode Uji T (Independent T-Test) dengan bantuan Microsoft Excel dan program SPSS yang akan menghasilkan output berupa kurva. Uji T merupakan uji komparatif yang digunakan untuk menentukan dan mengetahui ada atau tidaknya perbedaan rerata pada dua kelompok yang tidak berhubungan atau berasal dari dua sumber yang berbeda (Ghozali, 2013). Pada dasarnya metode ini bertujuan untuk menguji ada atau tidaknya perbedaan hasil yang signifikan dari hasil estimasi parameter tsunami menggunakan software Joko Tingkir dan software Early-est.

Persamaan dari uji yang akan digunakan dalam perhitungan adalah sebagai berikut:

Hipotesis uji:

$$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 = \mu_2$$

$$t_{hitung} = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1 + S_2}{n_1 + n_2} - 2r \left(\frac{s_1}{\sqrt{n_1}} \right) + \left(\frac{s_2}{\sqrt{n_2}} \right)^2}}$$

dengan keterangan \bar{X} merupakan nilai rata-rata sample *software* Joko Tingkir dan Early-Est, r merupakan nilai korelasi antara X_1 dengan X_2 , S_1 dan S_2 merupakan nilai varians sample ke-1 dan sample ke-2, s_1 dan s_2 merupakan standar deviasi dari sample ke-1 dan ke-2 dan n merupakan jumlah dari sample yang digunakan (Riduwan dan Sunarto, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data penelitian yang telah didapatkan melalui *software* Joko Tingkir dan Early-Est berupa 30 event gempa bumi dengan magnitudo $\geq 4,5$ SR di seluruh wilayah Indonesia periode Januari hingga April 2020 diolah menggunakan metode statistik. Hasil dan pembahasan dari 5 parameter tsunami berdasarkan Independent T-Test (Uji T) adalah sebagai berikut:

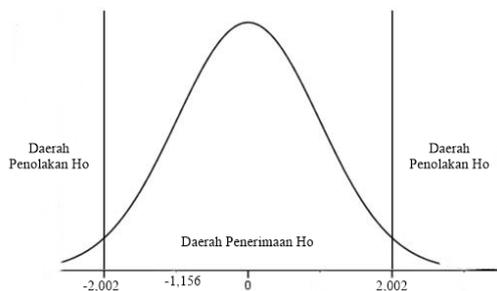
Parameter Td (Periode Dominan)

Dari data yang diperoleh, didapatkan hasil seperti pada tabel 1 berikut,

Tabel 1. Hasil pengolahan data parameter Td

Rata-rata		Varians		Standar Deviasi		Korelasi	t_{tabel}	t_{hitung}
JT	EE	JT	EE	JT	EE			
1,7	38	0,89	0,71	0,94	0,84	0,23	2,002	-1,156

Selanjutnya dilakukan perhitungan Uji T pada parameter periode dominan dengan persamaan t_{hitung} maka didapatkan kurva yang terbentuk adalah seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Kurva Hasil Uji T pada Periode Dominan

kurva tersebut menunjukkan hasil uji T berada pada daerah penerimaan H_0 , dimana H_0 merupakan sebuah hipotesis yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan estimasi parameter Td pada *software* Joko Tingkir dan Early-Est. Kurva tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil estimasi Periode dominan pada kedua *software*, estimasi dari *software* Joko Tingkir lebih unggul daripada *software* Early-Est dilihat dari data dan nilai reratanya.

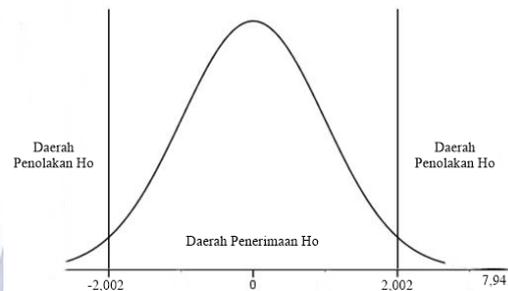
Parameter Durasi Rupture (Tdur)

Dari data yang diperoleh, didapatkan hasil seperti pada tabel 2 berikut,

Tabel 2. Hasil pengolahan data parameter Tdur

Rata-rata		Varians		Standar Deviasi		Korelasi	t_{tabel}	t_{hitung}
JT	EE	JT	EE	JT	EE			
47,50	14,3	36,6	181,59	19,13	13,47	0,073	2,002	7,942

Selanjutnya dilakukan perhitungan Uji T pada parameter durasi ruptur dengan persamaan t_{hitung} maka didapatkan kurva yang terbentuk adalah seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Kurva hasil uji T pada Durasi Rupture

kurva tersebut menunjukkan hasil uji T berada pada daerah penolakan H_0 , yang merupakan daerah penerimaan H_1 dimana H_1 merupakan sebuah hipotesis yang menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan pada estimasi parameter Tdur *software* Joko Tingkir dan Early-Est. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan untuk hasil estimasi Durasi Rupture pada kedua *software* dilihat dari data dan nilai reratanya.

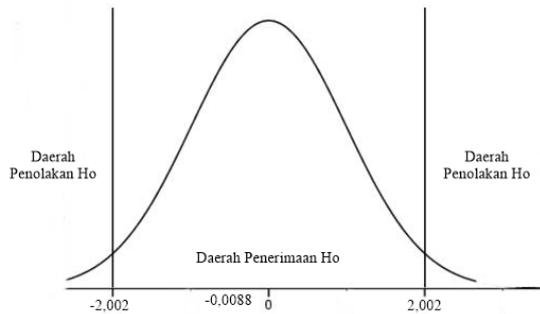
Parameter Durasi Rupture Lebih Dari 50 Detik (T50Ex)

Dari data yang diperoleh, didapatkan hasil seperti pada tabel 3 berikut,

Tabel 3. Hasil pengolahan data parameter T50Ex

Rata-rata		Varians		Standar Deviasi		Korelasi	t_{tabel}	t_{hitung}
JT	EE	JT	EE	JT	EE			
0,58	0,47	0,12	0,016	0,352	0,137	0,38	2,002	-0,0088

Selanjutnya dilakukan perhitungan Uji T pada parameter durasi ruptur lebih dari 50 detik dengan persamaan t_{hitung} maka didapatkan kurva yang terbentuk adalah seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Kurva hasil Uji T pada durasi rupture lebih dari 50 detik

kurva tersebut menunjukkan hasil uji T berada pada daerah penerimaan H_0 , dimana H_0 merupakan sebuah hipotesis yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan estimasi parameter T50Ex pada *software* Joko Tingkir dan Early-Est. Kurva tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil estimasi durasi rupture lebih dari 50 detik pada kedua *software*, estimasi dari *software* Joko Tingkir lebih unggul dilihat dari data dan nilai reratanya.

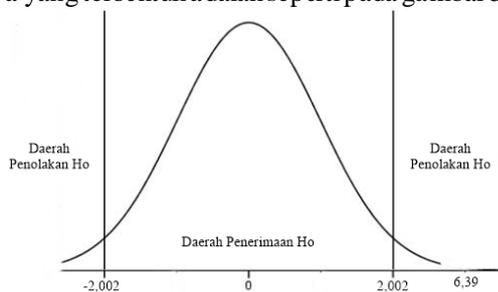
Parameter Td * Tdur

Dari data yang diperoleh, didapatkan hasil seperti pada tabel 4 berikut,

Tabel 4. Hasil pengolahan data parameter Td * Tdur

Rata-rata	Varians	Standar Deviasi	Korelasi	t_{tabel}	t_{hitung}
JT	E	J	EE	JT	EE
75,41	24,5	13,7	924,2	36,87	30,41
				0,52	2,00
				6,39	2

Selanjutnya dilakukan perhitungan Uji T pada parameter Td * Tdur dengan persamaan t_{hitung} maka didapatkan kurva yang terbentuk adalah seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Kurva hasil uji T pada Td * Tdur

kurva tersebut menunjukkan hasil uji T berada pada daerah penolakan H_0 , yang berarti merupakan daerah penerimaan H_1 dimana H_1 merupakan sebuah hipotesis yang menyatakan bahwa tidak terdapat perbedaan pada estimasi parameter Td * Tdur *software* Joko Tingkir dan Early-Est. Kurva tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan untuk hasil estimasi Td * Tdur pada kedua *software* dilihat dari data dan nilai reratanya.

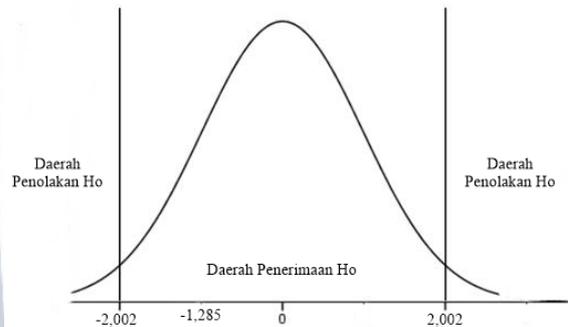
Parameter Td * T50Ex

Dari data yang diperoleh, didapatkan hasil seperti pada tabel 5 berikut,

Tabel 5. Hasil pengolahan data parameter Td * T50Ex

Rata-rata	Varians	Standar Deviasi	Korelasi	t_{tabel}	t_{hitung}
JT	E	J	EE	JT	EE
0,99	0,67	0,69	0,23	0,83	0,48
				2,00	-1,285
				3	2

Selanjutnya dilakukan perhitungan Uji T pada parameter Td * T50Ex dengan persamaan t_{hitung} maka didapatkan kurva yang terbentuk adalah seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Kurva hasil uji T pada Td * T50Ex

kurva tersebut menunjukkan hasil uji T berada pada daerah penerimaan H_0 , dimana H_0 merupakan sebuah hipotesis yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan estimasi parameter Td * T50Ex pada *software* Joko Tingkir dan Early-Est. Kurva tersebut menunjukkan bahwa terdapat perbedaan hasil estimasi Td * T50Ex pada kedua *software*, estimasi dari *software* Joko Tingkir lebih unggul dilihat dari data dan nilai reratanya.

Hasil dari uji T yang didapatkan tersebut menunjukkan bahwa nilai estimasi ketiga parameter tsunami yaitu periode dominan (Td), T50Ex, serta perkalian antara Td dan T50Ex pada *software* Joko Tingkir dan Early-Est terdapat perbedaan dan kedua parameter yaitu durasi rupture (Tdur) dan perkalian antara Td dengan Tdur tidak terdapat perbedaan. Perbedaan tersebut diakibatkan karena wilayah cakupan perekaman gempa bumi dari kedua *software* yang berbeda, *software* Joko Tingkir yang mengestimasi gempa berskala lokal dan regional sedangkan Early-Est mengestimasi gempa berskala global. Untuk beberapa estimasi parameter tsunami, Joko Tingkir lebih unggul dikarenakan stasiun-stasiun yang digunakan untuk merekam gelombang seismik berada di sekitar wilayah Indonesia, sehingga lebih dekat dengan sumber gempa bumi dan hasil yang direkam tidak banyak noise. Noise merupakan gangguan-gangguan yang terjadi saat proses perekaman gelombang seismik dilakukan. Noise dapat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satu diantaranya adalah getaran-getaran yang berasal dari benda berat yang ada di lintasan perekaman gelombang seismik. Dilihat dari hasil perhitungan statistik kedua *software* tersebut memiliki perbedaan hasil estimasi, namun pada dasarnya Joko Tingkir dan Early-est

telah menghasilkan peringatan dini tsunami yang tepat dan sama. Hal ini terbukti dari keterangan yang dihasilkan *software* untuk disampaikan kepada masyarakat 100% sama yaitu tidak berpotensi tsunami, hasil tersebut telah mengalami kemajuan dari penelitian sebelumnya yang masih terdapat perbedaan hasil sebesar 17% (Koerniawan dan Madlazim, 2017).

PENUTUP

Simpulan

Dari pengujian dan analisis yang dilakukan pada data estimasi parameter tsunami yang dihasilkan oleh *software* Joko Tingkir dan Early-est dan berdasarkan rumusan masalah penelitian, maka kesimpulan yang didapatkan adalah hasil estimasi parameter tsunami untuk event gempa Bumi periode Januari hingga April 2020 terdapat perbedaan hasil secara numerik, dan *software* Joko Tingkir lebih unggul dalam perhitungan beberapa parameter hal ini ditinjau dari hasil uji T yang dilakukan. Namun, secara keseluruhan estimasi yang dihasilkan oleh *software* Joko Tingkir dan Early-est telah menunjukkan kemajuan dimana keterangan yang dihasilkan oleh kedua *software* relatif tidak terdapat perbedaan dengan kata lain kedua *software* akurat dalam melakukan estimasi peringatan dini tsunami. Hal ini sangat baik untuk bidang mitigasi bencana di Indonesia karena hasil yang relatif sama dari kedua *software* tersebut dapat menjadi acuan dalam pengambilan keputusan tentang peringatan dini tsunami yang disampaikan kepada masyarakat.

Saran

Dalam penelitian ini terdapat beberapa kendala dalam proses pengerjaannya, kendala yang ditemui adalah tidak semua event gempa menghasilkan data yang baik, hal ini dikarenakan terdapat stasiun yang tidak merekam pada kuadran wilayah tersebut. Untuk penelitian selanjutnya agar diperoleh data yang baik dan lebih akurat maka peneliti harus mengumpulkan data lebih dari yang dibutuhkan dan memilah data-data yang diambil.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, atas bimbingan dan penyertaan-Nya penulis dapat menyelesaikan artikel penelitian ini dengan baik.
2. Dzulkifli, S.Si., M.T dan Prof. Dr. Madlazim, M.Si. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak mengorbankan waktu untuk memberikan bimbingan, pemahaman, motivasi, pengalaman, dan senantiasa mengarahkan penulis, sehingga artikel penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Drs. Imam Sucahyo, M.Si selaku dosen penguji proposal penelitian yang telah memberikan banyak saran dan bimbingan dalam penyelesaian artikel ini.
4. Tjipto Prastowo, Ph.D selaku penguji proposal penelitian dan dosen pembimbing akademik yang telah memberikan banyak saran, bimbingan dan motivasi serta memfasilitasi dalam pengambilan mata kuliah skripsi.

5. Kedua Orang tua, adik, keluarga, sahabat, dan teman-teman yang selalu memberikan energi positif dan motivasi dalam penyelesaian artikel penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernardi, F., Lomax, A., Michelini, A., Lauciani, V., Piatanesi, A., & Lorito, S. (2015). Appraising the Early-est earthquake monitoring system for tsunami alerting at the Italian Candidate Tsunami Service Provider. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(9), 2019–2036. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2019-2015>
- Bock, Y. (2003). *Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System measurements*. *Journal of Geophysical Research*, 108(B8). <https://doi.org/10.1029/2001jb000324>.
- Ghozali, Imam. 2013. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS 23*. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro. ISBN: 979 704 015 1
- HAMZAH, L., PUSPITO, N. T., & IMAMURA, F. (2000). *Tsunami Catalog and Zones in Indonesia*. *Journal of Natural Disaster Science*, 22(1), 25–43. <https://doi.org/10.2328/jnds.22.25>
- Koerniawan, F., Madlazim. 2017. Analisis Perbedaan Estimasi Parameter Tsunami Menggunakan *Software* Early-Est dan Joko Tingkir untuk Gempa Bumi di Indonesia. *Jurnal Inovasi Fisika (IFI) Volume 06 Nomor 03* hal 68 – 72.
- Lomax, A., & Michelini, A. (2009). Tsunami early warning using earthquake rupture duration. *Geophysical Research Letters*, 36(9), 4–7. <https://doi.org/10.1029/2009GL037223>
- Madlazim. 2013. *Assesment of Tsunami Generation Potential Through Rapid Analyses of Seismic Parameters*. Case study: Comparison of the Sumatra Earthquakes of 6 April and 25 October 2010.. *International Journal Science of tsunami Hazzard*.
- Madlazim, Prastowo, T., & Hardy, T. (2015). Validation of Joko Tingkir *software* using tsunami importance. *Science of Tsunami Hazards*, 34(3), 189–198.
- Masturyono, Madlazim. 2012. *Desain Sistem Penentuan Tsunami Menggunakan : Rupture Duration (Tdur), Time Dominan (Td), dan T50Ex*. Prosiding Tahunan Hasil-Hasil Penelitian dan Pengembangan Puslitbang BMKG.
- Riduwan dan H. Sunarto. 2013. *Pengantar Statistika untuk Penelitian: Pendidikan, Sosial, Komunikasi, Ekonomi, dan Bisnis*. Bandung: Alfabeta.