

## ANALISIS ZONA GENANGAN TSUNAMI AKIBAT GEMPA BUMI MEGATHRUST DI SELATAN PULAU JAWA

### ANALYSIS OF TSUNAMI INUNDATION ZONE DUE TO MEGATHRUST EARTHQUAKE IN THE SOUTHERN COAST OF JAVA

Rike Nainitania<sup>1</sup>, Denny Darmawan<sup>2</sup>

Mahasiswa Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta<sup>1</sup> dan Dosen Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta<sup>2</sup>

Email : [rikenainitania1997@gmail.com](mailto:rikenainitania1997@gmail.com)

**Abstrak-** Penelitian ini bertujuan menentukan waktu datang gelombang, tinggi gelombang, dan pemetaan zona rawan dampak gelombang tsunami akibat gempa bumi *megathrust* di selatan Jawa. Penelitian ini menggunakan metode analisis numerik dengan *software Delft Dashboard*. Data yang digunakan berupa historis gempa bumi selatan Jawa 1994 yang menyebabkan tsunami Banyuwangi dan 3 skenario *magnitude* gempa bumi yaitu 7 Mw, 8 Mw, dan 9 Mw. Hasil penelitian menunjukkan waktu tempuh gelombang tercepat untuk *magnitude* 7 Mw di Kabupaten Sukabumi dengan waktu 28 menit, *magnitude* 8 Mw terjadi di Kabupaten Garut dengan waktu 26 menit, dan *magnitude* 9 Mw pada Kabupaten Garut dengan waktu 29 menit. Ketinggian gelombang terbesar untuk *magnitude* 7 Mw pada Kabupaten Tasikmalaya (0,61 meter), *magnitude* 8 Mw pada Kabupaten Tulungagung (2,29 meter), dan *magnitude* 9 Mw pada Kabupaten Tasikmalaya (10 meter). Jangkauan *Run Up* gelombang terbesar *magnitude* 7 Mw, 8 Mw, dan 9 Mw menunjukkan daerah rawan yaitu pada Kabupaten Tasikmalaya.

Kata-kata Kunci : Tsunami, *Megathrust*, Pesisir Selatan Jawa

**Abstract-** This study aimed determine the estimated arrival time of waves, wave heights, and mapping of the zones prone to the impact of tsunami waves due to the *megathrust* earthquake in southern Java. This research used numerical analysis method with *Delft Dashboard* software. The data used is the historical earthquakes south of Java in 1994 which caused the Banyuwangi tsunami and 3 scenarios of earthquake magnitude, namely 7 Mw, 8 Mw, and 9 Mw. The results showed the fastest travel time for a magnitude of 7 Mw occurred in Sukabumi Regency with a time of 28 minutes, a magnitude of 8 Mw occurred in Garut Regency with a time of 26 minutes, and a magnitude of 9 Mw in Garut Regency with a time of 29 minutes. The height of the largest wave was 7 Mw. in Tasikmalaya Regency (0.61 meters), 8 Mw in Tulungagung Regency (2.29 meters), and 9 Mw in Tasikmalaya Regency (10 meters). The range of the largest wave run-up of 7 Mw, 8 Mw, and 9 Mw indicates of a vulnerable area, in Tasikmalaya Regency.

**Keywords:** Tsunami, *Megathrust*, Southern Coast of Java

## PENDAHULUAN

Indonesia dilalui oleh tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik. Pertemuan lempeng Indo-Australia dan Eurasia membentang sepanjang barat Sumatra, selatan Jawa, Bali dan Nusa Tenggara, sedangkan pertemuan lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik terletak di sepanjang Maluku (Rahmadi, 2008). Pertemuan lempeng-lempeng tersebut menyebabkan Indonesia menjadi wilayah yang rawan terjadi gempa bumi. Gempa bumi yang terjadi sebagian besar berpusat di Samudra Hindia dan beberapa di antaranya mengakibatkan tsunami di Pulau Jawa (Indriana, 2008). Gempa bumi adalah getaran permukaan tanah yang diakibatkan oleh pelepasan energi terakumulasi secara tiba-tiba. Gempa bumi dapat disebabkan oleh berbagai hal, di antaranya patahan batuan atau sesar

(Muhammad, 2008). Menurut Diposaptono dan Budiman (2008), Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki tingkat kegempaan tinggi di dunia. Dibandingkan dengan gempa di Amerika Serikat, maka Indonesia memiliki frekuensi gempa 10 kali lipatnya. Gempa-gempa tersebut sebagian besar berpusat di dasar Samudra Hindia dan beberapa di antaranya mengakibatkan tsunami di Pulau Jawa.

Gempa bumi yang berasal dari zona subduksi Selat Sunda biasa disebut dengan gempa bumi *Megathrust*. Zona subduksi Selat Sunda atau Zona *Megathrust* sendiri dibagi menjadi 3 zona besar, yaitu *Andaman Megathrust*, *Sumatra Megathrust*, dan *Java Megathrust*. Salah satu wilayah di Indonesia yang rawan terjadi tsunami adalah pesisir selatan Jawa karena secara geologis pesisir selatan Jawa berada di jalur

subduksi atau pertemuan dua lempeng besar yang saling bertumbukan (Murjaya, 2018). Menurut Bakornas PB (2007), tsunami adalah gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh gangguan impulsif dari dasar laut. Tsunami merupakan salah satu bencana alam yang senantiasa mengancam penduduk pesisir. Gelombang tsunami dapat menyapu daerah yang ada di sekitar pantai. Walaupun jarang terjadi, namun daya hancurnya yang besar membuatnya harus diperhitungkan.

Dalam kurun waktu 17 tahun, tepatnya dari tahun 1992 sampai 2009, telah terjadi 2 kali tsunami yang cukup besar di selatan Jawa, yaitu tsunami Banyuwangi–Jawa Timur pada tahun 1994 dan Pangandaran–Jawa Barat pada tahun 2006 (Natawidjaja *et al.*, 2009).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan waktu tempuh gelombang, tinggi gelombang, dan pemetaan zona rawan maupun aman terhadap dampak gelombang tsunami akibat gempa bumi *Megathrust* di selatan Pulau Jawa yaitu dengan analisis numerik menggunakan *software Delft Dashboard*.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2020 sampai dengan bulan Juni 2021. Titik penelitian berada pada koordinat geografis 6,840089° - 8,858467° LS dan 105,20851° - 114,585167° BT, sepanjang pesisir pantai Pulau Jawa dengan jumlah titik penelitian yaitu 22 titik.

Data yang digunakan yaitu data parameter gempa bumi selatan Jawa yang menyebabkan tsunami di Banyuwangi pada tahun 1994, peta batimetri, dan peta batas administrasi wilayah. Peta batas administrasi wilayah dengan format SHP di-overlay dengan peta batimetri menggunakan *software Global Mapper 18* untuk memperoleh kemiringan lereng atau slope dari titik penelitian menuju daratan sepanjang 100 meter. Analisis numerik menggunakan *Delft Dashboard* dengan memasukkan data historis gempa berupa nilai depth, dip, slip, seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan magnitude gempa 7 Mw, 8 Mw, dan 9 Mw. Setelah dilakukan proses pengolahan, dilakukan plotting keluaran untuk mengetahui pemodelan penalaran tsunami dari sumber patahan ke titik penelitian. Data keluaran berupa grafik water level yang menunjukkan tinggi gelombang di titik penelitian setiap menit dengan pengaturan waktu 2 jam.

Tabel 1. Data gempa bumi historis pemicu tsunami Banyuwangi (USGS, 2020)

| Parameter Gempa | Nilai                        |
|-----------------|------------------------------|
| Tanggal         | 2 Juni 1994                  |
| Koordinat       | 10,82° LS dan<br>113,576° BT |
| Depth (Km)      | 15                           |
| Magnitude (Mw)  | 7,8                          |
| Strike (°)      | 278                          |

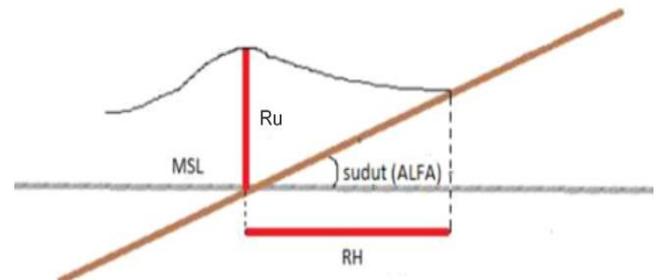
|          |    |
|----------|----|
| Dip (°)  | 17 |
| Slip (°) | 89 |

Grafik water level dapat menentukan waktu tempuh gelombang, ketinggian gelombang awal, dan ketinggian maksimum gelombang di titik penelitian. Dalam memperoleh jangkauan Run Up untuk pemetaan zona rawan maupun aman dilakukan perhitungan ketinggian Run Up terlebih dahulu menggunakan persamaan (1) (Sihombing, 2018),

$$\frac{Ru}{H_0} = 2,831\sqrt{\cot \alpha} \left(\frac{H}{H_0}\right)^{5/4} \quad (1)$$

dimana  $Ru$  adalah tinggi Run Up gelombang tsunami (meter),  $H_0$  adalah ketinggian awal gelombang tsunami di titik pengamatan (meter),  $\alpha$  adalah sudut kemiringan lereng (°), dan  $H$  adalah tinggi maksimum gelombang tsunami (meter).

Perhitungan jangkauan *run up* gelombang tsunami dapat dilakukan dengan memperhitungkan tinggi maksimum gelombang tsunami di darat atau ketinggian *Run Up* dan nilai keterenggan pantai (Aeda *et al.*, 2017).



Gambar 1. Tinggi Gelombang Tsunami dan Jangkauan Run-Up (RH) di darat (Aeda *et al.*, 2017)

Berdasarkan Gambar 1 dapat diperoleh persamaan untuk menentukan jangkauan *Run Up* tsunami :

$$\frac{Ru}{Rh} = \tan \alpha \quad (2)$$

$$Rh = \frac{Ru}{\tan \alpha} \quad (3)$$

dimana  $Ru$  adalah tinggi *Run Up* gelombang tsunami (meter),  $Rh$  adalah jangkauan *Run Up* gelombang tsunami (meter), dan  $\alpha$  adalah sudut kemiringan lereng (°).

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### A. Analisis Daerah Penelitian

Daerah penelitian terdapat pada pesisir pantai selatan Pulau Jawa dengan 22 kabupaten, dimulai dari Kabupaten Banyuwangi di sebelah timur sampai Kabupaten Pandeglang di sebelah barat, masing-masing kabupaten tersebut memiliki 1 titik penelitian yang terletak pada pesisir pantai diwakili dengan titik yang memiliki nilai *slope* terkecil ditunjukkan pada Gambar 2. Titik penelitian tersebut sebagai titik acuan atau titik perwakilan tiap kabupaten untuk perhitungan persebaran gelombang tsunami.



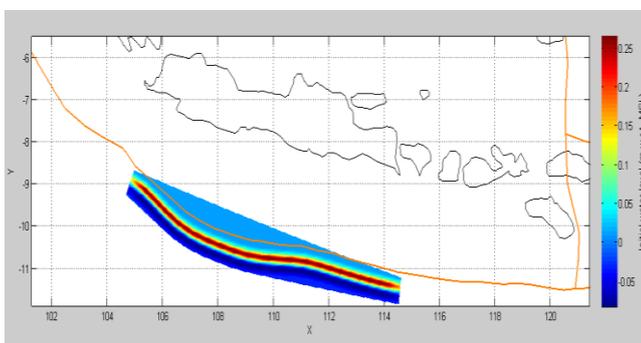
Gambar 2. Titik-titik penelitian di pesisir pantai selatan Jawa

### B. Analisis Pemodelan Menggunakan Delft Dashboard

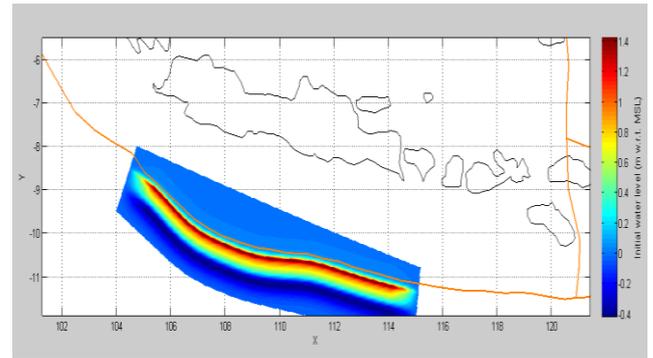
Data masukan yang digunakan yaitu 22 titik penelitian dan data historis gempa bumi Banyuwangi yaitu *depth* sebesar 15 km, *dip* sebesar  $17^\circ$ , dan *slip* sebesar  $89^\circ$ . Pada masing-masing nilai *magnitude* digunakan parameter *input* data historis gempa bumi yang sama.

Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 menunjukkan peta *Initial Condition* yang merupakan gambaran ketinggian gelombang awal atau *Initial Water Level* yang terjadi pada sumber ketika terjadi tsunami. Gambar 3 menunjukkan *Initial Condition* yang terjadi pada *magnitude* 7 Mw, sedangkan Gambar 4 menunjukkan *Initial Condition* untuk *magnitude* 8 Mw, dan untuk *magnitude* 9 Mw ditunjukkan pada Gambar 5.

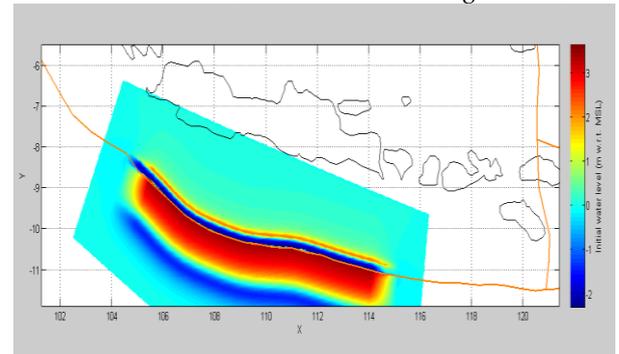
Berdasarkan Gambar 3 hingga Gambar 5, *Initial Condition* masing-masing *magnitude* berbeda-beda tergantung pada besar *magnitude* gempa bumi yang terjadi. Semakin besar *magnitude* gempa maka semakin besar pula ketinggian gelombang awal tsunami yang terjadi. Hal ini karena semakin besar *magnitude* gempa bumi maka perubahan deformasi dasar laut semakin besar, sehingga berpengaruh pada ketinggian awal gelombang.



Gambar 3. *Initial Condition* untuk *magnitude* 7 Mw



Gambar 41. *Initial Condition* untuk *magnitude* 8 Mw



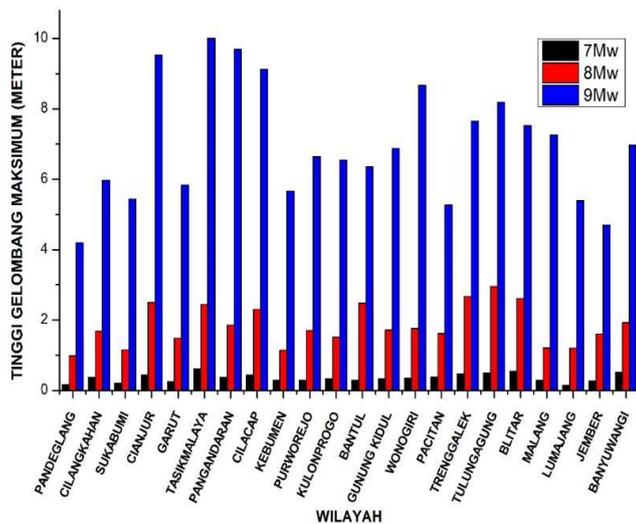
Gambar 5. *Initial Condition* untuk *magnitude* 9 Mw

### C. Analisis Data Hasil Pemodelan

Salah satu faktor yang mempengaruhi ketinggian *Run Up* gelombang tsunami dan sebaran *Run Up* adalah nilai kemiringan lereng atau *slope*. Nilai *slope* yang paling kecil terdapat pada Kabupaten Tasikmalaya dengan nilai  $0,63^\circ$ . Untuk nilai *slope* yang paling besar terletak pada Kabupaten Tulungagung dengan nilai  $4,01^\circ$ . Semakin kecil nilai *slope* pada suatu tempat maka daerah tersebut termasuk daerah yang rawan terhadap tsunami. Semakin kecil sudut kemiringan lereng maka semakin rendah kemiringan lereng atau semakin landai. Sebaliknya, semakin besar sudut kemiringan lereng maka semakin tinggi kemiringan lereng atau semakin dangkal.

### D. Analisis Tinggi Gelombang

Sebaran tinggi maksimum untuk setiap *magnitude* ditunjukkan pada Gambar 6. Tinggi gelombang maksimum untuk masing-masing *magnitude* memiliki nilai yang berbeda-beda, dimana semakin besar *magnitude* gempa, maka tinggi gelombang maksimumnya semakin besar. Nilai tertinggi untuk tinggi gelombang maksimum pada *magnitude* 7 Mw terletak pada pesisir Kabupaten Tasikmalaya yaitu sebesar 0,61 meter, sedangkan untuk *magnitude* 8 Mw nilai tertingginya terletak pada pesisir Kabupaten Tulungagung, dengan nilai 2,95 meter, dan untuk *magnitude* 9 Mw nilai tertingginya terletak pada pesisir Kabupaten Tasikmalaya dengan tinggi 10 meter.



Gambar 62. Grafik Tinggi Gelombang Maksimum

**E. Analisis Waktu Tempuh**

Waktu tempuh gelombang yang diperoleh dari data ketinggian gelombang merupakan waktu saat gelombang tinggi pertama muncul atau mengenai pesisir. Tabel 2 menunjukkan waktu tempuh gelombang untuk masing-masing *magnitude*. Waktu tempuh tercepat untuk *magnitude* 7 Mw terdapat pada Kabupaten Sukabumi dengan waktu tempuh 28 menit. Sedangkan untuk *magnitude* 8 Mw waktu tempuh tercepat yaitu 26 menit terletak pada Kabupaten Garut, dan untuk *magnitude* 9 Mw terdapat pada Kabupaten Garut dengan waktu tempuh 27 menit.

Masing-masing wilayah penelitian memiliki waktu tempuh yang berbeda-beda. Hal itu sangat dipengaruhi oleh batimetri setiap wilayah penelitian karena semakin dangkal batimetri maka kecepatan gelombang tsunami semakin cepat. Sebaliknya, semakin dalam batimetri maka kecepatan gelombang tsunami akan semakin lambat.

Tabel 2. Waktu Tempuh Gelombang

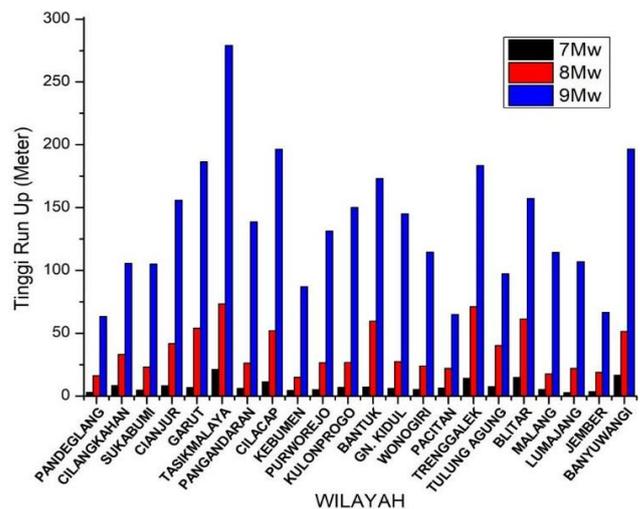
| No | Wilayah     | Waktu Tempuh pada Magnitude (menit) |      |      |
|----|-------------|-------------------------------------|------|------|
|    |             | 7 Mw                                | 8 Mw | 9 Mw |
| 1  | Pandeglang  | 36                                  | 35   | 36   |
| 2  | Cilangkahan | 30                                  | 29   | 30   |
| 3  | Sukabumi    | 28                                  | 28   | 29   |
| 4  | Cianjur     | 29                                  | 29   | 30   |
| 5  | Garut       | 30                                  | 26   | 27   |
| 6  | Tasikmalaya | 38                                  | 38   | 38   |
| 7  | Pangandaran | 41                                  | 40   | 41   |
| 8  | Cilacap     | 53                                  | 53   | 52   |
| 9  | Kebumen     | 54                                  | 54   | 49   |
| 10 | Purworejo   | 48                                  | 47   | 42   |
| 11 | Kulon Progo | 48                                  | 48   | 42   |
| 12 | Bantul      | 46                                  | 46   | 41   |

|    |              |    |    |    |
|----|--------------|----|----|----|
| 13 | Gunung Kidul | 44 | 44 | 38 |
| 14 | Wonogiri     | 41 | 41 | 42 |
| 15 | Pacitan      | 38 | 38 | 39 |
| 16 | Trenggalek   | 38 | 38 | 39 |
| 17 | Tulungagung  | 40 | 39 | 41 |
| 18 | Blitar       | 39 | 38 | 39 |
| 19 | Malang       | 33 | 33 | 34 |
| 20 | Lumajang     | 38 | 38 | 37 |
| 21 | Jember       | 44 | 43 | 38 |
| 22 | Banyuwangi   | 33 | 33 | 33 |

**F. Analisis Run Up Gelombang Tsunami**

Berdasarkan persamaan (1) dapat diperoleh besarnya *Run Up* tsunami. Masing-masing *magnitude* memiliki *Run Up* yang berbeda-beda dimana *Run Up* berbanding lurus dengan tinggi gelombang maksimum. Grafik perbandingan *Run Up* gelombang ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan Gambar 21, nampak bahwa semakin besar *magnitude* gempa, maka nilai *Run Up* yang dihasilkan juga semakin besar.

Berdasarkan analisis nilai *Run Up* 22 wilayah penelitian, didapatkan nilai *Run Up* terbesar untuk *magnitude* 7 Mw terletak pada Kabupaten Tasikmalaya dengan *Run Up* sebesar 21,3 meter, sedangkan untuk *magnitude* 8 Mw *Run Up* terbesar juga terletak pada Kabupaten Tasikmalaya dengan nilai 73,4 meter, dan untuk *magnitude* 9 Mw juga terletak pada Kabupaten Tasikmalaya dengan nilai *Run Up* 279,1 meter.



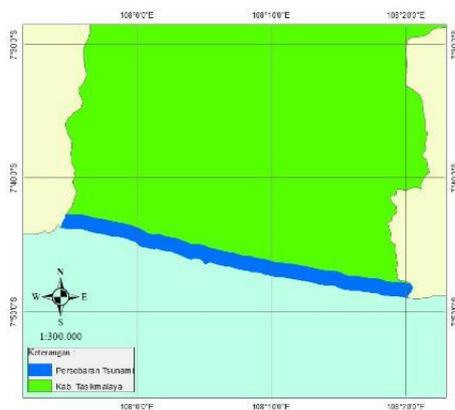
Gambar 7. Grafik Run Up Gelombang

**G. Analisis Jangkauan Run Up Gelombang Tsunami**

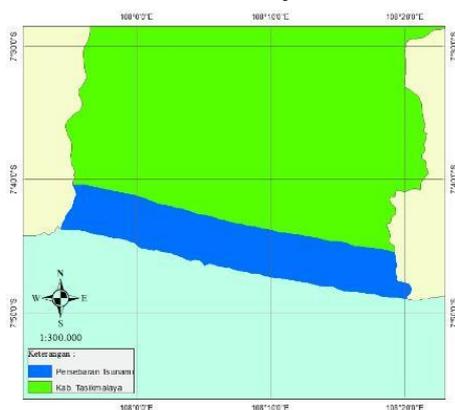
Jangkauan *Run Up* gelombang tsunami menunjukkan seberapa jauh *Run Up* gelombang menyebar ke daratan. Menurut persamaan (3), faktor yang mempengaruhi jangkauan *Run Up* gelombang tsunami adalah tinggi *Run Up* dan kemiringan lereng atau *slope*. Tinggi *Run Up* menjadi salah satu faktor jangkauan *Run Up* karena jika nilai *Run Up* semakin

tinggi maka gelombang air yang mencapai daratan akan semakin besar. Semakin besar *magnitude* gempa maka semakin besar pula nilai *Run Up* tsunami, sehingga hal tersebut juga berpengaruh pada jangkauan *Run Up* yang semakin besar. Selain tinggi *Run Up*, kemiringan lereng atau *slope* menjadi faktor yang mempengaruhi jangkauan *Run Up* karena jika lereng pantainya terjal, maka jangkauan *Run Up* gelombang tsunami tidak terlalu jauh menyebar di daratan, sedangkan pada kondisi lereng yang landai, gelombang tsunami yang menutupi daratan akan cukup jauh.

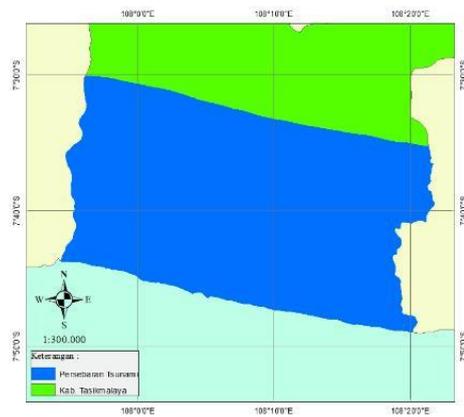
Berdasarkan analisis jangkauan *Run Up* setiap wilayah penelitian, diperoleh nilai jangkauan *Run Up* terbesar untuk masing-masing *magnitude* terletak pada Kabupaten Tasikmalaya. Hal ini karena Kabupaten Tasikmalaya memiliki kemiringan lereng terendah yaitu  $0,63^\circ$ . Hal tersebut juga menunjukkan bahwa Kabupaten Tasikmalaya menjadi daerah yang paling rawan terdampak tsunami. Peta jangkauan *Run Up* Kabupaten Tasikmalaya untuk *magnitude* 7 Mw ditunjukkan pada Gambar 8, sedangkan untuk *magnitude* 8 Mw ditunjukkan pada Gambar 9, dan untuk *magnitude* 9 Mw ditunjukkan pada Gambar 10. Berdasarkan peta jangkauan *Run Up* dari *magnitude* 7 Mw, 8 Mw, dan 9 Mw dapat ditunjukkan bahwa semakin besar *magnitude* gempa bumi maka semakin besar pula jangkauan *Run Up* gelombang yang menyebar di daratan.



Gambar 8. Peta Jangkauan *Run Up* 7 Mw Kabupaten Tasikmalaya



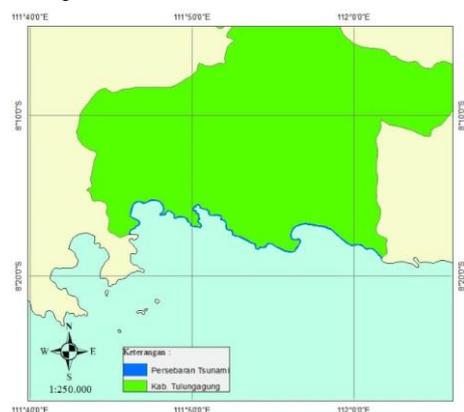
Gambar 9. Peta Jangkauan *Run Up* 8 Mw Kabupaten Tasikmalaya



Gambar 10. Peta Jangkauan *Run Up* 9 Mw Kabupaten Tasikmalaya

Jangkauan *Run Up* terkecil untuk masing-masing *magnitude* terletak pada daerah penelitian yang memiliki nilai *slope* yang besar. Nilai *slope* terbesar terletak pada Kabupaten Tulungagung dengan besar *slope*  $4,01^\circ$ . Meskipun demikian, Kabupaten Tulungagung bukan merupakan daerah penelitian yang memiliki nilai jangkauan *Run Up* terkecil untuk setiap *magnitude* gempa. Untuk nilai jangkauan *Run Up* terkecil dari setiap *magnitude* terletak pada Kabupaten Jember yang memiliki *slope* sebesar  $3,92^\circ$  dan merupakan daerah penelitian yang memiliki nilai *slope* besar sebelum Kabupaten Tulungagung. Hal tersebut terjadi karena jangkauan *Run Up* juga dipengaruhi oleh ketinggian gelombang tsunami maksimum dimana Kabupaten Jember memiliki nilai ketinggian gelombang tsunami lebih kecil dibandingkan ketinggian gelombang Kabupaten Tulungagung.

Peta jangkauan *Run Up* Kabupaten Tulungagung untuk *magnitude* 7 Mw ditunjukkan pada Gambar 11, sedangkan untuk *magnitude* 8 Mw ditunjukkan pada Gambar 12, dan untuk *magnitude* 9 Mw ditunjukkan pada Gambar 13. Sedangkan peta jangkauan *Run Up* Kabupaten Jember untuk *magnitude* 7 Mw ditunjukkan pada Gambar 14, untuk *magnitude* 8 Mw ditunjukkan pada Gambar 15, dan untuk *magnitude* 9 Mw ditunjukkan pada Gambar 16.



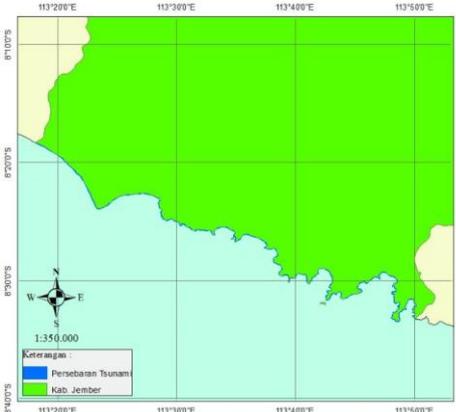
Gambar 11. Peta Jangkauan *Run Up* 7 Mw Kabupaten Tulungagung



Gambar 12. Peta Jangkauan *Run Up* 8 Mw Kabupaten Tulungagung



Gambar 13. Peta Jangkauan *Run Up* 9 Mw Kabupaten Tulungagung



Gambar 14. Peta Jangkauan *Run Up* 7 Mw Kabupaten Jember



Gambar 15. Peta Jangkauan *Run Up* 8 Mw Kabupaten Jember



Gambar 16. Peta Jangkauan *Run Up* 9 Mw Kabupaten Jember

## SIMPULAN

Waktu tempuh gelombang tsunami paling cepat untuk *magnitude* 7 Mw terjadi pada Kabupaten Sukabumi dengan waktu 28 menit, sedangkan untuk *magnitude* 8 Mw waktu tempuh tercepat terletak pada Kabupaten Garut yaitu 26 menit, dan untuk *magnitude* 9 Mw ditempuh dengan waktu 29 menit terletak pada Kabupaten Garut. Ketinggian gelombang tsunami terbesar untuk *magnitude* 7 Mw terletak pada pesisir Kabupaten Tasikmalaya yaitu 0,61 meter, sedangkan untuk *magnitude* 8 Mw terletak pada Kabupaten Tulungagung dengan tinggi gelombang 2,95 meter, dan untuk *magnitude* 9 Mw nilai tertinggi terletak pada Kabupaten Tasikmalaya dengan tinggi gelombang 10 meter. Jangkauan *Run Up* gelombang tsunami terbesar untuk *magnitude* 7 Mw, 8 Mw, dan 9 Mw adalah pada Kabupaten Tasikmalaya dengan jangkauan untuk *magnitude* 7 Mw yaitu 1.938,38 meter, sedangkan untuk *magnitude* 8 Mw yaitu 6.674,82 meter, dan untuk 9 Mw yaitu 25.384,68 meter.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pak Ariswan selaku Dekan FMIPA, Pak Warsono selaku Kajurdik dan Kaprodi Fisika, Pak Denny Darmawan selaku pembimbing, seluruh dosen, staf, dan laboran Jurdik Fisika, orangtua, kakak, serta semua pihak yang telah berperan aktif dalam membantu penulis menyelesaikan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aeda, S. A., Saputro, S., dan Subardjo, P. 2017. *Simulasi Penjalaran Gelombang dan Penentuan Run-Up Gelombang Tsunami di Teluk Pangandaran Jawa Barat*. Jurnal Oseanografi. 6(1):254-262.
- Bakornas PB (Penanggulangan Bencana). 2007. *Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia*. Direktorat Mitigasi Lahar BAKORNAS PB: Jakarta.

- Diposaptono dan Budiman. 2008. *Hidup Akrab dengan Gempa dan Tsunami*. Penerbit Buku Ilmiah Populer. Bogor.
- Indriana, R. D. 2008. *Analisis Sudut Kemiringan Lempeng Subduksi di Selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur Berdasarkan Anomali Gravitasi dan Implikasi Tektonik Vulkanik*. Jurnal Berkala Fisika. 11(3):89-96.
- Muhammad, R. 2008. *Studi Mekanisme Sumber Gempa Bumi Nias 2005*. Program Pendidikan Diploma III, Jurusan Geofisika, Akademi Meteorologi dan Geofisika, Jakarta
- Murjaya, J. 2018. *Seismic Velocity Structure of the Jakarta Basin, Indonesia, Using Trans-Dimensional Bayesian Inversion of Horizontal-to-Vertical Spectral Ratios*. Geophysical Journal Internasional. 1(215): 431-449.
- Natawidjaja, D., Farr, T. G., dan Suwargadi, B. 2009. *Persistent Elastic Behavior Above A Megathrust Rupture Patch: Nias Island, West Sumatra*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 113(B12): 78-105.
- Rahmadi. 2008. *Analisa Statistik Tingkat Keaktifan Gempa Bumi di Daerah Jawa Timur dan Sekitarnya*. Program Pendidikan Diploma III. Jurusan Geofisika. Akademi Meteorologi dan Geofisika. Jakarta.
- Sihombing, L. 2018. *Prediksi Daerah Genangan dan Tingkat Kerentanan Akibat Gelombang Tsunami di Pesisir Jember*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- USGS (United States Geological Survey). 2020. Earthquakes. Diakses dari <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> pada tanggal 1 Maret 2020, jam 22.36 WIB.