



Pemodelan *Run – up* Tsunami di Wilayah Pesisir Pantai Sulawesi Barat

Erwan Susanto^{1*}, Inna Nurana², Akbar Rian Setyahagi³

¹Stasiun Geofisika Gowa, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Sulawesi Selatan, 92112

²Stasiun Geofisika Aceh Besar, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), 23234

³Stasiun Geofisika Nganjuk, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Jawa Timur, 64475

*Email: erwansusanto0305@gmail.com

Naskah Masuk: 16 Juni 2020 | Naskah Diterima: 12 November 2020 | Naskah Terbit: 01 Desember 2020

Abstrak. Wilayah Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks, sehingga menjadikan wilayahnya rawan terhadap kejadian gempa bumi. Gempa bumi merupakan salah satu faktor terbesar penyebab terjadinya tsunami. Wilayah pesisir Pantai Sulawesi Barat memiliki tingkat bahaya tinggi terhadap kejadian gempa bumi dan tsunami karena berdekatan dengan Sesar Naik Makassar yang merupakan salah satu sesar aktif yang ada di wilayah Sulawesi Barat. Dari beberapa latar belakang diatas penulis akan melakukan penelitian tentang pemodelan *run – up* tsunami di wilayah pesisir Pantai Sulawesi Barat. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data parameter sesar pembangkit tsunami, data batimetri dari *GEBCO (General Bathymetric Chart of The Ocean)* dan data topografi *Digital Elevation Model (DEM) SRTM*. Dalam pemodelan ini menggunakan bantuan perangkat lunak *TUNAMI – N2*. Hasil dari pemodelan ini menunjukkan bahwa *run – up* maksimum di wilayah pesisir Pantai Sulawesi Barat mencapai 11.75453 meter di titik observasi Pelabuhan Cinoka Mamuju Utara.

Kata Kunci: Pemodelan Tsunami, *TUNAMI – N2*, *Run Up*

Abstract. The territory of Indonesia has a complex tectonic arrangement, making it prone to earthquakes. Earthquakes are one of the biggest factors causing tsunamis. The coastal area of the West Sulawesi coast has a high level of danger from earthquakes and tsunamis because it is close to the Makassar Rise Fault, which is one of the active faults in the West Sulawesi region. From the above background, the writer will conduct research on tsunami run-up modeling in the coastal area of the West Sulawesi coast. The data used in this research are tsunami generator fault parameter data, bathymetric data from *GEBCO (General Bathymetric Chart of The Ocean)* and *SRTM Digital Elevation Model (DEM)* topography data. In this modeling using the help of the *TUNAMI – N2* software. The results of this modeling indicate that the maximum run – up in the coastal area of the West Sulawesi coast reaches 11.75453 meters at the observation point of Cinoka Mamuju Utara Port.

Keywords: Tsunami Modeling, *TUNAMI – N2*, *Run Up*

Pendahuluan

Wilayah Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Hal ini dikarenakan Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng besar yaitu lempeng Pasifik, Indo – Australia, dan Eurasia. Pertemuan lempeng tersebut menyebabkan terbentuknya zona subduksi. Selain itu, Indonesia juga memiliki ratusan sesar yang masih aktif bergerak. Berdasarkan tatanan tektonik tersebut, Indonesia menjadi salah satu negara yang rawan terhadap gempa bumi [1]. Gempa bumi merupakan salah satu faktor terbesar penyebab terjadinya tsunami. Di Indonesia, tercatat beberapa kejadian tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi. Kejadian tsunami tersebut sebagian besar disebabkan oleh gempa – gempa tektonik di sepanjang daerah subduksi dan daerah seismik aktif lainnya. Seperti dalam penelitian Diposaptono (2018), disebutkan bahwa dalam kurun waktu tahun 1600 sampai 2007, terjadi kurang lebih 109 tsunami. Dari jumlah tersebut, 90% di antaranya disebabkan oleh gempa tektonik, 9% akibat letusan gunung berapi, dan hanya 1% yang dipicu oleh longsor.

Pulau Sulawesi merupakan salah satu daerah yang tersusun oleh tatanan tektonik yang kompleks dengan stuktur – struktur teridentifikasi yang hingga saat ini masih aktif bergerak dan sering menghasilkan gempa. Salah satu sesar aktif di Sulawesi adalah Sesar Naik Makassar atau yang sering dikenal dengan Makassar *Thrust*. Sesar ini terbagi menjadi 4 segmen yaitu *North*, *Central*, Mamuju dan Somba dengan mekanisme pergerakannya adalah *reverse*. Makassar *Thrust* memiliki pergerakan antara 1 – 5 mm per tahun [2]. Kota Mamuju merupakan Ibukota dari Provinsi Sulawesi Barat. Hal ini menjadikan Kota Mamuju memiliki jumlah penduduk yang cukup padat. Kota Mamuju memiliki obyek wisata yang sangat terkenal dan banyak dikunjungi banyak wisatawan yaitu Pantai Manakara. Wilayah Pantai Manakara merupakan daerah yang padat penduduk dan memiliki banyak bangunan berupa hotel, mall, ruko, restoran, dan pemukiman penduduk. Beberapa faktor tersebut menjadikan wilayah Pantai Manakara rentan terhadap kejadian tsunami.

Wilayah Pantai Manakarra memiliki tingkat bahaya tinggi terhadap kejadian gempa bumi dan tsunami karena berdekatan dengan Sesar Naik Makassar yang merupakan salah satu sesar aktif yang ada di wilayah Sulawesi Barat. Data historis menyebutkan bahwa terdapat tiga gempa bumi yang membangkitkan tsunami bersumber dari sesar tersebut. Tsunami yang dibangkitkan melanda beberapa wilayah termasuk Pantai Manakara dan menyebabkan banyak kerugian material maupun korban meninggal. Dari beberapa latarbelakang diatas penulis akan melakukan penelitian tentang pemodelan *run – up* tsunami di wilayah pesisir Pantai Sulawesi Barat. Rumusan masalah yang ingin dipecahkan dalam penelitian adalah berapa *run – up* maksimum gelombang tsunami di pesisir Pantai Sulawesi Barat?. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui *run – up* maksimum gelombang tsunami di pesisir Pantai Sulawesi Barat.

Pengertian Tsunami

Istilah tsunami berasal dari bahasa Jepang yaitu *tsu* yang artinya pelabuhan dan *nami* yang artinya gelombang. Tsunami dapat didefinisikan sebagai rangkaian gelombang yang dibangkitkan akibat pergerakan kolom air dalam arah vertikal secara tiba – tiba [3]. Beberapa penyebab terjadinya tsunami adalah aktifitas seismik, letusan gunung api di bawah laut atau gunung api pulau, tanah longsor di laut, benda jatuh dari luar angkasa, dan karena adanya fenomena meteorologi (Bryant, 2008). Tsunami disebabkan karena adanya kenaikan air laut secara tiba – tiba. Kenaikan tersebut disebabkan karena adanya deformasi dasar laut yang memindahkan volume air diatasnya [4]. Pergerakan sesar secara vertikal pada dasar lantai Samudera akan menaikkan dan menurunkan air laut dalam skala yang besar [5]. Kecepatan penjalaran gelombang tsunami merupakan salah satu bentuk gelombang yang bergantung pada kedalaman perairan dan tidak bergantung pada periode gelombang tersebut [6]. Secara matematis hubungan antara korelasi tersebut sebagai berikut [7]:

$$C = \sqrt{gh} \text{ dan } L = T \times C \quad (1)$$

dimana,

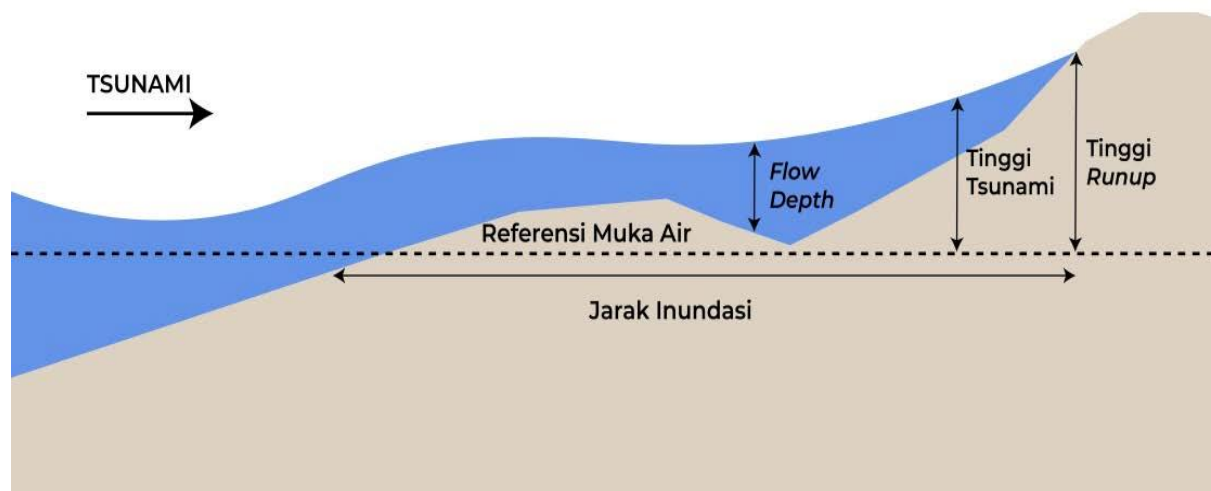
- h : kedalaman bathimetri (m)
 T : periode gelombang (detik)
 C : kecepatan gelombang tsunami (m/s)
 g : percepatan gravitasi Bumi (9.81 m/s^2)
 L : panjang gelombang tsunami (m)

Istilah dalam Tsunami

Gelombang tsunami yang memasuki daratan memiliki beberapa istilah yang biasa disebut dengan parameter tsunami. Parameter tsunami ini merupakan catatan penting yang dapat dianalisa dan digunakan dalam studi paleotsunami, pemodelan tsunami dan pembuatan jalur evakuasi [8].

Tabel 1. Istilah dalam tsunami

No	Istilah
1	<i>Run – up Height</i> adalah ketinggian tsunami pada titik inundasi maksimum di daratan dihitung dari referensi muka air laut saat terjadinya tsunami.
2	<i>Inundasi</i> adalah jarak horizontal terjauh yang dijangkau oleh gelombang tsunami dari garis pantai. Semakin landai pantai maka jarak jangkauan <i>inundasi</i> semakin jauh dan panjang dari garis pantai.
3	<i>Flow depth</i> adalah ketinggian tsunami di atas daratan dihitung dari ketinggian topografi, setiap jangkauan <i>flow depth</i> dari jarak <i>inundasi</i> berbeda – beda tergantung topografi permukaan pantai tersebut.
4	<i>Tsunami Height</i> adalah jumlah dari <i>flow depth</i> dan tinggi muka tanah dihitung dari referensi muka air laut.
5	Referensi muka air laut atau <i>Mean Sea Level (MSL)</i> adalah rata – rata nilai tinggi muka air laut pada jangka waktu yang lama.



Gambar 1. Ilustrasi istilah yang digunakan dalam pembahasan tsunami

Gempa Bumi Pembangkit Tsunami

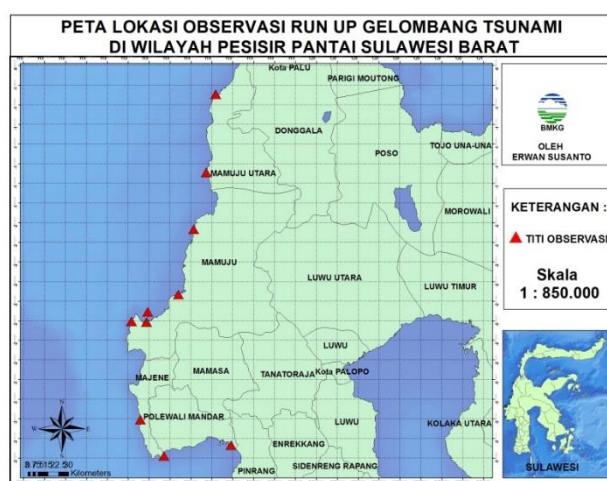
Tidak semua gempa bumi dapat membangkitkan tsunami. Untuk membangkitkan tsunami, sumber gempa bumi harus berada di bawah atau dekat dengan Samudera sehingga menyebabkan terjadinya pergerakan vertikal dari permukaan air di atas sebuah area yang luas [6]. Tsunami besar yang merusak disebabkan oleh gempa bumi dangkal (kurang dari 70 km) dan *hiposenter* gempa berada di sekitar zona subduksi [9]. Menurut BMKG, gempa bumi yang memicu terjadinya tsunami mempunyai parameter yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter gempa bumi pembangkit tsunami

No	Parameter
1	Mempunyai magnitudo (M) yang besar yaitu $M \geq 7.0$.
2	Sumber gempa bumi berada di bawah laut dengan dangkal ($h \leq 70$ km)
3	Terjadinya deformasi atau perubahan dasar laut secara vertikal yang bisa dilihat dari mekanisme pusat gempa bumi yang berupa sesar turun (<i>normal fault</i>) dan sesar naik (<i>thrust fault</i>).
4	Jarak pusat gempa bumi dari pantai yang memungkinkan terbentuknya tsunami. Jika gempa bumi terjadi tepat di tepi pantai, kecil kemungkinan terjadinya tsunami walaupun dampak dari gempa bumi tersebut akan besar. Kedalaman air juga memainkan peran penting di sini.

Metode Penelitian

Lokasi penelitian berada di pesisir Pantai Sulawesi Barat yang berada. Segitiga merah pada Gambar 2 adalah lokasi observasi *run – up* tsunami. Titik observasi di sepanjang pesisir Pantai Sulawesi Barat terdiri dari 10 titik observasi yang penentuannya berdasarkan pada daerah yang strategis seperti tempat wisata dan pelabuhan.



Gambar 2. Lokasi penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder berupa data parameter sesar pembangkit tsunami, data batimetri dari *GEBCO* (*General Bathymetric Chart of The Ocean*) dan data topografi dari *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM [10].

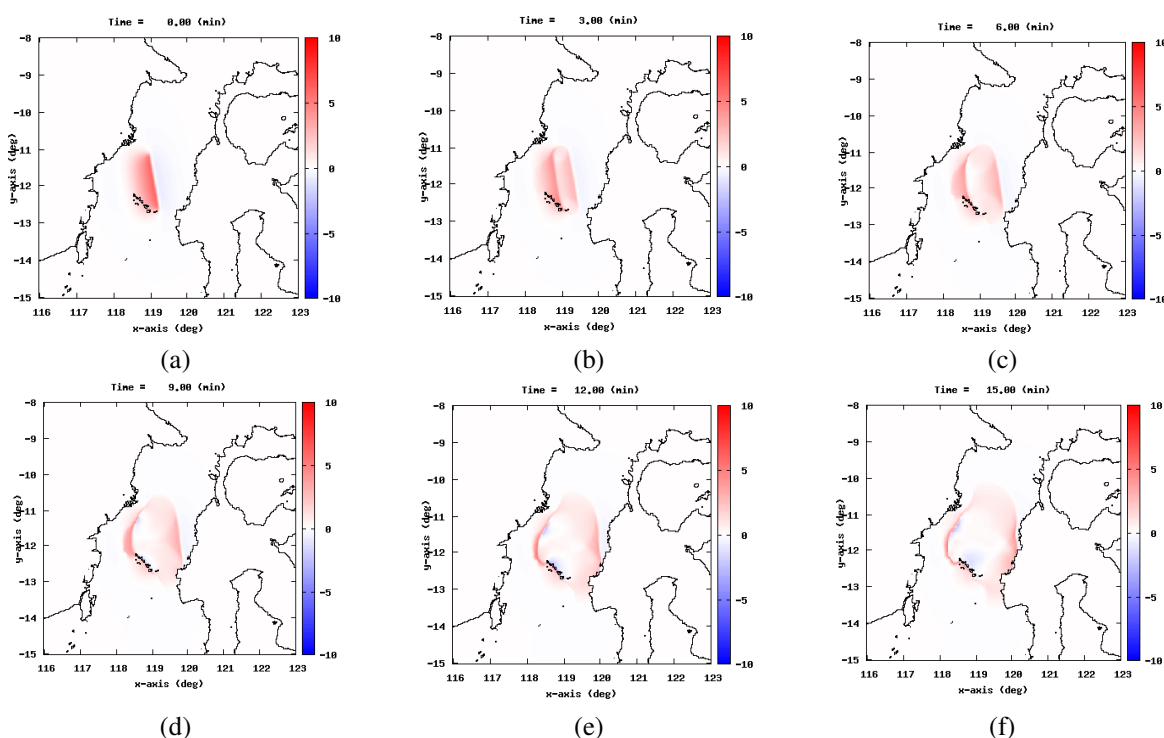
Tabel 3. Parameter sesar naik Makassar

Fault Length (km)	Faults Width (km)	Strike ($^{\circ}$)	Dip ($^{\circ}$)	Rake ($^{\circ}$)	Depth (km)	Mw
170	85	170	45	90	55	7.38

Dalam pemodelan penjalaran tsunami, penulis menggunakan bantuan *software TUNAMI – N2* (*Tohoku University's Numerical Analysis Model Investigation of Tsunami No 2*) untuk mendapatkan estimasi *run – up* gelombang tsunami [11]. Pemodelannya *TUNAMI – N2* menggunakan skema numerik *leap – frog* untuk menyelesaikan persamaan – persamaan dasar perambatan gelombang linear di laut dalam dan laut dangkal. Sedangkan dalam penentuan resolusi wilayah yang lebih tinggi digunakan skema *grid* bersarang (*nested grid*) [3]. Pemodelan dari *TUNAMI – N2* menggunakan input data parameter Sesar Naik Makassar berupa *fault length*, *rake*, *dip*, dan *strike* sebagai skenario pembangkit tsunami [11]. Data parameter sesar tersebut selanjutnya akan menghasilkan skenario gempa bumi yang mungkin bisa terjadi. Data skenario gempa bumi selanjutnya ditambah dengan data *bathimetri* dan topografi lalu dimodelkan dengan *TUNAMI – N2*, pemodelan ini menghasilkan *run – up* gelombang tsunami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perangkat lunak *TUNAMI – N2* digunakan untuk melakukan pemodelan tsunami wilayah pesisir Pantai Sulawesi Barat untuk mendapatkan *run – up* gelombang tsunami dengan menggunakan skenario gempa bumi yang dikeluarkan oleh Pusat Studi Gempa Nasional. Skenario gempa bumi yang digunakan dalam pemodelan ini adalah gempa bumi tektonik yang disebabkan oleh pergerakan Sesar Naik Makassar. Pada penelitian ini pemodelan tsunami dilakukan selama 120 menit. Estimasi penjalaran gelombang tsunami setelah gempa bumi terjadi ditunjukkan pada *snapshot* hasil pemodelan dengan perubahan waktu setiap 1 menit. Warna merah pada *snapshot* hasil pemodelan merupakan pergerakan gelombang tsunami *uplift* (naik) dan warna biru merupakan pergerakan gelombang tsunami *subsidence* (turun). Gelombang yang berbahaya adalah gelombang naik yang bisa mencapai daratan dan merendam pemukiman masyarakat. Hasil *snapshot* penjalaran gelombang tsunami tiap layer-nya adalah seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan tsunami pada layer 1 (a) $t = 0$ menit, (b) $t = 3$ menit, (c) $t = 6$ menit, (d) $t = 9$ menit, (e) $t = 12$ menit dan (f) $t = 15$ menit

Gambar 2(a) – (f) menunjukkan estimasi penjalaran gelombang tsunami pada $t = 0, 3, 6, 9, 12$ dan 15 menit setelah gempa bumi terjadi pada *layer 1*. Warna merah pada Gambar 2 merupakan pergerakan gelombang tsunami *uplift* (naik) dan warna biru merupakan pergerakan gelombang tsunami *subsidence* (turun). Dalam pemodelan tsunami ini deformasi muka laut terjadi pada waktu $t = 0$ yang berarti deformasi lantai samudra yang dianggap merepresentasikan deformasi muka air laut di permukaan. Ketika sesaat setelah gempa bumi terjadi deformasi bidang patahan di dasar laut yang menyebabkan turunnya muka air laut bagian timur patahan yang ditandai dengan warna biru dan kenaikan di bagian barat patahan yang ditandai dengan warna merah.

Pola penjalaran tsunami akibat gempa bumi ini dominan ke arah barat dan timur dari patahan sesuai dengan *slip angle* atau sudut pergerakan patahan yang tegak lurus terhadap arah *strike*. Selanjutnya *run – up* gelombang tsunami di setiap titik observasi dibuat kedalam tabel agar mudah dipahami seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. *Run – up* tsunami di titik observasi

No	Longitude	Latitude	Lokasi	<i>Run – up</i> (meter)
1	119.348	–1.169	Pantai Tanjung Babia, Mamuju Utara	7.03864
2	119.284	–1.685	Pelabuhan Cinoka, Mamuju Utara	11.76453
3	119.202	–2.060	Kelurahan Kire, Mamuju	2.19786
4	119.101	–2.488	Pelabuhan Belang – belang, Mamuju	8.83002
5	118.898	–2.603	Dermaga Pulau Ujung Bulu	6.35463
6	118.889	–2.670	Pantai Manakarra, Mamuju	6.48868
7	118.791	–2.666	Pantai Tapandulu, Mamuju	4.72492
8	118.849	–3.313	Pelabuhan Palipi, Majene	2.40306
9	119.006	–3.551	Pantai Barene, Majene	0.79549
10	119.449	–3.482	Pelabuhan Tanjung Silopo, Polewali Mandar	0.93525

Tabel 2 merupakan tabel lokasi observasi terhadap *run – up* tsunami pada titik lokasi observasi. Dari tabel tersebut terlihat bahwa setiap lokasi observasi memiliki *run – up* tsunami yang bervariasi, hal ini dipengaruhi oleh kondisi *bathimetri*, topografi dan morfologi pantai masing – masing wilayahnya. Berdasarkan data diatas wilayah pesisir Pantai Sulawesi Barat memiliki *run – up* tsunami dengan kategori awas yaitu dengan *run – up* tsunami >3 meter meliputi tujuh lokasi observasi, kategori siaga yaitu dengan *run – up* tsunami antara 0.5 – 3 meter meliputi satu lokasi observasi. *Run – up* tsunami tertinggi adalah pada lokasi observasi di Pelabuhan Cinoka yang mencapai 11.76453 meter. Hal tersebut menunjukkan bahwa daerah pesisir Pantai Sulawesi Barat merupakan daerah yang memiliki tingkat bahaya yang tinggi terhadap kejadian tsunami.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan tsunami yang dibangkitkan oleh sesar naik Makassar menggunakan perangkat lunak *TUNAMI – N2* dapat diperoleh kesimpulan bahwa *run – up* maksimum gelombang tsunami di wilayah pesisir Pantai Sulawesi Barat mencapai 11.76453 meter, tepatnya di Pelabuhan Cinoka, Mamuju Utara.

Saran

Saran dari penulis adalah supaya penelitian – penelitian sejenis dapat dilakukan di daerah lain yang memiliki resiko terhadap bencana tsunami sehingga diketahui potensi bencana tsunaminya. Selanjutnya dapat digunakan oleh pemerintah daerah, praktisi, serta pihak – pihak yang terkait di dalamnya sebagai salah satu pertimbangan utamanya yang berkenaan dengan mitigasi bencana tsunami.

Ucapan Terima Kasih

Alhamdulillah, ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Ucapan terima kasih selanjutnya penulis sampaikan kepada kedua Orang Tua, tim penelitian, instansi BMKG dan Stasiun Geofisika Gowa.

Daftar Pustaka

- [1] W. Kongko and T. Schlurmann, “The Java tsunami model: using highly-resolved data to model the past event and to estimate the future hazard,” in *Proceedings of the Coastal Engineering Conference (2010)*, 2010.



- [2] E. Susanto, M. Arsyad, S. Subaer, and A. R. Setyahagi, “Pemodelan Waktu Tiba Gelombang Tsunami di Wilayah Pesisir Provinsi Sulawesi Barat,” in *Prosiding Seminar Nasional Fisika PPs Universitas Negeri Makassar*, 2020, vol. 2.
- [3] A. R. Setyahagi, “Pemodelan Tsunami di Pantai Sendang Biru Kabupaten Malang,” *Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika*, 2017.
- [4] I. O. Commission, “Tsunami Glossary. IOC Technical Series 85.” UNESCO, Paris, 2016.
- [5] S. Leschka, C. Pedersen, and O. Larsen, “On the requirements for data and methods in tsunami inundation modelling–Roughness map and uncertainties,” in *Proc. of the South China Sea Tsunami Workshop, Penang, Malaysia*, 2009, pp. 3–5.
- [6] H. Kanamori, “Mechanism of tsunami earthquakes,” *Phys. earth Planet. Inter.*, vol. 6, no. 5, pp. 346–359, 1972.
- [7] Y. Fujii and K. Satake, “Tsunami source of the 2004 Sumatra–Andaman earthquake inferred from tide gauge and satellite data,” *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 97, no. 1A, pp. S192–S207, 2007.
- [8] M. M. Muqoddas, “Pengaruh kekasaran Manning terhadap pemodelan inundasi di Cilacap,” *Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, 2018.
- [9] S. Pribadi, A. Afnimar, N. T. Puspito, and G. Ibrahim, “Characteristics of Earthquake-Generated Tsunamis in Indonesia Based on Source Parameter Analysis,” *J. Math. Fundam. Sci.*, vol. 45, no. 2, pp. 189–207, 2013.
- [10] British Oceanographic Data Center, “The General Bathymetric Chart of the Oceans,” 2019. [Online]. Available: http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_30second_grid. [Accessed: 10-Aug-2019].
- [11] H. Yanagisawa, “Numerical Simulation of Tsunami and its Application,” *Tohoku-Gakuin Univ. Tohoku*, 2011.

