

PEMODELAN GEMPA BUMI PEMBANGKIT TSUNAMI DI WILAYAH PAPUA (STUDI KASUS: GEMPA BUMI BIAK, 17 FEBRUARI 1996)

Sayyidatul Khoiridah¹, Wiko Setyonegoro², Haerul Anwar³

¹Teknik Geomatika, Fakultas Teknik, Universitas Dr. Soetomo Surabaya,

²Puslitbang BMKG, Jl. Angkasa I No. 2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720,

³Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Mataram

e-mail: sayyidatul.khoiridah@unitomo.ac.id

Abstrak. Papua termasuk wilayah yang rawan terjadi tsunami. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang pemodelan tsunami untuk mengetahui karakteristik gempa pembangkit tsunami di wilayah Papua. Biak merupakan wilayah di Papua yang pernah terdampak tsunami. Tsunami Biak terjadi pada 17 Februari 1996 yang diakibatkan oleh gempa dari palung Guinea New di Utara dan sistem patahan Yapen geser di selatan dengan kedalaman gempanya yaitu 33 km dan magnitudenya 8,1 SR. Akibatnya, tsunami Biak banyak menelan korban jiwa dan menyebabkan banyak kerugian material. Pada penelitian digunakan software Tsunami L-2008 untuk pemodelan tsunami. Ada tiga pemodelan tsunami yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pemodelan sumber gempa bumi sebagai pembangkit tsunami (*source modeling*), penjalaran gelombang tsunami (*ocean modeling*), dan ketinggian tsunami (*run up tsunami*). Hasil dari *source modelling* berupa nilai *vertical displacement* -2,5 m dengan jenis patahan naik. Sedangkan *ocean modelling* untuk tsunami Biak memperlihatkan penjalaran gelombang tsunami mulai memasuki pesisir pantai Utara Biak yaitu di pesisir pantai Korim, Wari, Sauri, dan sekitarnya sekitar menit ke-10. Gelombang tsunami mulai memasuki wilayah Yapen sekitar menit ke-30 dan mulai meninggalkan pantai Biak sekitar menit ke-50. Sedangkan pada wilayah pesisir pantai Biak bagian barat tidak terdapat tinggi gelombang tsunami. Hasil *Run up modelling* menunjukkan bahwa *run up* maksimum yaitu 6,89 m terjadi di daerah Korim dengan koordinat 1,22 °LS dan 136,35 °BT.

Kata Kunci: Biak, gempa, dan pemodelan tsunami

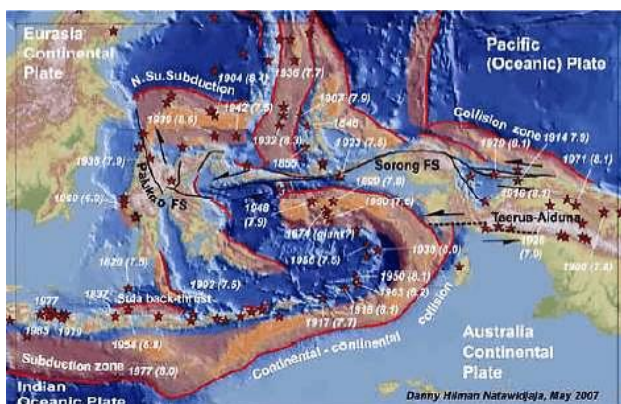
Abstract. Papua is an area prone to tsunamis. Therefore, it is necessary to conduct research on tsunami modeling to determine the characteristics of tsunami-generating earthquakes in the Papua region. Biak is an area in Papua that has been affected by the tsunami. The Biak tsunami occurred on February 17, 1996, caused by an earthquake from the New Guinea Trench in the north and the Yapen shear fault system in the south with an earthquake depth of 33 km and a magnitude of 8.1 on the Richter scale. As a result, the Biak tsunami claimed many lives and caused a lot of material loss. In this study, Tsunami L-2008 software was used for tsunami modeling. There are three tsunami modeling carried out in this study, namely modeling the earthquake source as a tsunami generator (*source modeling*), tsunami wave propagation (*ocean modeling*), and tsunami height (*tsunami run-up*). The result of the source modeling is a vertical displacement value of -2.5 m with an ascending fault type. Meanwhile, ocean modeling for the Biak tsunami shows the propagation of the tsunami waves starting to enter the northern coast of Biak, namely on the coasts of Korim, Wari, Sauri, and surrounding areas around the 10th minute. The tsunami waves began to enter the Yapen area around the 30th minute and began to leave the Biak beach around the 50th minute. Meanwhile, in the western part of the coastal area of Biak, there is no tsunami wave height. Run-up modeling results show that the maximum run-up of 6.89 m occurred in the Korim area with coordinates 1.22 °LS and 136.35 °BT.

Keywords: Biak, earthquake, and tsunami modelling

PENDAHULUAN

Secara tektonik Papua terdiri atas beberapa sesar aktif dan merupakan batas konvergen sehingga mempunyai tingkat aktivitas kegempaan yang tinggi. Batas lempeng wilayah Papua dicirikan oleh adanya tumbukan dua tektonik besar yaitu lempeng samudra Pasifik – Caroline yang bergerak ke barat – barat daya dengan lempeng benua Indo – Australia yang bergerak ke arah utara. Lempeng samudra Pasifik – Caroline mempunyai kecepatan 7,5 cm/tahun. Sedangkan lempeng benua Indo – Australia mempunyai kecepatan 10,5 cm/tahun (Yunus, 2010).

Tumbukan dua lempeng tektonik besar di wilayah Papua mengakibatkan adanya tiga zona besar patahan aktif yaitu zona kompresi dari tumbukan lempeng Pasifik dan pulau Papua yang kompleks, jalur patahan sorong, dan jalur patahan besar Aiduna-Tarairua. Berdasarkan survei GPS, patahan geser Sorong mempunyai laju pergerakan tercepat di dunia. Kecepatan gerak relatif lempeng Pasifik yang sangat cepat berpotensi menyebabkan bencana gempa dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan wilayah Sumatra dan Jawa yang pergerakan lempengnya hanya 5 -7 cm/tahun (Tim Survei BMKG, 2009).



Gambar 1. Tatanan tektonik wilayah Papua (Natawidjaja, 2007)

Fakta terjadinya gempa-gempa besar di Papua pada masa lalu yang bersifat merusak karena memiliki skala magnitudo lebih dari Mw 7 SR atau bahkan sebagian gempa memiliki magnitudo lebih

dari Mw 8 SR. Hal ini menjadi bukti bahwa di wilayah Papua memiliki potensi gempa bumi yang sangat tinggi. Dari catatan seismogram di wilayah Papua pernah terjadi gempa bumi yaitu pada tahun 1914 (7,9 SR), 1957 (7,5 SR), dan 1979 (7,9 SR) (Prawiradisastra dan Eko, 1997).

Gempa di Papua dengan skala magnitudo lebih dari Mw 8 SR juga pernah terjadi di Biak pada 17 Februari 1996 (Mw = 8,1 SR) (USGS, 2021). Gempa yang terjadi di Biak tersebut memicu terjadinya tsunami dengan ketinggian 2 – 7 meter. Setelah gempa utama, hingga tanggal 15 Maret 1996 tercatat 204 kali gempa susulan dengan pusat gempa berada di sekitar perairan pulau Biak. Magnitude dari gempa susulan berkisar 3 – 5 SR. Gempa Biak juga mengakibatkan terjadinya retakan di beberapa tempat di Pulau Biak serta adanya patahan dan amblesan. Selain itu, banyak rumah dan bangunan pemerintah di Bosnik (ibu kota Kecamatan Biak Timur) yang hancur. Gempa Biak yang disertai tsunami tersebut juga mengakibatkan 101 orang korban jiwa meninggal dunia, 31 orang hilang, dan 278 orang luka-luka (Prawiradisastra 1997).

Secara historis, wilayah Papua pernah terjadi gempa bumi yang memicu terjadinya tsunami yaitu tahun 1864 (*run up* maksimum 12 meter), tahun 1914 (*run up* maksimum 0,1 meter), tahun 1957 (*run up* maksimum 2 meter) (Imamura F., et. al. 1997). Dengan demikian, perlu dilakukan penelitian sebagai upaya perencanaan mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami sehingga ke depannya dapat meminimalisir dan mengantisipasi efek kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi pembangkit tsunami.

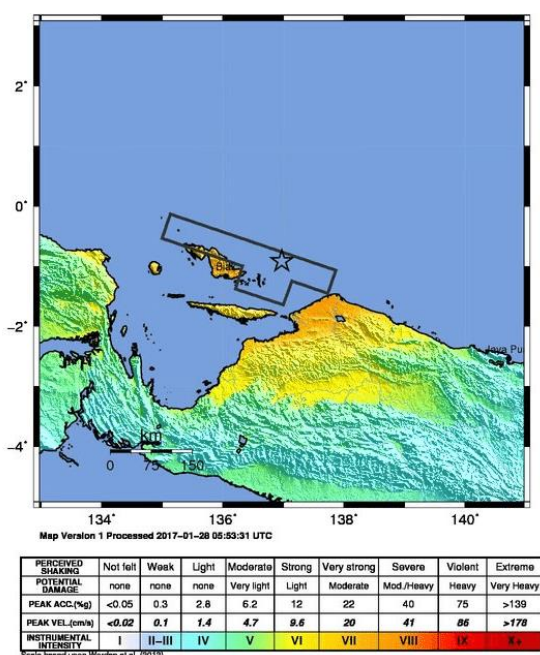
Pada penelitian ini dilakukan pemodelan tsunami di wilayah Papua dengan studi kasus gempa bumi Biak, 17 Februari 1996. Lokasi gempa dipilih yang berada di laut karena sebagai upaya dalam melakukan perencanaan mitigasi dengan memahami karakteristik khusus dari gempa pembangkit tsunami (*tsunamigenic earthquake*) di daerah tersebut. Pemodelan tsunami yang dilakukan pada penelitian ini terdiri atas pemodelan sumber gempa bumi sebagai pembangkit tsunami (*source modelling*),

penjalaran gelombang tsunami (*ocean modelling*), dan ketinggian tsunami (*run up tsunami*). Kemudian hasil skenario pemodelan tsunami tersebut dibandingkan dengan hasil simulasi yang sama, tetapi berdasarkan parameter sesungguhnya (data historis) dari tsunami tersebut.

METODOLOGI

Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian meliputi wilayah Papua, Kabupaten Biak, pulau Biak, dan sekitarnya yang terletak di Teluk Cenderawasih. Lokasi penelitian berada pada koordinat 0°21'-1°31' LS dan 134°47'-136°48' BT dengan ketinggian 0 – 1.000 meter di atas permukaan laut. Batas wilayah penelitian di sebelah utara berbatasan dengan Kabupaten Supiori dan Samudera Pasifik, sebelah selatan dibatasi oleh Selat Yapen, sebelah barat dibatasi oleh Kabupaten Manokwari dan kabupaten Supiori, serta sebelah timur berbataasan langsung dengan Samudera Pasifik. Sedangkan lokasi episentrum gempa berada pada koordinat 0,891 °LS dan 136,952 °BT dengan kedalaman 33 km dan Mw 8,1 SR.

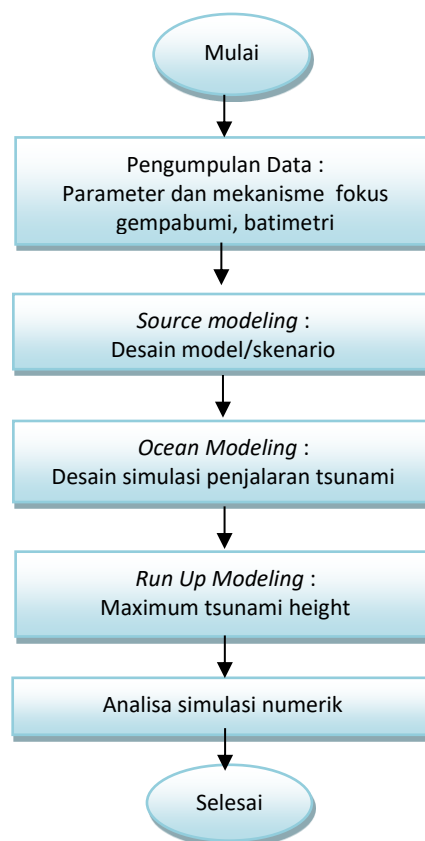


Gambar 2. Peta lokasi penelitian gempa bumi biak, 17 Februari 1996 (USGS 2021)

Pemodelan Tsunami

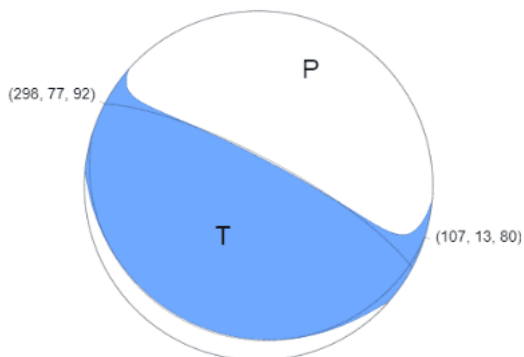
Parameter *input* yang digunakan pada pemodelan tsunami yaitu koordinat lokasi sumber gempa, kedalaman gempa, magnitudo gempa, koordinat dan kedalaman batimetri lokasi pantai yang diperkirakan terdampak tsunami. Sedangkan *setting software* pemodelan tsunami meliputi durasi model tsunami, batas area, dan data batimetri. Data batimetri diunduh dari situs oseanografi dunia GEBCO NOAA (*The General og Bathymetry Chart of the Oceans*) yang menyediakan data batimetri untuk seluruh wilayah perairan di dunia dengan interval ruang 1.850 m untuk setiap 1 ars grid menit.

Proses pembuatan simulasi dimulai dengan pengumpulan data parameter mekanisme fokus gempa bumi dan batimetri, menentukan desain model atau skenario yang akan dilakukan (*source modeling*), membuat grid dari nilai batimetri wilayah simulasi dan desain simulasi penjalaran tsunami (*ocean modeling*) kemudian memodelkan tinggi gelombang tsunami (*run up modeling*). Untuk mengetahui kevalidan model, maka hasil simulasi diverifikasi dengan data pengukuran lapangan.



Gambar 3. Bagan alir penelitian

Penentuan *source* parameter pada penelitian ini didasarkan pada data historis yang diperoleh dari katalog USGS dengan nilai *strike* = 298°, *dip* = 70°, *slip* = 92°, dan magnitudenya sebesar 8,1 SR. Pada gempa bumi Biak deformasi dasar laut yang membangkitkan tsunami memiliki jenis patahan naik (*reverse fault*) (USGS, 2021).



Gambar 4. Fokal mekanisme gempa bumi Biak, 17 Februari 1996 (USGS, 2021)

Nilai momen seismik dihitung dari magnitude gempa dengan persamaan berikut.

$$M_w = 2/3 \text{ Log } M_0 - 6,07 \quad (1)$$

dengan

M_w : momen magnitude (SR)

M_0 : momen seismik (Nm)

(Wells, D.L., dan Coppersmith, 1994)

Nilai momen seismik yang sudah didapatkan kemudian digunakan untuk mencari nilai *slip* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$M_0 = \mu \cdot A \cdot S \quad (2)$$

dengan:

M_0 : momen seismik (Nm)

μ : rigiditas/tingkat kekakuan benda (N/m²)

A : luas bidang sesar (m²)

S : slip (m)

(Hanks dan Kanamori, 1979)

Secara matematis, panjang dan lebar *fault* dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Log } L = -2,42 + (0,58 \cdot M_w) \quad (3)$$

$$\text{Log } W = -1,61 + (0,41 \cdot M_w) \quad (4)$$

dengan:

L : panjang *fault* (km)

W : lebar *fault* (km)

M_w : momen magnitude (SR)

(Wells, D.L., dan Coppersmith, 1994)

Hasil perhitungan empiris dari parameter gempa digunakan sebagai masukan dalam *source modeling* dengan memperhatikan *setting* parameter yang berlaku di *software* Tsunami L-2008. *Output* dari *source modeling* berupa *vertical displacement* yaitu deformasi yang terjadi di dasar laut yang selanjutnya akan digunakan dalam *ocean modeling*.

Parameter simulasi *ocean modeling* yang menjadi *input* dalam program Tsunami L-2008 sebagai formulasi dari Nakamura, M (2006) meliputi *maximum time* yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi, di mana pada penelitian ini ditetapkan selama 3600 detik, *graph interval* dipilih 50, $Dt = 5$ agar penyimpanan hasil simulasi tiap 25 detik, H_{max} merupakan nilai estimasi *run up* yang diperoleh dari referensi yaitu sebesar 5 m dan H_{min} sebesar -5 m. Untuk *maning parameter* ditentukan sebesar 0,025 dan *max depth for friction* 50. Hasil dari *ocean modeling* berupa simulasi penjalaran gelombang tsunami tiap 25 detik.

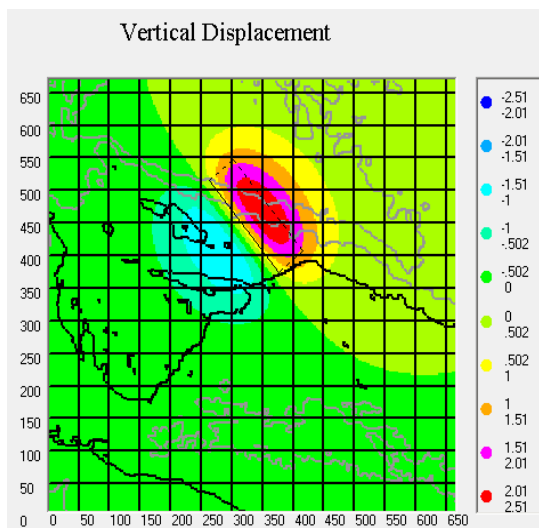
Run Up tsunami adalah jarak vertikal antara ujung tsunami di pantai dengan titik nol muka laut atau *mean sea level*. Tinggi *run up* dan tinggi tsunami bergantung pada magnitudo gempa, morfologi dasar laut, dan bentuk pantai. *Run up modelling* dilakukan dengan menggunakan Mamoru Nakamura's program. *Output* dari *run up* modelling berupa *maksimum tsunami heights* di sepanjang pantai yang terkena gelombang tsunami di beberapa titik target.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Source Modelling

Parameter sumber gempa bumi yang digunakan pada pemodelan sumber gempa (*source modeling*) yaitu nilai panjang *fault*, lebar *fault*, dan *slip* yang diperoleh dari perhitungan dengan menggunakan persamaan empiris. Selain itu, parameter *input* yang digunakan untuk *source modelling* yaitu nilai *strike* dan *dip* yang diambil dari katalog USGS.

Hasil perhitungan didapatkan nilai panjang dan lebar *fault* yaitu 80 km × 50 km dengan nilai *slip* yaitu 20 m. Hasil pengolahan *source modeling* dapat dilihat pada gambar 5, di mana *source modelling* memiliki nilai *maximum vertical displacement* 2,51 m dan nilai *minimum vertical displacement* -2,51 m.



Gambar 5. Vertikal displacement tsunami Biak 1996

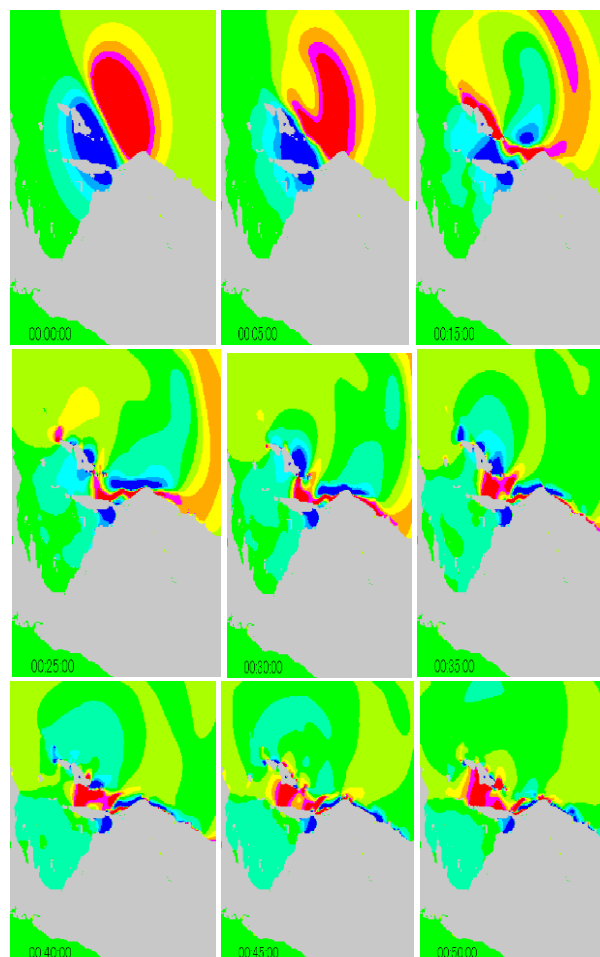
Ocean Modeling

Hasil dari *ocean modeling* berupa penjarangan gelombang tsunami dari sumber ke segala arah. Hasil simulasi menunjukkan bahwa waktu penjarangan tsunami dari titik pusat tsunami berkisar antara 10-50 menit, dengan jarak pusat tsunami ke daerah pesisir pantai terdekat sekitar 50 Km. Pengukuran waktu penjarangan dimulai ketika pergeseran patahan terjadi (diukur ketika gempa utama terjadi) sampai dengan ketika gelombang tsunami menyapu kawasan pesisir pantai. Pada simulasi tsunami, hasil penjarangan simulasi mencapai kawasan Pantai Biak pada menit ke-15 dan menyapu seluruh pesisir pantai Pulau Yapan bagian selatan pada menit ke-30 dapat dilihat pada gambar 6.

Hasil simulasi dapat dilihat bahwa penjarangan gelombang tsunami memasuki pesisir pantai pulau Yapan kurang lebih pada menit ke-30 dan mulai meninggalkan pantai Biak sekitar menit ke-50. Pada pemodelan ini wilayah pesisir pantai Biak bagian barat tidak mempunyai *run up*. Hal tersebut terjadi karna wilayah pulau Biak bagian barat terletak di belakang sumber tsunami sehingga sulit untuk disapu oleh gelombang tsunami.

Dari hasil *ocean modeling* dapat juga diketahui bentuk permukaan dasar laut (*ocean bottom*) saat terjadinya tsunami tersebut, di mana pada *ocean bottom* diketahui bahwa ketika penjarangan gelombang tsunami semakin mendekati daratan, maka gelombang tsunami semakin tinggi (semakin

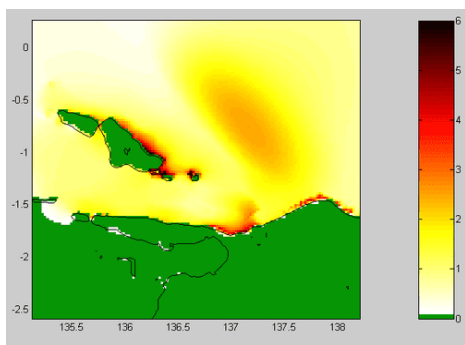
jauh gelombang tsunami merambat, maka semakin banyak kerusakan yang ditimbulkan karena ketinggian gelombang tsunaminya semakin tinggi juga). Tsunami Biak yang terjadi pada 17 Februari 1996 merupakan tsunami lokal yang terjadi di perairan dangkal dengan jarak antara sumber gempa dengan lokasi gempa adalah 50 km.



Gambar 6. Propagasi gelombang tsunami Biak 1996

Run Up Modeling

Hasil *run up modelling* terlihat bahwa gelombang tsunami menyapu di sepanjang pantai Biak bagian utara, timur, dan selatan. Selain itu, tsunami juga menyapu pulau Yapan dan Papua. Ketinggian maksimum gelombang tsunami berdasarkan hasil simulasi berada di daerah Biak bagian utara yaitu 6,89 m tepatnya di Kabupaten Korim. *Run up* tertinggi di pulau Papua bagian timur adalah 3,50 m dan di pulau Yapan yaitu 4,31 m (Gambar 7).



Gambar 7. Run up tsunami Biak 1996

Tabel 1. Hasil simulasi run up tsunami Biak 1996

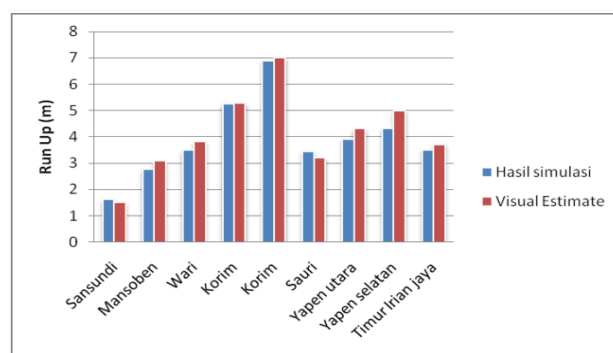
Tempat	Longitude (°)	Latitude (°)	Run up (m)
Impendi	135.68	-0.64	1.74
Sansundi	135.73	-0.65	1.62
Wayesi	135.93	-0.68	1.87
Mansoben	135.95	-0.73	2.77
Wari	136.045	-0.77	2.28
Wari	136.067	-0.79	2.35
Wari	136.13	-0.88	3.48
Korim	136.18	-0.91	3.29
Korim	136.20	-0.95	3.95
Korim	136.22	-1.00	5.001
Korim	136.27	-1.02	4.59
Korim	136.29	-1.045	2.85
Korim	136.30	-1.09	2.63
Korim	136.31	-1.14	4.99
Korim	136.33	-1.16	4.25
Korim	136.35	-1.22	6.89
Sauri	136.37	-1.18	5.26
Sauri	136.40	-1.20	3.45
Bosnik	136.54	-1.35	3.15
Bosnik	136.62	-1.41	3.22
Pulau Pai	136.66	-1.47	4.27
Pulau Owi	136.70	-1.53	3.21
Pulau Auki	136.89	-1.65	2.57
Yapen Utara	137.17	-1.72	3.91
Yapen Selatan	137.82	-1.45	3.96
Yapen Timur	137.73	-1.47	4.31
Timur Papua	138.07	-1.56	3.50

Distribusi maksimum tsunami height (run up) di sepanjang pantai yang terkena dampak tsunami yaitu pulau Biak, pulau Yapen, dan sebagian pulau Papua (dapat dilihat pada Tabel 1).

Distribusi run up modelling dengan menggunakan software Tsunami L-2008 pada pemodelan tsunami Biak 1996 mempunyai tingkat akurasi yang cukup. Hal tersebut ditunjukkan pada tabel 2 dan grafik pada gambar 8, di mana perbandingan antara tinggi run up hasil simulasi dengan visual estimate memiliki variasi nilai yang saling mendekati.

Tabel 2. Perbandingan run up hasil simulasi dengan run up visual estimate

Tempat	Longitude (°)	Latitude (°)	Run up (m)	
			Hasil Simulasi	Visual Estimate
Sansundi	135.73	-0.65	1.62	1.51
Mansoben	135.95	-0.73	2.77	3.08
Wari	136.13	-0.88	3.48	3.81
Korim	136.27	-1.18	5.26	5.27
Korim	136.35	-1.22	6.89	7
Sauri	136.40	-1.20	3.45	3.2
Yapen utara	137.17	-1.72	3.91	4.3
Yapen selatan	137.73	-1.47	4.31	5.0
Timur Papua	138.07	-1.56	3.50	3.71



Gambar 8. Grafik perbandingan run up hasil simulasi dengan run up visual estimate

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pemodelan Biak 17 Februari 1996 diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil *source modelling* tsunami Biak (1996) dengan menggunakan parameter dan mekanisme sumber gempa dari USGS didapatkan hasil nilai *vertical displacement* maksimum 2,5 m dan minimum -2,5 m.
2. Hasil *ocean modelling* tsunami Biak (1996) menunjukkan penjarangan gelombang tsunami mulai memasuki pesisir pantai utara Biak yakni di pesisir pantai Korim, Wari, Sauri, dan sekitarnya sekitar menit ke-10. Gelombang tsunami mulai memasuki wilayah Yapen sekitar menit ke-30. Sedangkan pada wilayah pesisir pantai Biak bagian barat tidak mempunyai run-up. Pada menit ke-50 gelombang tsunami mulai meninggalkan pantai Biak.

3. *Run up* maksimum tsunami Biak (1996) yaitu sekitar 6,89 m yang berada di daerah Korim dengan koordinat 1,22 °LS dan 136,35 °BT.

Saran

Setelah dilakukan penelitian ini diharapkan ada peningkatan upaya mitigasi bencana gempa bumi dan tsunami di wilayah Papua. Terlebih Papua termasuk daerah yang rawan terjadi gempa bumi, bahkan pada 17 April 2022 pukul 18:32:32 WIB Papua kembali diguncang gempa bumi tektonik dengan magnitude Mw 5 SR. Selain itu, perlu adanya peningkatan dan sosialisasi riset-riset terkait gempa bumi pembangkit tsunami khususnya di wilayah Papua.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih pada Puslitbang BMKG Jakarta khususnya Bidang Geofisika atas kerja samanya sehingga jurnal ilmiah ini dapat dipublikasikan. Semoga jurnal ilmiah ini bermanfaat untuk pengambilan kebijakan oleh pemerintah setempat. Selain itu, semoga bisa menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut dengan tema pemodelan tsunami khususnya di wilayah Papua.

DAFTAR PUSTAKA

- Hanks, Thomas C. dan Hiroo Kanamori. 1979. "Moment Magnitude Scale." *Journal of Geophysical Research* 84 (B5):2348–2350.
- Imamura F., D. Subandono, G. Watson, A. Moore, T. Takahashi, H. Matsutomi and R. Hidayat. 1997. "Irian Jaya Earthquake and Tsunami Cause Serious Damage." *EOS Volume 78*:No. 19.
- Natawidjaja, H. 2007. "Tectonic Setting Indonesia Dan Pemodelan Sumber Gempa Dan Tsunami." in *Pelatihan Pemodelan Run-Up Tsunami*. Bandung: LIPI.
- Prawiradisastra, Suryana dan Eko Widi Santoso. 1997. "Identifikasi Gempa Biak 17 Pebruari 1996 Sebagai Upaya Program Mitigasi Bencana." *Jurnal Alami* Vol. 2:No. 3.
- Tim Survei BMKG. 2009. *Laporan Gempa Bumi Papua 1909 - 2009*. Jakarta.

USGS. 2021. "M 8.1 - 101 Km ENE of Biak, Indonesia." Retrieved December 27, 2021 (https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/official19960217055930550_33/shakemap/intensity).

Wells, D.L., dan Coppersmith, K. J. 1994. "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, and Surface Displacements." *Bulletin of the Seismological Society of America* 84:974–1002.

Yunus, F. 2010. "Geologi Daerah Sorong, Kota Sorong, Papua Barat." ITB.
