

PENJALARAN TSUNAMI MENUJU KE *OUTLET* ARLINDO BERDASARKAN SKENARIO GEMPA *MEGATHRUST* SELATAN JAWA

Tara Adventari¹, Widodo S. Pranowo^{1,3}, Dian Adrianto², Muhammad Ramdhan³,
dan Johar Setiyadi¹

¹Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL), Surabaya.

²Pusat Hidro-Oseanografi TNI Angkatan Laut (Pushidrosal), Jakarta.

³Laboratorium Data Laut dan Pesisir, Pusat Riset Kelautan, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Jakarta.

ABSTRAK

Dari hasil relokasi kejadian gempa yang tercatat oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan inversi data *Global Positioning System* (GPS) menunjukkan bahwa terdapat celah seismik (*seismic gaps*) di selatan Jawa, yaitu wilayah di sepanjang batas lempeng aktif yang tidak mengalami gempa besar atau gempa selama lebih dari 30 tahun. Pada zona tersebut diperkirakan terjadi penguncian (*locked*) terhadap pergeseran lempeng (*slip deficit*) yang berakibat pada akumulasi pengumpulan energi dan berpotensi menimbulkan gempa *megathrust* yang bersifat tsunamigenik. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan numerik tsunami menggunakan persamaan gelombang *shallow water* 2 dimensi dengan 3 skenario gempa *megathrust* akibat patahnya lempeng samudera di zona celah seismik selatan Jawa. Skenario patahan lempeng di selatan Jawa Barat menyebabkan gempa dengan Mw 8,9, di selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur sebesar Mw 8,8, dan untuk skenario patahan dari Jawa Barat sampai Jawa Timur sebesar Mw 9,1. Dari hasil simulasi selama 10 jam menggunakan software TUNAMI N2, dihasilkan gelombang tsunami setinggi maksimum 6 meter di pesisir selatan Jawa untuk gempa berkekuatan Mw 8,9, 12 meter untuk gempa berkekuatan Mw 8,8, dan 20 meter untuk gempa berkekuatan Mw 9,1. Propagasi dan *travel time* tsunami diamati oleh outlet-outlet ARLINDO berupa *shallow pressure gauge* (SPG) yang ditempatkan di jalur-jalur ARLINDO.

Kata kunci: tsunami, gempa *megathrust*, pemodelan numerik tsunami, celah seismik

ABSTRACT

The results of the relocation of earthquake events recorded by the Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG) and the inversion of the Global Positioning System (GPS) data indicate that there are seismic gaps in the south of Java, where the areas along the active plate boundary that do not experience major earthquake or earthquake for more than 30 years. In this zone, it is estimated that a slip deficit will occur which results in energy accumulation and has the potential to cause a tsunamigenic megathrust earthquake. In this study, tsunami numerical modeling was carried out using the 2-dimensional shallow water wave equation with 3 megathrust earthquake scenarios due to the fracture of the oceanic plate in the seismic gaps in south of Java. The plate fault scenario in the southern West Java causes an earthquake with Mw 8.9, in the southern Central Java and East Java it is Mw 8.8, and for the fault scenario from West Java to East Java it is Mw 9.1. From the simulation results for 10 hours using the TUNAMI N2 software, a maximum tsunami wave of 6 meters was generated on the southern coast of Java for an earthquake with a magnitude of Mw 8.9, 12 meters for an earthquake with a magnitude of Mw 8.8, and 20 meters for an earthquake with a magnitude of Mw 9.1. The propagation and tsunami travel time was

observed by Indonesian Through Flow (ITF) outlets in the form of shallow pressure gauge (SPG) placed in ITF passages.

Keywords: tsunami, megathrust earthquakes, tsunami numerical modeling, seismic gaps

PENDAHULUAN

Indonesia terletak di wilayah cincin api Pasifik di mana merupakan pertemuan tiga lempeng tektonik dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik. Arah dan kecepatan lempeng tersebut menunjukkan gerakan yang berbeda dan saling berinteraksi (DeMets *et al*, 2010). Lempeng Indo-Australia terus aktif menunjam ke bawah lempeng Eurasia dan kemiringan dari batas penunjamannya sekitar 12° ke arah timur (Prawirodirdjo, 2000). Penunjaman tersebut disebabkan oleh sifat lempeng Indo-Australia yang memiliki kepadatan material yang lebih tinggi dan elemen-elemen zat pada lempeng samudra yang lebih berat dibanding lempeng Eurasia, sehingga ketika terjadi tumbukan antar lempeng, maka lempeng yang berat jenisnya lebih tinggi atau massanya lebih besar (lempeng Indo-Australia) akan menghunjam ke bawah lempeng yang lebih ringan (lempeng Eurasia). Ketiga lempeng tersebut memiliki bidang batas lempeng yang sama yaitu bidang batas konvergen yang membentuk zona subduksi. Ciri khas zona subduksi adalah terbentuknya palung laut. Palung laut yang berhadapan langsung dengan pantai selatan Jawa adalah palung Jawa yang merupakan hasil subduksi lempeng Eurasia dan Indo-Australia (Indriana, 2008).

Saat lempeng samudera terdorong ke bawah lempeng benua maka terjadi gesekan yang menghambat pergerakan lempeng samudera. Perlambatan gerak tersebut menyebabkan akumulasi energi di zona subduksi sehingga terjadi tekanan dan regangan yang bersifat temporal dan spasial. Terjadinya suatu kondisi di zona tersebut di mana bidang temu antar lempeng terkunci (*locked zone*) maka

akumulasi energi tekanan atau tarikan yang telah melewati batas elastisitas menyebabkan lempeng yang bertemu akan melepaskan energi. Pelepasan energi tersebut menimbulkan kegempaan (seismisitas).

Dari hasil relokasi kejadian gempa yang tercatat oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) dan inversi data *Global Positioning System* (GPS) menunjukkan bahwa terdapat celah seismik (*seismic gaps*) di selatan Jawa (Widiyantoro *et al*, 2020). *Seismic gaps* yaitu wilayah di sepanjang batas lempeng aktif yang tidak mengalami gempa besar atau gempa selama lebih dari 30 tahun. Zona tersebut perlu diwaspadai karena kemungkinan besar terjadi penguncian (*locked*) terhadap pergeseran lempeng (*slip deficit*) yang berakibat pada akumulasi pengumpulan energi dan berpotensi menimbulkan gempa *megathrust* yang bersifat tsunamigenik (Singh *et al*, 2011; Lay *et al*, 2012; Bilek dan Lay, 2018). Pada penelitian yang dilakukan Widiyantoro *et al* (2020), yang menggunakan asumsi bahwa area *slip deficit* yang luas mempengaruhi luasnya area *slip* atau longsoran seismik yang terjadi saat gempa besar di masa mendatang, diperoleh hasil bahwa jika area *deficit* di selatan Jawa Barat patah maka energi yang dilepaskan ekuivalen dengan gempa bermagnitudo 8,9. Jika area *deficit* di selatan Jawa Tengah dan Timur yang patah maka ekuivalen dengan gempa bermagnitudo 8,8. Sementara itu jika kedua area *deficit* di selatan Jawa tersebut patah bersamaan maka energi yang dilepaskan ekuivalen dengan gempa bermagnitudo 9,1.



Gambar 1. Segmen model *interplate coupling* berdasarkan penelitian Hanifa *et al* (2014) (a) dan Widiyantoro *et al* (2020) (b) yang menandakan area penguncian terhadap pergeseran lempeng

Berdasarkan hasil tersebut maka pada penelitian ini dilakukan pemodelan tsunami yang dibangkitkan oleh gempa *megathrust* akibat patahnya lempeng samudera di zona celah seismik selatan Jawa dengan menggunakan 3 skenario Widiyantoro *et al* (2020) yaitu gempa berkekuatan Mw 8,9 di area *slip deficit* barat, Mw 8,8 di area *slip deficit* timur, dan Mw 9,1 di tengah keseluruhan area *slip deficit*. Untuk memantau propagasi dan waktu tempuh tsunami, penulis menggunakan 8 *shallow pressure gauge* (SPG) yang ditempatkan di jalur-jalur Arus Lintas Indonesia (ARLINDO), yaitu di jalur Selat Lombok, jalur Selat Ombai, dan jalur Timor, serta di selatan Jawa dan selatan Pangandaran.

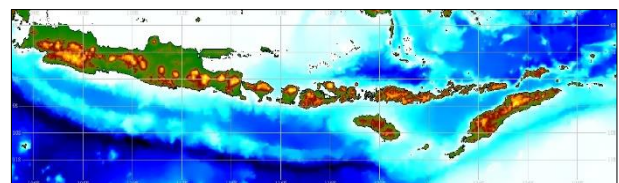


Gambar 2. Peta lokasi penelitian

DATA DAN METODE

Skenario gempa *megathrust* dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan skenario Widiyantoro *et al* (2020). Skenario pertama adalah jika terjadi patahan pada segmen selatan Jawa Barat (Gambar 1a) akan menyebabkan gempa dengan Mw 8,9. Skenario kedua adalah gempa dengan Mw 8,8 jika terjadi patahan pada segmen selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur (Gambar 1b), sementara skenario ketiga adalah gempa dengan Mw 9,1 jika kedua segmen patah bersamaan. Koordinat episenter gempa ditentukan berdasarkan kejadian gempa pada katalog relokasi gempa BMKG periode April 2009 sampai November 2018, yang pernah terjadi di kedua segmen, yaitu gempa tanggal 30 April 2012 pukul 16.56.42 dengan koordinat 8,40° LS dan 105,39° BT untuk skenario 1, gempa tanggal 7 September 2009 pukul 16.12.24 dengan koordinat 10,28° LS dan 110,60° BT untuk skenario 2, dan gempa tanggal 4 Juni 2010 pukul 15.12.44 dengan koordinat 9,64° LS dan 108,28° BT untuk skenario 3.

Data yang digunakan meliputi data batimetri, data parameter *fault* gempa, dan dimensi *rupture*. Data batimetri yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari GEBCO (*General Bathymetric Chart of the Oceans*) dalam bentuk *gridded bathymetric data set* sesuai batasan area penelitian yang ditentukan. Ukuran spasi data adalah 1 menit, dengan jumlah baris x kolom adalah 396 x 1480.



Gambar 3. Batimetri area penelitian

Informasi tentang *focal mechanism* atau solusi *fault plane* diperlukan untuk menciptakan kondisi awal suatu kejadian

gempa secara manual (Pranowo, 2010). Parameter yang diperlukan adalah *moment magnitude* (M_w , tanpa satuan), *seismic moment* (M_0 , dalam N.m), *strike angle* (θ , dalam derajat), *dip angle* (α , dalam derajat), *rake* atau *slip angle* (λ , dalam derajat), *focal depth* (D , dalam meter atau kilometer), episenter (dalam lintang bujur), dan koordinat *centroid* (dalam lintang bujur). Selain itu dibutuhkan juga informasi dimensi *rupture* (*fault length* (L) dan *width* (W), dalam meter atau kilometer) dan dislokasi ($\delta(\xi)$, dalam meter), yang akan dihitung menggunakan rumus empiris. Dalam penelitian ini data parameter *fault* gempa diperoleh dari katalog GCMT dan USGS. Sementara itu untuk dimensi *rupture* dihitung berdasarkan persamaan Kanamori (1977) dan Okal (2007) dengan menggunakan *script* Matlab *tsunami_rupdimslip.m* (Pranowo, 2010). Hasil perhitungan ditunjukkan pada **Tabel 1**.

$$M_w = \frac{2}{3}(\log M_0 - 9,1) \quad (1)$$

$$M_0 = \mu L W \bar{\delta} \quad (2)$$

$$L = \frac{M_0^{(\frac{1}{3})}}{(8,6 \times 10^4)} \quad (3)$$

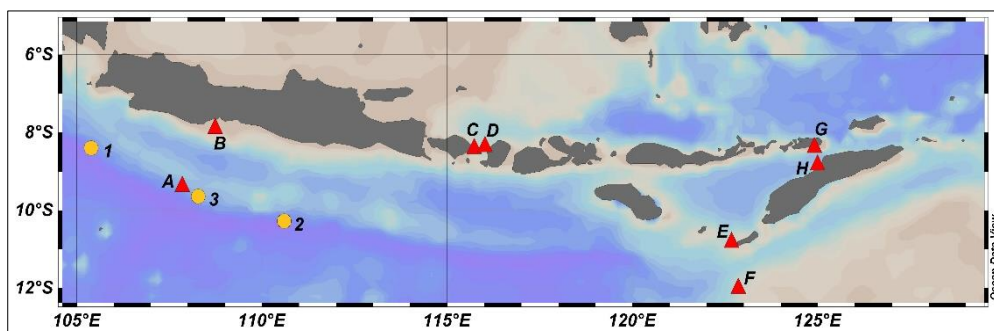
$$W = \frac{M_0^{(\frac{1}{3})}}{(1,72 \times 10^5)} \quad (4)$$

$$\bar{\delta} = \frac{M_0^{(\frac{1}{3})}}{(1,72 \times 10^6)} \quad (5)$$

Pada penelitian ini, pemodelan dilakukan dengan menggunakan model numerik TUNAMI-N2 (*Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-field Tsunami - No 2*), yang merupakan program simulasi numerik tsunami yang menggunakan teori linear di laut dalam (*deep sea*) dan teori *shallow water* di laut dangkal dan di darat, dengan panjang grid yang konstan di seluruh area (Imamura *et al*, 2006). TUNAMI-N2 menggunakan diskritisasi dengan metode *finite difference* skema numerik *leap-frog*, yang mengaplikasikan skema beda pusat dengan kesalahan pemotongan orde kedua (Basith *et al*, 2012). Waktu simulasi yang ditentukan adalah 10 jam atau 36.000 detik

Tabel 1. Data skenario gempa *megathrust*

Skenario	Episenter	M_w	Depth (km)	Strike (°)	Dip (°)	Rake (°)	Length (m)	Width (m)	$\bar{\delta}$ (m)
1	8,40° LS, 105,39° BT	8,9	18,2	303	21	76	338.833	169.416	9,815
2	10,28° LS, 110,60° BT	8,8	36,1	101	44	-97	301.985	150.993	8,748
3	9,64° LS, 108,28° BT	9,1	13,7	292	20	86	426.565	213.283	12,356



Gambar 4. Lokasi episenter skenario gempa *megathrust* (lingkaran kuning) dan sebaran stasiun SPG INSTANT (segitiga merah)

Model propagasi tsunami hasil *running* akan diamati melalui perubahan elevasi muka laut yang direkam oleh 6 stasiun *shallow pressure gauge* (SPG) yang ditempatkan sebagai bagian dari program *International Nusantara Stratification ANd Transport* (INSTANT). INSTANT merupakan program lapangan 3 tahun yang dimulai pada tahun 2003 yang dirancang terutama untuk mengukur panas dan fluks massa air jangka panjang Arus Lintas Indonesia atau ARLINDO (Sprintall *et al*, 2004; Drushka *et al*, 2008). *Pressure gauge* INSTANT ditempatkan di perairan-perairan yang menjadi jalur masuk dan keluar utama ARLINDO, yaitu SPG Bali dan SPG Lombok di jalur Selat Lombok, SPG Ombai Utara dan SPG Ombai Selatan di jalur Selat Ombai, serta SPG Rote dan SPG Ashmore Reef di jalur Timor. Penulis juga menambahkan 2 SPG, yaitu di selatan Jawa (Palung Jawa) dan di selatan Pangandaran.

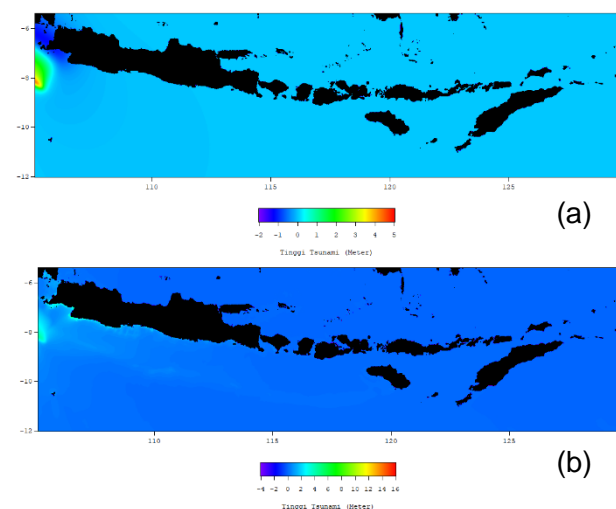
HASIL DAN PEMBAHASAN

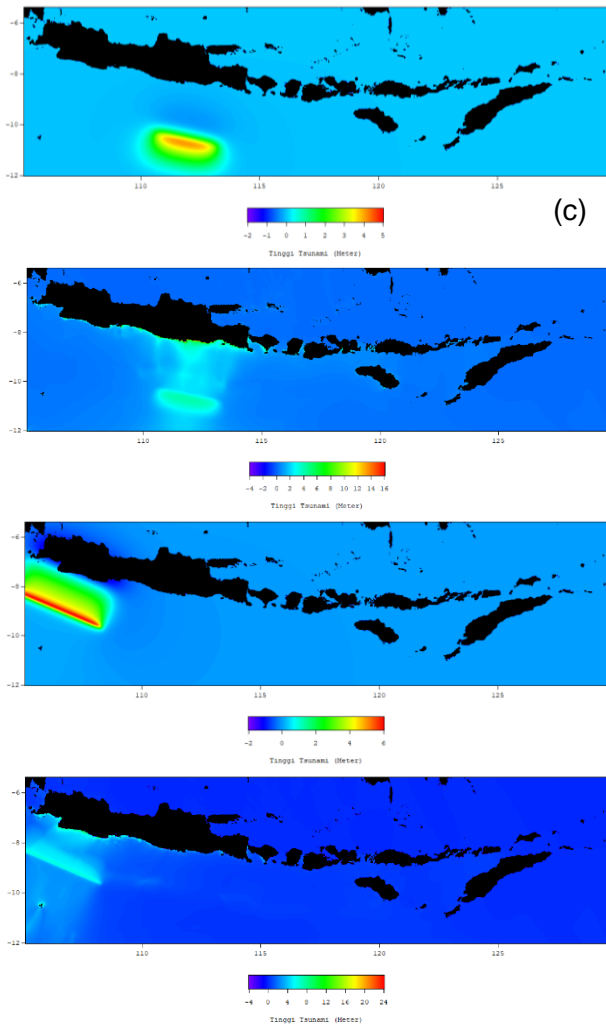
Dari hasil *running* simulasi skenario 1, ketika terjadi deformasi, gelombang setinggi 3,5 - 4 meter terbentuk di sepanjang area patahan di selatan Banten. Sementara itu muka air di sekitar selat Sunda mengalami penurunan hingga 1,5 meter. Gelombang tsunami kemudian mengalami propagasi dan ketika tiba di pesisir pantai selatan Banten dan Jawa Barat tinggi gelombang mencapai 2 sampai 6 meter. Sementara itu gelombang mencapai 1,5 sampai 2,5 meter di pantai Teluk Lampung, 1 sampai 2 meter di selatan Jawa Tengah, dan 1,5 meter di selatan Jawa Timur.

Pada skenario 2, saat deformasi awal gempa berkekuatan Mw 8,8 membangkitkan gelombang setinggi 2 sampai 4 meter di sepanjang area patahan di selatan Jawa Timur, sedangkan di utara area patahan terjadi penurunan muka laut sebesar 0,5 meter. Gelombang tsunami

yang terbentuk kemudian mengalami propagasi dan tiba di pesisir selatan Jawa Timur dengan tinggi maksimum mencapai 12 meter. Di pesisir selatan Jawa Tengah tsunami tiba dengan tinggi rata-rata 4 hingga 6 meter dan tinggi maksimum mencapai 8 meter. Di pesisir selatan Jawa Barat tsunami tiba dengan tinggi rata-rata 2 meter dan tinggi maksimum mencapai 5 meter. Tsunami juga bergerak memasuki Selat Bali hingga mencapai tinggi 3 meter di pesisir timur Banyuwangi dan barat pulau Bali.

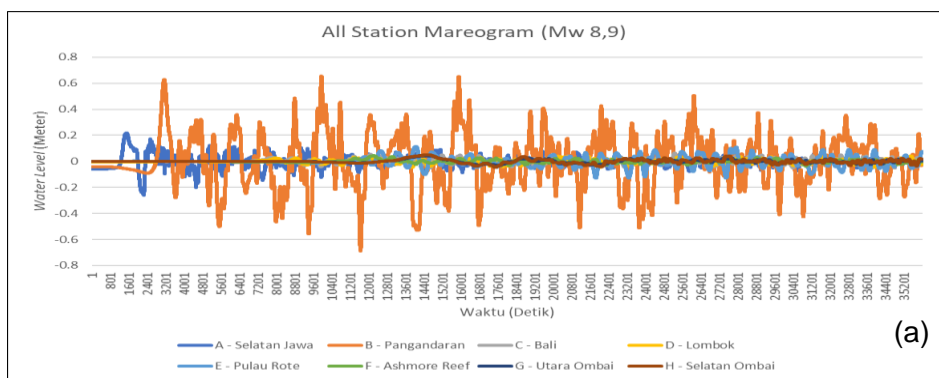
Untuk skenario 3, pada saat deformasi awal gempa berkekuatan Mw 9,1 membangkitkan gelombang setinggi 3 hingga 6 meter di sepanjang area patahan di selatan Jawa Barat, sedangkan di pesisir selatan Jawa Barat, Banten, dan Selat Sunda terjadi penurunan muka laut sebesar 0,5 sampai 1 meter. Gelombang tsunami yang terbentuk kemudian mengalami propagasi dan tiba di pesisir selatan Jawa Barat dengan tinggi maksimum mencapai 20 meter, sementara di pesisir selatan Banten mencapai 9 meter dan di selatan Jawa Tengah mencapai 8 meter. Di pesisir selatan Jawa Timur tinggi maksimum tsunami mencapai 5 meter dan di pesisir barat Bali mencapai 4 meter.

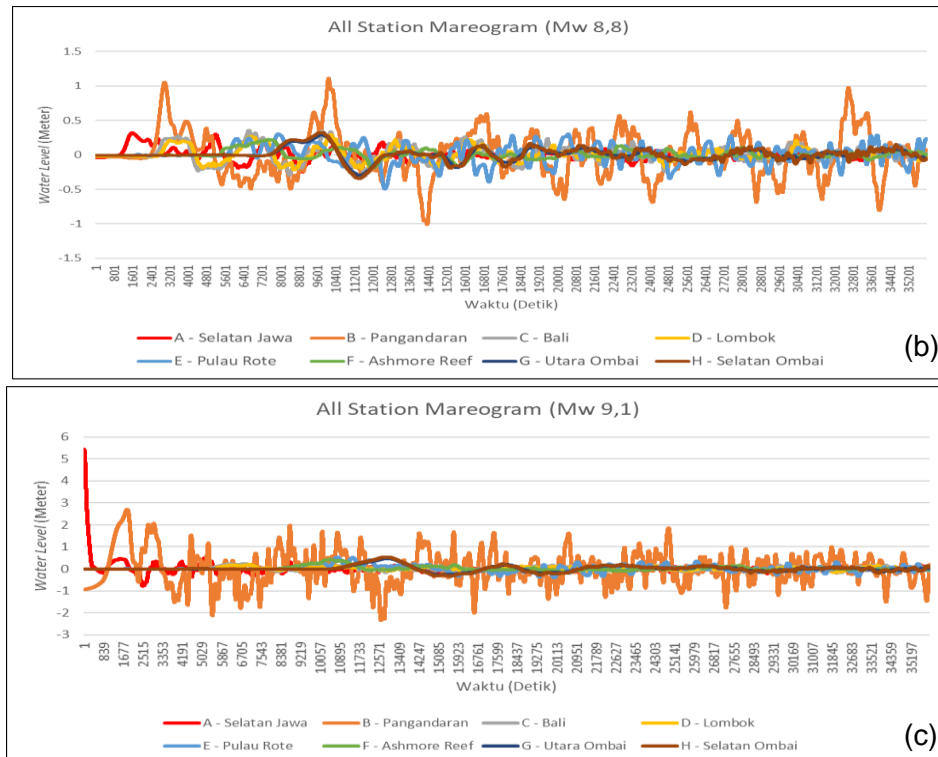




Gambar 5. Visualisasi tinggi muka laut saat pembangkitan tsunami setelah gempa dan saat mencapai tinggi maksimum untuk skenario 1 (a, b), skenario 2 (c, d), dan skenario 3 (e, f)

Propagasi tsunami diamati oleh *outlet-outlet* ARLINDO melalui anomali *water level* yang terekam dalam grafik mareogram (**Gambar 6**). Pada skenario 1, SPG selatan Jawa sebagai stasiun terdekat merupakan yang pertama menangkap penjalaran tsunami yaitu dalam waktu 21 menit 8 detik setelah gempa dengan *peak wave* mencapai 22 cm yang tiba 3 menit setelah gelombang pertama. Selanjutnya tiba di SPG Pangandaran dalam waktu 46 menit 37 detik dengan *peak wave* 64 cm yang tiba 2 jam setelah gelombang pertama. Gelombang tsunami kemudian masuk ke jalur Selat Lombok, yang terekam oleh SPG Bali dalam waktu 1 jam 56 menit, dengan *peak wave* 6,5 cm yang terekam 5 jam kemudian, dan SPG Lombok dalam waktu 1 jam 58 menit dengan *peak wave* 4 cm, yang tiba 7 jam 53 menit kemudian. Penjalaran tsunami yang mencapai jalur Timor terekam oleh SPG Rote dalam waktu 3 jam 10 menit dengan *peak wave* 12 cm yang terekam 44 menit kemudian, dan SPG Ashmore Reef dalam waktu 2 jam 58 menit dengan *peak wave* 4 cm yang terekam 27 menit kemudian. Terakhir, gelombang mencapai jalur Selat Ombai yang terekam oleh SPG Utara Ombai dalam waktu 3 jam 31 menit setelah gempa, dengan *peak wave* 4 cm yang tiba 31 menit kemudian, dan SPG Selatan Ombai dalam waktu kedatangan yang sama, dengan *peak wave* 4,8 cm yang tiba 34 menit kemudian.





Gambar 6. Grafik tsunami mareogram skenario 1 (a), skenario 2 (b), dan skenario 3 (c)

Pada skenario 2 penjalaran tsunami pertama kali tiba di SPG selatan Jawa dalam waktu 17 menit 20 detik setelah gempa dengan *peak wave* mencapai 31 cm yang tiba 10 menit kemudian setelah gelombang pertama. Selanjutnya tiba di SPG Pangandaran dalam waktu 39 menit 56 detik dengan *peak wave* 1 meter yang tiba 2 jam setelah gelombang pertama. Gelombang tsunami kemudian masuk ke jalur Selat Lombok, yang terekam oleh SPG Bali dalam waktu 43 menit 37 detik, dengan *peak wave* 36 cm yang terekam 1 jam kemudian, dan SPG Lombok dalam waktu 46 menit 13 detik dengan *peak wave* 30 cm, yang tiba 2 jam kemudian. Penjalaran tsunami yang mencapai jalur Timor terekam oleh SPG Rote dalam waktu 1 jam 31 menit dengan *peak wave* 29 cm yang terekam 41 menit kemudian, dan SPG Ashmore Reef dalam waktu 1 jam 29 menit dengan *peak wave* 22 cm yang terekam 36 menit kemudian. Terakhir, gelombang mencapai jalur Selat Ombai yang terekam oleh SPG Utara Ombai

dalam waktu 2 jam 5 menit setelah gempa, dengan *peak wave* 28 cm yang tiba 35 menit kemudian, dan SPG Selatan Ombai dalam waktu kedatangan yang sama, dengan *peak wave* 32 cm yang tiba 38 menit kemudian.

Pada skenario 3 SPG selatan Jawa merekam anomali tinggi muka laut setinggi 5,4 meter saat gempa terjadi. Gelombang tersebut merupakan gelombang awal yang terbentuk saat terjadi patahan yang menyebabkan gempa sebesar Mw 9,1. Penjalaran tsunami selanjutnya tiba di SPG Pangandaran dalam waktu 17 menit 2 detik dengan *peak wave* 2,69 meter yang tiba 13 menit setelah gelombang pertama. Gelombang tsunami kemudian masuk ke jalur Selat Lombok, yang terekam oleh SPG Bali dalam waktu 1 jam 27 menit, dengan *peak wave* 22 cm yang terekam 15 menit kemudian, dan SPG Lombok dalam waktu 1 jam 30 menit dengan *peak wave* 18 cm, yang tiba 27 menit kemudian. Penjalaran tsunami yang mencapai jalur

Timor terekam oleh SPG Rote dalam waktu 2 jam 22 menit dengan *peak wave* 53 cm yang terekam 37 menit kemudian, dan SPG Ashmore Reef dalam waktu 2 jam 17 menit dengan *peak wave* 42 cm yang terekam 36 menit kemudian. Terakhir, gelombang mencapai jalur Selat Ombai

yang terekam oleh SPG Utara Ombai dalam waktu 2 jam 57 menit setelah gempa, dengan *peak wave* 47 cm yang tiba 38 menit kemudian, dan SPG Selatan Ombai dalam waktu 2 jam 56 menit, dengan *peak wave* 53 cm yang tiba 38 menit kemudian

Tabel 2. Hasil pengamatan propagasi tsunami pada stasiun-stasiun SPG

SPG	Skenario 1			Skenario 2			Skenario 3		
	<i>Tsunami Travel Time</i> (j:mm:dd)	<i>Peak Wave</i> (cm)	<i>Peak Wave Time</i> (j:mm:dd)	<i>Tsunami Travel Time</i> (j:mm:dd)	<i>Peak Wave</i> (cm)	<i>Peak Wave Time</i> (j:mm:dd)	<i>Tsunami Travel Time</i> (j:mm:dd)	<i>Peak Wave</i> (cm)	<i>Peak Wave Time</i> (j:mm:dd)
Selatan Jawa	0:21:08	22	0:24:59	0:17:20	31	0:27:40	0:00:00	543	0:00:00
Pangandaran	0:46:37	64	2:46:10	0:39:56	108	2:48:45	0:17:02	269	0:30:52
Bali	1:56:40	6,5	7:01:00	0:43:37	36	1:50:52	1:27:51	22	1:43:01
Lombok	1:57:20	4,1	9:52:01	0:46:13	30	2:49:06	1:31:00	18	1:58:30
Rote	3:10:06	12	3:54:30	1:31:35	29	2:13:29	2:22:35	53	2:59:41
Ashmore Reef	2:57:01	4,3	3:24:09	1:29:28	22	2:05:31	2:17:58	42	2:54:53
Utara Ombai	3:31:16	4,4	4:02:24	2:05:41	28	2:41:11	2:57:56	47	3:35:26
Selatan Ombai	3:31:10	4,8	4:05:13	2:05:19	32	2:44:14	2:56:26	53	3:34:30

Dari hasil pengamatan di stasiun-stasiun *pressure gauge* pada **Tabel 2** dapat dilihat bahwa waktu penjalaran tsunami (*tsunami travel time*) sangat bergantung pada faktor jarak lokasi sumber gempa dengan lokasi pengamatan (Yudhicara *et al*, 2014). Semakin jauh lokasi SPG dari sumber gempa maka waktu tempuh tsunami juga makin lama. Hal ini juga dapat dilihat dari perbandingan antar skenario. Skenario 1 dengan lokasi sumber gempa paling barat (selatan Banten) memiliki waktu tempuh tsunami yang paling lama dibandingkan skenario 3 yang memiliki sumber gempa di selatan

Jawa Tengah. Sedangkan skenario 2 dengan lokasi sumber gempa paling timur (selatan Jawa Timur) memiliki waktu tempuh tsunami yang paling singkat

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, gempa *megathrust* berkekuatan Mw 8,9 di selatan Jawa dapat menimbulkan tsunami dengan ketinggian maksimum 6 meter di pesisir selatan Jawa. Sementara itu gempa berkekuatan Mw 8,8 dapat menyebabkan tsunami setinggi 12 meter dan gempa berkekuatan Mw 9,1 dapat menyebabkan

tsunami setinggi 20 meter di pesisir selatan Jawa. Tsunami yang dibangkitkan kemudian mengalami propagasi dan dapat memasuki jalur-jalur ARLINDO yaitu jalur Selat Lombok, jalur Selat Ombai, dan jalur Timor, yang terekam oleh stasiun-stasiun SPG di jalur-jalur tersebut. Waktu tempuh tsunami tercepat terekam di SPG selatan Jawa sebagai stasiun terdekat dengan sumber gempa, dengan waktu 21 menit 8 detik untuk skenario 1, 17 menit 20 detik untuk skenario 2, dan 0 detik untuk skenario 3. Sementara itu waktu tempuh terlama terekam di SPG Utara Ombai dengan waktu 3 jam 31 menit untuk skenario 1, 2 jam 5 menit untuk skenario 2, dan 2 jam 57 menit untuk skenario 3.

SARAN

Dengan adanya potensi bencana tsunami akibat gempa *megathrust* di selatan Jawa maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk perencanaan mitigasi dan pemberian sosialisasi maupun edukasi bagi masyarakat di pesisir selatan Jawa akan bahaya tsunami.

DAFTAR PUSTAKA

- Basith, A., Kongko, W., & Oktaviani, N. 2012. *Pemodelan Spasial Landaan Tsunami Menggunakan Variasi Lokasi Sumber dan Magnitud Gempa Studi Kasus Kota Padang*. Dalam : Conference on Geospatial Science and Engineering. Yogyakarta.
- Bilek, Susan dan Thorne Lay. 2018. Subduction Zone Megathrust Earthquakes. *Geosphere*, Vol. 14 No. 4 : 1468–1500.
- DeMets, Charles, Richard D. Gordon, dan Donald F. Argus. 2010. Geologically Current Plate Motions. *Geophysical Journal International (GJI)*, 181: 1-80.

- Drushka, Kyla, Janet Sprintall, Sarah Gille, dan Widodo Pranowo. 2008. Observations of the 2004 and 2006 Indian Ocean Tsunamis from a Pressure Gauge Array in Indonesia. *Journal of Geophysical Research*. Vol 113, C07038, doi:10.1029/2007JC004662.
- Hanifa, N. Rahma, Takeshi Sagiya, Fumiaki Kimata, Joni Efendi, Hasanuddin Z. Abidin, dan Irwan Meilano. 2014. Interplate coupling model off the southwestern coast of Java, Indonesia, based on continuous GPS data in 2008–2010. *Earth and Planetary Science Letters*, Vol 401, 159-171. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.06.010>
- Imamura, Fumihiko, Ahmet Cevdet Yalciner, dan Gulizar Ozyurt. 2006. *Tsunami Modelling Manual (TUNAMI Model)*.
- Indriana, Rina Dewi. 2008. Analisis Sudut Kemiringan Lempeng Subduksi di Selatan Jawa Tengah dan Jawa Timur Berdasarkan Anomali Gravitasi dan Implikasi Tektonik Vulkanik. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol. 11(3). Hal : 89-96.
- Kanamori, Hiroo. 1977. The Energy Release in Great Earthquakes. *Journal of Geophysical Research*. Vol 82 (20) : 2981-2987.
- Lay, Thorne, H. Kanamori, C. Ammon, K. Koper, A. Hutko, L. Ye, H. Yue, dan T. Rushing. 2012. Depth-varying Rupture Properties of Subduction Zone Megathrust Faults. *Journal Of Geophysical Research*, Vol. 117, B04311. doi:10.1029/2011JB009133
- Okal, Emile. 2007. *Lecture 6: Modelling Earthquakes as Tsunami Sources*. Training USGS: GPS, Advanced Seismology, and Tsunami Warning, Bangkok, Thailand. August 22 2007.

- Pranowo, Widodo S. 2010. *Adaptive Mesh Modeling: TsunaFLASH*. Disertasi. Bremen (DE): Faculty of Mathematics & Informatics, University of Bremen.
- Prawirodirdjo, L., Bock, Y., Genrich, J.F., Puntodewo SSO, Rais, J., Subarya, C., Sutisna, S.. 2000, One Century of Tectonic Deformation Along the Sumatran Fault From Triangulation and Global Positioning System surveys. *Journal of Geophysical Research*; 105:28343–28361.
- Pusat Gempabumi dan Tsunami Kedeputan Bidang Geofisika. 2019. *Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak Tahun 1821-2018*. Jakarta : Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Singh, S. C., N. Hananto, M. Mukti, H. Permana, Y. Djajadihardja, dan H. Harjono. 2011. Seismic Images of the Megathrust Rupture During the 25th October 2010 Pagai Earthquake, SW Sumatra: Frontal Rupture and Large Refinement Applied to Tsunami
- Tsunami. *Geophysical Research Letters*, 38, L16313. doi:10.1029/2011GL048935
- Sprintall, J., S. Wijffels, A. L. Gordon, A. Ffield, R. Molcard, R. Dwi Susanto, ... H. M. Van Aken. 2004. INSTANT: A New International Array to Measure the Indonesian Throughflow. *Eos Trans*, 85 (39), 369–376.
- Widiyantoro, S., E. Gunawan, A. Muhari, N. Rawlinson, J. Mori, N. R. Hanifa, ... H. E. Putra. 2020. Implications for Megathrust Earthquakes and Tsunamis from Seismic Gaps South of Java Indonesia. *Scientific Reports*, 10 : 15274. doi.org/10.1038/ s41598-020-72142-z
- Yudhicara, Rahayu Robiana, dan I.C. Priambodo. 2014. The Influence of Coastal Conditions to Tsunami Inundation of Bima Bay, West Nusa Tenggara. *Bulletin of the Marine Geology*. Vol. 29 (1) : 29-42