

Kajian Potensi Tsunami Akibat Gempa Bumi Bawah Laut di Perairan Pulau Sulawesi

Achmad Yasir Baeda

Program Studi Teknik Kelautan Jurusan Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea Makassar 90245
E-mail: yasirbaeda@yahoo.com

Firman Husain

Program Studi Teknik Kelautan Jurusan Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10 Tamalanrea Makassar 90245
E-mail: firmanhusain@yahoo.com

Abstrak

Selang sepertiga abad terakhir, Sulawesi yang dikelilingi lempeng tektonik kecil dan besar, telah terkena 270 kali gempa bumi ber-magnitudo di atas 5.0. Jumlah ini ditengarai semakin lama akan semakin bertambah setiap tahunnya, yang bermula pada kenaikan aktifitas Sunda Arc pada tahun 2004 silam Tujuan penelitian ini adalah menentukan area paling potensial untuk kejadian gempa bumi bawah laut dan tsunami di pantai perairan Pulau Sulawesi, dengan menganalisa data historis gempa bumi dan tsunami serta melakukan simulasi kejadian tsunami di berbagai area. Didapatkan bahwa untuk periode 2010-2020 akan terjadi minimal 49 kali gempa bumi dengan magnitudo di atas 5.0; yang mana hampir semuanya berpusat di lautan dan berkemampuan untuk membangkitkan tsunami. Area yang memiliki potensial terbesar adalah North Arm (Lengan Utara) Pulau Sulawesi, khususnya pantai Utara, Selatan dan Timur dari North Arm.

Kata-kata Kunci: Gempa bumi, tsunami, pulau sulawesi

Abstract

From the middle of 1970's until now, the Sulawesi Island which is surrounded by several small and big tectonic plates had been struck 270 times by earthquake above 5.0 in magnitude. This number of occurrence tends to get higher and higher each year, beginning after the raising activity of Sunda Arc past last six years, which recently struck Padang, West Sumatera in September 2009. The goal of this study is to find out the most potential areas for seismic and tsunamis activities in Sulawesi Island, by analyzing the historical data of earthquakes and tsunamis at the areas and also base on the simulation of several artificial tsunamis. It found out that the earthquakes with magnitude above 5.0 in the period of 2010-2020 will occur minimally 49 times; with almost all of them will be sea-epicentered which believe could generate tsunami on some areas. The most potential areas will be the North Arm of Sulawesi, especially in the coasts of North, South and East.

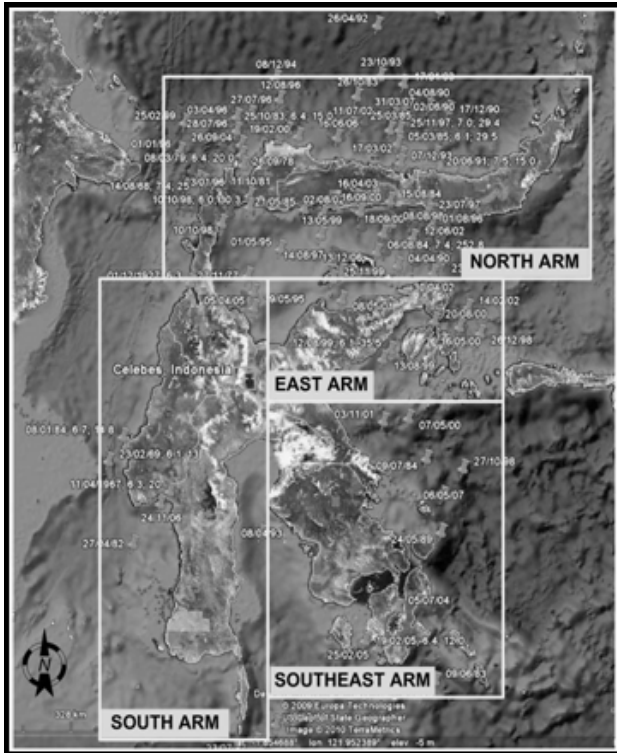
Keywords: Earthquake, tsunami, sulawesi island.

1. Pendahuluan

Sebagai salah satu dari beberapa negara yang terletak di kawasan *Zona Seismic Asia Tenggara*, Indonesia adalah salah satu negara yang paling aktifitas seismic-nya dan merupakan teraktif di dunia. Dikelilingi oleh lempeng Indo-Australia dan Pelat Laut Filipina yang meretas di bawah lempeng Eurasia, dengan lima pulau besar dan beberapa semenanjung, Indonesia telah mengalami ribuan gempa bumi dan ratusan tsunami pada rentang empat ratus tahun terakhir (Aydan, 2008). Sumatera dan Jawa adalah dua pulau yang paling rentan dampak tsunami

karena terletak langsung di depan Lempeng Indo-Australia. Papua dan Sulawesi juga pernah mengalami beberapa tsunami, walaupun tidak sesering Sumatera dan Jawa. Tapi belakangan ini, Sulawesi dengan beberapa daerah rawan subduksi-nya telah menjadi lebih lebih aktif yang mengakibatkan banyaknya aktivitas kegempaan, terutama dengan episenter di laut (**Gambar 1**).

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya mengenai keungkinan gempa dan tsunami Indonesia, tetapi tidak terhubung langsung ke Pulau Sulawesi. Untuk kegiatan seismik di Pulau Sulawesi, ada tiga penelitian, pertama



Gambar 1. Epicenter gempa bumi pada rentang tahun 1976-2009 yang terjadi di Pulau Sulawesi Indonesia

adalah dengan Guntoro (1999), yang mengkaji pembentukan Selat Makassar, kedua adalah penelitian dengan Katili (1978), yang terutama membahas posisi geotektonik pada masa lalu dan kini dari Pulau Sulawesi dan yang ketiga adalah dengan Villeneuve et al (2002), yang membahas Central Geology Belt dari Pulau Sulawesi sebagai kendala pemodelan Geodynamic.

Oleh karena demikian kuatnya tendensi perubahan skema kegempaan di Indonesia selang satu dekade terakhir, yang ditandai dengan berpindahannya potensi gempa tektonik dengan epicenter di laut dari Kawasan Barat menuju ke Timur Indonesia, maka diperlukan kajian khusus tentang gempa dan tsunami di area timur Indonesia.

Pulau Sulawesi sebagai pulau dengan intensitas penduduk tertinggi di Kawasan Timur Indonesia menjadi prioritas utama kajian; terlebih juga karena posisinya sebagai sentra perdagangan di Kawasan Timur Indonesia tersebut.

Gempa dan tsunami yang potensial dapat terjadi di sekitar Pulau Sulawesi harus dapat dipetakan, guna menentukan tindakan yang tepat dalam menghadapi dua bencana alam tersebut. Khusus tentang tsunami, ketepatan tindakan akan memperlihatkan tingkat keberhasilan mitigasi bencana yang dipakai.

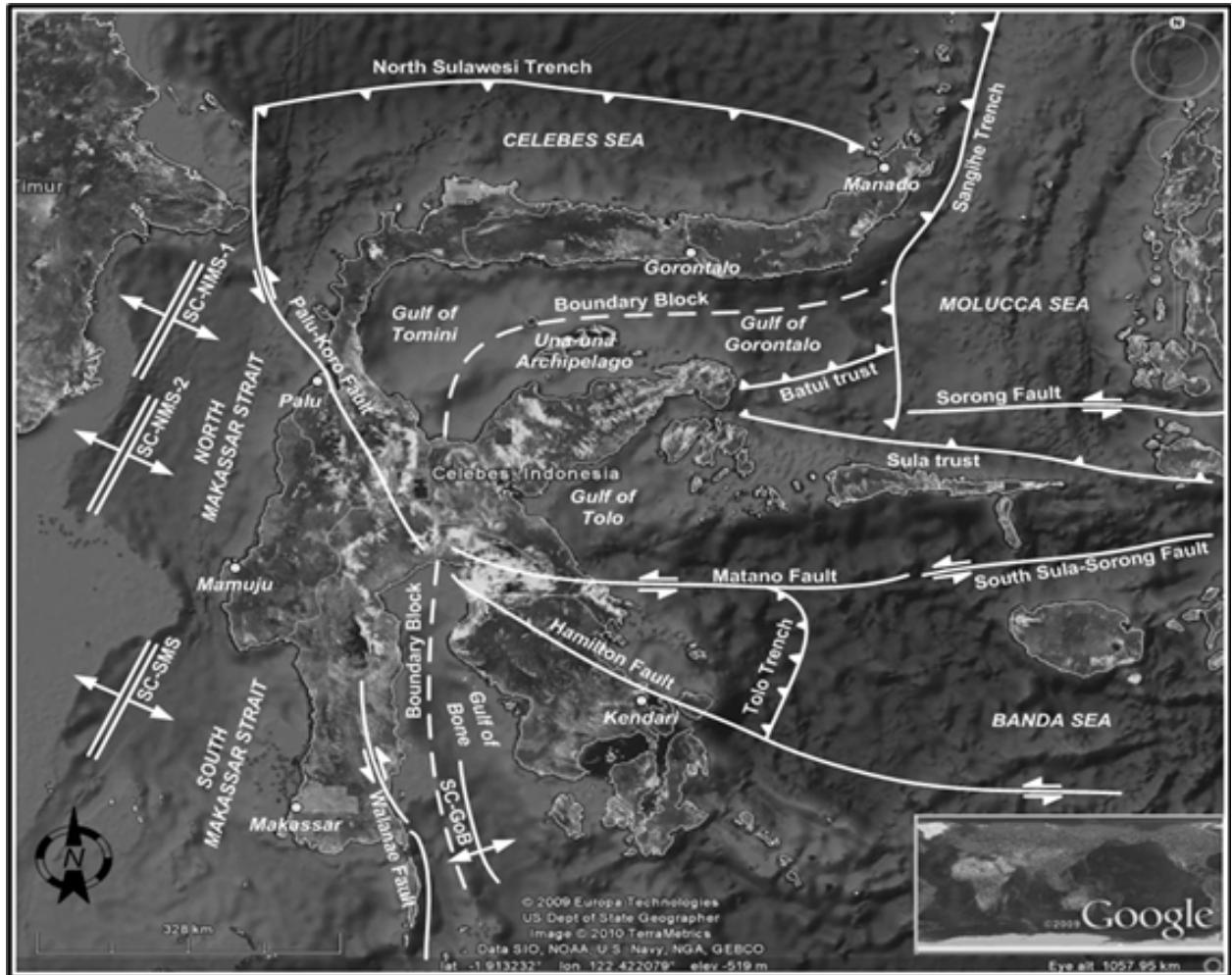
Berkenaan dengan mitigasi tsunami, sampai saat ini belum pernah dilakukan pemodelan khusus tentang potensialitas tsunami secara menyeluruh di Pulau Sulawesi. Olehnya itu diperlukan kajian khusus tentang potensialitas tsunami, yang dapat dilakukan dengan analisa kemungkinan pemunculan gempa bawah laut yang berpotensi membangkitkan tsunami serta analisa variabel-variabel pembentuk tsunami. Hasil kajian ini akan memperlihatkan pilihan terbaik dari mekanisme mitigasi bencana tsunami akibat gempa bumi bawah laut di Pulau Sulawesi di masa-masa akan datang.

2. Tinjauan Pustaka

Secara geografis, Pulau Sulawesi yang terletak pada 5.36°LU-7.48°LS dan 117.02°-125.74°BT adalah salah satu pulau paling aman karena letaknya yang tidak langsung berhubungan dengan dua samudera, yakni Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Sulawesi dibagi dalam enam propinsi dan mempunyai beberapa gugusan pulau-pulau kecil. Hal ini membuatnya sebagai salah satu pulau dengan garis pantai terpanjang di Indonesia. Sayangnya, hal ini juga berarti bahwa Pulau Sulawesi juga rentan terhadap bencana laut, seperti gelombang tinggi dan tsunami yang terpicu oleh gempa bawah laut yang sebarannya dapat dilihat pada Gambar 1.

Aktifitas kegempaan bawah laut di sekitar Pulau Sulawesi akan selalu dipengaruhi oleh aktifitas bentukan-bentukan geologi bawah laut seperti patahan, palung, trust dan *spreading center*. Pada Gambar 2, terlihat patahan (*fault*), palung (*trenches*), *trust* dan *spreading center* yang membentuk aktifitas kegempaan Pulau Sulawesi. Terdapat empat *Spreading Center*, tiga di Selat Makassar dan satu di Teluk Bone. Juga terdapat 11 patahan, terbagi menjadi enam *Strike-Slips* (Palu-Koro, Walanae, Matano, Hamilton, Sorong. South Sula-Sorong), tiga palung (*North Sulawesi*, Sangihe dan Tolo) yang merupakan zona subduksi serta dua *trust* (Sula dan Batui); dengan Patahan Palu-Koro, Palung Sulawesi Bagian Utara serta Palung Sangihe sebagai sumber gempa teraktif. Hal ini ditambah lagi oleh pergerakan Pelat Bawah Laut Pasifik yang bergerak ke arah Barat serta pergerakan Pelat Indian-Australian ke arah Utara, yang pada akhirnya membuat Pulau Sulawesi cukup rentan terhadap gempa bumi dan tsunami di masa mendatang.

Berbasis data tsunami dan gempa bumi bawah laut pembangkitnya selang empat ratus tahun terakhir (1600-2010), terlihat bahwa potensialitas utama tsunami akan terjadi pada bagian utara Pulau Sulawesi, dimana terdapat Palung Sulawesi Bagian Utara dan Palung Sangihe. Kajian tsunami khususnya penentuan parameter tsunami yang berguna dalam penentuan mekanisme mitigasi bencana yang cocok untuk pulau Sulawesi dilakukan dengan bantuan analisa numeris berbasis program komputer SiTProS (Chuai-Aree & Kanbua, 2007).



Gambar 2. Sistem Sesar Sulawesi, berdasar pada Guntoro (1999), Prasetya et al (2001) dan Villeneuve et al (2002)

(SC-NSM: Spreading Center at North Makassar Strait, SC-SMS: Spreading Center at South Makassar Strait, SC-GoB: Spreading Center at Gulf of Bone)

3. Tujuan dan Metode Penelitian

Tujuan yang diharapkan dapat dicapai dalam penelitian ini, yaitu:

1. Menentukan potensi gempa bawah laut di area Pulau Sulawesi
2. Menentukan cepat rambat tsunami untuk area Pulau Sulawesi
3. Menentukan mekanisme mitigasi bencana tsunami yang cocok untuk area Pulau Sulawesi.

Guna menjawab tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini metodologi yang dikembangkan sebagai berikut:

1. Lokasi dan Waktu Penelitian; berupa pemodelan dan simulasi numeris tsunami, adalah pada Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Waktu yang digunakan untuk penelitian yaitu selama 3 (tiga) bulan.

2. Jenis Data; jenis data yang dipergunakan dalam penelitian ini meliputi: data historis gempa dan tsunami untuk area Pulau Sulawesi, data bentukan geologi bawah laut area Pulau Sulawesi, data bathymetry Indonesia dan Pulau Sulawesi (ETOPO 1 dan 2), data survey lapangan dari tsunami yang telah terjadi
3. Instrumen Penelitian; menggunakan kode numerik yang terangkum pada program komputer SiTProS yang berbasis Beda Hingga dengan skema leap-frog; dengan input berupa parameter sesar, parameter gempa, bathymetri dan lokasi tinjauan.

4. Alur Penelitian

- a. Menghimpun data, berupa data gempa dan tsunami untuk Perairan Pulau Sulawesi, data

bentukan geologi Pulau Sulawesi, data bathymetri Indonesia dan Pulau Sulawesi serta data survey lapangan tsunami terdahulu di Pulau Sulawesi

- b. Mengelompokkan Data Gempa dan Tsunami
- c. Melakukan Simulasi Tsunami pada kejadian tsunami terdahulu
- d. Melakukan simulasi Tsunami untuk kejadian tsunami akan datang
- e. Melakukan kajian variabel tsunami yang akan datang.
- f. Menelaah kemungkinan pemberlakuan mekanisme mitigasi yang sesuai

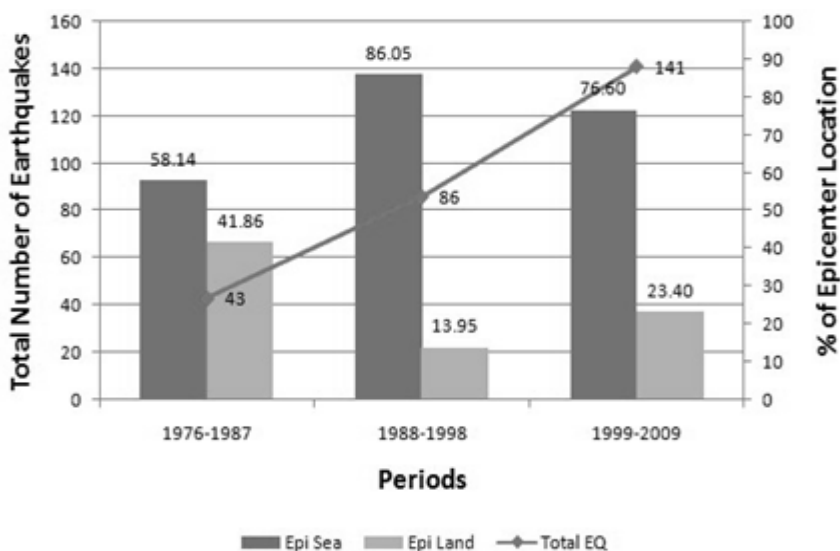
5. Analisis dan Pembahasan

Lempeng Indo-Australia, Pacific, Caroline dan Eurasia yang mengelilingi Indonesia, pada dasarnya saling berhubungan dan berujung pada patahan-patahan yang telah disebutkan sebelumnya; yang kemudian justru membuat Pulau Sulawesi menjadi rentan terhadap gempa bumi walaupun tidak berpotensi menghasilkan event ber-magnitudo besar.

Terdapat catatan dari Global CMT bahwa telah terjadi 270 gempa bumi ber-magnitudo di atas 5.0SR pada selang Juli 1976 sampai dengan Oktober 2009.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa terdapat kecenderungan pertambahan jumlah gempa bumi yang linier, dan juga kecenderungan stagnansi lokasi epicenter gempa bumi yang berada di lautan. Menilik data ini secara cermat akan didapatkan dua kemungkinan trend pemunculan ulang gempa bumi. Pertama, jumlah aktivitas seismik akan cenderung naik sebesar 26.1% pada periode selanjutnya, yakni pada periode 2010-2020. Kedua, oleh karena periode terakhir cenderung turun, maka tetap terdapat paling tidak 50% kemungkinan jumlah aktivitas seismic yang ber-epicenter di lautan di periode selanjutnya, yakni 2010-2020. Walaupun demikian, oleh karena kurangnya data, maka asumsi ini tidak dapat dibenarkan secara penuh dan tetap harus dibuktikan dengan penelitian-penelitian selanjutnya.

Berdasarkan penelitian Latief et al (2000) dan Lander et al (2003), Sulawesi telah mengalami kejadian tsunami sebanyak 24 kali dalam kurun waktu 300 tahun (1692-2000). Dari 24 kejadian tersebut, hanya terdapat 7 kejadian yang mempunyai data yang cukup lengkap dan terkoneksi dengan data gempa bumi pembangkitnya (**Tabel 1**).



Gambar 3. Trend aktifitas seismik (gempa bumi) di Sulawesi pada rentang kurun waktu 33 tahun (1976-2009)

Tabel 1. Tsunami yang terbangkitkan oleh gempa bumi di Sulawesi

No.	Location	Date	Epicenter		Depth (km)	Magnitude	Max Run Up (m)
			Lat.	Lon.			
1	Makassar Strait	12/1/1927	-0.75	119.7	NA	6.3	15 (app)
2	Makassar Strait	4/11/1967	-3.3	119.4	20	6.3	8 (app)
3	Celebes Sea	8/14/1968	0.7	119.8	25	7.4	10
4	Makassar Strait	2/23/1969	-3.1	118.5	13	6.1	10
5	Makassar Strait	1/8/1984	-2.77	118.72	14.8	6.7	NA
6	Celebes Sea	1/1/1996	0.74	119.93	15	7.9	3.4
7	Peleng Island	5/4/2000	-1.29	123.59	18.6	7.5	6

Sumber: Data Tsunami di Indonesia (Latief et al,2000 dan Lander et al,2003)

Kejadian-kejadian tersebut ternyata mempunyai kesamaan-kesamaan, yakni:

- a. Terbangkitkan oleh gempa bumi dangkal, dengan *focal depth* kurang dari 25 km (walau kejadian di tahun 1927 tidak mempunyai catatan *focal depth*, namun para ahli tsunami meyakini sebagai kejadian dengan *focal depth* yang sangat dangkal)
- b. Magnitude yang terbangkitkan berada antara 6.1 - 7.9. Pengukuran magnitude ini berdasarkan karakterisasi Scawthorn (2003).
- c. Mempunyai epicenter yang sangat dekat dengan garis pantai, tidak lebih dari 50 km.

Walaupun demikian, data tersebut juga memperlihatkan fakta-fakta yang tidak lazim, yakni:

- a. Tiga dari keseluruhan data tersebut (tahun 1967, 1969 dan 1984), terbangkitkan di tengah Selat Makassar, yang juga merupakan *Seismic Prone Area* yang paling rendah tingkat aktifitasnya (lihat **Gambar 1**). Semua kejadian dibangkitkan oleh gempa bumi dangkal pada patahan kecil bernama Paternoster dan SC-SMS (lihat **Gambar 2**).
- b. Hanya dua (tahun 1968 dan 1996) dari keseluruhan data berada di *North Arm*, yang merupakan *Seismic Prone Area* yang tertinggi tingkat aktifitasnya (lihat **Gambar 1**). Semuanya juga dihasilkan dari gempa bumi dangkal dari pergerakan patahan Palu-Koro, Palung Sulut dan SC-NMS.
- c. Kejadian Tsunami Peleng (tahun 2000) merupakan satu-satunya kejadian tsunami di *East Arm*; terbangkitkan oleh Batui Trust, Sula Trust, Patahan Sorong dengan *focal depth* 18.6 km.
- d. Enam dari keseluruhan tujuh kejadian terjadi di Pantai Barat Sulawesi; empat di Selat Makassar dan dua di Laut Sulawesi.

Fakta-fakta tersebut memperlihatkan bahwa terdapat trend perpindahan epicenter dari gempa bumi besar yang berpotensi membangkitkan tsunami, dari pantai Barat ke pantai Timur Sulawesi. Selain itu, pembangkit tsunami ternyata tidak harus akibat mekanisme strike slip, seperti patahan Palu-Koro; namun dapat pula berupa *Spreading Centre* (SC) di Selat Makassar dan Palung Sulawesi Utara. Hal ini memperlihatkan bahwa areal yang harus ditelaah lebih detail adalah *North Arm*.

Guna menyelidiki hal tersebut, dilakukan pemodelan dan simulasi tsunami, yang terbagi menjadi dua bagian, yakni simulasi kejadian lalu dan simulasi kejadian artificial. Untuk simulasi kejadian lalu dipilih Tsunami 1996 (nomor 6 pada **Tabel 1**). Simulasi dilakukan berdasarkan data dari Gebco (bathymetri), USGS (parameter sesar) dan Global CMT (parameter magnitude), dilakukan menggunakan SiTProS Ver. 1.5. Hasil simulasi (**Tabel 2**) memperlihatkan keakuratan pengambilan parameter dan justifikasi waktu tempuh tsunami yang tepat, yang menjadi acuan untuk Simulasi Kejadian Artificial.

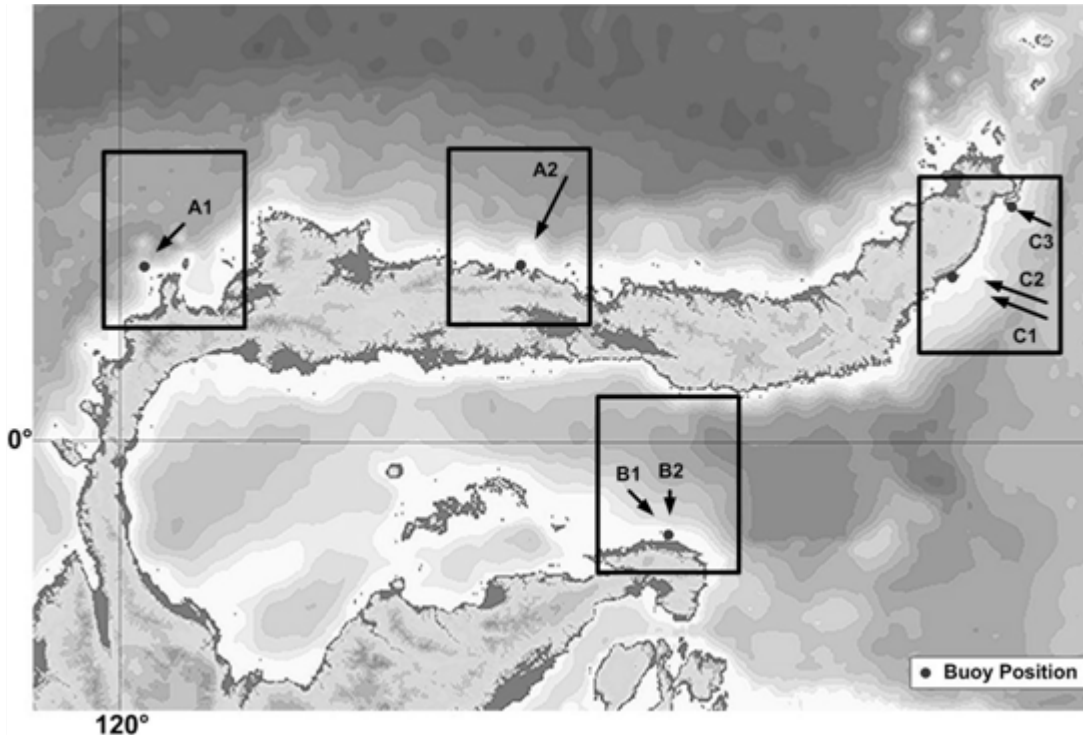
Selanjutnya dilakukan Simulasi Kejadian Artificial di *North Arm*, *East Arm* dan sekitar perbatasan Sulawesi-Ambon (Laut Maluku dan Palung Sangihe). Dipilih tujuh kejadian artificial yang berdasar atas kejadian gempa bumi sebenarnya (data selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 3**); dengan rincian, dua di *North Arm* (A1 dan A2), dua di *East Arm* (B1 dan B2) dan tiga di Laut Maluku (C1, C2 dan C3). Pada tiap kejadian dibuatkan *artificial buoy* yang akan mengukur tinggi gelombang tsunami dan waktu terpa. Posisi setiap buoy di bibir pantai dan arah terpa gelombang tsunami dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Tabel 2. Hasil simulasi tsunami 1996

Area	First Wave Arrival (min)	
	Eyewitness	SiTProS
Dongko	10	9.57
Balukang	5	6.06
Siwalempu	5	4.8
Tonggolobibi	5-7	6.7

Tabel 3. Parameter gempa bumi untuk simulasi kejadian artificial (Global CMT)

No.	Reg. Name	Date	Timing			Location			Fault Plane			Magnitude
			hr	min	sec	Lat	Lon	Depth	Strike	Dip	Slip	
A1	Minahasa P.	16-07-96	10	7	42.4	1.27	120.35	21.0	63	14	71	6.5
A2	Minahasa P.	08-08-91	2	9	57.6	1.54	122.63	33.2	88	25	86	6.6
B1	Minahasa P.	26-10-08	9	8	37.4	-0.18	123.16	74.1	207	44	36	5.6
B2	Minahasa P.	23-07-06	8	22	8.6	-0.41	123.3	35.7	168	55	37	5.9
C1	Molucca Pas.	09-12-93	4	32	28.2	0.53	125.81	18.4	41	15	137	6.9
C2	Molucca Pas.	09-12-93	11	38	37.9	0.63	125.71	16.6	35	11	122	6.7
C3	Molucca Pas.	28-10-98	16	25	10.9	1.00	125.98	15.0	57	77	174	6.5



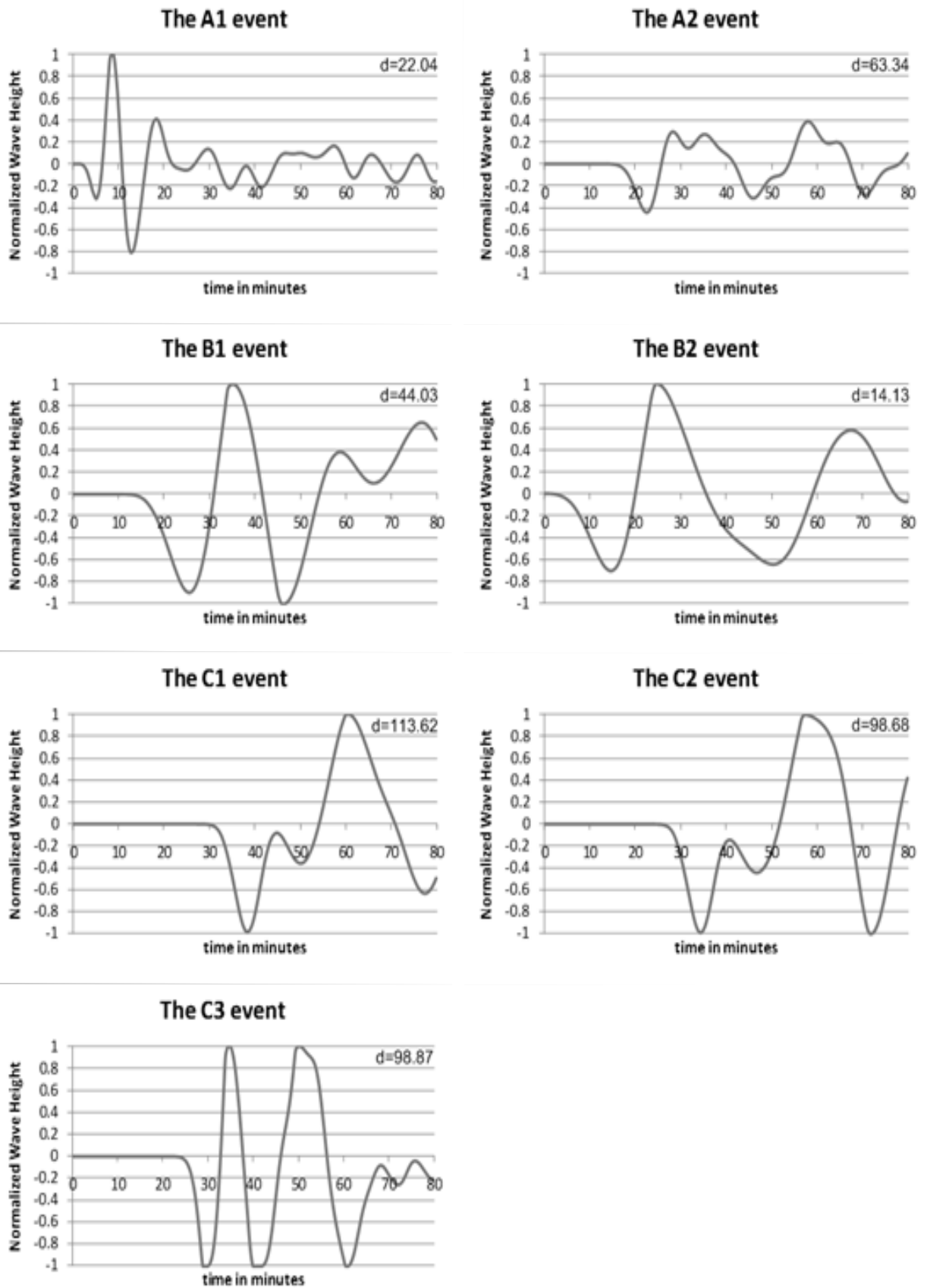
Gambar 4. Trend aktifitas seismik (gempa bumi) di Sulawesi pada rentang kurun waktu 33 tahun (1976-2009)

Jejak rekam hasil simulasi dapat dilihat pada **Gambar 5**. Hasil simulasi tersebut memperlihatkan tiga hal utama, yakni: 1) Kejadian A1, B1, B2 dan C3 mengalami tsunami pada gelombang pertama; ini terjadi karena jarak tempuh kurang dari 50 km sehingga dapat dikategorikan *near field* tsunami. Walaupun demikian, C3 dapat dikecualikan karena adanya faktor perubahan bathymetri yang sangat curam sehingga gelombang tidak mendapatkan waktu yang cukup untuk bertransformasi. 2) Pada A2, C1 dan C2 terlihat bahwa semakin pendek jarak tempuh, maka semakin cepat pula gelombang pertama menyentuh bibir pantai. Namun, berkenaan dengan gelombang dengan tinggi maksimum, semakin jauh epicenter dari bibir pantai maka semakin pendek waktu transformasi gelombang dari drawback ke tinggi maksimum. 3) Walaupun pada A2, C1 dan C2 jarak antara epicenter dengan bibir pantai menjadi faktor utama penentuan skematis waktu impact, ternyata pola bathymetri menjadi penentu yang kuat pula; khususnya pada perubahan kecepatan dan bentukan gelombang di dalam rentang waktu gelombang pertama muncul sampai gelombang maksimum tercapai.

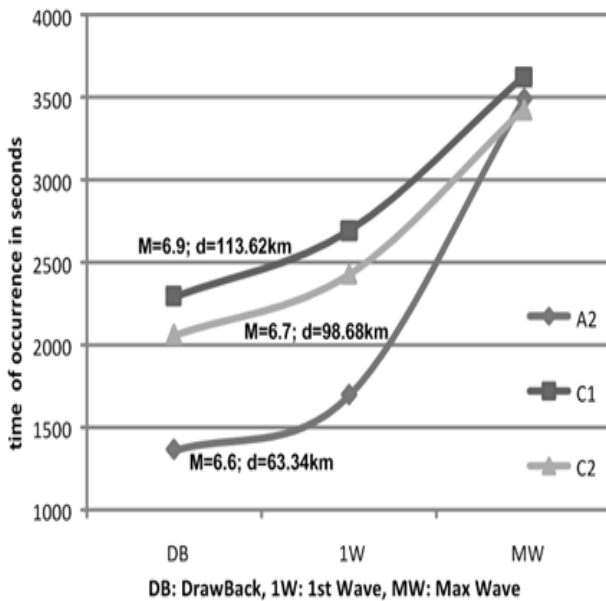
Berdasar fakta-fakta tersebut, A1, B1, B2 dan C3 akan mengalami propagasi tsunami yang sangat cepat, namun tidak memiliki waktu yang cukup untuk berubah bentuk menjadi lebih tinggi di daerah pantai. Ini disebabkan tiga hal, 1) epicenter berada sangat dekat dengan bibir pantai, khususnya A1, B1 dan B2. 2) Bathymetri pada daerah pantai di ke-empat kejadian tersebut sangatlah curam, sehingga gelombang tidak mempunyai waktu yang cukup untuk berubah bentuk

selayaknya pada pantai dengan kecuraman mild-slope (mendekati datar). Olehnya, kejadian artificial yang dapat ditelaah lebih jauh adalah A2, C1 dan C2. Pada **Gambar 6** terlihat secara jelas bahwa pada kejadian A2 yang menghasilkan gelombang maksimum yang terkecil dan tidak mempunyai magnitudo gempa bumi sebesar C1 dan C2, perbedaan rentang dari drawback (DB) sampai terjadinya gelombang maksimum hampir dua kali dibanding C1 dan C2. Hal ini memperlihatkan bahwa pola bathymetri di area propagasi kejadian A2 bermula pada kemiringan yang curam dan kemudian tiba-tiba menjadi hampir datar; yang akhirnya membuat gelombang tidak mampu berubah menjadi lebih tinggi dan lebih lambat.

Pada **Gambar 6** terlihat secara jelas bahwa pada kejadian A2 yang menghasilkan gelombang maksimum yang terkecil dan tidak mempunyai magnitudo gempa bumi sebesar C1 dan C2, perbedaan rentang dari drawback (DB) sampai terjadinya gelombang maksimum hampir dua kali dibanding C1 dan C2. Hal ini memperlihatkan bahwa pola bathymetri di area propagasi kejadian A2 bermula pada kemiringan yang curam dan kemudian tiba-tiba menjadi hampir datar; yang akhirnya membuat gelombang tidak mampu berubah menjadi lebih tinggi dan lebih lambat.



Gambar 5. Rekam jejak hasil simulasi kejadian artificial



Gambar 6. Waktu saat terjadi draw back (penarikan kembali), ketika kejadian gelombang pertama dan gelombang maksimum dari A2, C1 dan C2

Berdasar atas hasil simulasi tersebut, area yang potensial terjadi tsunami adalah pantai Utara, Selatan dan Timur dari North Arm.

6. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan, penulis berkesimpulan bahwa:

1. Dengan menyatukan semua aspek, yakni lokasi, intensitas dan dimensi patahan serta pola bathymetri, terlihat bahwa Perairan Utara, Selatan dan Timur dari *North Arm* di Pulau Sulawesi dan dapat dinyatakan sebagai area potensi seismik dan tsunami di masa mendatang
2. Berkenaan dengan tsunami di garis pantai, khususnya pada rentang waktu propagasi gelombang dari episenter ke bibir pantai dan visibilitas mata telanjang, terlihat bahwa gelombang yang tiba di perairan dengan pola kedalaman yang curam akan lebih mudah terlihat dibanding dengan perairan dengan pola kedalaman yang landai. Sayangnya, dua tipe pantai ini terbagi cukup merata di pantai Utara dan Timur dari *North Arm*, yang pada akhirnya membuat sulitnya menentukan jenis perlindungan pantai yang cocok untuk areal tersebut. Untuk alasan ini diperlukan penelitian lanjut mengenai perlindungan pantai yang cocok untuk bahaya tsunami, khususnya untuk daerah *North Arm* di Pulau Sulawesi tersebut

Daftar Pustaka

- Aydan, O., 2008, Seismic and Tsunami Hazard Potential in Indonesia with a special emphasis on Sumatra Island, *Journal of The School of Marine Science and Technology*, Tokai University, Vol. 6 No. 3: 19-38
- Chuai-Aree, S. and Kanbua, W., 2007, *SiTProS: Fast and Real-Time Simulation of Tsunami Propagation*, *First Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS'07)*, ams, pp.490-495.
- Guntoro, A., 1999, The formation of the Makassar Strait and the separation between SE Kalimantan and SW Sulawesi, *Journal of Asian Earth Sciences* 17: 79-98
- Katili, J.A., 1978, *Past and Present Geotectonic Position of Sulawesi, Indonesia*, *Tectonophysics* 45: 289-322
- Lander, J.F., Whiteside, L.S., Lockridge, P.A., 2003, *Two Decades of Global Tsunamis 1982-2002*, *Science of Tsunami Hazards*, Volume 21, Number 1: 3-88.
- Latief, H., Puspito, N.T., and Imamura, F., 2000, Tsunami catalog and zones in Indonesia, *Journal of Natural Disaster Science*, Volume 22, Number 1, pp. 25-43
- Prasetya, G.S., De Lange, W.P., and Healy, T.R., 2001, *The Makassar Strait Tsunamigenic Region*, *Natural Hazards* 24: 295-307
- Scawthorn, C., 2003, *Earthquakes: Seismogenesis, Measurement, and Distribution*, Chapter 4 on *Earthquake Engineering Handbook*, Chen, W.F. and Scawthorn, C., Edit., CRC Press LLC
- Villeneuve, M., Gunawan, W., Cornee, J.J. and Olivier Vidal, 2002, Geology of the central Sulawesi belt (eastern Indonesia): constraints for geodynamic models, *International Journal of Earth Science* 91: 524-537