

SEISMOTEKTONIK WILAYAH INDONESIA TIMUR THE SEISMOTECTONIC OF EASTERN INDONESIA REGION

Jaya Murjaya¹

¹⁾ Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran,
Jakarta Pusat, 10610
*Email : murjaya1@gmail.com

ABSTRAK

Seismotektonik merupakan gambaran distribusi spasial pola mekanisme fokal gempa bumi dan tatanan tektonik yang dapat digunakan untuk menduga arah gerakan relatif antar lempeng. Dengan mempelajari karakter Seismotektonik sebagai konsekuensi dari tatanan tektonik di wilayah Indonesia Timur, akan dikenali karakteristik pola-pola kegempaan yang berkaitan dengan tatanan tektoniknya. Dalam studi ini digunakan data sebanyak 2291 gempa bumi $M \geq 5.5$ untuk wilayah disekitar 115° BT - 140° BT dan 12° LS - 10° LU antara tahun 1964 sampai tahun 2008. Diantara 2291 kejadian terdapat sedikitnya 48 gempa bumi dengan $M \geq 7.0$, dan beberapa gempa bumi membangkitkan tsunami. Berdasarkan data yang ada ternyata tsunami tidak hanya dibangkitkan oleh gempa bumi dengan mekanisme fokal tipe thrust dan normal, tetapi tsunami dapat ditimbulkan oleh gempa bumi dengan mekanisme fokal tipe strike slip yang memicu longsoran bawah laut.

Kata Kunci: tektonik, seismotektonik, mekanisme fokal, tipe sesar

ABSTRACT

Seismotectonic is a description of spatial distribution of the earthquakes focal mechanism and tectonic setting which it can be used to estimate of the plate relative movement. By using seismotectonic as a consequence of the tectonic setting in Eastern Indonesia region it will be understood the earthquakes characteristic relate with the its tectonic setting. In this study is used 2291 earthquakes event $M \geq 5.5$ for area about of 115° E - 140° E and 12° S - 10° N from year 1964-2008 and there is 48 earthquakes event $M \geq 7.0$. In between of them it triggered of tsunamis. Based on the earthquakes data in the Eastren Indonesia, the tsunami is not only caused by thrust and normal of the focal mechanism but it can be caused by the strike slip of the focal mechanism with trigger of the under sea land slide.

Keywords: tectonic, seismotectonic, focal mechanism, type of faults

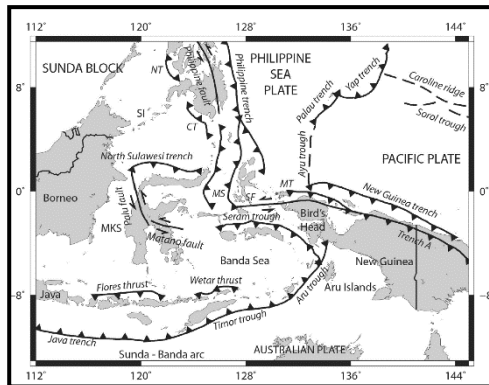
1. Latar Belakang

Tatanan tektonik wilayah Kepulauan Indonesia terletak pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia yang saling menumpu (*triple junction*) dan

satu lempeng mikro philipina. Ketiga lempeng tektonik utama tersebut adalah lempeng Samudra Pasifik yang bergerak ke arah barat, lempeng Australia yang bergerak ke utara dan lempeng Eurasia yang relatif

bergerak ke tenggara. Dengan melihat dari letak pertemuan ketiga lempeng tektonik tersebut wilayah Kepulauan Indonesia termasuk di salah satu pinggir aktif yang saling menumpu (*active convergence margins*). Pertemuan lempeng Australia dan Pasifik disepanjang lepas pantai utara pulau Papua dan palung New Guinea. Pertemuan lempeng Australia dan Eurasia disepanjang lepas pantai barat Sumatra, selatan Jawa-Nusa Tenggara dan sampai ke zona Laut Banda.

Pada tulisan ini akan mempelajari seismotektonik sebagai implikasi dari tatanan tektonik wilayah Indonesia Timur. Gambar 1(1), peta tektonik wilayah Indonesia Tengah dan Timur (selanjutnya disebut "Indonesia Timur").



Gambar 1. Peta Tektonik Zona Indonesia Timur dan sebagian wilayah Filipina Selatan [1]

Keempat lempeng tektonik yang saling bergerak satu sama lainnya, menimbulkan terbentuknya zona-zona aktif gempabumi (*seismic zones*) di wilayah Indonesia timur ini. Zona-zona seismik ini berupa zona tunjaman (*subduction zones*), zona bukaan sesar tegak (*transtensional zones*) dan zona sesar naik (*thrust zones-sungkup*) di beberapa bagian wilayah Indonesia Timur. Semua zona lemah seismik ini dicirikan

dengan adanya pergerakan kerak bumi yang menimbulkan gempabumi tektonik. Termasuk zona pensesaran membuka (*extensional faulting*) dasar laut yang dapat memicu terjadinya tsunami [2].

Pada konsep Benua Maritim Indonesia (BMI) [3] Zona Bali-Flores (*inbroad BMI*) merupakan barian tenggara tepian *Sunda Shelf*, dimana deformasi terjadi di bagian sesar naik belakang busur (*back arc thrust*) berprogasai kearah barat. Selanjutnya Selat Makasar merupakan mode deformasi kompresi terutama pada bagian timur dan mode transpresi. Untuk wilayah Indonesia Timur yang masuk dalam *Outbroad BMI* diantaranya Sawu, Timor, Irian (Papua) dan Seram. Sawu merupakan transisi Jawa-Timor dan Timor merupakan depan busur dari tumbukan tepian benua Australia dengan busur Banda. Irian merupakan tumbukan menyerong lempeng Pasifik dengan keratan New Guinea. Sedangkan Cekungan Tepian (*Marginal Basin*) dari BMI meliputi zona laut Banda, zona cekungan tepian Gorontalo, zona kompresif Maluku dan zona Sulawesi dengan deformasi mode penunjaman sepanjang parit Sulawesi Utara dan mode Flores sepanjang parit Cotabato.

Dengan mempelajari karakter Seismotektonik sebagai konsekwensi dari tatanan tektonik di wilayah Indonesia Timur, akan dikenali karakteristik pola-pola kegempaan yang berkaitan dengan tatanan tektoniknya. Disamping itu dalam kontek antisipasi mitigasi resiko bencana gempabumi, dengan mempelajari seismotektonik dapat mengenali tipe-tipe gempabumi merusak maupun pembangkit tsunami di wilayah Indonesia Timur.

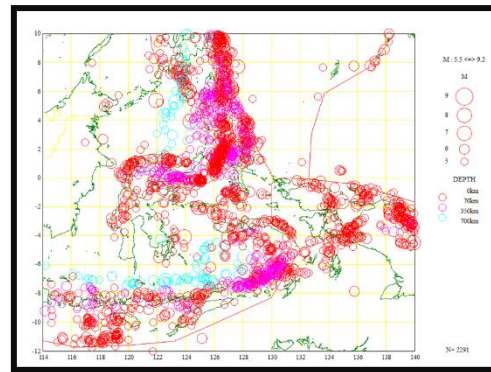
2. Data dan Metode

Data gempabumi yang digunakan pada studi atau kajian ini adalah data sekunder, yakni gempabumi tahun 1964 sampai tahun 2008 dari *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering* (IISEE, 2006) yang merujuk pada data ISC[4], Katalog Gempabumi 1964-2008 (BMKG, USGS 2021)[5][6]. Wilayah kajian merujuk pada batas tatanan tektonik Indonesia "Timur" disekitar 115° BT - 140° BT dan 12° LS - 10° LU. Pada tulisan ini ketidakpastian lokasi dan kedalaman data gempabumi antara katalog ISC, USGS dan BMKG, dan ketiidak pastiannya dianggap kecil sehingga tidak diperhitungkan.

3. Hasil

3.1. Seismisitas Zona Indonesia Timur $M \geq 5.5$

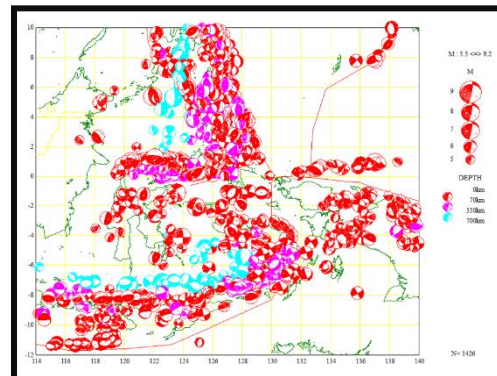
Pada gambar 2 dibawah dapat dilihat bahwa sebaran gempabumi di sekitar zona Indonesia Timur untuk magnitudo (M) ≥ 5.5 . Kedalaman hiposenter (h) gempabumi dibagi dalam 3 kelompok yakni $0 \leq h \leq 70$ km (dangkal), $70 < h \leq 350$ km (kedalaman menengah) dan $350 < h \leq 700$ km(dalam) Terdapat 2291 kejadian gempabumi dengan (M) ≥ 5.5 selama tahun 1964-2008. Tampak pada gambar 2 bahwa zona laut Maluku menjadi salah satu zona seismik paling aktif di dunia. Gempabumi dengan h dangkal dan $M \geq 7.0$, menjadikan wilayah ini sebagai zona potensi rawan tsunami. Sedangkan di bagian utara Nusa Tenggara (*kecuali zona back arc thrust*) dan busur Banda terdapat gempabumi dengan h menengah (*intermediate depth*) dan dalam (*deep earthquakes*).



Gambar 2. Peta Seismisitas berdasarkan data gempabumi tahun 1964 sampai 2008 dengan $M \geq 5.5$.

3.2. Mekanisme Fokal Zona Indonesia Timur $M \geq 5.5$

Dari 2291 kali gempabumi $M \geq 5.5$ pada gambar 2, yang dapat dibuat Mekanisme Fokal sebanyak 1426 gempabumi dengan 3 kriteria kedalaman yang berbeda (Gambar.3).

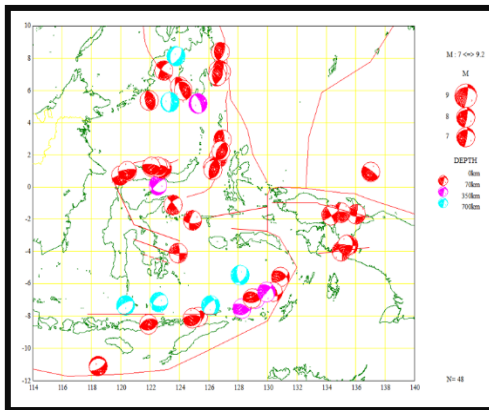


Gambar 3. Peta Seismotektonik wilayah Indonesia Timur berdasarkan data gempabumi tahun 1964-2008 $M \geq 5.5$.

Mekanisme Fokal pada gambar 3 diklasifikasikan berdasarkan data kedalaman sumber gempabumi (hiposenter) yakni kedalaman dangkal ($h \leq 70$ km), menengah ($70 < h \leq 350$ km) dan dalam ($h > 350$ km) dengan jenis *Thrust/Reverse Fault* (TF/RF), *Normal Fault* (NF) dan *Strike Slip Fault* (SSF).

3.3. Mekanisme Fokal Wilayah Indonesia Timur $M \geq 7.0$

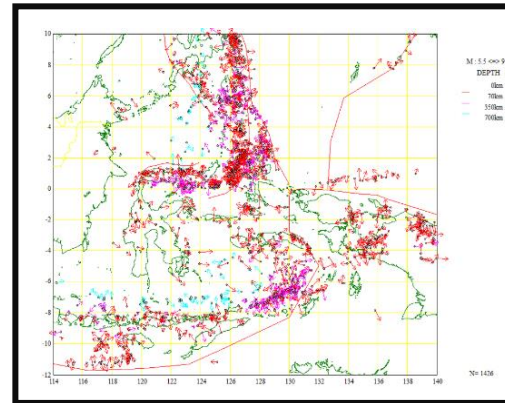
Selanjutnya dari 1426 Mekanisme Fokal gempabumi $M \geq 5.5$, terdapat 48 gempabumi dengan $M \geq 7.0$ dengan berbagai kedalaman yang dapat di buat Fokal Mekanisme dalam kurun waktu tahun 1964-2022 (Gambar.4). Diantara 48 gempabumi ini terdapat beberapa gempabumi yang memicu kejadian tsunami.



Gambar 4. Peta Seismotektonik wilayah Indonesia Timur berdasarkan data gempabumi tahun 1964-2008 $M \geq 7.0$.

3.4 Distribusi Slip

Gambar 5 merupakan distribusi slip 1426 gempabumi yang terkait dengan gempabumi yang mekanisme fokalnya digambarkan pada gambar 3 di atas untuk zona wilayah Indonesia Timur. Tampak dari arah panah slip yang sporadis dapat diinterpretasikan bahwa arah tegangan gempabumi sangat kompleks di wilayah Indonesia Timur. Hal ini sesuai dengan tatanan tektonik wilayah Indonesia Timur yang dikenal sangat rumit atau lebih rumit dibandingkan tatanan tektonik wilayah Indonesia Barat. Kumulatif dari Peta Mekanisme Fokal (*Focal Mechanism*) dapat digunakan untuk menduga arah gerakan relatif antar lempeng tektonik.



Gambar 5. Distribusi slip 1426 kejadian gempabumi zona wilayah Indonesia Timur. Menunjukkan arah slip yang sangat kompleks.

4. Pembahasan

Seismologi Gempabumi (*earthquake seismology*) telah memainkan peranan yang besar dalam pengembangan konsep tektonik lempeng. Distribusi spasial gempabumi dapat digunakan untuk menentukan zona batas lempeng. Pergeseran rata-rata (*rate displacement*) dan pergeseran kumulatif (*cumulative displacement*) akibat kejadian gempabumi dapat digunakan untuk menduga kecepatan relatif antara lempeng. Sedangkan Mekanisme fokal (*focal mechanism*) dapat digunakan untuk menduga arah gerakan relatif antar lempeng. Hubungan antara kejadian gempabumi dengan proses-proses tektonik diketahui sebagai Seismotektonik [7]. Pada keperluan praktis dengan mensimplifikasikan distribusi mekanisme fokal kaitannya dengan tatanan tektonik dalam sebuah peta dikenal sebagai peta Seismotektonik.

4.1. Tatanan Tektonik.

Tatanan tektonik wilayah kepulauan Indonesia dibagi 2 (dua) yakni tatanan tektonik Indonesia Barat dan Indonesia Timur. Pada studi ini lokasi

dibatasi antara 12.0°LS - 10.0 °LU dan 115 ° BT-140 ° BT seperti terlihat pada gambar 1 diatas. Gerakan-gerakan lempeng tektonik, batas-batas tektonik dan patahan (sesar) besar di wilayah Indonesia Timur juga terlihat pada gambar 1. Lempeng Pasifik (lempeng Carolina) yang bergerak relatif ke arah barat menunjam ke bawah lempeng Indo-Australia disepanjang lepas pantai utara Papua Barat dengan kecepatan sekitar 12 cm/tahun. Di selatan Nusa Tenggara pertemuan lempeng Indo-Australia bergerak relatif menunjam ke utara lempeng Eurasia dan berbelok ke arah barat laut di tenggara Timor (palung Timor-palung Aru) sampai berbalik arah di palung Seram (laut Banda) dengan kecepatan rerata 6-7.5 cm/tahun [1][8]. Di bagian utara lempeng mikro Philipina relatif bergerak ke arah barat menunjam ke bawah lempeng Eurasia.

Di utara Sulawesi terdapat palung Sulawesi (NST) yang menunjam ke arah selatan, dimana diduga diujung baratnya bertemu dengan patahan Palu-Koro (PKF). Di laut Maluku terdapat Zona Tumbukan Laut Maluku (MSCZ). Di utara Papua Barat terdapat Palung New Guinea (NGT) konsekuensi dari tumbukan lempeng Carolina dengan Indo-Australia. Sedangkan di utara zona "kepala burung" Papua terdapat Palung Manokwari (MT). Dampak kedua tunjangan palung tersebut mengakibatkan timbulnya beberapa patahan di Papua, diantaranya patahan Sorong yang menerus ke laut Banda, patahan Tarera Aiduna dan lainnya. Di utara Nusa Tenggara terdapat sesar naik busur belakang (*Back arc Thrust* atau *Flores Thrust-FT*) dan *Wetar Thrust (WT)* yang menunjam ke arah selatan. Diduga *Flores Back arc Thrust* di bagian ujung barat menerus sampai di utara

Bali. Dengan demikian tektonik wilayah Indonesia Timur sangat rumit terletak pada pertemuan 3 (tiga) lempeng tektonik utama dunia yang saling bergerak satu sama lainnya.

4.2 Seismisitas

Wilayah Indonesia Timur dikenal mempunyai aktivitas seismik yang tinggi khususnya terkonsentrasi di atau dekat batas pertemuan lempeng. Disamping itu juga terjadi pada zona *back arc thrust fault*, sesar-sesar aktif dan cabang-cabangnya. Pada studi ini lokasi dibatasi antara 12.0° LS-10.0 ° LU dan 115 ° BT-140 ° BT dengan menggunakan data gempa bumi dari tahun 1964-2008 (kurang lebih 40 tahun) seperti terlihat pada gambar 2 diatas. Kejadian gempa bumi yang dapat dipetakan pada gambar 2 sebanyak 2291 kali dengan $M \geq 5.5$. Dalam waktu yang sama terjadi 58 kali gempa bumi dengan $M \geq 7.0$ [4].

Pada gambar 2 terlihat bahwa gempa bumi umumnya terjadi di sepanjang zona subduksi (*plate boundaries*) selatan Nusa Tenggara, sebelah utara Papua, timur laut Maluku dan sekitar zona laut Banda. Gempa bumi *back thrust* terjadi di zona-zona NST, FT, WT dan MT. Gempa bumi yang terjadi di zona MSCZ merupakan paling banyak selama kurun waktu tersebut, dan zona MSCZ merupakan salah satu zona paling aktif gempa bumi tektonik di dunia.

4.3 Mekanisme Fokal

4.3.1 Mekanisme Fokal Regional dan Slip.

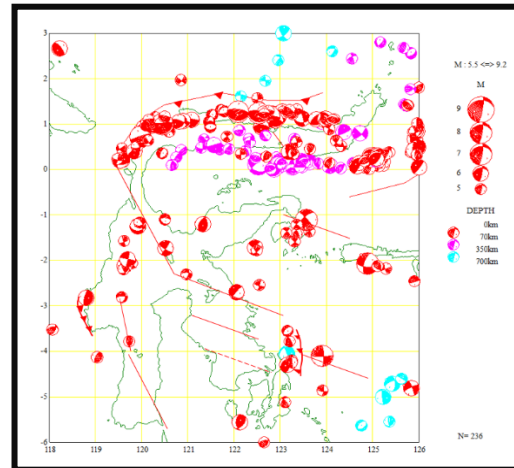
Seperti dijelaskan pada 3.2 bahwa dari 2291 kali gempa bumi $M \geq 5.5$, yang dapat dibuat Mekanisme Fokal sebanyak 1426 gempa bumi dengan 3 kedalaman yang berbeda

(Gambar.3). Sedangkan 58 gempabumi dengan $M \geq 7.0$ hanya 48 yang dapat dibuat mekanisme fokalnya (gambar 4). Distribusi slip yang terpetakan pada gambar 5 merepresentasikan slip untuk gempabumi $M \geq 5.5$ pada gambar 3. Arah slip sesuai dengan masing-masing mekanisme fokal setiap gempa pada gambar 3.

4.3.2 Mekanisme Fokal Lokal

4.3.2.1 Wilayah Sulawesi

Dengan menggunakan data tahun 1964-2008 dengan magnitudo $M \geq 5.5$ untuk zona $6^\circ \text{LS} - 3^\circ \text{LU}$ dan $118^\circ \text{BT} - 136^\circ \text{BT}$ yang dapat dibuat Mekanisme Fokal berjumlah 236 gempabumi seperti terlihat pada gambar 6. Palung NST merupakan zona aktif gempabumi dengan dominasi mekanisme fokal tipe *thrust fault* Sedangkan untuk sesar Palu-Koro dad Matano fault dan Kepulauan Banggai didominasi mekanisme fokal tipe *strike slip fault*. Untuk sesar lainnya tidak menunjukkan catatan seismic yang lengkap tetapi tetap merupakan zona tektonik aktif. Zona-zona seperti ini tetap harus di waspadai dikhawatirkan di masa datang zona tektonik aktif ini akan membangkitkan gempabumi yang teraktivasi oleh proses tektonik dan kejadian gempabumi sekitarnya.

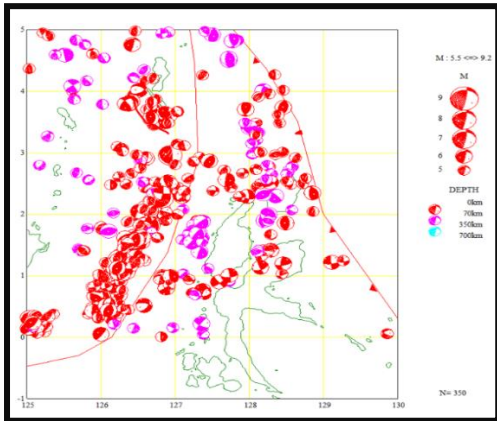


Gambar 6. Peta Seismotektonik wilayah Sulawesi dan sekitarnya berdasarkan data gempabumi tahun 1964-2008.

4.3.2.2 Wilayah Maluku dan sekitarnya

Laut Maluku merupakan salah satu zona paling aktif seismik di dunia. Di kawasan utara laut Maluku terdapat tektonik kompresional dalam bentuk tumbukan ganda busur kepulauan dengan pensesaran sungkup ganda [2]. Dengan data yang sama, kajian di wilayah Maluku dan sekitarnya ini terdapat 350 Mekanisme Fokal dengan batas-batas $01^\circ \text{LS} - 05^\circ \text{LU}$ dan $125^\circ \text{BT} - 130^\circ \text{BT}$ seperti pada gambar 7.

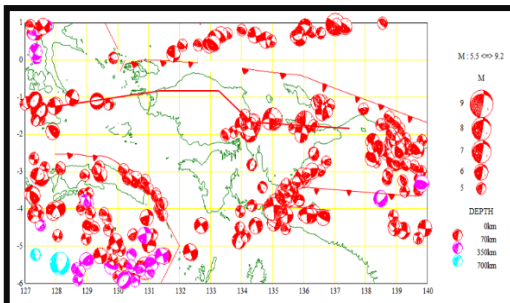
Tampak tipe mekanisme *thrust* dan *reverse* terkonsentrasi sekitar wilayah Sangihe Timur. Dan juga tipe *thrust* terlihat di Halmahera Barat. Hal ini merefleksikan bahwa deformasi masih berlangsung antara Sangihe dan *Halmahera arcs*.



Gambar 7. Peta Seismotektonik wilayah Laut Maluku dan sekitarnya berdasarkan data gempa bumi tahun 1964-2008.

4.3.2.3 Wilayah Papua-Seram

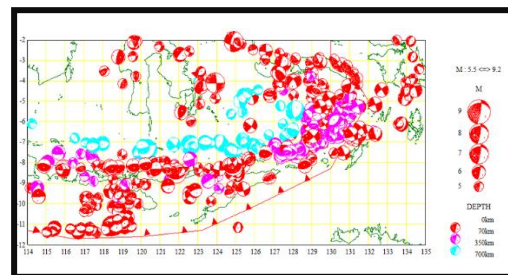
Dengan menggunakan data yang sama untuk zona 6° LS - 1° LU dan 127° BT-140° BT dapat dibuat Mekanisme Fokal berjumlah 284 gempa bumi seperti terlihat pada gambar 8. Dalam kurun waktu tersebut diatas pada palung sebelah barat New Guinea menunjukkan kurang menunjukkan aktivitas seismik (bukan tidak aktif). Hal tersebut kemungkinan karena terkait umur litosfer dan *oblique convergen* turut berkontribusi pada kondisi ini [9]. Tampak terdapat mekanisme *strike slip fault* terjadi sepanjang sesar-sesar Yapen, Sorong Barat dan Terera Aiduna. Sementara di zona palung Seram mekanisme fokal yang dominan tipe *thrust fault*.



Gambar 8. Peta Seismotektonik wilayah Papua dan sekitarnya berdasarkan data gempa bumi tahun 1964-2008.

4.3.2.4 Wilayah Laut Banda dan Nusa Tenggara

Zona aktif gempabumi di wilayah bagian timur Indonesia adalah zona laut Banda dan Nusa Tenggara. Dalam kurun waktu yang sama dengan untuk zona 12° LS - 2° LS dan 124° BT-135° BT terdapat 467 mekanisme fokal gempa bumi $M \geq 5.5$ dan semua kedalaman yang dapat di petakan seperti terlihat pada gambar 9 (termasuk palung Seram-sudah dibahas di atas). Tampak mulai dari Flores dan Wetar *back arc* sampai palung Timor didominasi mekanisme fokal tipe *thrust*. Sementara di zona Laut Banda menunjukkan gerakan *transperssive* yang kompleks. Tampak adanya dominasi mekanisme fokal tipe *strike slip* dan *reverse fault*. Disepanjang bagian utara Flores-Wetar *back arc* sampai Laut Banda juga terdapat gempa bumi dalam (*deep earthquakes*). Hal ini mencerminkan bahwa subduksi lempeng Indo-Australia yang menunjam di bawah lempeng Eurasia bisa mencapai kedalaman lebih dari 600 km.



Gambar 9. Peta Seismotektonik wilayah Laut Banda-Nusa Tenggara dan sekitarnya berdasarkan data gempa bumi tahun 1964-2008.

4.4 Potensi Tsunami

Terkait dengan tatanan tektonik pada wilayah Indonesia Timur pada gambar 1 dan merujuk pada gambar 4 mekanisme fokal gempa bumi $M \geq 7$, terdapat gempa bumi yang

membangkitkan tsunami. Diantara gempabumi tersebut [6] [10] yakni;

- 1). Gempabumi Sulawesi Tengah tanggal 14 Agustus 1968 dengan M 7.2 dan h 20 km membangkitkan tsunami.
- 2). Gempabumi Majene-Sulawesi tanggal 23 Februari 1969 dengan M 7.0 dan h 15 km membangkitkan tsunami.
- 3). Gempabumi Sumba (*Normal*) tanggal 19 Agustus 1977 dengan M 8.3 dan h 33 km membangkitkan tsunami.
- 4). Gempabumi Flores tanggal 12 Desember 1992 (*thrusting*) dengan M 7.5 dan h 28 km membangkitkan tsunami.
- 5). Gempabumi Biak tanggal 17 Februari 1996 (*Thrusting*) dengan M 8.2 dan h 33 km membangkitkan tsunami.
- 6). Gempabumi Sulawesi Tengah tanggal 01 Januari 1996 (*Thrusting*) dengan M 7.8 dan h 24 km membangkitkan tsunami.
- 7). Gempabumi Luwuk-Banggai, Sulawesi Tengah tanggal 04 Mei 2000 dengan Ms 7.3 dan h 33 km membangkitkan tsunami [10].
- 8). Gempabumi Biak-Papua tanggal 10 Oktober 2002 (*Strike slip*) dengan M 7.6 dan h 33 km membangkitkan tsunami.
- 9). Gempabumi Namlea-Maluku tanggal 28 Januari 2004 (*Strike slip*) dengan M 6.8 dan h 33 km membangkitkan tsunami.
- 10). Gempabumi Seram tanggal 14 Maret 2006 (*Strike slip-Oblique*) dengan M 6.4 dan h 33 km membangkitkan tsunami.
- 11). Gempabumi Mamuju-Sulawesi Barat tanggal 08 Januari 1984 (*Thrust*) dengan M 7.0 dan h 33 km membangkitkan tsunami.
- 12). Gempabumi Ambon tanggal 12 Maret 1983 (*Strike slip-Oblique*) dengan M 6.7 dan h 17 km membangkitkan tsunami.

Gempabumi yang dapat membangkitkan tsunami tersebut umumnya terjadi pada batas lempeng, zona *thrusting* atau *back arc thrusting*. Namun dari data tsunami dapat juga dibangkitkan oleh gempabumi geseran datar (*strike slip*) pada kejadian tertentu.

5. Kesimpulan

Peta Seismotektonik dalam penelitian ini merupakan gambaran distribusi spasial pola mekanisme fokal gempabumi dan tatanan tektonik untuk wilayah penelitian di sekitar 115° BT - 140° BT dan 12° LS -10° LU antara tahun 1964 sampai tahun 2008. Dengan memperhatikan hasil dan uraian diatas, secara umum dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Indonesia Timur merupakan wilayah yang sangat rentan terjadinya gempabumi tektonik. Selama kurun waktu penelitian sedikitnya terjadi 2291 kali gempabumi $M \geq 5,5$ yang dapat dipetakan dan diantaranya terdapat 48 gempabumi $M \geq 7$ dengan berbagai kedalaman;
2. Pada kurun waktu tahun 1964-2008, sedikitnya terjadi 12 kali tsunami signifikan yang disebabkan oleh gempabumi tektonik. Berdasarkan data ternyata tsunami tidak hanya disebabkan oleh gempabumi dengan pensesaran naik (*thrust*) atau turun (*normal*) tetapi tsunami bisa diakibatkan oleh gempabumi dengan pensesaran geser (*strike slip*) yang memicu longsor bawah laut.
3. Adanya hubungan kuat antara tatanan tektonik dengan tipe mekanisme fokal gempabumi dominan yang terjadi di wilayah Indonesia Timur;
4. Pada zona-zona tektonik aktif terutama di *thrust convergence*

zones namun tidak (belum) menunjukkan adanya aktivitas seismik yang tinggi, kondisi ini tetap harus di waspadai karena mempunyai potensi gempa bumi besar di masa datang.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan pada International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IISSE)-Tsukuba Jepang karena kajian awal Seismotektonik Wilayah Indonesia Timur di dukung oleh data dan software dari Lembaga tersebut.

Daftar Pustaka

- [1] Dhany Irwanto. (2015). Earthquakes and Tsunamis. Atlantis in the Java Sea. A scientific effort to match Plato's narrative location for Atlantis. <https://atlantisjavasea.com/2015/08/31/earthquakes> and tsunamis.
- [2] Simandjuntak. T.O. (1994). Tsunami dan Gempabumi Dalam Pinggiran Lempeng Aktif di Indonesia. Kumpulan Makalah. *Seminar Sehari masalah Tsunami di Indonesia dan Aspek-Aspeknya. Bandung, 6 September 1994.*
- [3] Hardi Prasetyo. (1994). Geodinamika dan Tsunami Indonesia. Kumpulan Makalah. *Seminar Sehari masalah Tsunami di Indonesia dan Aspek-Aspeknya. Bandung, 6 September 1994.*
- [4] Shibazaki. B. (2006). References Related to Scaling Relations of Earthquakes. *International Institute of Seismology and Earthquake Engineering,*

Building Research Institute. Tsukuba, Japan.

- [5] Badan Meteorologi Klimatologi. (2019). Katalog Gempabumi Merusak Tahun 1821-2019. *Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Jakarta.*
- [6] United State Geological Survey. (2023). Googling earthquake map 1964-2008. *United State of America.*
- [7] Thorne Lay and Terry C, Wallace. (1995). Modern Global Seismology. *Academic Press.*
- [8] Bock.Y, Linette Prawirodirdjo, Genrich. J.F, Stevens. C.W, McCaffrey.R, Cecep Subarya, Puntodewo, and Calais.E. (2003). Crustal motion in Indonesia from Global Positioning System Measurements. *Journal Geophysics Research. 108, No B8, 2367.*
- [9] Sean J. Hutchings¹ and Walter D. Mooney. (2021). The Seismicity of Indonesia and Tectonic implications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems. Research Article, AGU.*
- [10] Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. (2008). Katalog Gempabumi Merusak Di Indonesia Tahun 1629-2007. *Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. Badan Geologi. Bandung.*