



ANALISIS KERENTANAN BAHAYA GEMPA BUMI TEKTONIK MERUSAK BERDASARKAN FUNGSI ATENUASI ZHAO DI NUSA TENGGARA TIMUR

Irjan Irjan, Ahmad Luthfin* ,Septiana Nur Hidayati

Jurusan Fisika, Fakultas SAINTEK, Universitas Islam Negeri, Malang, Indonesia

*corresponding author: ahmadluthfin@gmail.com

Received 15-02-2022, Revised 28-06-2022, Accepted 28-09-2022

Available Online 14-10-2022, Published Regularly October 2022

ABSTRACT

The East Nusa Tenggara (NTT) region which is located between 2 earthquakes, namely the tectonic plate subduction zone in the south and the Back Arc Thrust zone in the north, is very interesting to study considering the very active tectonic earthquakes that are significantly destructive in this region which have earthquake characteristics shallow and large magnitude. A study has been carried out that aims to determine the vulnerability of the tectonic earthquake to significant damage when seismic waves pass through these islands. The vulnerability information generated can be useful as a reference for disaster mitigation and factors that need to be considered before carrying out development in the NTT region. The input data studied are shallow earthquake data from 1997-2018 at a depth of 60 km and a magnitude $M \geq 5$ SR at coordinates $8^{\circ} 30' - 13^{\circ} 10'$ South Latitude and $118^{\circ} 30' - 125^{\circ} 30'$ East Longitude. The number of earthquake events is 198 data. The attenuation function used refers to the attenuation function Zhao, et. al 2006. The results of the study show that. the vulnerability of the tectonic earthquake to significant damage in the East Nusa Tenggara region clustered on the MMI V-VIII intensity scale. Most of these islands are clustered on the MMI VII-VIII intensity scale and only a small part is clustered on the V-VI MMI intensity scale. The NTT region which has an intensity scale of VII-VIII MMI has a high vulnerability to destructive earthquakes, so it is necessary to disseminate disaster mitigation from an early age to the public about the threat of earthquakes and it is recommended that this information be used as a reference in developing the area.

Keywords: Hazard Vulnerability; Significantly Destructive Tectonic Earthquake; East Nusa Tenggara

ABSTRAK

Wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT) yang terletak diantara 2 penyebab gempa bumi yaitu zona subduksi lempeng tektonik di selatan dan zona Back Arc Thrust di utara, sangat menarik untuk dikaji mengingat sangat aktifnya gempa-gempa tektonik signifikan merusak di wilayah ini yang memiliki ciri gempa yang dangkal dan magnitudenya besar. Telah dilakukan kajian yang bertujuan untuk mengetahui kerentanan bahaya gempa bumi tektonik signifikan merusak saat gelombang seismik melintasi kepulauan ini. Informasi kerentanan yang dihasilkan dapat bermanfaat sebagai acuan untuk mitigasi bencana dan factor yang perlu dipertimbangkan sebelum melakukan pembangunan di wilayah NTT. Input data-data yang dikaji berupa data-data gempa bumi dangkal dari tahun 1997-2018 pada kedalaman ≤ 60 km dan magnitude $M \geq 5$ SR pada koordinat $8^{\circ} 30' - 13^{\circ} 10'$ LS dan $118^{\circ} 30' - 125^{\circ} 30'$ BT. Jumlah kejadian gempa 198 data. Fungsi atenuasi yang digunakan mengacu pada fungsi atenuasi Zhao, et. al 2006. Hasil kajian menunjukkan bahwa kerentanan bahaya gempa bumi tektonik signifikan merusak di wilayah Nusa Tenggara Timur terklastrer pada skala intensitas V-VIII MMI. Sebagian besar wilayah kepulauan ini terklastrer pada skala intensitas VII-VIII MMI dan hanya sebagian kecil yang terklastrer pada skala intensitas V-VI MMI. Wilayah NTT yang memiliki skala intensitas VII-VIII MMI memiliki kerentanan gempa bumi merusak yang tinggi, sehingga perlu dilakukan

sosialisasi mitigasi bencana sejak dini kepada masyarakat akan ancaman gempa bumi dan disarankan informasi ini menjadi acuan dalam melakukan pembangunan didaerah tersebut.

Kata kunci: Kerentanan Bahaya; Gempa Bumi Tektonik Signifikan Merusak; Nusa Tenggara Timur

PENDAHULUAN

Nusa Tenggara Timur merupakan wilayah dalam kategori rawan akan bahaya gempa bumi, karena diapit oleh 2 zona penyebab gempa bumi yaitu ancaman dari arah selatan berupa gempa-gempa pada zona subduksi lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan ancaman dari arah utara berupa gempa-gempa yang dibangkitkan oleh patahan naik busur belakang atau Flores Thrust (back Arc Thrust)^{[1],[2]}. Back Arc Thrust sering memicu gempa dangkal kedalaman kurang dari 50 km^{[3],[4]}. Kondisi ini memberikan gambaran secara jelas bahwa kawasan ini rentan akan bahaya gempa bumi tektonik signifikan merusak dan tsunami. Berdasarkan catatan sejarah kegempaan sejak tahun 1862 sampai 2004 di Nusa Tenggara terdapat 12 gempa besar dan merusak yang mengakibatkan tewasnya ribuan jiwa manusia dan hancurnya bangunan infrastruktur^[5]. Wilayah ini juga rentan karena kepadatan penduduk yang tinggi. Keadaan ini dapat mengancam keselamatan jiwa serta harta benda penduduk, sehingga perlu adanya penelitian untuk menganalisa tingkat bahaya dan kerentanan gempa bumi di wilayah Nusa Tenggara Timur ini.

Penelitian sebelumnya dilakukan dengan perhitungan nilai PGA dengan menggunakan fungsi atenuasi Fukushima dan Tanaka (digunakan pertama kali tahun 1990), berdasarkan penelitian tersebut diperoleh tingkat bahaya gempa bumi sangat tinggi berada di Kabupaten Ende dan Alor, sedangkan tingkat kerentanan yang sangat tinggi berada di Kabupaten Sikka, Sumba Barat Daya dan Sabu Raijua^[6]. Fungsi atenuasi yang dikenal juga dengan *Ground Motion Prediction Equations* (GMPEs) merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk mengestimasi tingkat guncangan tanah akibat gempa dengan magnitudo, kondisi sumber gempa tertentu dan jarak dari sumber ke lokasi stasiun pengamatan^[7]. Atenuasi gerakan tanah merupakan suatu hubungan antara parameter gempa (kecepatan, percepatan, simpangan, intensitas gempa maupun ukuran gempa) dengan jarak sumber gempa ke lokasi pencatat gempa (jarak episenter, jarak hiposenter atau jarak terdekat lainnya). Meskipun banyak parameter dan faktor lain yang mempengaruhi atenuasi gerakan tanah tetapi pengaruh jarak tetap menjadi unsur utama^[8]. Penentuan pemilihan fungsi atenuasi ini didasarkan pada mekanisme terjadinya fokus gempa atau model sumber gempa bumi.

Pada penelitian kali ini kami menggunakan fungsi atenuasi Zhao et al (2006) yang merupakan fungsi atenuasi yang dipublish atau digunakan pertama kali pada tahun 2006 berlaku untuk sumber gempa yang berada di area subduksi. Persamaan ini dikembangkan dari hasil pengamatan 4.518 catatan gempa yang terjadi di Jepang, 1.508 dari data gempa tersebut merupakan gempa subduksi *interface*^[9]. Kedalaman maksimum untuk kejadian *interface* adalah 50 km. Mempertimbangkan faktor ketidakpastian jarak dan nilai Vs30^[10]. Untuk faktor jarak pada persamaan ini memakai jarak titik ukur (stasiun pengamatan) terhadap sumber gempa. Kelebihan menggunakan metode atenuasi zhao tahun 2006 ini memiliki keakuratan yang besar. Selain itu, terdapat pula pembagian kelas situs tanah. Fungsi atenuasi Zhao et. al (2006) dibangun berdasarkan persamaan:

$$\log_e(Y_{i,j}) = aM_{wi} + bx_{i,j} - \log_e(r_{i,j}) + a(h - h_c)\delta_H + f_R + S_l + S_s + S_{SL}\log_e(x_{i,j}) + c_k + \xi_{i,j} + \eta_i \quad (1)$$

dan

$$r_{i,j} = x_{i,j} + c \exp(dM_{wi}) \quad (2)$$

dimana:

Subscrip i menyatakan jumlah event, dan *j* menyatakan jumlah record yang berhubungan event *i*, *Y* = Percepatan getaran tanah (PGA) dalam satuan (cm/s^2), *M_w* = magnitudo momen *x* = Jarak dari sumber gempa ke lokasi pengamatan (km), *h* = Kedalaman sumber gempa (km) dimana kedalaman 10 – 50 km untuk kejadian *interface* dan 50 – 162 km untuk kejadian *intraslab*, *r* = Jarak hiposenter (km), *F_R* = Parameter *reserve-faulting* hanya digunakan untuk *shallow crustal event*, selain itu nilainya 0, *S_I* = Parameter sumber tektonik digunakan hanya untuk *interface event*, selain itu nilainya 0, *S_S* = Parameter subduksi *slab event* (intraslab event) hanya digunakan untuk sumber tektonik intraslab, selain itu nilainya 0, *S_{SL}* = Magnitude-independent pada *intraslab event* untuk menghitung penjalaran gelombang seismik yang kompleks pada *intraslab event*. *C_k* = Konstanta *site-class* atau variabel yang digunakan berdasarkan nilai *Vs30* sesuai aturan NEHRP pada daerah tersebut, yaitu:

c_H = 0.293 untuk NEHRP *type soil A (Hard Rock)* (*Vs30* > 1100 m/s)

c_I = 1.111 untuk NEHRP *type soil A+B (Rock)* ($600 < Vs30 \leq 1100$ m/s)

c₂ = 1.344 untuk NEHRP *type soil C (Hard Soil)* ($300 < Vs30 \leq 600$ m/s)

c₃ = 1.355 untuk NEHRP *type soil D (Medium Soil)* ($200 < Vs30 \leq 300$ m/s)

c₄ = 1.420 untuk NEHRP *type soil E (Soft Soil)* (*Vs30* ≤ 200 m/s)

h_c = Konstanta yang berhubungan dengan kedalaman. Ketika *h* lebih besar dari *h_c* akan berpengaruh $e(h - h_c)$, *h_c* bernilai 15 km untuk sumber gempa patahan dangkal (menurut Tim Revisi Gempa Indonesia (2010),

δh = Variable dummy sama dengan 0 jika $h \leq h_c$ dan 1 jika $h \geq h_c$. Untuk gempa bumi dengan $h > 125$ km, maka gunakan $h = 125$ km.

η_i = eror intra-event. $a = 1.101$; $b = -0.05064$; $c = 0.0055$; $d = 1.080$; $e = 0.01412$; $F_R = 0.251$; $S_I = 0.000$; $S_S = 2.607$; $S_{SL} = -0.528$.

Percepatan Getaran Tanah Maksimum

Nilai percepatan tanah maximum dapat digunakan untuk menentukan tingkat bahaya kerusakan akibat gempa^[11]. Percepatan dapat dinyatakan dengan *g* (percepatan gravitasi) dalam satuan m/s^2 ($1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$ atau dalam gal dimana 1 gal sama dengan $0,01 \text{ m/s}^2$, $1 g = 981 \text{ gal}$)^[12].

Percepatan getaran tanah (PGA) maksimum merupakan nilai terbesar dari percepatan getaran tanah pada suatu tempat karena gempa bumi dan menjadi sumber kerusakan. Semakin besar percepatan tanah maksimum di suatu tempat dapat memberikan gambaran dampak atau resiko kerusakan yang besar pada daerah tersebut^[13].

Intensitas Gempa Bumi

Intensitas gempa bumi merupakan derajat kerusakan atau tingkat bahaya akibat gempa bumi pada suatu daerah dan dilihat berdasarkan efek akibat getaran gempa. Besarnya intensitas gempa bergantung pada besarnya magitudo, jarak dari sumber gempa, kondisi geologi dan struktur bangunannya. Daerah yang dekat dengan sumber gempa pada umumnya memiliki intensitas yang tinggi dibandingkan dengan daerah yang jauh dari sumber gempa.

Adapun tingkat intensitas gempa bumi dapat dilihat pada tabel 1.

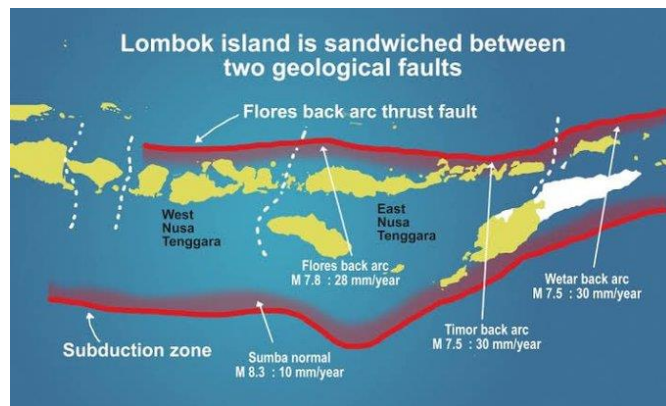
Tabel.1 Konversi Nilai PGA ke Skala Intensitas^[14]

Intensitas	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
PGA (gal)	<1,7	1,7-14	14-39	39-92	92-180	180-340	340-650	650-1240	>1240

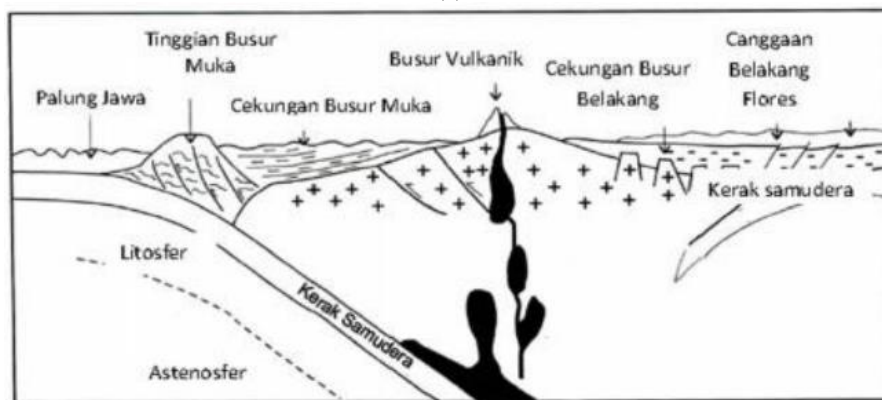
Tatanan Tektonik Nusa Tenggara

Kepulauan Nusa Tenggara atau lebih dikenal dengan kepulauan Sunda kecil merupakan sebuah gugusan pulau yang secara relatif berada di sebelah timur pulau Jawa dan Bali. Sebagian besar batas-batas di kepulauan Nusa Tenggara merupakan lautan atau perairan. Hal ini yang menyebabkan kompleksitas kondisi fisik kepulauan Nusa Tenggara^[15].

Secara tatanan tektonik, rangkaian gunung ini akibat subduksi lempeng Indo-Australia terhadap Busur Banda. Sebagian besar Busur Banda dari kepulauan Nusa Tenggara dibentuk oleh zona subduksi dari lempeng Indo-Australia yang berada tepat di bawah Busur Sunda-Banda selama di atas kurun waktu tersier. Subduksi ini dibentuk di dalam busur vulkanik kepulauan Nusa Tenggara^[16]. Nusa Tenggara menjadi salah satu pulau yang paling aktif kegempaan, yang disebabkan zona subduksi bagian selatan dan back arc trust bagian utara^[17].



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Letak Pulau Nusa tenggara diantara zona subduksi dan back Arc Thrust (b) Satuan Teknonik-Struktural Kepulauan Nusa Tenggara^[18]

METODE

Jenis Data

Wilayah kajian adalah Nusa Tenggara Timur (NTT) dengan luas area koordinat $8^{\circ} 30' - 13^{\circ} 10'$ LS dan $118^{\circ} 30' - 125^{\circ} 30'$ BT mencakup zona subduksi lempeng Indo-Australia dan Eurasia di selatan kepulauan Nusa Tenggara Timur, zona vulkanik dan non vulkanik pada kepulauan Nusa Tenggara Timur dan zona sesar sungkup Bali-Flores (Bali-Flores Back Arc Thrust) di utara kepulauan Nusa Tenggara. Data-data gempa bumi tektonik signifikan merusak yang menjadi input pada kajian ini adalah data-data gempa bumi dangkal pada kedalaman ≤ 60 km dan magnitudo SR yang tercatat pada katalog BMKG dan katalog USGS dari tahun 1997-2018 dan data Vs30.

Teknik Analisis Data

Data-data gempa bumi tektonik signifikan merusak akan dianalisis dengan langkah sebagai berikut, menentukan Peak Ground Acceleration (PGA) di wilayah Nusa Tenggara Tenggara Timur dengan terlebih dahulu menghitung:

- a. Magnitude momen (M_w) pada masing-masing data gempa menggunakan persamaan:

$$\log M_o = 1,5M_s + 16,1 \quad (3)$$

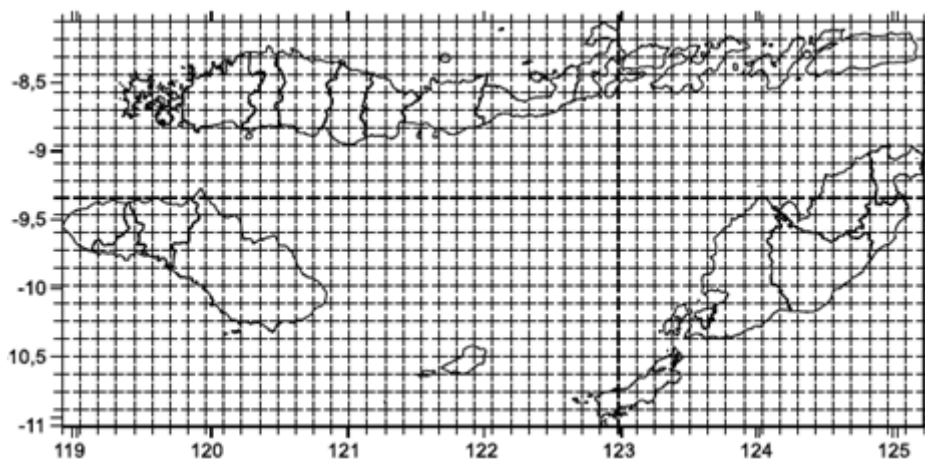
dan

$$M_w = (\log M_o) / 1,5 - 10,73 \quad (4)$$

- b. Menghitung jarak hiposenter ke titik grid stasiun pengamatan dengan menggunakan persamaan (2).
 c. Menghitung harga percepatan getaran tanah atau Peak Ground Acceleration (PGA) pada tiap titik grid pengamatan menggunakan fungsi atenuasi Zhao et.al (2006) seperti ditunjukkan pada persamaan (1).

Pembuatan Peta Kerentanan Bahaya

Untuk memperoleh percepatan getaran tanah atau Peak Ground Acceleration (PGA) pada setiap grid pengamatan maka dalam membuat grid pengamatan akan disesuaikan dengan luas terkecil salah satu kecamatan di wilayah Nusa Tenggara Timur yaitu $14,64 \text{ km} \times 14,64 \text{ km}$ ($0,1318^{\circ} \times 0,1318^{\circ}$). Grid pengamatan yang telah ditetapkan kemudian diolah dengan surfer QGIS 10.4 untuk menghasilkan output berupa desain peta grid pengamatan pada wilayah kepulauan Nusa Tenggara Timur.

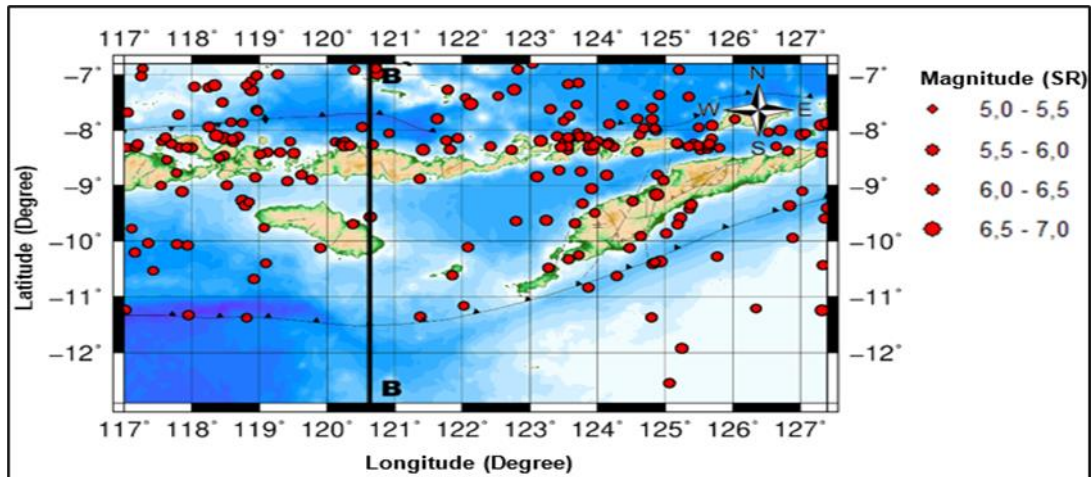


Gambar 2 Grid Pengamatan PGA Wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT) Interpretasi Data

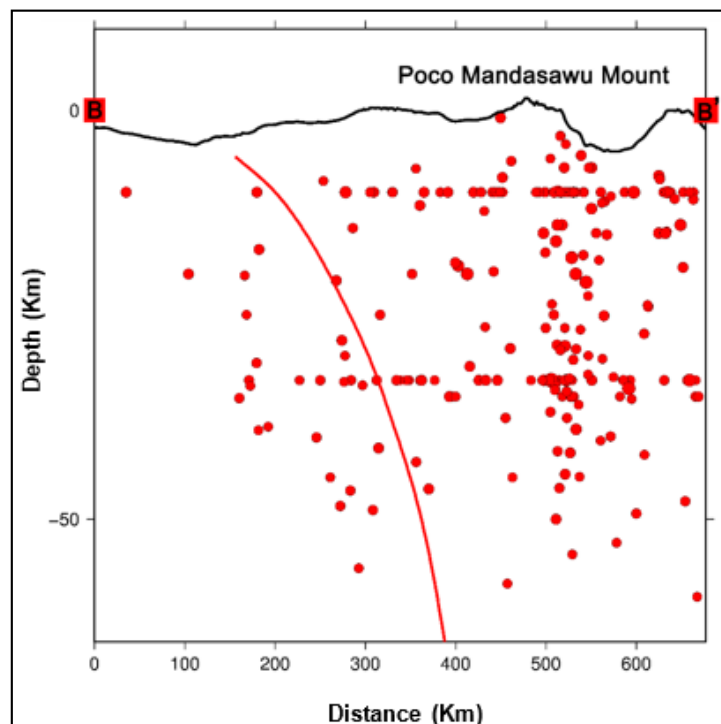
Interpretasi hasil pengolahan data berupa peta tingkat bahaya gempa bumi tektonik signifikan merusak pada wilayah kepulauan Nusa Tenggara Timur (NTT) berdasarkan data historis gempa bumi tektonik signifikan merusak dari tahun 1997- 2018.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data gempa yang kita gunakan berasal data BMKG dan katalog USG sudah langsung terdapat koordinat, kedalaman hiposenter dan magnitudo. Dimana secara keseluruhan distribusi data episenter dan magnetude gempa bumi tektonik signifikan merusak dan sebaran hiposenter di wilayah Nusa Tenggara Timur disajikan pada gambar berikut:



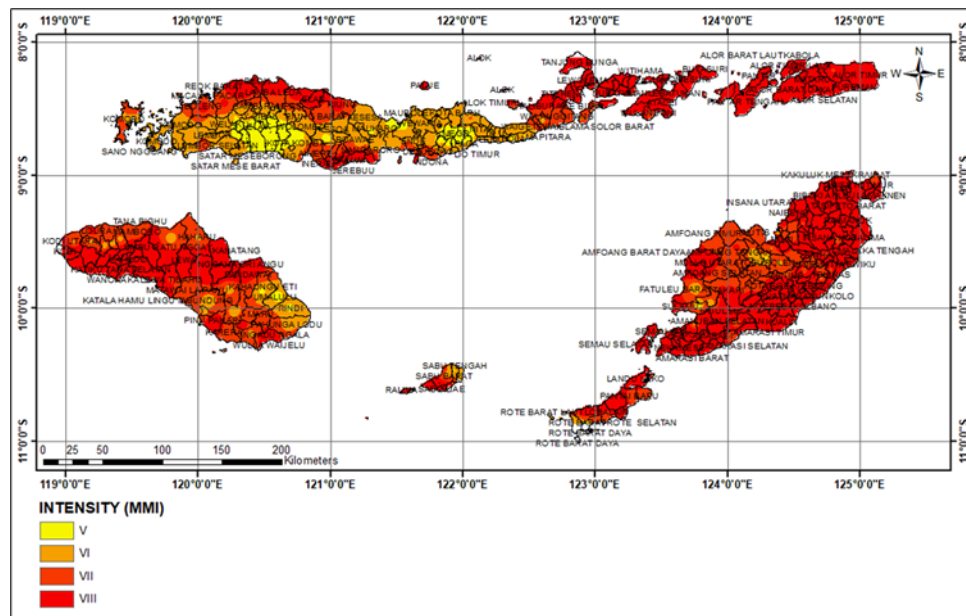
Gambar 3 Sebaran Data Episenter dan Magnetude Gempa Bumi Tektonik Signifikan Merusak di Wilayah Nusa Tenggara Timur Tahun 1997-2018



Gambar 4 Ploting Sebaran Hiposenter Gempa-gempa Tektonik Signifikan Merusak di Wilayah Nusa Tenggara Timur Tahun 1997-2018

Berdasarkan Gambar 3 dan gambar 4 dapat dikatakan bahwa zona Back Arc Thrust di utara kepulauan Nusa Tenggara Timur dan zona subduksi lempeng Indo-Australia dan Eurasia rawan akan kejadian gempa bumi tektonik signifikan merusak dibandingkan dengan zona non vulkanik dan vulkanik pada kepulauan Nusa Tenggara Timur. Hal ini juga sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan Pulau Lombok merupakan daerah rawan gempa karena terletak di antara 2 pembangkit gempa dari selatan dan utara. Dari selatan terdapat zona subduksi lempeng Indo-Australia yang menekuk ke bawah Pulau Lombok, sedangkan dari utara terdapat struktur geologi Sesar Naik Flores (Flores Back Arc Thrusting)^[19]. Akan tetapi, kerentanan bahaya yang ditimbulkan tidak selalu sebanding dengan kerawanan gempa bumi tektonik itu sendiri. Hasil-hasil studi yang dilaporkan oleh pakar dibidang seismologi menunjukkan bahwa kerentanan bahaya tergantung pada parameter gempa bumi itu sendiri. Beberapa parameter yang paling berpengaruh adalah posisi episenter gempa, kedalaman hiposenter gempa, dan magnetude gempa. Makin dekat posisi episenter dan makin dangkal sumber gempa terhadap suatu wilayah maka potensi kerentanan bahaya juga akan semakin besar^[20]. Demikian juga, makin besar magnitude gempa maka potensi kerentanan bahaya yang ditimbulkan juga semakin besar. Hal ini akan berimplikasi bahwa episenter gempa-gempa dangkal yang terjadi di zona non vulkanik dan vulkanik pada kepulauan Nusa Tenggara Timur berpotensi menimbulkan kerentanan bahaya yang lebih besar dan bisa saja berdampak merusak pada wilayah tersebut.

Gambar di bawah ini menunjukkan peta kerentanan bahaya pada wilayah kepulauan Nusa Tenggara Timur berdasarkan data historis gempabumi tektonik signifikan merusak tahun 1997-2018 yang dianalisis dengan menggunakan fungsi atenuasi Zhao et. al (2006):



Gambar 5 Peta Kerentanan Bahaya pada Wilayah Kepulauan Nusa Tenggara Timur Berdasarkan analisis Fungsi Atenuasi Zhao et. al (2006)

Berdasarkan Gambar 5 diperoleh informasi bahwa sebagian besar wilayah kepulauan Nusa Tenggara Timur memiliki nilai intensitas relative besar (VII-VIII MMI). Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah kepulauan Nusa Tenggara Timur rentan akan bahaya gempa bumi tektonik signifikan merusak dan bisa saja berpotensi merusak. Urutan wilayah Nusa Tenggara Timur dengan nilai percepatan getaran tanah (PGA) maksimum tertinggi dan Instensitas gempa yang tertinggi seperti Tabel 2.

Tabel. 2 Urutan Wilayah yang memiliki kerentanan gempa tertinggi di NTT

No	Wilayah	Nilai PGA (Gal)	Intensitas
1	Kecamatan Wanokaka, Pantar, Laenmanen, Naibenu, Wewiku, Alor, Malaka Tengah, Raijua, Maulafa, Ende Selatan, Kupang Timur dll	340,1828-671,6013	VIII MMI
2	Kecamatan Alok Timur, Lewa Tidahu, Botin Leobebe, Alok Timur, Kabola, Wulanggitang, Toianas, Lobalain, dll	180,7643-340,1828	VII MMI
3	Kecamatan Mambo, Golewa Barat, Paberawai, Alok, Cibal Barat, Solar Barat, Cibal, Semau, Alok Timur, Sabu Barat, Kupang Tengah dll	92,3458-180,7643	VI MMI
4	Kecamatan Detukeli, Ruteng, Rana Mese, Ende, Soa, Nita, Mapitara, Fatuleu Barat, Wolowae, Rote Barat, dll.	45,9273-92,3468	V MMI

KESIMPULAN

Kajian gempa bumi tektonik signifikan merusak berdasarkan data historis gempa tahun 1997-2018 pada wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT) yang terletak diantara 2 penyebab gempa bumi yaitu zona subduksi lempeng tektonik di selatan NTT dan zona Back Arc Thrust di utara NTT, menunjukkan bahwa kerentanan bahaya gempa bumi tektonik signifikan merusak di wilayah Nusa Tenggara Timur terklastr pada skala intensitas V-VIII MMI. Sebagian besar wilayah kepulauan ini terklastr pada skala intensitas VII-VIII MMI dan hanya sebagian kecil yang terklastr pada skala intensitas V-VI MMI. Wilayah NTT yang memiliki skala intensitas VII-VIII MMI memiliki kerentanan gempa bumi merusak yang tinggi, sehingga perlu dilakukan sosialisasi mitigasi bencana sejak dini kepada masyarakat akan ancaman gempa bumi dan disarankan informasi ini menjadi acuan dalam melakukan pembangunan didaerah tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih banyak kepada kepala BMKG pandaan beserta stafnya yang telah berkenan memberikan kesempatan bagi kami untuk diskusi terkait hasil penelitian kami.

DAFTAR PUSTAKA

1. Rysnawati, N. M., Sukarasa, I. K., Bagus, I., & Paramarta, A. 2017. *Analisa Tingkat Bahaya Dan Kerentanan Bencana Gempa Bumi Di Wilayah Nusa Tenggara Timur (NTT)*. 32–37.
2. Taruna, MR dan Banyunegoro HV 2018. Earthquake Relocation Using Double Difference Method for 2D Modelling of Subducting Slab and Back Arc Thrust in West Nusa Tenggara. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. 8(2), 132-143.
3. Widiyantoro S and Fauzi. 2005. Note on Seismicity of the Bali Convergent Region in the Eastern Sunda Arc– Indonesia. *Australian Journal of Earth Sciences*, 52(3), 379-383.
4. Nugraha AD, Kusnandar R, Puspito N, Sakti A, and Yudistira T. 2015. Preliminary results of local earthquake tomography around Bali, Lombok, and Sumbawa regions. *AIP Conference Proceeding*, 165, 030019.
5. Supartoyo, Surono, & Putranto, E. T. 2014. *Katalog Gempabumi Merusak Di Indonesia Tahun 1612 – 2014* (5th ed., Issue 57).
6. Rysnawati, N., Sukarasa, I., & Alit Paramarta, I. 2017. Analisa tingkat bahaya dan kerentanan bencana gempa bumi di wilayah nusa tenggara timur (NTT). *BULETIN FISIKA*, 18(1), 32-37
7. Tim Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Tahun 2017* (M. Irsyam, S. Widiyantoro, D. H. Natawidjaja, I. Meilano, A. Rudyanto, S. Hidayanti, W. Triyoso, N. R. Hanifa, D. Djarwadi, & Sunarjito (eds.); 1st ed.).

8. Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Pustaka Belajar.
9. Zhao, J. X., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., Takahashi, T., ... & Fukushima, Y. 2006. Attenuation relations of strong ground motion in Japan using site classification based on predominant period. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 898-913.
10. Syofyan, M. R., & Edial, H. 2019. Estimasi Percepatan Tanah Maksimum Dan Intensitas Gempa Di Kota Padang Berdasarkan Skenario Gempabumi Di Megathrust Mentawai Menggunakan Metode Deterministik. *JURNAL BUANA*, 3(1), 154-167.
11. Prabowo, U. N., & Amalia, A. F. 2018. Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Untuk Memetakan Resiko Bencana Gempa Bumi Di Kab Pemalang, Jawa Tengah. *Jurnal Science Tech*, 4(2), 80–83.
12. Irwansyah, E., & Winarko, E. 2012. Zonasi Daerah Bahaya Kegempaan Dengan Pendekatan Peak Ground Acceleration (PGA). *Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF)*, 1(5).
13. Edziwa, D. 2008. Analisis Terhadap Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar. *Jurnal Geofisika*, 1(29).
14. Rahman, Y., Kamus, Z., & Billyanto, R. 2015. Analisis Sistem Instrumen Intensity Meter P-Alert Dan Data Hasil Pengukurannya. *Pillar of Physics*, 5, 73–80.
15. Yudi, A., Santoso, E., Kaluku, A., Dawwam, F., Sakti, A. P., Pramono, S., & Permana, D. 2018. Ulasan Guncangan Tanag Akibat Gempa Lombok Timur 05 Agustus 2018. *Bidang Seismologi Teknik*.
16. Hidayati, N., Trisnawati, Sativa, O., Wallansha, R., Sakti, A. P., Pramono, S., & Permana, D. 2018. Ulasan Guncangan Tanah Akibat Gempa Lombok Timur 29 Juli 2018. *Bidang Seismologi Teknik*.
17. Agustawijaya, D. S., Sulistiyono, H., & Elhuda, I. 2018. Determination of the seismicity and peak ground acceleration for Lombok island: an evaluation on tectonic setting. In *MATEC Web of Conferences* , 195, 03018.
18. Rangin, C., & Silver, E. vo. B. 1990. Geological Setting Of The Celebes And Sulu Seas. *Proceedings of The Ocean Drilling Program Initial Reports*, 124.
19. Budianto, M. B., Yasa, I. W., Setiawan, E., Widianty, D., & Yuniarti, R. 2021. Sosialisasi Bersahabat Dengan Bencana Alam Gempa Bumi Dan Tsunami Di Desa Pemenang Barat Kecamatan Pemenang Kabupaten Lombok Utara. *Jurnal Bakti Nusa*, 2(1), 15-22.
20. Habibi, Ahmad ilham dan supardiyono.(2016). Relokasi Hiposenter Gempabumi Jawa Barat dan Sekitarnya Menggunakan Metode MJHD. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, 5(3), 23 – 27.