# ANALISIS RESIKO GEMPA BUMI WILAYAH LENGAN UTARA SULAWESI MENGGUNAKAN DATA HIPOSENTER RESOLUSI TINGGI SEBAGAI UPAYA MITIGASI BENCANA

## Guntur Pasau<sup>1\*)</sup>, Adey Tanauma<sup>2</sup>

## 1,2)Jurusan Fisika FMIPA UNSRAT, Kampus UNSRAT, Manado 95115

#### \*) Email: pasaujunior@gmail.com

#### Abstrak

Lengan utara Sulawesi adalah salah satu bagian wilayah Indonesia yang mempuyai tingkat seimisitas sangat tinggi. Sumber gempa di wilayah ini berasal dari aktivitas beberapa lempeng tektonik seperti lempeng Indo-Australia, lempeng laut Filipina, subduksi Sulawesi Utara, tumbukan ganda laut Maluku di tambah dengan beberapa sesar-sesar aktiv lainnya. Untuk mengantisipasi bencana gempabumi di masa yang akan datang kita perlu melakukan antisipasi atau mitigasi yang bersifat preventif, salah satunya adalah dengan cara memodelkan sumber-sumber gempa bumi. Analisis resiko gempa dengan menggunakan metode probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) merupakan suatu metode yang digunakan dalam analisis bahaya resiko kegempaan. Metode ini berdasarkan pada definisi fungsi distribusi probabilitas yang memperhitungkan dan menggabungkan ketidakpastian dari skala kejadian gempa, lokasi, dan frekuensi kejadiannya untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh mengenai tingkat resiko suatu lokasi yang ditinjau dalam hal ini lengan utara Pulau Sulawesi. Data yang digunakan adalah data dengan kualitas terbaik yakni data hipocenter resolusi tinggi. Hasil analisis probabilistik seismik hazard menunjukkan bahwa percepatan puncak di batuan dasar lengan utara Sulawesi pada periode ulang 500 tahun berkisar 0,05-1,4g. Kurva hazard menunjukkan bahwa sumber gempa yang sangat berpengaruh di adalah sumber gempa sesar.

Kata kunci : bencana, gempabumi, mitigasi, preventif, analisis bahaya kegempaan.

#### Abstract

North arm of Sulawesi is one part of Indonesia that seismic activity very high level. Earthquake sources in this region comes from the activity of several tectonic plates such as the Indo-Australian plate, the Philippine sea plate, North Sulawesi subduction, double subduction in Mollucas sea added with some other active faults. In anticipation of the earthquake disaster in the future we need to anticipate or mitigate preventive, one of which is by way of modeling the sources of earthquake. The one of methods which is used to analyze the risk of seismic hazard is using probabilistic seismic hazard analysis (PSHA). This method are based on probability distribution function of uncertainty of the earthquake scale, location, and frequency of occurrence to get a comprehensive insight of the level of hazard risk in north arm of Sulawesi Island. In this research, we used high resolution of seismic hypocenter data around north arm of Sulawesi. Probabilistic seismic hazard analysis indicates that the peak ground acceleration in the bedrock north arm of Sulawesi for return period of 500 years approximately 0,05-1,4g.The hazard curves show that the predominant source of earthquake comes from fault zone.

Keywords: disaster, earthquake, mitigate, preventive, analyze, hazard,

## 1. Pendahuluan

Pulau Sulawesi yang oleh beberapa ahli kebumian memperkirakan terletak pada titik pertemuan tiga lempeng utama dunia yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Australia yang bergerak saling menumbuk (*convergen*). Zona ini membentuk sebuah pola batas-batas lempeng yang sangat kompleks, zona-zona tumbukan, subduksi yang aktif, daerah-daerah gunung Neogene dan zona-zona *strike-slip* [7]. Wilayah lengan utara Sulawesi merupakan salah satu wilayah yang mempunyai tingkat seismisitas yang sangat tinggi jika dibandingkan dengan wilayahwilayah lainnya di Pulau Sulawesi. Gempa terbesar terakhir di lengan utara ini terjadi pada tahun 1996 dengan magnitudo M7,9 [4]. Sumber gempa diwilayah ini berasal dari beberapa penunjaman seperti subduksi Sulawesi Utara (*Minahasa Trench*), tumbukan ganda laut Maluku, penunjaman lempeng laut Filipina, dan beberapa sesar aktif di daratan lengan utara Sulawesi. Oleh karena itu maka wilayah ini sangat rawan terhadap bencana gempa-gempa tektonik [8].

Untuk meminimalisasi dampak bencana gempa seperti tersebut diatas tentunya upaya mitigasi perlu dilakukan secara dini dan optimal. Usaha mitigasi bencana gempa bumi mencakup segala persiapan supaya apabila bencana gempa bumi terjadi di suatu wilayah maka korban dan efek kerusakan yang terjadi dapat dikurangi sekecil mungkin. Agar usaha ini berhasil dengan baik diperlukan pengetahuan yang sebaik-baiknya tentang potensi dan karakteristik sumber-sumber gempa bumi di wilayah tersebut. Kemudian berdasarkan pengetahuan ini dapat dibuat prediksi dan skenario-skenario dari potensi bahaya dan risikonya.

Salah satu upaya mitigasi yang perlu dilakukan adalah dengan membuat suatu peta resiko bencana gempa bumi yakni berupa peta percepatan puncak dari gerakan tanah akibat goncangan gempa bumi (*peak ground acceleration*). Suatu peta resiko kegempaan yang menggambarkan efek gempa bumi pada suatu lokasi sangat membantu dalam rangka antisipasi dan minimalisasi korban jiwa maupun kerugian materi.



Gambar 1. Kondisi Tektonik dan Gunung api Sekitar Laut Maluku dan Sekitarnya [2]

#### 1.1 Analisis Seismik

Metode yang sering digunakan dalam analisis seismik hazard adalah metode probabilistik. Metode Probabilitas Total yang dikembangkan McGuire (1976) berdasarkan konsep probabilitas dari Cornell (1968). Teori ini menggunakan asumsi bahwa suatu kejadian gempa dengan magnitude, M dan jarak hiposenter, R sebagai variabel acak indenpenden yang kontinu [5]. Teori probabilitas total dapat dinyatakan dalam formula dasar sebagai berikut,

(1)

$$P[I \ge t] = 0$$

$$\iint_{r \in M} P[I \ge i]m \, dan \, r]f_M(m)f_R(r) \, dm \, dr$$

dimana :

fм	:	fungsi distribusi dari magnitudo
$f_R$	:	fungsi distribusi dari jarak hiposenter

 $P[I \ge i \mid m \operatorname{dan} r]$ : probabilitas bersyarat dari intensitas *I* yang melampaui nilai i pada suatu lokasi yang ditinjau untuk kejadian gempa dengan magnitudo *M* dan jarak hiposenter *R*.

## 1.2 Resiko Gempa

Resiko gempa adalah kemungkinan terlampauinya (*probability of exceedance*) suatu gempa dengan intensitas tertentu selama suatu masa guna bangunan. Resiko gempa ini dapat dinyatakan dalam bentuk.

$$R_n = 1 - (1 - R_a)^N$$
(2)  
dimana :  
Rn = resiko gempa

Ra = resiko tahunan = 1/T

N = masa guna bangunan T = perioda ulang gempa

Saat ini, peraturan bangunan internasional terbaru untuk bangunan tahan gempa menggunakan peta hazard kegempaan dengan resiko terlampaui sebesar 10% dan 2 % selama masa guna bangunan 50 tahun (10% and 2% *probability of exceedance in 50 years*) atau periode ulang gempa 475 tahun dan 2475 tahun [6]

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data-data gempa yang pernah terjadi di wilayah lengan utara Sulawesi dan sekitarnya. Data yang dikumpulkan dari beberapa sumber katalog NEIC-USGS, ANSS, dan Engdahl Van der Hilst and Bulland (EHB) selama periode pengamatan dari tahun 1963-2015.

Dari data-data yang diperoleh dari katalog NEIC-USGS dan ANSS kemudian diverifikasi dengan data dari EHB yakni data yang sudah direlokasi. Data gempa yang sudah direlokasi adalah data-data yang mempunyai deviasi kecil atau sudah mendekati dan berada pada titik hipocenter sebenarnya. Bila ada data yang bergeser sejauh 25 km maka datanya dianggap tidak masuk akal dan dihilangkan dari katalog[1]. Jika pada katalog EHB tidak terdapat data gempa dari katalog USGS-NEIC dan ANSS maka datanya digantikan dengan data dari USGS-NEIC dan ANSS. Skala magnitudo minimum yang digunakan adalah  $M_{\rm w} \ge 5$  dengan kedalaman maksimum sebesar 300km hal ini disebabkan gempa-gempa dengan kedalaman lebih besar dari 300 km diasumsikan tidak menimbulkan efek merusak di permukaan. Selanjutnya adalah melakukan sortir gempa yang merupakan proses pemisahan antara gempa utama (mainshock) dari gempa-gempa rintisan (foreshock) dan gempa-gempa susulan (aftershock) dengan menggunakan kriteria rentang waktu dan rentang jarak. Proses pemisahan gempa utama dari gempagempa rintisan dan susulan ini menggunakan metode kriteria empiris yang diusulkan oleh Gardner dan Knopoff [9]



Gambar 1. Peta Seismicitas Lengan Utara Sulawesi (USGS, 1963-2015)

Prosedur penelitian selanjutnya yakni mengidentifikasi sumber gempa meliputi lokasi, dimensi, jenis mekanisme gempa, dan tingkat aktivitas gempa. Pemodelan sumber gempa dalam penelitian ini adalah pemodelan tiga dimensi menggunakan bantuan *software* PSHA USGS [3] berdasarkan data *plotting* kejadian gempa. Ada tiga model sumber gempa yang digunakan dalam studi ini yaitu sumber gempa sesar, sumber gempa subduksi (*megathrust*), dan sumber gempa *background* 

## 3. Hasil dan Pembahasan

Analisa probabilistic seismic hazard dengan menggunakan bantuan software USGS PSHA [8] jarak spasi site adalah  $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$  (latitude, longitude). Daerah penelitian dari  $119^{\circ}BT - 127^{\circ}BT$  dan  $0.5^{\circ}LS 4^{\circ}LU$ . Analisa meliputi probabilitas terlampaui 10 % dalam 50 tahun pada kondisi peak ground acceleration (PGA) atau pada periode T=0.0 detik. Hasil analisa hazard berupa peta percepatan puncak di batuan dasar lengan utara Sulawesi untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun ditampilkan seperti disajikan pada Gambar. 2 berikut:



Gambar 2. Peta percepatan puncak di batuan dasar Lengan Utara Sulawesi pada probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun

Dari hasil perhitungan analisis seismik *hazard* diperoleh nilai percepatan gempa pada wilayah lengan utara Sulawesi berkisar antara 0.05-1.4g. Wilayah yang mempunyai tingkat percepatan yang cukup besar adalah wilayah sekitar Propinsi Gorontalo dan beberapa wilayah lainnya yang terletak di sebelah

barat Propinsi Gorontalo yang memiliki nilai sekitar 0.4g. Nilai tersebut sebagai akibat dari aktivitas subduksi Sulawesi utara dan sesar Gorontalo. Wilayah yang lain yang cukup signifikan adalah Wilayah Kota Bitung yakni sebsar 0.3g sebagai akibat dari tumbukan ganda laut Maluku. Sementara Manado memiliki memiliki nilai percepatan gempa sekitar 0,24g.

Hasil analisis probabilitas seismik *hazard* untuk beberapa kota yang terletak di lengan utara Sulawesi juga disajikan dalam bentuk kurva *hazard*. Hal dilakukan untuk mengetahui kontribusi masingmasing sumber gempa yang sangat signifikan dapat terjadi dan sangat rentan terhadap suatu *site* yang ditinjau. Hasil analisis kurva *hazard* adalah merupakan hubungan antara laju kejadian pertahun (*annual rate of exceedance*) terhadap besar *hazard* (percepatan gerakan tanah) yang terjadi.

Pada Gambar 3 dibawah menunjukkan bahwa sumber gempa yang mempunyai laju kejadian pertahun (*annual rate of exceedance*) terbesar di kota Manado adalah sumber gempa *deep background*. Gempa-gempa yang terjadi pada zona *benioff* ini mempunyai kedalaman 50-300 km, sebagai akibat dari aktifitas tumbukan Laut Maluku yang mengarah ke sebelah barat. Sementara *hazard* yang paling besar dihasilkan berasal dari aktifitas *West* Sangihe *thrust* dan *megathrust* Sulawesi Utara yang lebih dekat ke Kota Manado. Gempa-gempa tersebut terjadi di kedalaman kurang dari 50 km atau gempa-gempa dangkal.

Sementara di Kota Bitung laju kejadian pertahun (annual rate of exceedance) adalah sumber gempa deep background dan shallow background. Hal yang menarik hari Kurva hazard (Gambar. 4) yang dhasilkan di Kota Bitung ini dimana nilai dari annual rate of axceedance sumber gempa shallow background cukup tinggi sehingga diduga masih ada sumber gempa lain yang belum terdeteksi.



Gambar 3. Kurva hazard kondisi PGA di batuan dasar Kota Manado



Gambar 4. Kurva hazard kondisi PGA di batuan dasar Kota Bitung

Kurva hazard di batuan dasar Kota Gorontalo seperti yang ditampilkan pada Gambar 5 di bawah. Dari gambar menunjukkan bahwa sumber gempa yang mempunyai laju kejadian pertahun terbesar adalah sumber gempa deep background. Gempagempa yang terjadi pada zona benioff ini mempunyai kedalaman 50-300 km atau dengan kata lain gempagempa yang terjadi sebagai akibat dari hasil penunjaman Subduksi Sulawesi Utara. Sementara percepatan gempa (hazard) yang paling dominan berasal dari aktifitas Sesar Gorontalo yang melewatit kota Gorontalo dan memberikan kontribusi yang cukup signifikan sehingga sangat berpengaruh terhadap Kota Gorontalo. Sumber gempa lain yang cukup berpengaruh di Kota Gorontalo adalah aktifitas dari Subduksi Sulawesi Utara atau zona megathrust yang berada pada kedalaman dangkal 0-50km



Gambar 5. Kurva hazard kondisi PGA di batuan dasar Kota Gorontalo



Gambar 6. Kurva hazard kondisi PGA di batuan dasar Kota Tolitoli

Dari Gambar 6 diatas menunjukkan bahwa sumber gempa yang mempunyai laju kejadian pertahun (annual rate of exceedance) terbesar di kota Tolitoli adalah sumber gempa deep background. Gempagempa yang terjadi pada zona benioff ini mempunyai kedalaman 50-300 km, sebagai akibat dari aktifitas subduksi Sulawesi Utara. Sementara hazard yang paling besar dihasilkan juga berasal dari aktifitas megathrust Sulawesi Utara

## 4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan analisis *hazard* didapatkan nilai percepatan gempa di batuan dasar lengan utara Sulawesi pada kondisi *peak ground acceleration* (PGA) untuk probabilitas terlampui 10% dalam 50 tahun berkisar antara 0,05g sampai 1,4g. Dari kurva hazard yang dihasilkan untuk beberapa kota yang terletak di wilayah lengan utara menunjukkan bahwa laju kejadian pertahun umumnya didominasi oleh gempa-gempa dalam. Sedangkan sumber gempa yang memberikan *hazard* paling besar adalah sumber gempa sesar.

## Ucapan Terimakasih

Terima kasih disampaiakan kepada SIMLIBTAMAS DIKTI yang sudah memberikan dukungan dana dalam membiayai penelitian ini pada tahun anggaran 2015. Terima kasih juga disampaikan kepada UNJ selaku panitia SNF 2015 yang sudah mempublikasikan penelitian ini dalam bentuk prosiding.

#### **Daftar Acuan**

 E.R. Engdahl, R.D. van der Hilst, and R.Buland, Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures for depth determination, J. Bulletin of the Seismological Society of America , 88 (1998), p.722-743.

- [2] F.Hinschberger, J.A. Malod, J. Dyment, C. Honthaas, J.P. Rehault, and S. Burhanuddin, Magnetic lineation constraints for the back-arc opening of the Late Neogene South Banda Basin (Eastern Indonesia), J. Tectonophysics, 333 (2001), p.47–59.
- [3] J.K. Gardner, and Knopoff, L, Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftersocks removed, Poissonian, J. Bulletin of the Seimological Society of America, 64 (1974), p.1363-1367
- [4] Kertapati, E.K., Aktivitas Gempabumi di Indonesia. Pusat Survei Geologi, Bandung(2006), p.64-67
- [5] M. Irsyam, M. Asrurifak, Hendriyawan, B.Budiono, W.Tryoso, B. Hutapea, Usulan Revisi Peta Seismic Hazard Indonesia Dengan

Menggunakan Metode Probabilitas Dan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi, PIT XII HATTI, Bandung (2008), p.1-13.

- [6] M. Irsyam, M.Asrurifak, Hendriyawan, Budiono, B. W. Tryoso, and A. Firmanti, : Development of spectral hazard maps for a proposed revision of the Indonesian Seismic Building Code, J. Geomechanics and Geoengineering, An International Journal, 5 (2010), 35–47.
- [7] R. Hall, and M.E.J, Wilson, Neogene Sutures in Eastern Indonesia, J. Journal of Asian Earth Sciences, 18 (2000), p.781–808.
- [8] S. Harmsen. USGS Software For Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA), United States of Geological Surveys (USGS). (2007)
- [9] S.Wiemar, A software package to analyze seismicity: ZMAP, Seismological Research Letters, **72** (2001), p.373-382.