



Prosiding

SEMINAR NASIONAL *BASIC SCIENCE VI*

*Sains Membangun Karakter dan Berpikir Kritis
Untuk Kesejahteraan Masyarakat*

Ambon, 07 Mei 2014

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON**

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Cetakan I, Agustus 2014

Diterbitkan oleh: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura

ISBN: 978-602-97552-1-2

Deskripsi halaman sampul : Gambar yang ada pada cover adalah kumpulan benda-benda langit dengan berbagai fenomena

MITIGASI BENCANA GEMPA BUMI BERDASARKAN PEMODELAN SUMBER GEMPA DI WILAYAH MALUKU UTARA

Rohima Wahyu Ningrum

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Khairun

ABSTRAK

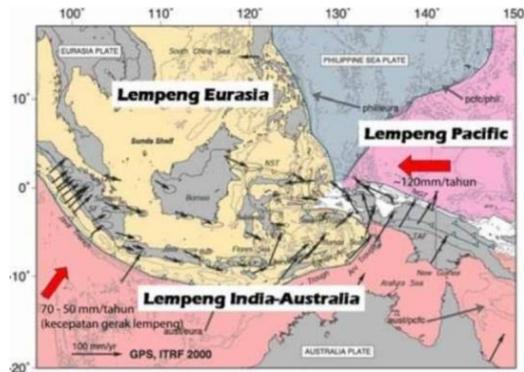
Maluku utara selain dibentuk oleh tiga lempeng tektonik utama, juga dibentuk oleh beberapa lempeng kecil seperti Sangihe, Maluku dan Halmahera yang menciptakan jalur-jalur subduksi dan sesar aktif. Studi mengenai bahaya gempa tektonik sudah banyak dilakukan, namun khusus Maluku Utara masih perlu dilakukan penelitian lanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan peta resiko bencana gempa bumi yang dijadikan indikator tingkat kerawanan bencana gempa, diharapkan bisa digunakan Pemerintah untuk bisa melakukan upaya mitigasi dengan sistem tanggap darurat terhadap bencana gempa bumi. Dan diharapkan hasil peta resiko bencana gempa bumi digunakan sebagai usulan untuk perencanaan struktur bangunan tahan gempa pada daerah Maluku Utara. Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh bahwa untuk sumber gempa *fault* diperoleh interval nilai percepatan tanah maksimum dengan periode ulang 500 tahun, yaitu berkisar 0.002 g – 0.04 g. Nilai ini yang sangat signifikan dengan daerah yang dekat dengan sumber gempa *fault*. Untuk sumber gempa subduksi diperoleh interval nilai percepatan tanah maksimum dengan periode ulang 500 tahun, yaitu berkisar 0.6 g – 2.0 g. Nilai yang cukup signifikan pada daerah-daerah yang dekat dengan sumber tersebut hingga jarak yang cukup jauh sekalipun, lain halnya dengan model akibat sumber gempa *fault*. Dan untuk sumber gempa *background* diperoleh interval nilai percepatan maksimum dengan periode ulang 500 tahun dengan nilai yaitu, berkisar 0.20 g – 4.0 g. Model sumber gempa yang sudah diketahui dengan jelas model seismotektoniknya akan terlihat nilai *hazard* yang dominan disekitar sumber gempa. Daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi berdasarkan parameter dari 3 sumber gempa, yaitu dari sumber gempa *fault* (Halmahera Selatan), dari sumber gempa subduksi (Morotai sampai Filipina), dan dari sumber gempa *background* (maluku Utara keseluruhan).

Kata kunci: mitigasi, gempa bumi, Maluku Utara

PENDAHULUAN

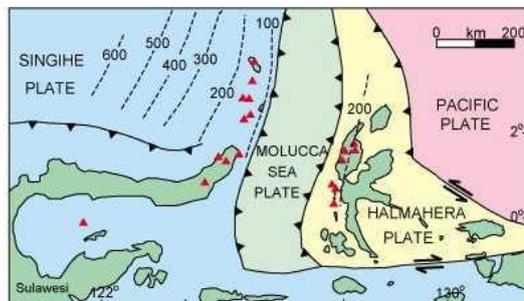
Latar Belakang dan Masalah

Indonesia merupakan negara yang memiliki karakteristik daerah yang sangat menarik dilihat dari tatanan tektoniknya. Hal ini karena adanya interaksi 3 lempeng tektonik utama (*Mega Triple Junction*) (Gambar 1), yaitu lempeng Hindia-Australia, Eurasia dan Pasifik. Hal inilah yang menyebabkan Indonesia memiliki aktivitas seismik yang sangat tinggi (sering terjadi gempa bumi). Gempa bumi yang terjadi memiliki resiko bencana yang dikategorikan sedang sampai tinggi dilihat dari sejarah terjadinya gempabumi, apalagi daerah tersebut berada di pertemuan lempeng tektonik.



Gambar 1. Peta tektonik aktif Indonesia(Bockdckk, 2003).

Maluku utara selain dibentuk oleh tiga lempeng tektonik utama, juga dibentuk oleh beberapa lempeng kecil seperti Sangihe, Maluku dan Halmahera yang menciptakan jalur-jalur subduksi dan sesar aktif (Gambar 2).



Gambar 2. Konfigurasi lempeng tektonik dan penyebaran gunungapi di daerah Halmahera – Sulawesi Utara (Hamilton, 1979).

Studi mengenai bahaya gempa tektonik sudah banyak dilakukan, namun khusus daerah Indonesia bagian Timur khususnya Maluku Utara masih perlu dilakukan penelitian lanjutan. Inilah upaya yang dilakukan untuk bisa meminimalisir bencana gempa bumi yang akan dapat menimbulkan efek bencana yang sangat besar, baik segi material bahkan korban jiwa. Amanat Undang-undang Dasar 1945 (amandemen ke 2) Pasal 28G, ayat 1: *"Setiap orang berhak atas perlindungan diri pribadi, keluarga, kehormatan, martabat, dan harta benda yang dibawah kekuasaannya, serta berhak rasa aman dan perlindungan dari ancaman ketakutan untuk berbuat sesuatu atau tidak berbuat sesuatu yang merupakan hak asasi"*. Dapat ditafsirkan bahwa, yang dimaksud dengan perlindungan serta ancaman ketakutan antara lain terhadap bencana kebumihan (Badan Geologi, 2006).

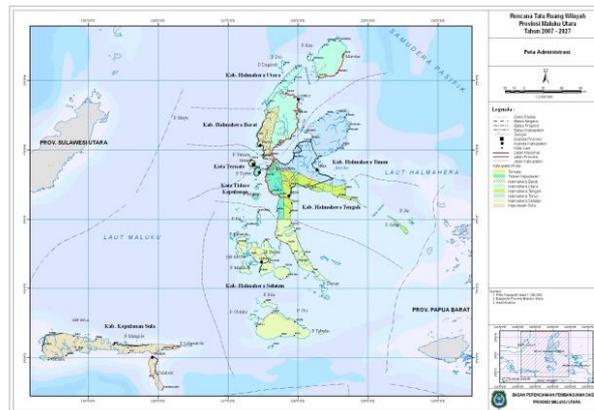
Tujuan

Menghasilkan peta resiko bencana gempa bumi yang dijadikan indikator tingkat kerawanan bencana gempa, diharapkan bisa digunakan Pemerintah untuk bisa melakukan upaya mitigasi dengan sistem tanggap darurat terhadap bencana gempabumi.

1. Digunakan sebagai usulan untuk perencanaan struktur bangunan tahan gempa pada daerah Maluku Utara.

METODOLOGI PENELITIAN

Input data yang dibutuhkan adalah data kegempaan dan parameter dari sumber gempa yang meliputi: geometri dan geomorfologi lempeng tektonik sumber gempa sesar dan subduksi, magnitudo maksimum, *slip-rate*, parameter *a-b*, katalog gempa, kondisi tanah, dan persamaan prediksi gerakan tanah (atenuasi). Data-data gempadikumpulkan dari berbagai katalog gempa yaitu: (NEIC-USGS), *International Seismological Summeries* (ISS), *Internasional Seismological Center* (ISC), *Preliminary Determination of Epicenter* (PDE), *The Advanced National Seismic System* (ANSS) *composite catalog from world-wide earthquake catalog*, dan Katalog Centennial dimana gempa-gempa menengah sampai besar telah direlokasi dan dikoreksi.



Gambar 5. Peta lokasi studi penelitian (Bappeda, 2007)

Data tersebut meliputi area dengan Longitude: $124^{\circ}\text{BT} - 129^{\circ}\text{BT}$ dan Latitude: $5^{\circ}\text{LU} - 9^{\circ}\text{LS}$ dengan perioda tahun 1900 sampai tahun 2010, sedangkan untuk analisa *annual rate* digunakan data dari tahun 1964 sampai tahun 2009. Dan nilai magnitudo $\geq 5 \text{ Mw}$ dan kedalaman maksimum berkisar $0 - 300 \text{ km}$.

Pengolahan Data Gempa

Konversi Skala Magnitudo

Analisis konversi dibuat disebabkan data informasi untuk pembuatan persamaan konversi tersebut tidak dimiliki oleh para peneliti. Diperoleh rumusan empiris korelasi konversi magnitudo untuk wilayah Indonesia yang telah dipublikasikan oleh Irsyam dkk, (2008) dan Asrurifak dkk, (2009) seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Korelasi konversi antara beberapa skala magnitudo untuk wilayah Indonesia

| Korelasi konversi | Jumlah Data (Events) | Range Data | Kesesuaian (R^2) |
|---|----------------------|-------------------------|----------------------|
| $M_W = 0.143 M_S^2 - 1.051 M_S + 7.285$ | 3.173 | $4.5 \leq M_S \leq 8.6$ | 93.9 % |
| $M_W = 0.114 m_b^2 - 0.556 m_b + 5.560$ | 978 | $4.9 \leq M_S \leq 8.2$ | 72.0 % |
| $M_W = 0.787 M_E^2 + 1.537$ | 154 | $5.2 \leq M_S \leq 7.3$ | 71.2 % |
| $M_b = 0.125 M_L^2 - 0.389x + 3.513(*)$ | 722 | $3.0 \leq M_S \leq 6.2$ | 56.1 % |
| $M_L = 0.717 M_D + 1.003$ | 384 | $3 \leq M_S \leq 5.8$ | 29.1 % |
| (*) x = data | | | |

Analisis Kejadian Gempa Independen

Data yang sudah dikonversikan dalam magnitudonya, selanjutnya data gempa tersebut di *shorting* untuk menghilangkan gempa-gempa susulan (*foreshock* dan *aftershock*) dengan menggunakan program *Z-map* melalui pendekatan dari Garner dan Knopoff (1974), kemudian akhirnya hanya tertinggal gempa-gempa utama atau gempa yang independen (*mainshock*) untuk Maluku Utara.

Analisa Sumber Gempa

Langkah dasar dalam mengkararakteristik sumber gempa adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi sumber gempa,
2. Geometri sumber gempa, berupa arah *strike*, sudut *dip*, dan kedalaman maksimum.
3. Menentukan mekanisme dari magnitudo maksimum dari setiap sumber gempa (zona sumber gempa),
4. Fungsi atenuasi yang digunakan untuk tiap-tiap model adalah fungsi atenuasi yang dianggap sesuai dengan karakteristik kegempaan dan model sumber gempa wilayah penelitian.

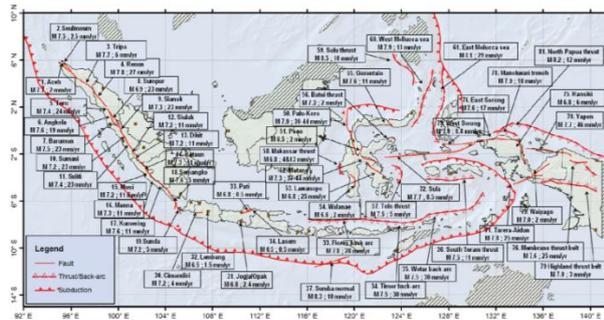
Analisa dilakukan dengan menggunakan bantuan software USGS-PSHA 2007 dan pemetaannya dilakukan dengan menggunakan bantuan software Surfer 9.

Model Sumber Gempa *Fault*

Zona *fault* merupakan zona kejadian gempa *fault* dangkal (*Shallow Crustal Fault*) dengan mekanisme *strike-slip*, *reverse*, atau normal yang terjadi pada patahan-patahan yang sudah terdefinisi dengan jelas, termasuk soal mekanisme, *slip rate*, *dip*, panjang patahan dan lokasinya. Sumber gempa patahan dangkal dimodelkan hingga kedalaman 15 km. Hasil untuk data dan parameter sumber gempa *fault* meliputi nama, lokasi, nilai *slip-rate* dan maksimum magnitudo desain yang digunakan untuk PSHA. dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 6.

Tabel 2. Data dan parameter sumber gempa *fault* untuk daerah penelitian dan sekitarnya yang mendukung seperti Jawa, Sulawesi, dan Papua (Irsyam dkk, 2010)

| Fault | | Slip-rate | | Sense Mechanism | Dip | Top | Bottom | L (km) | Mmax (history) | Width |
|-------|--------------|-----------|--------|-----------------|-----|-----|--------|--------|----------------|-------|
| ID | Name | mm/yr | Weight | | | | | | | |
| 71 | Tarera Aidun | 20 | 1 | Strike-slip | 90 | 3 | 18 | 102.2 | 7.30 | 15.00 |
| 72 | Sula | 8.5 | 1 | Strike-slip | 90 | 3 | 18 | 753.6 | 7.70 | 15.00 |
| 73 | West Sorong | 8.5 | 1 | Strike-slip | 90 | 3 | 18 | 292.5 | 7.90 | 15.00 |
| 74 | East Sorong | 17 | 1 | Strike-slip | 90 | 3 | 18 | 420.7 | 7.60 | 15.00 |

Gambar 6. Magnitudo maksimum dan *slip-rate* dari sumber-sumber gempa (Irsyam dkk, 2010)

Model Sumber Gempa Subduksi

Dalam penelitian ini, sumber gempa subduksi yang dimaksud adalah sumber gempa *megathrust*, yakni sumber gempa subduksi dari permukaan hingga kedalaman 50 km. Untuk sumber subduksi dengan kedalaman lebih dari 50 km (*zona benioff*) akan dimodelkan sebagai sumber *deep background*.

Perhitungan *b-value* untuk sumber gempa sub duksi dilakukan dengancara mengambil data-data gempa historis yang ada di daerah *megathrust* tersebut, kemudian dilakukan analisis statistik dengan model *maximum likelihood* (Aki, 1965). Tim teknis revisi peta gempa Indonesia oleh Irsyam dkk (2010), telah mendiskusikan dan membuat hasil model segmentasi sub duksi (*megathrust*) yang telah disesuaikan dengan kondisi seismotektonik wilayah Indonesia dan khususnya daerah studi penelitian.

Data dan parameter yang digunakan sebagai acuan dalam studi penelitian untuk sumber gempa subduksi *interface* ataumegathrust yang banyak mempengaruhi nilai kegempaan adalah nilai magnitudo maksimum, parameter *a-b* serta besarnya M_{max} historis.

Model sumber Gempa Background *Gridded Seismicity*)

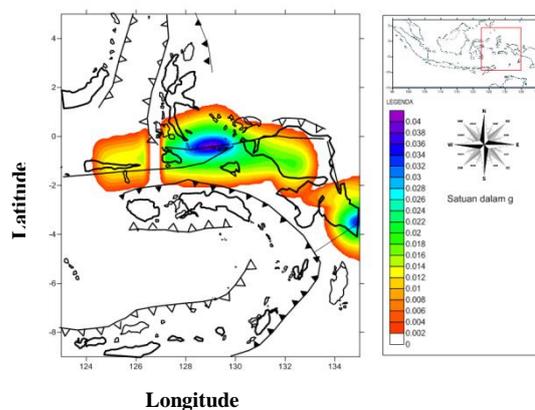
Katalog gempa yang digunakan untuk analisa model sumber gempa background (*Gridded Seismicity*) adalah gempa-gempa utama (*mainshock*). Model *gridded* ini dalam analisisnya dibagi menjadi lima interval kedalaman, yaitu: *Shallow Background Source* (0-50 km), dan *Deep Background Source* (50-100 km), (100-150 km), (150-200 km), dan (200-300 km).

Logic Tree

Untuk menentukan karakterisasi umum dari ketidakpastian dalam analisis dengan memasukkan interpretasi alternatif, dan parameter yang berpengaruh dalam analisis. Pemakaian *logic tree* dalam PSHA sangat diperlukan akibat adanya faktor ketidakpastian dalam pengelolaan data untuk analisis *seismic hazard*. Dengan model treatment ini, data, parameter sumber gempa, dan model atenuasi yang digunakan bisa diakomodir dengan bobot sesuai dengan ketidakpastiannya (Irsyam dkk, 2010). Model *logic tree* dibagi menjadi 3 sesuai dengan model sumber gempa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Sumber Gempa Fault



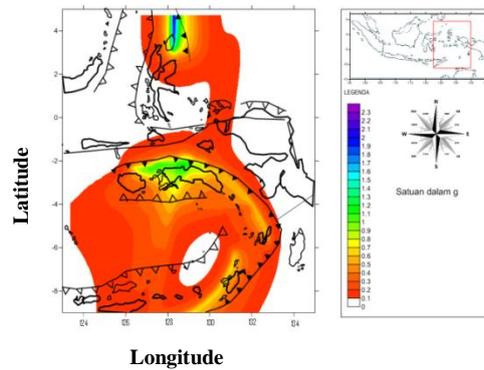
Gambar 7. Peta *hazard* PGA ($T = 0$ detik) di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun akibat sumber gempa *fault*

Dilihat dari Gambar 7 diketahui bahwa sumber gempa *fault* memberikan nilai yang sangat signifikan dengan daerah yang dekat dengan sumber gempa *fault*. Perubahan nilai yang terjadi cukup drastis dan berpengaruh pada jarak yang dekat dengan sumber gempa *fault* dibandingkan dengan jarak yang semakin jauh dengan sumber gempa *fault*, dan diketahui interval nilai percepatan tanah maksimum dengan periode ulang 500 tahun, yaitu berkisar 0.002 g – 0.04 g. Untuk daerah Maluku Utara hanya daerah Hamahera Selatan yang dipengaruhi sumber gempa *fault*. Dikarenakan dilalui oleh sesar Sorong dan sesar Sula.

Model Sumber Gempa Subduksi

Dari hasil analisa diketahui interval nilai percepatan tanah maksimum dengan periode ulang 500 tahun, yaitu berkisar 0.6 g – 2.0 g, seperti yang di sajikan pada Gambar 8. Nilai yang berada pada zona subduksi lebih besar jika dibandingkan daerah yang jauh dari zona subduksi, yaitu daerah Morotai sampai ke Filipina. Hal ini bisa disimpulkan bahwa pola subduksi antar lempeng yang berada disekitar daerah studi sangat berperan penting untuk terjadinya gempa yang mempunyai kekuatan yang besar, walaupun sebelumnya hanya terjadi gempa-gempa yang

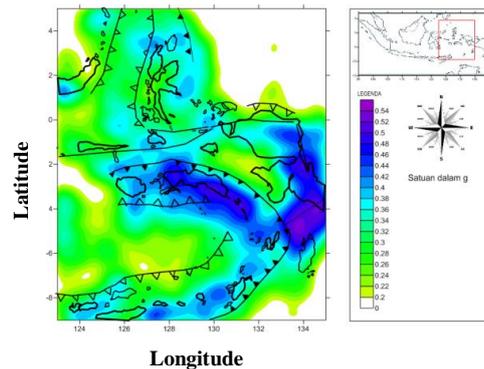
berkekuatan kecil. Peta *hazard* akibat dari sumber gempa subduksi memberikan nilai yang cukup signifikan pada daerah-daerah yang dekat dengan sumber tersebut hingga jarak yang cukup jauh sekalipun, lain halnya dengan model akibat sumber gempa *fault*.



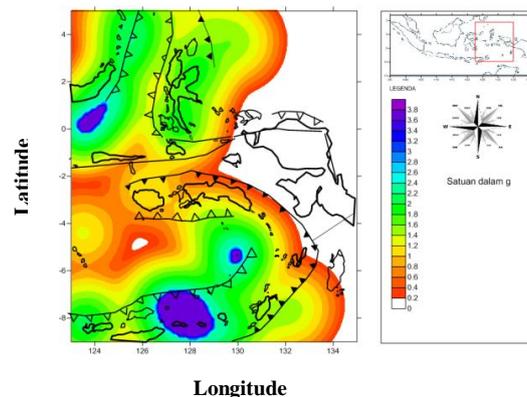
Gambar 8. Peta *hazard* PGA ($T = 0$ detik) di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun akibat sumber gempa subduksi

Model Sumber Gempa Background

Hasil analisa sumber gempa *background* dibagi menjadi *Shallow Background* (Gambar 9) dan *Deep Background* (Gambar 10).



Gambar 9. Peta *hazard* PGA ($T = 0$ detik) di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun akibat sumber gempa *shallow background*

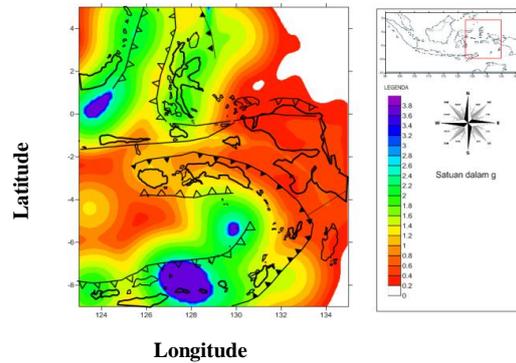


Gambar 10. Peta *hazard* PGA ($T = 0$ detik) di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun akibat sumber gempa *deep background*

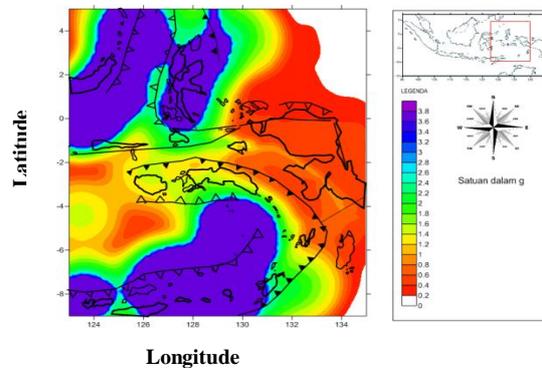
Pada model akibat sumber gempa *deep background* ini menunjukkan pola distribusi gempa-gempa dalam dan memiliki interval nilai percepatan maksimum dengan periode ulang 500 tahun dengan nilai yaitu, berkisar 0.20 g – 4.0 g. Model sumber gempa yang sudah

diketahui dengan jelas model seismotektoniknya akan terlihat nilai *hazard* yang dominan disekitar sumber gempa yaitu daerah Maluku Utara keseluruhan.

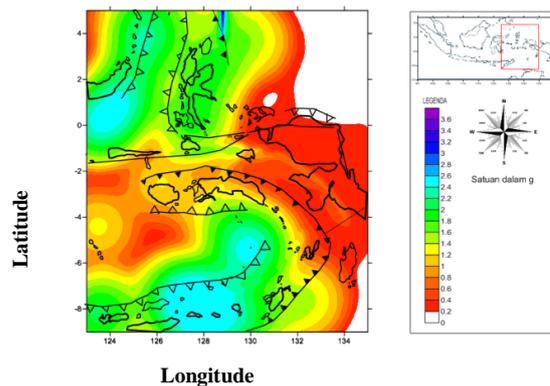
Analisa Spektra *Hazard* (akibat dari semua sumber gempa)



Gambar 11. Peta percepatan di batuan dasar pada kondisi PGA ($T = 0.0$ detik) untuk periode ulang 500 tahun



Gambar 12. Peta percepatan di batuan dasar pada kondisi spektra ($T = 0.2$ detik) untuk periode ulang 500 tahun



Gambar 13. Peta percepatan di batuan dasar pada kondisi spektra ($T = 1.0$ detik) untuk periode ulang 500 tahun

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari peta yang dihasilkan diketahui bahwa daerah Maluku Utara memiliki distribusi nilai percepatan tanah maksimum yang identik sedang sampai tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah Maluku Utara termasuk daerah yang memiliki tingkat kerawanan bencana

gempabumi. Peta nilai percepatan tanah maksimum dapat digunakan sebagai peta resiko rawan bencana gempabumi. Daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi berdasarkan parameter dari 3 sumber gempa, yaitu dari sumber gempa *fault* (Halmahera Selatan), dari sumber gempa subduksi (Morotai sampai Filipina), dan dari sumber gempa *background* (maluku Utara keseluruhan). Dimana peta yang dihasilkan dipengaruhi oleh data gempa yang lengkap, karakteristik sumber gempa, parameter sumber gempa, fungsi atenuasi dan faktor geologi daerah penelitian meliputi tatanan tektonik lempeng dan lain-lain.

Perlu dilakukan studi lanjutan untuk memperoleh data dan parameter khususnya geologinya berupa patahan-patahan yang dicurigai aktif untuk daerah Maluku Utarayang saling mendukung. Pemerintah hendaknya tanggap akan bencana yang terjadi khususnya bencana gempabumi, dimana telah banyak penelitian tentang pemantauan dan pemetaan tentang tingkat resiko bencana alam. Sehingga bisa dilanjutkan ke tahap selanjutnya yakni sistem peringatan dini dan sosialisasi kepada masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K., 1965, *Maximum Likelihood Estimate of b value in The Formulan $\log N = a-bM$ and Its Confidence Limits*. Bull. Earthq. Res. Inst. 43,237-240.
- Asrurifak, M., Irsyam M., Budiono B., Triyoso W., Hendriyawan, Merati, W. dan Sengara, I.W., 2009, *Peta Spektra Hazard Indonesia Dengan Menggunakan Model Gridded Seismicity Untuk Sumber Gempa Background*, Seminar HAKI “Menuju Praktek Konstruksi Yang Benar” Jakarta, 11-12 Agustus 2009.
- Badan Geologi, 2006, *Sistem peringatan dini bencana geologi (letusan gunungapi, gerakan tanah, gempabumi dan tsunami)*, DESDM.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, 2007, Rencana tata ruang wilayah Provinsi Maluku Utara 2007 – 2027, BAPPEDA MALUKU UTARA
- Bock, Y., Prawirodirdjo L., Genrich J.F., Stevens C. W., McCaffrey R., Subarya C., Puntodewo S.S.O. and Calais E., 2003, *Crustal Motion in Indonesia From Global Positioning System Measurement*, Journal of Geophysical Research, Vol. 108, NO. B8, 2367, 2003, doi: 10.1029/2001JB000324.
- Cornell, A.C., 1968, *Engineering seismic risk analysis*, Bulletin of the Seismological Society of America, October 1968, v. 58, no. 5, p. 1583-1606
- Gardner, J. K. and Knopoff, L., 1974, *Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian?*, Bulletin of the Seismological Society of America 64, 1,363–1,367.
- Gutenberg, B., 1958, *Caustics Produced by Waves Through the Earth's Core*, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society Volume 1, Issue 3, pages 238–248, September 1958.
- Hall, R. and Wilson, M.E.J., 2000, *Neogene Sutures in Eastern Indonesia*, Journal of Asian Earth Science, 18, 781-808.
- Hamilton, W. H., 1979, *Tectonics of the Indonesian Region*, U.S. Geological Surveys Professional Paper 1078, Washington.
- Irsyam, M., Sengara I.W., Adiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Natawidjaja, D.H., Kertapati, E., Meilano, I., Suhardjono, Asrurifak, M., dan Ridwan, M., 2010, *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia*, Bandung, 1 Juli 2010.

- Irsyam, M., Dangkoa, D.T., Hendriyawan, Hoedajanto, D., Hutapea, B.M., Kertapati, E., Boen, T. and Petersen, M.D., 2008, *Proposed Seismic Hazard Maps of Sumatra and Java Islands and Microzonation Study of Jakarta City, Indonesia*, Journal of Earth System Science, accepted for publication.
- Ishimoto, M. and Iida, K., 1939, *Observation Sur Les Seismes Enregistres Par Le Microseismographe Construit Dernierement (In Japanese With French Abstract)*, Bull. Earthquake Res. Univ. Tokyo, 17, 443-478.
- Merz, H.A. and Cornell, C.A., 1973, *Aftershocks in Engineering Seismic Risk Analysis*, Report R73-25, Massachusetts: Department of Civil Engineering, MIT, Cambridge.
- Widiwijayanti C., Tiberi C., Deplus C., Diamant M. and Mikhailov V., Louat R., 2004, *Geodynamic evolution of the northern Molucca Sea area (Eastern Indonesia) constrained by 3-D gravity field inversion*, J. Tectonophysics 386, p.203-222.