

Model intensitas gempa bumi di Maluku Utara

Earthquake Intensity Model in North Maluku

Cecep Sulaeman dan Athanasius Cipta

Badan Geologi

Jln. Diponegoro 57 Bandung

ABSTRAK

Nilai percepatan tanah di Maluku Utara diperoleh berdasarkan metoda *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dengan menggunakan perangkat lunak *Earthquake Risk Model* (EQRM) yang dikembangkan oleh *Geoscience Australia*. Nilai percepatan tanah selanjutnya dikonversi menjadi intensitas gempa bumi menggunakan persamaan Atkinson dan Kaka. Model sumber gempa bumi yang digunakan sebagai masukan dalam analisis ini adalah zona subduksi Filipina, *Thrust* Maluku Barat, *Thrust* Maluku Timur, Sesar mendatar Sorong, Sesar mendatar Sula, dan sesar-sesar yang terdapat di Pulau Morotai, Halmahera, Obi, dan Taliabu. Hasil analisis menunjukkan nilai percepatan tanah di wilayah Maluku Utara berkisar antara 0,07 hingga 1,1 g. Nilai tersebut setara dengan intensitas gempa bumi V MMI hingga IX MMI. Berdasarkan nilai kesetaraan tersebut intensitas gempa bumi di Maluku Utara dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu, daerah dengan intensitas < VII MMI, VII – VIII MMI, dan intensitas > VIII MMI.

Kata kunci: intensitas, percepatan puncak, model sumber gempa bumi, PSHA

ABSTRACT

Peak ground acceleration value in North Maluku was obtained based on *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) method by using a *Software for Earthquake Risk Model* (EQRM) which is developed by *Geoscience Australia*. Further ground acceleration value is converted into earthquake intensity by using Atkinson and Kaka Equation. The earthquake sources model which is used as an input in this analysis are *Philippines Subduction*, *West Maluku thrust*, *East Maluku thrust*, *Sorong strike slip Fault*, *Sula strike slip Fault* and faults which are located in *Morotai*, *Halmahera*, *Obi*, and *Taliabu Islands*. Analysis result shows that the Peak ground acceleration values in the North Maluku region range between 0.07 g and 1.1 g. This value is equal with earthquake intensity of MMI V up to MMI IX scale. Based on this equality value, the intensity of earthquake in North Maluku can be divided into three groups, namely region with intensity of < VII of MMI scale, VII – VIII of MMI scale, and the intensity of > VIII of MMI scale.

Keywords: intensity, peak ground acceleration, earthquake source, PSHA

PENDAHULUAN

Provinsi Maluku Utara berada di timur laut wilayah perairan Indonesia yang berbatasan dengan Laut Pasifik di utara dan timur, Pulau Seram di selatan, dan Pulau Sulawesi di barat. Provinsi ini terdiri dari beberapa pulau di Kepulauan Maluku. Pulau utama di provinsi Maluku Utara adalah Pulau Halmahera, Ternate, Tidore, Morotai, Obi, Bacan, Taliabu, dan Sanana. Secara tektonik wilayah ini dipengaruhi oleh Subduksi Lempeng Filipina di utara hingga ke timur, Sesar Sorong dan Sula di selatan, *Thrust* Laut Maluku Timur dan *Thrust* Maluku Barat di barat (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010).

Wilayah Maluku Utara termasuk salah satu provinsi di Indonesia yang rawan bencana gempa bumi. Secara regional wilayah ini terletak pada batas pertemuan tiga lempeng utama yaitu, Lempeng Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik. Sejak tahun 1858 wilayah ini terlanda gempa bumi merusak sebanyak 16 kali dengan intensitas antara VI hingga VIII MMI dan telah mengakibatkan 42 orang meninggal, ratusan rumah roboh (Supartoyo dan Surono, 2008). Oleh karena itu perlu upaya mitigasi bencana geologi. Salah satu upaya mitigasi bencana gempa bumi diantaranya adalah membuat zona intensitas gempa bumi di wilayah tersebut.

Intensitas gempa bumi merupakan ukuran kualitatif dampak gempa bumi berdasarkan hasil pengamatan terhadap manusia, struktur bangunan dan lingkungan di lokasi tertentu. Skala intensitas gempa bumi *Modified Mercalli Intensity* (MMI) dibagi menjadi 12 kelas. Skala ini merupakan hasil modifikasi

Wood dan Neuman tahun 1931 dan disempurnakan oleh Richter tahun 1956 (Sukanta drr., 2010). Ukuran gempa bumi yang obyektif dan kuantitatif diperoleh dari pengukuran menggunakan seismograf yang disebut magnitudo yang diperkenalkan pertama kali oleh Charles Richter tahun 1935 menggunakan seismometer Wood-Anderson (Kramer, 1996).

Salah satu parameter guncangan tanah yang sering dipakai dalam analisis bahaya gempa bumi adalah amplituda percepatan tanah/*peak ground acceleration* (pga) yang direkam oleh accelerometer. Dalam studi ini nilai percepatan tanah dihitung melalui fungsi atenuasi kemudian dikonversi ke dalam nilai intensitas gempa bumi memakai persamaan Atkinson dan Kaka (2007).

METODOLOGI

Perhitungan bahaya gempa bumi yang dinyatakan dengan percepatan tanah (pga) dengan satuan g (percepatan gravitasi) memakai metoda *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* (PSHA) dengan perangkat lunak EQRM (*Earth Quake Risk Model*) yang dikembangkan oleh Geoscience Australia. Nilai tersebut dihitung di setiap titik grid di daerah studi dengan jarak antar titik 1 km.

Metoda PSHA pertama kali dikembangkan oleh Cornell dan Allin (1968), secara umum metoda ini terdiri dari empat langkah, yaitu mendefinisikan model sumber gempa bumi, pengkarakteran model sumber gempa bumi, pemilihan fungsi atenuasi, dan perhitungan bahaya gempa bumi (EERI, 1989, dalam Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010). Metoda PSHA telah digunakan dalam pembuatan Peta

Bahaya Gempa Indonesia oleh Tim Revisi Peta Gempa Indonesia (2010). Secara umum teori ini mengasumsikan magnituda gempa bumi M dan jarak R sebagai variabel acak independen yang menerus. Dalam bentuk umum teori probabilitas total ini dinyatakan seperti yang dipakai oleh Tim Revisi Peta Gempa Indonesia (2010), sebagai berikut

$$H(a) = \sum v_i \iint P[A > a | m, r] f_{M_i}(m) f_{R|M_i}(r, m) dr dm \dots (1)$$

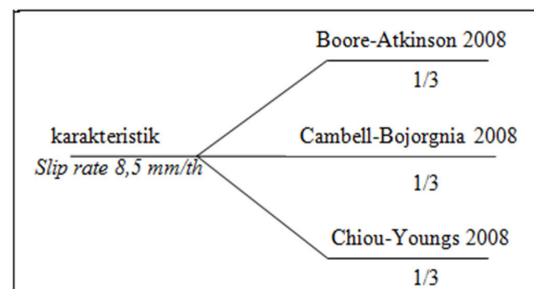
dengan v_i adalah *annual rate* gempa bumi (dengan magnituda lebih tinggi dari nilai batas M_{oi}) pada sumber gempa bumi I , $f_M(m)$ dan $f_{R|M}(r, m)$ berturut-turut adalah fungsi kepadatan probabilitas magnituda dan jarak. $P[A > a | m, r]$ adalah probabilitas sebuah gempa bumi dengan magnituda m pada jarak r yang memberikan percepatan maksimum A di lokasi lebih tinggi dari a .

Fungsi atenuasi untuk menghitung percepatan puncak untuk wilayah Indonesia belum tersedia sehingga studi ini memakai fungsi atenuasi yang ada di dalam program EQRM. Fungsi atenuasi yang dipakai dalam EQRM adalah sebagai berikut:

- Boore-Atkinson 2008, Campbell-Bozorgnia 2008, Chiou dan Young 2008, Atkinson-Boore 2010, dan Zhao dr. 2006, untuk sumber gempa bumi sesar.
- Boore-Atkinson 2008, Campbell-Bozorgnia 2008, Chiou dan Young 2008, dan Atkinson-Boore 2010, untuk gempa bumi dengan magnituda terikat.
- Campbell-Bozorgnia 2008, Chiou dan Young 2008, untuk sumber gempa bumi *rupture, hanging wall*, dan pengaruh cekungan.

- Boore-Atkinson 2008, Campbell-Bozorgnia 2008, Chiou dan Young 2008, untuk sumber gempa bumi *Nonlinier site response*.

Dalam proses analisis probabilitas bahaya gempa bumi tersebut digunakan *logic tree* yang memungkinkan untuk menggunakan beberapa model sumber gempa bumi dan fungsi atenuasi di atas dengan memberikan faktor bobot yang menggambarkan persentase kemungkinan keakuratan relatif suatu model terhadap model lainnya. Model ini terdiri dari rangkaian nodal yang direpresentasikan sebagai titik tempat model dispesifikasikan dan cabang yang merepresentasikan model yang berbeda yang dispesifikasikan pada tiap nodal. Penjumlahan probabilitas dari semua cabang yang dihubungkan dengan satu nodal tertentu nilainya harus sama dengan satu. Pemakaian *logic tree* ini diperlukan akibat adanya ketidakpastian dalam pengelolaan data untuk analisis bahaya gempa bumi. Contoh pemakaian *logic tree* untuk menganalisis sesar Sorong diperlihatkan pada Gambar 1. Dalam contoh ini analisis probabilitas bahaya gempa bumi untuk sesar Sorong dihitung dengan menggunakan tiga fungsi atenuasi dengan pemberian bobot masing-masing $1/3$.



Gambar 1. Model *Logic tree* untuk sesar Sorong.

Setelah diperoleh nilai percepatan tanah, kemudian dihitung intensitas gempa bumi berdasarkan persamaan Atkinson dan Kaka (2007), sebagai berikut:

$$\text{MMI} = C1 + C2 \log Y, \text{ untuk } \log Y \leq \log(I5) \quad (2a)$$

$$\text{MMI} = C3 + C4 \log Y, \text{ untuk } \log Y \geq \log(I5) \quad (2b)$$

Dalam studi ini nilai Y yang dipakai adalah nilai *Pseudo Acceleration* pada perioda dominan 1 detik. Nilai konstanta dalam persamaan di atas tertera pada Tabel 1.

MODEL SUMBER GEMPA BUMI DAN FAKTOR AMPLIFIKASI TANAH

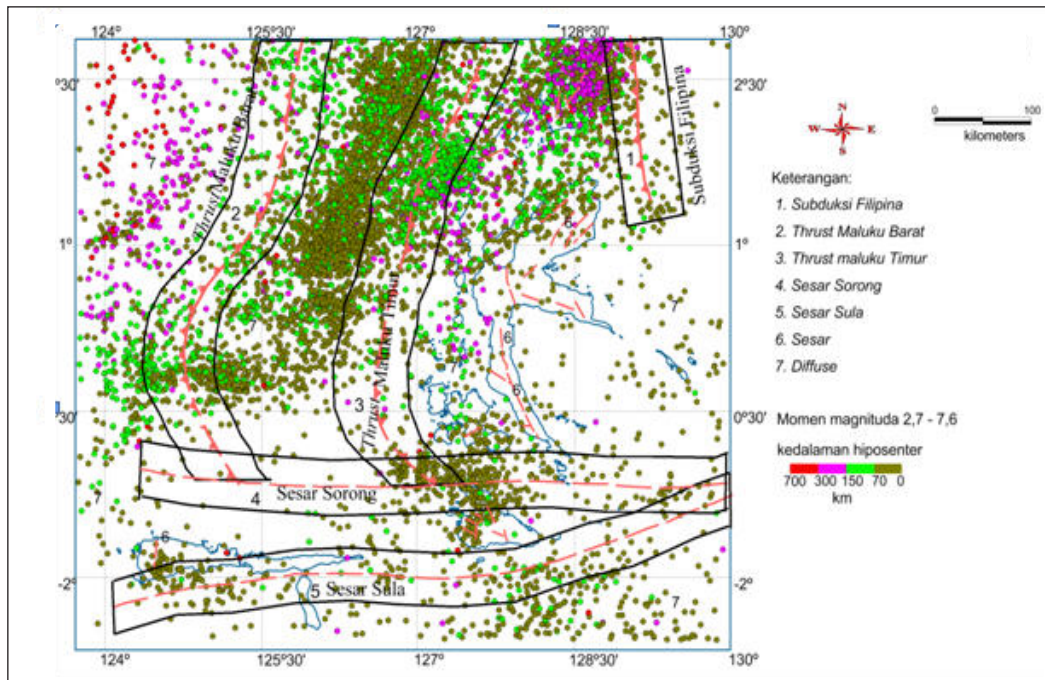
Model sumber gempa bumi yang digunakan dalam perhitungan bahaya gempa bumi ini terdiri dari tiga, yaitu sumber gempa bumi subduksi, sesar, dan menyebar (*diffuse*). Sumber gempa bumi subduksi yang diperhitungkan adalah Subduksi Filipina, sedangkan sumber gempa bumi sesar terdiri dari *Thrust* Maluku Barat, *Thrust* Maluku Timur, Sesar Sorong, Sesar Sula, dan sesar yang terdapat

di Pulau Morotai, Halmahera, Obi, Bacan, dan Taliabu (Gambar 2). Lokasi, arah, dan panjang sesar yang berada di pulau tersebut didasarkan pada Peta Geologi Lembar Morotai (Supriatna, 1980), Lembar Ternate (Apan-di dan Sudana, 1980), Lembar Bacan (Yasin, 1980), Lembar Banggai (Supanjono dan Haryono, 1980), Lembar Obi, (Sudana dan Yasin, 1980), dan Lembar Sanana (Surono dan Sukarna, 1980). Sumber gempa bumi *diffuse* merupakan sumber gempa bumi yang lokasinya berada di luar sumber gempa bumi yang telah didefinisikan tadi, namun di zona ini terdapat banyak gempa bumi.

Parameter masing-masing model sumber gempa bumi sebagai data masukan diperoleh dari pengolahan data katalog gempa bumi dari tahun 1970 hingga tahun 2010 (Gambar 2) yang diperoleh dari ISC Bulletin (ISC, 2012). Parameter gempa bumi tersebut adalah nilai *b* (hubungan Gutenberg-Richter), dan sudut kemiringan subduksi, nilainya dicantumkan pada Tabel 2. Nilai *dip*, *slip rate*, magnituda maksimum untuk masing-masing model sumber gempa bumi diperoleh dari Tim Revisi

Tabel 1. Koefisien Parameter Gerakan Tanah Untuk Memprediksi MMI (Atkinson dan Kaka, 2007)

Y	Peak Ground Velocity, <i>pgv</i> (cm/detik)	Peak Ground Acceleration, <i>pga</i> (cm/detik ²)	Pseudo-Acceleration, <i>psa</i> (0,5 Hz), (cm/detik ²)	Pseudo-Acceleration, <i>psa</i> (1 Hz), (cm/detik ²)	Pseudo-Acceleration, <i>psa</i> (3,3 Hz), (cm/detik ²)
C1	4,37	2,65	3,72	3,23	2,40
C2	1,32	1,39	1,29	1,18	1,36
C3	3,54	-1,91	1,99	0,57	-1,83
C4	3,03	4,09	3,00	2,95	3,56
Log Y(I5)	0,48	1,69	1,00	1,50	1,92
σ_{IMMI}	0,80	1,01	0,86	0,84	0,88



Gambar 2. Model sumber gempa bumi dan episenter di Maluku Utara tahun 1970 - 2010.

Peta Gempa Indonesia (2010). Sedangkan *slip rate* sesar yang berlokasi di Pulau Halmahera, Morotai, Obi, dan Taliabu ditetapkan sebesar 2 mm/tahun, magnitudo maximum = 6,4 dan nilai *b* sebesar 0,6. Parameter untuk masing-masing model sumber gempa bumi diperlihatkan pada Tabel 2.

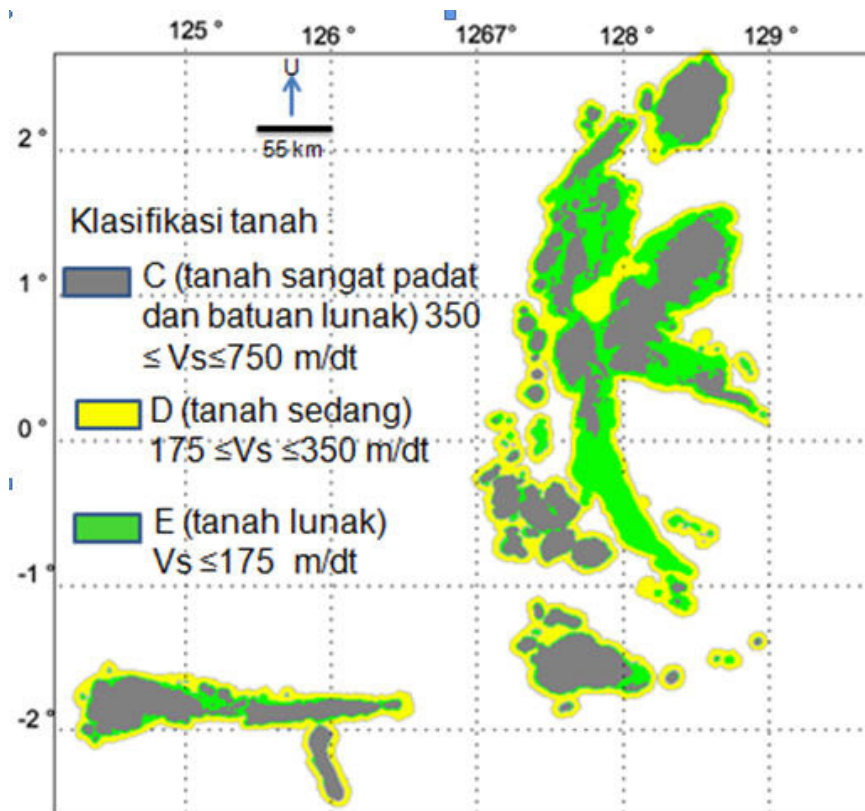
Untuk memperoleh nilai percepatan tanah di permukaan maka diperhitungkan data faktor amplifikasi tanah, yaitu nilai kecepatan rata-rata gelombang *Shear* (*Vs*). Nilai kecepatan rata-rata gelombang *Shear* yang digunakan adalah nilai Vs^{30} (kecepatan rata-rata gelombang *shear* pada tanah pada lapisan tanah 30 m paling atas) yang diperoleh dari USGS (USGS, 2012) kemudian diklasifikasi ke dalam kelas tanah menurut *National Earthquake Hazards Reduction Program* (NEHRP), hasilnya diperlihatkan pada Gambar 3.

KEBOLEHJADIAN PERCEPATAN DAN INTENSITAS GEMPA BUMI DI MALUKU UTARA

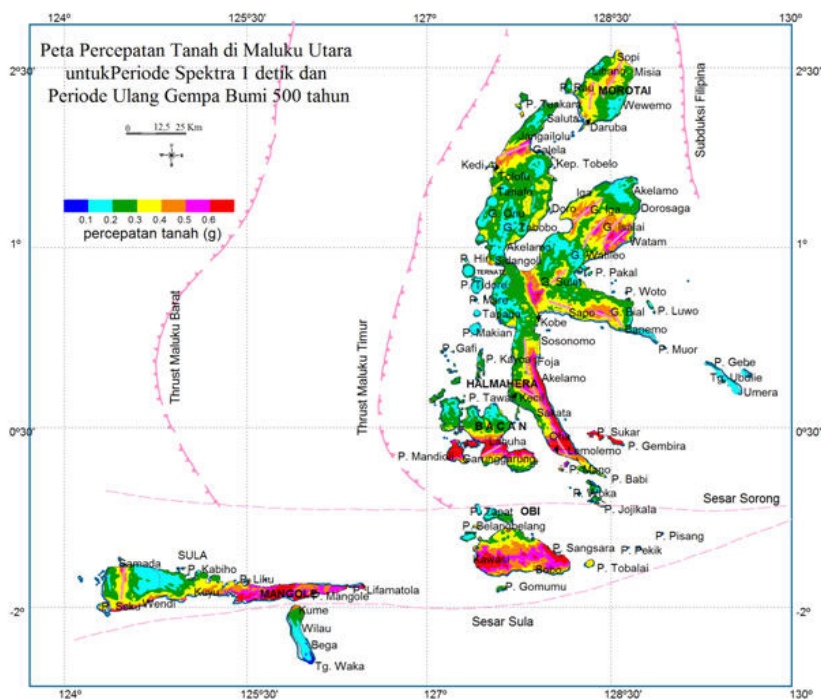
Hasil perhitungan dituangkan dalam peta percepatan tanah dan intensitas gempa bumi seperti diperlihatkan pada Gambar 4 dan Gambar 5. Nilai percepatan tanah di wilayah Maluku Utara bervariasi dari 0,07 g sampai 1,1 g, dengan *g* adalah percepatan gravitasi. Daerah dengan percepatan tanah $\geq 0,3$ g (warna kuning-oranye-merah) umumnya dilalui oleh sesar. Sedangkan daerah yang tidak dilalui oleh sesar nilai percepatannya di bawah 0,3 g (warna biru dan hijau). Di Pulau Morotai tengah yang dilewati oleh sesar nilai percepatan puncak 0,31 – 0,5 g, sedangkan daerah lainnya antara 0,07 – 0,3 g. Di Pulau Halmahera yang dilewati sesar nilai percepatannya $> 0,3$ g. Tampak pula di beberapa tempat yang tidak

Tabel 2. Parameter Model Sumber Gempa Bumi

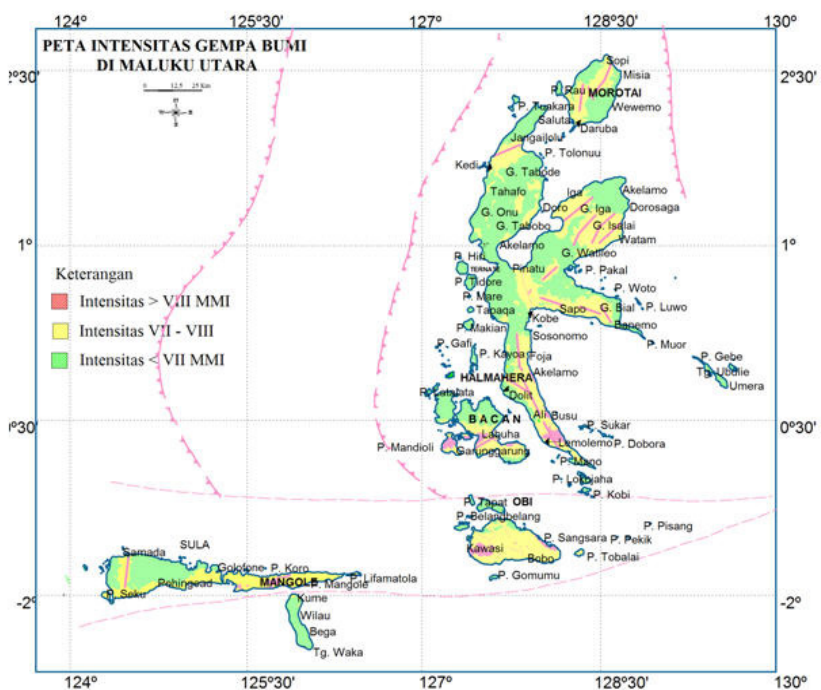
No.	Sumber gempa bumi	Dip (°)	batas atas (km)	batas bawah (km)	koordinat awal	koordinat akhir	M min (Mw)	M max (Mw)	slip rate (mm/th)	Nilai-b
1	Subduksi Filipina	59	3	20	7,784 LU; 127,220 BT	1,388 LU; 129,224 BT	4,1	7,1	7,6	0,99
2	<i>Thrust</i> Maluku Barat	30	3	30	0,277 LU 124,807 BT	0,989 LU 1 26,647 BT	5,0	8,5	13,0	0,95
3	<i>Thrust</i> Maluku Timur	40	3	30	0,799 LS; 126,445 BT	5,460 LU ; 127,455 BT	5,0	8,5	29,0	0,95
4	Sesar Sorong	90	3	18	0,902 LS; 123,38 BT	0,437 LS; 131,873BT	4,6	7,0	8,5	0,82
5	Sesar Sula	45	3	18	2,235 LS; 123,10 BT	1,181 LS; 129,766BT	4,1	6,0	8,5	0,65
6	Sesar di pulau	90	3	18			4,5	6,4	2,0	0,60
7	<i>Diffuse</i>	90	0	35	luas 429.940 m ²		4,5	7,5		1,17



Gambar 3. Peta klasifikasi tanah Maluku Utara.



Gambar 4. Percepatan tanah di Maluku Utara dihitung pada perioda dominan $T = 1$ detik, perioda ulang 500 tahun dengan probabilitas 10 % terlampaui.



Gambar 5. Intensitas gempa bumi di Maluku Utara hasil konversi dari nilai percepatan tanah

dilalui sesar tapi nilai percepatannya $> 0,3$ g, seperti di Tahafu (Kabupaten Halmahera Utara) nilainya antara 0,31 g hingga 0,4 g. Di Pulau Mangole nilai percepatannya $\geq 0,3$ g. Tingginya nilai percepatan puncak di daerah yang jauh dari sumber gempa bumi menunjukkan bahwa sifat fisik tanah berpengaruh secara signifikan pada percepatan puncak. Tanah kelas D dan E bersifat memperbesar nilai percepatan puncak.

Intensitas gempa bumi diperkirakan dengan mengkonversi nilai percepatan puncak pada periode 1 detik, dengan menggunakan persamaan 2a dan 2b. Intensitas gempa bumi di Maluku Utara dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu daerah dengan intensitas $< VII$ MMI (warna hijau), VII – VIII MMI (warna kuning), dan intensitas $> VIII$ MMI (warna merah) seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Daerah dengan intensitas $\geq VII$ (warna kuning dan merah) umumnya dilalui oleh sesar. Sedangkan daerah yang tidak dilalui oleh sesar nilai intensitasnya $< VII$ MMI (warna hijau). Satuan ukuran skala MMI dapat dilihat pada tabel 3.

Daerah dengan intensitas $> VIII$ MMI terdapat di Pulau Mandioli ke arah timur (Kabupaten Halmahera Selatan), Kawasi (Pulau Obi/Halmahera Selatan), dan di Mangole bagian tengah (Kabupaten Sula). Daerah dengan intensitas VII – VIII MMI terdapat di Pulau Morotai tengah searah barat daya-timur laut, Galela ke arah barat daya (Kabupaten Halmahera Utara), Tua sampai Watam (Kabupaten Halmahera Timur), Pinatu sampai Kobe, Masa (Kabupaten Halmahera Tengah), Soso-nomo ke arah selatan (Kabupaten Halmahera Selatan), Sebagian besar Pulau Obi, sebagian

besar Pulau Mangole dan Samada sampai Likitobi (Kabupaten Sula). Daerah dengan intensitas $< VII$ MMI terdapat di sebagian besar Kabupaten Halmahera Utara dan Timur, Pulau Bacan bagian utara (Kabupaten Halmahera Selatan), Sebagian besar Pulau Taliabu dan Sanana (Kabupaten Sula).

DISKUSI

Hasil di atas memperlihatkan bahwa daerah yang memiliki intensitas gempa bumi tinggi ($\geq VII$ MMI) umumnya berada pada jalur sesar. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai jarak sumber gempa bumi ke suatu titik (tempat) sangat berpengaruh terhadap besarnya intensitas dibanding parameter lainnya dalam perhitungan yang menggunakan metoda ini. Sesar tersebut semuanya berada di darat dengan asumsi nilai *slip rate* 2 mm/th, jauh lebih kecil dengan nilai *slip rate* sumber gempa bumi lainnya namun pengaruhnya tampak tinggi. Sedangkan model sumber lain, yaitu Subduksi Filipina, Sesar Sorong, Sesar Sula, dan *Thrust* Laut Maluku relatif tidak terlalu banyak berpengaruh karena jaraknya relatif jauh dibanding sesar yang ada di darat.

Berdasarkan Peta Bahaya Gempa Indonesia (Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010) nilai *pga* maksimum di batuan dasar terdapat di Pulau Halmahera Utara 0,3 - 0,4 g, di Pulau Morotai 0,5 - 0,6 g, dan di Pulau Mangole (Kepulauan Sula) 0,3 - 0,4 g. Nilai ini dibuat dengan masukan model sumber gempa bumi secara regional dan tidak memasukkan sesar-sesar yang terdapat di darat (pulau di Maluku Utara).

Tabel 3. Satuan Ukuran Skala *Modified Mercally Intencity* (Skala MMI)

Skala	Keterangan
I	Tidak terasa
II	Dirasakan oleh orang yang beristirahat terutama di tingkat-tingkat atas bangunan atau di tempat tinggi.
III	Terasa di dalam rumah, seakan akan ada truk lewat tetapi banyak yang tidak menyangka ada gempa bumi.
IV	Terasa di dalam rumah seperti ada truk lewat atau terasa seperti ada barang berat yang menabrak dinding rumah. Barang-barang yang bergantung bergoyang-goyang, jendela dan pintu berderik, barang pecah belah pecah, gelas-gelas gemerincing, dinding dan rangka rumah berbunyi.
V	Dapat dirasakan di luar rumah. Orang tidur terbangun, cairan tampak bergerak-gerak dan tumpah sedikit. Barang perhiasan rumah yang kecil dan tidak stabil bergerak atau jatuh. Pintu-pintu terbuka tertutup, pigura-pigura dinding bergerak, lonceng bandul berhenti atau mati atau tidak cocok jalannya.
VI	Terasa oleh semua orang. Banyak orang lari ke luar karena terkejut. Orang yang sedang berjalan kaki terganggu. Jendela berderit, gerabah, barang pecah-belah pecah, barang-barang kecil dan buku jatuh dari raknya, gambar-gambar jatuh dari dinding. Mebel-mebel bergerak atau berputar. Plester dinding yang lemah pecah-pecah. Lonceng-lonceng gereja berbunyi, pohon-pohon terlihat bergoyang.
VII	Dapat dirasakan oleh sopir yang sedang mengemudi mobil. Orang yang sedang berjalan kaki sulit untuk berjalan dengan baik, cerobong asap yang lemah pecah. Langit-langit dan bagian-bagian konstruksi pada tempat yang tinggi rusak. Barang pecah belah pecah. Tembok yang tidak kuat pecah, plester tembok dan batu-batu tembok yang tidak terikat kuat jatuh. Terjadi sedikit pergeseran dan lekukan-lekukan pada timbunan pasir dan batu kerikil. Air menjadi keruh lonceng-lonceng besar berbunyi, selokan irigasi rusak.
VIII	Mengemudi mobil terganggu. Terjadi kerusakan pada bangunan-bangunan yang kuat karena terdapat bagian-bagian yang runtuh. Kerusakan terjadi pada tembok-tembok yang dibuat tahan terhadap getaran-getaran horisontal dan beberapa bagian tembok runtuh. Cerobong asap, monumen-monumen, menara-menara, dan tangki air yang berada di atas berputar atau jatuh. Rangka rumah berpindah dari fondasinya. Dinding-dinding yang tidak terikat baik jatuh atau terlempar. Ranting-ranting pohon patah dari dahannya. Tanah yang basah dan lereng yang curam terbelah
IX	Publik menjadi panik. Bangunan yang tidak kuat hancur. Bangunan yang kuat mengalami kerusakan berat. Fondasi dan rangka bangunan rusak. Pipa dalam tanah putus. Tanah merekah. Di daerah aluvium pasir dan lumpur keluar dari dalam tanah.
X	Pada umumnya semua tembok, rangka rumah dan fondasi rusak. Beberapa bangunan dari kayu yang kuat dan jembatan-jembatan rusak. Kerusakan berat terjadi pada bendungan-bendungan, tanggul-tanggul dan tambak-tambak. Terjadi tanah longsor yang besar. Air dalam kolam, sungai dan danau tumpah/muncrat. Terjadi perpindahan tempat secara horisontal di daerah pantai dan di daerah-daerah yang permukaan tanahnya rata. Jalur-jalur kereta api menjadi sedikit bengkok.
XI	Rel kereta api rusak. Saluran pipa bawah tanah rusak total.
XII	Terjadi bencana alam. Seluruh bangunan rusak. Garis pandang cakrawala terganggu. Batu-batu dan barang-barang besar berpindah tempat, dan ada yang terlempar ke udara.

KESIMPULAN DAN SARAN

Intensitas gempa bumi di Maluku Utara dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu daerah dengan intensitas $< VII$ MMI, $VII - VIII$ MMI, dan intensitas $> VIII$ MMI. Daerah dengan intensitas $\geq VII$ MMI dan atau percepatannya $\geq 0,4$ g umumnya dilalui oleh sesar. Besarnya nilai percepatan tanah dan intensitas gempa bumi dipengaruhi oleh magnituda gempa bumi, jarak dari sumber gempa bumi, dan kelas tanah.

Hasil model intensitas gempa bumi/probabilitas bahaya gempa bumi dengan metoda PSHA memerlukan parameter setiap model sumber gempa bumi, oleh karena itu perlu penyelidikan terhadap sesar-sesar terutama yang ada di pulau-pulau di Maluku Utara. Metoda penyelidikan sesar disarankan memakai metoda mikroseismik untuk mengidentifikasi aktivitas dan metoda deformasi dengan GPS untuk memperoleh nilai *slip rate*, serta melakukan pengukuran amplifikasi tanah.

Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Mr. Jonathan Griffin (AIFDR) dan Mr. Nick Horspool (GA) atas diskusinya dan pemberian fasilitas dalam pemakaian EQRM.

ACUAN

Apandi, T. dan Sudana., D, 1980, Peta Geologi Lembar Ternate Maluku Utara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Atkinson and Kaka, 2007, Relationships, between Felt Intensity and Instrumental Ground Motion in The Central United States and California, Bulletin of Seismological Society of America, Vol.97, No.2, pp.497-510, april 2007.

Cornell, C. dan Allin, 1968, Engineering Seismic Risk Analysis, Bulletin of the Seismological of America, Vol.58, No.5, pp.1583-1606.

ISC, 2012, ISC Bulletin; Event catalogue search. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue>, diunduh 9 Februari 2012.

Kramer, L. S., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Inc.

Sudana, D. dan Yasin, A., 1980, Peta Geologi Lembar Obi Maluku Utara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Sukanta, I.N., Pudja, I.P., Pakpahan, S., Badriyah, I.M., Muchlis, Mudalifana, W.S., dan Tresnawati, R., 2010, Laporan Accelerograph BMKG Dalam Penentuan Peta Intensitas Gempa Kuat, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

Supanjono, J.B. dan Haryono, E., 1980, Peta Geologi Lembar Banggai Maluku Utara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Supartoyo dan Surono, 2008, Katalog Gempa bumi Merusak di Indonesia Tahun 1629 – 2007, PVMBG, Badan Geologi.

Supriatna, S., 1980, Peta Geologi Lembar Morotai Maluku Utara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Surono dan Sukarna, D., 1980, Peta Geologi Lembar Sanana Maluku Utara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, 2010, Workshop Paparan Tinjauan Teknis Peta Bahaya Gempa Indonesia Terbaru, Bandung.

USGS, 2012, Global vs³⁰ Map server. <http://earthquake.usgs.gov/hazards/apps/vs30>, diunduh 12 Februari 2012.

Yasin, A., 1980, Peta Geologi Lembar Bacan, Maluku Utara, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.