

PEMETAAN MIKROZONASI SEISMIK DI DESA LILI KECAMATAN FATULEU KABUPATEN KUPANG

I. Nubatonis, H. L. Sianturi, Bernandus

Jurusan Fisika, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kota Kupang, 8511, Indonesia

Email: idanubatonis888@gmail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang mikrozonasi seismik dengan metode HVSR di Desa Lili Kecamatan Fatuleu Kabupaten Kupang. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui nilai frekuensi dominan tanah, amplifikasi, indeks kerentanan seismik dan percepatan tanah maksimum. Penelitian dilakukan dengan menggunakan TDS tipe 303 dengan frekuensi natural 0,2Hz-20Hz. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa nilai frekuensi dominan berkisar antara 0,279 Hz-17,210Hz, nilai amplifikasi berkisar antara 1,802-10,240 dan nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,422-421,167. Nilai percepatan tanah maksimum berkisar antara 160,769 gal – 279,316 gal dengan tingkat resiko besar dua dan tingkat resiko besar tiga.

Kata kunci: Mikrozonasi, HVSR, Lili

ABSTRACT

The research about seismik microzonation using HVSR methods in Lili village, sub-district of Fatuleu, district of Kupang has been done. The aims of this research are to determine the values of soil dominant frequency, magnitude of amplification, seismik vulnerability index, and the peak ground acceleration. This research used TDS 303S type with 0,2Hz-20Hz of natural frequency. According to this research, it was obtained that the values of the dominant frequency was about 0,279Hz-17,210Hz, the amplification values were found to be 1,802-10,240 and the index of vulnerability has values about 0,422-421,167. The peak ground acceleration values about 160,769 gal – 279,316 gal with great risk level two and great risk level three.

Keywords: microzonation, HVSR, Lili

PENDAHULUAN

Gempa bumi ialah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dilepaskan akan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang seismik sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Sianturi, 2010) [1].

Daerah Nusa Tenggara Timur memiliki tatanan yang cukup kompleks akibat pergerakan lempeng dan aktivitas sesar, khususnya pulau Timor, paling banyak terjadi gempa bumi menengah karena aktivitas subduksi lempeng. Pulau Timor, khususnya daerah Fatuleu, desa Lili berpotensi menjadi daerah perluasan Ibu Kota Kabupaten, maka perlu untuk dilakukannya survei mikrotremor. Daerah ini memang tidak berpotensi menjadi pusat gempa bumi akan tetapi mungkin dapat mengalami guncangan akibat aktivitas seismik yang dapat memberi dampak buruk akibat dari keadaan geologi atau kondisi tanah.

Oleh karena itu perlu untuk melakukan pemetaan mikrozonasi gempa sebagai salah satu upaya mitigasi bencana karena dapat memprediksi kerusakan-kerusakan akibat gempa bumi sehingga resiko akibat gempa bumi dapat dihindari atau di kurangi. Berdasarkan uraian di atas maka penulis ingin melakukan penelitian dengan judul “**Pemetaan Mikrozonasi Seismik di Desa Lili Kecamatan Fatuleu Kabupaten Kupang**”.

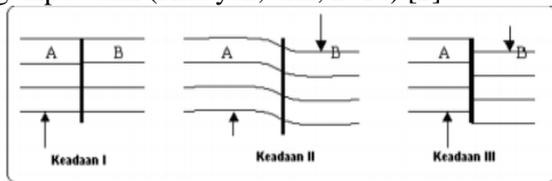
Landasan Teori

Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang terjadi akibat adanya pelepasan energi dari lapisan batuan yang patah secara tiba-tiba atau akibat adanya suatu ledakan. Berdasarkan penjalarnya gelombang seismik terbagi atas dua yaitu gelombang Badan yang terdiri dari gelombang Longitudinal dan gelombang Transversal dan gelombang Permukaan yang terdiri dari gelombang Love, Rayleigh, gelombang Stonely dan gelombang Channel [1].

Pengertian dan Mekanisme Gempa Bumi

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Mekanisme gempa bumi ialah jika terdapat 2 (dua) gaya yang bekerja dengan arah berlawanan pada batuan kulit bumi, batuan tersebut akan terdeformasi karena batuan memiliki sifat elastis. Bila gaya yang bekerja pada batuan cukup lama maka lama kelamaan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan mulai terjadi pergeseran dan batuan mengalami patahan secara tiba-tiba sepanjang bidang *fault*. Saat batuan mengalami gerakan tiba-tiba akibat pergeseran batuan, energi *stress* yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang dikenal sebagai gempa bumi (Hidayah, dkk, 2014) [2].



Gambar 1. Skema Deformasi Batuan (Susanto,2011) [3].

Informasi seismik tentang kejadian gempa bumi yang terjadi berupa rekaman sinyal berbentuk gelombang. Informasi ini selanjutnya mengalami proses pengumpulan, pengolahan dan analisis, sehingga menjadi parameter-parameter sumber gempa bumi meliputi magnitudo, *origin time*, episenter dan kedalaman gempa bumi.

Intensitas Gempa Bumi

Intensitas gempa bumi adalah derajat kerusakan akibat gempa bumi pada suatu daerah dan dilihat dari efek akibat getaran gempa. Besarnya intensitas sangat tergantung dari besarnya magnitudo, jarak dari sumber gempa, kondisi geologi dan struktur bangunannya (Edwiza, 2008) [4].

Mikrotremor

Mikrotremor merupakan vibrasi lemah dipermukaan bumi yang berlangsung terus menerus akibat adanya sumber getar seperti aktivitas manusia, industri dan lalu lintas. Sumber-sumber lain seperti interaksi angin, bangunan, arus laut dan gelombang laut dengan periode panjang juga merupakan sumber

mikrotremor. Survei mikrotremor dapat dilakukan didaerah yang belum terkena gempa bumi maupun daerah yang baru terkena gempa bumi. Survei mikrotremor ini dapat mengetahui karakteristik lapisan tanah berdasarkan parameter periode dominannya dan faktor penguatan gelombang (Irjan dan Bukhori, 2011) [5].

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai (Arifin, dkk, 2013) [6].

Frekuensi dominan (Hz)	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>Hard sandy, gravel</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras.
10 – 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy – gravel, sandy hard clay</i> , loam, dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter.
2,5 – 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan ≥ 5 m. Terdiri dari <i>sandy – gravel, sandy hard clay</i> , loam, dll.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal sekitar 10 – 30 meter.

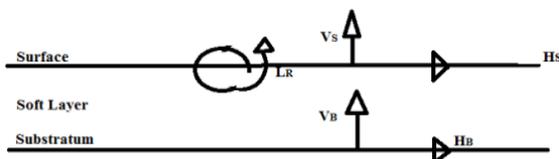
< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih.	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal.
-------	---	---

Mikrozonasi

Mikrozonasi seismik (*seismik microzonation*) adalah proses pembagian area yang berpotensi memiliki kerusakan akibat aktifitas seismik dan gempa bumi dengan mempertimbangkan karakteristik geologi dan geofisis dari lapisan sedimen. Mikrotremor juga dikenal sebagai getaran alam (*ambient vibration*) berasal dari dua sumber yaitu alam dan manusia [5].

Metode HVSR

Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) didasari oleh terperangkapnya getaran gelombang geser (gelombang SH) pada medium sedimen di atas *bedrock*. Metode HVSR digunakan untuk merekam *ambient noise* atau getaran alami yang timbul dari dalam bumi akibat gempa bumi. Metode H/V berguna untuk menunjukkan frekuensi resonansi dominan (f_0) dan nilai puncak HVSR (A) yang memrepresentasikan karakteristik dinamis lapisan sedimen sehingga efek geologi dan topografi dapat dikurangi ketika bencana gempa bumi terjadi.



Gambar 2. Ilustrasi Model Nakamura [5]

Dalam pengamatan di lapangan ada 1 (satu) komponen vertikal dan 2 (dua) komponen horizontal yang diukur yaitu komponen vertikal di permukaan, komponen

utara-selatan dan komponen timur-barat[6]. Rumusannya sebagai berikut :

$$S_M(w) = \frac{(H_{SN}(w)^2 + H_{WE}(w)^2)^{1/2}}{V_S}$$

Keterangan :

$S_M(W)$ = fungsi transfer untuk lapisan soil.

$H_{SN}(w)$ = spektrum mikrotremor komponen horizontal utara-selatan.

$H_{WE}(w)$ = spektrum mikrotremor komponen barat-timur.

V_S = spektrum mikrotremor komponen vertical di permukaan.

Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Indeks kerentanan seismik (K_g) merupakan indeks yang menunjukkan tingkat kerentanan suatu lapisan tanah mengalami deformasi. Indeks ini berguna untuk pendeteksian daerah yang merupakan zona lemah (*unconsolidated sediment*) pada saat terjadinya gempa bumi. Nilai indeks kerentanan seismik di setiap titik pengamatan dapat bervariasi walaupun pada geologi yang sama [5]. Nilai indeks kerentanan seismik diperoleh berdasarkan nilai amplifikasi dan frekuensi dominan sehingga dapat dituliskan :

$$K_g = \frac{A^2}{f_0}$$

Keterangan :

K_g = indeks kerentanan seismik

A^2 = amplifikasi

f_0 = frekuensi dominan gerakan tanah

Nilai amplifikasi dan periode dominan tanah memperlihatkan kondisi fisik batuan dan tanah setempat. Faktor amplifikasi memberikan gambaran tentang perubahan percepatan gerakan tanah dari batuan dasar ke permukaan. Amplifikasi tinggi menunjukkan kondisi batuan dan tanah yang lunak sedangkan nilai amplifikasi rendah memperlihatkan kondisi batuan dan tanah keras. Demikian pula periode dominannya, jika makin panjang periode dominannya, maka kondisi batuan dan tanahnya makin lunak dan tebal maupun sebaliknya.

Percepatan Tanah Maksimum

Percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) adalah nilai terbesar percepatan tanah pada suatu tempat akibat getaran gempa bumi dalam periode

waktu tertentu [2]. Faktor-faktor yang mempengaruhi besar kecilnya nilai percepatan tanah pada suatu tempat, antara lain adalah magnitudo gempa, kedalaman hiposenter, jarak episenter dan kondisi tanah.

Metode Tong & Katayama (1988)

Tong & Katayama memperoleh suatu model empiris percepatan tanah dengan rumus (Douglas, 2011)[7] :

$$\log \bar{A} = \alpha M - \beta \log(\Delta + 10) + \gamma T + \delta$$

Keterangan :

\bar{A} = percepatan tanah (gal)

T = periode dominan tanah titik pengamatan (s)

M = magnitude gelombang permukaan (SR)

Δ = jarak episenter (km)

$\alpha = 0.509, \beta = 2.32, \gamma = 0.039,$

$\delta = 2.33$

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu

Penelitian berlangsung selama 3 bulan dari bulan Juli 2016 sampai dengan bulan September 2016 dengan lokasi penelitian di desa Lili, Kecamatan Fatuleu Kabupaten Kupang.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. *Seismograph mobile* (TDL 303 S) yang dilengkapi GPS, Sensor dan Kabel penghubung
2. Kompas, GPS dan peta geologi.
3. Laptop (Microsoft Office, Datapro, Geopsy, Surfer 10, dan Google Earth)

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data historis gempa dari tahun 1963 – 2015 dari USGS.

Prosedur Kerja dan Pengolahan Data

Prosedur kerja dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Melakukan studi lapangan dengan menentukan titik pengukuran dan letak koordinat dengan jarak tiap titik 500 m.
2. Melakukan pengukuran frekuensi dominan tanah dan amplifikasi.
3. Menentukan besar nilai Indeks kerentanan (Kg) dengan persamaan Indeks Kerentanan

Seismik dan Percepatan Tanah dengan persamaan empiris Tong dan Katayama.

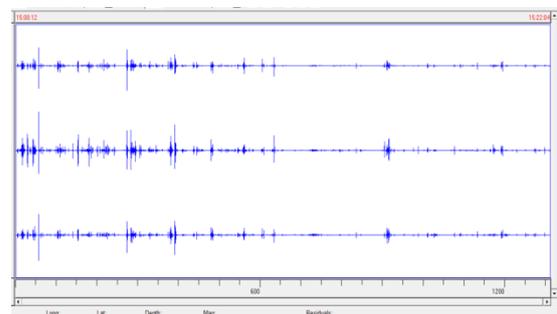
4. Membuat peta Indeks Kerentanan Seismik dan Percepatan Tanah Maksimum menggunakan Surfer 10.
5. Mengoverlay peta kontur Indeks Kerentanan Seismik dan Peta Percepatan Tanah pada Google Earth.

Pengolahan Data menggunakan Geopsy dengan metode HVSR diberlakukan beberapa ketentuan yaitu sebagai berikut :

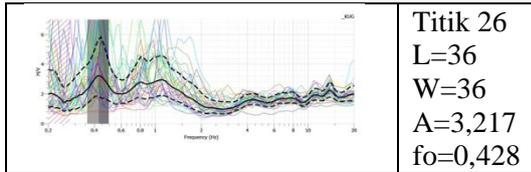
1. Jumlah window berkisar antara 30-60 disesuaikan dengan besarnya *length* per *second*.
2. Filter yang digunakan adalah *anti triggering on raw signal* dan juga *anti triggering on filtered signal*.
3. Proses smoothing menggunakan standar dari Konno-Ohmachi dengan *smoothing constant* berkisar 30-40.
4. Frekuensi sampling sebesar 0,2-20 Hz disesuaikan dengan frekuensi mikrotremor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian telah dilakukan di 42 titik yang tersebar di daerah penelitian dan hasil yang diperoleh di lapangan berupa data rekaman getaran tanah dalam domain waktu. Data yang terekam terdiri dari 3 komponen yaitu komponen vertikal (*up and down*), komponen horizontal *north-south* dan *east-west*. Data diolah terlebih dahulu menggunakan Datapro setelah itu diolah lagi menggunakan Geopsy untuk memperoleh nilai frekuensi dominan tanah dan amplifikasi melalui kurva HVSR.



Gambar 3. Salah satu bentuk data getaran tanah menggunakan Datapro titik 26



Gambar 4. Salah satu bentuk spektrum HVSr titik 26

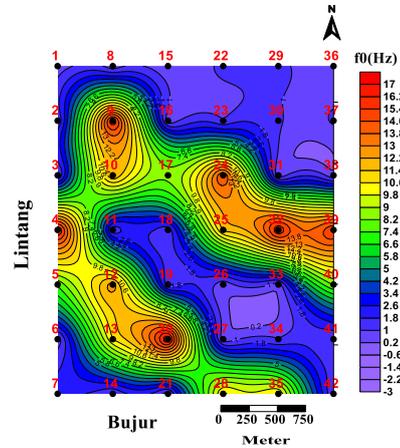
Kondisi geologi daerah penelitian terdapat beberapa formasi batuan yaitu formasi alluvium (Qa), formasi Noele (QTn) dan Kompleks Bobonaro (Tmb) yang terdiri dari batuan lempung, pasir, kerikil dan kerakal. (Rosidi, dkk, 1996).[8].

Frekuensi Dominan dan Amplifikasi

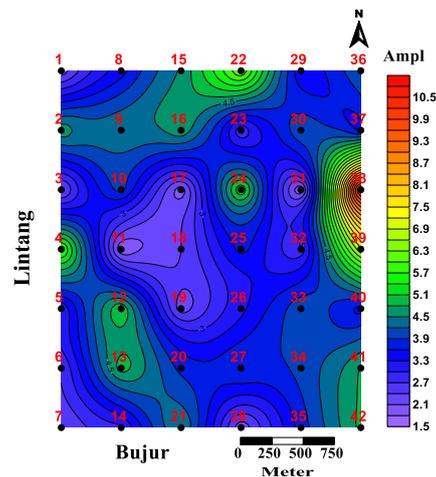
Frekuensi dominan tanah yang diperoleh di lapangan bervariasi dan berkisar antara 0,279 Hz – 17,210 Hz. Terdapat 27 titik ukur dengan nilai frekuensi dominan rendah (0,279 Hz – 2,410 Hz) yang ditandai dengan warna biru pada peta kontur. Jika dihubungkan dengan klasifikasi tanah oleh Kanai, hampir semua bagian daerah penelitian didominasi oleh batuan lunak dengan lapisan sedimen yang sangat tebal. Hal ini sesuai dengan geologi setempat yang didominasi oleh batuan lunak. Terdapat 6 titik ukur dengan nilai frekuensi sedang (7,520 Hz – 10,810 Hz) yang ditandai dengan warna hijau dan kuning pada peta kontur. Dihubungkan dengan klasifikasi tanah oleh Kanai, daerah di sekitar titik-titik ukur didominasi oleh batuan lunak dengan lapisan sedimen 5 m. Terdapat 9 titik ukur dengan nilai frekuensi besar (11,590 Hz – 17,210 Hz) ditandai dengan warna orange dan merah pada peta kontur. Dihubungkan dengan klasifikasi tanah oleh Kanai, daerah disekitar titik-titik ukur tersebut diindikasikan terdapat batuan tersier atau batuan lebih tua serta singkapan batuan keras dengan lapisan sedimen yang sangat tipis.

Nilai amplifikasi yang diperoleh berkisar antara 1,802-10,890. Nilai amplifikasi rendah ditandai dengan warna biru pada peta kontur dan nilai amplifikasi tinggi ditandai dengan warna hijau hingga orange kemerahan pada peta kontur. Nilai amplifikasi besar menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan antar lapisan. Gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika merambat pada satu medium ke medium lain yang lebih lunak dibanding medium awal yang dilaluinya. Setiap titik ukur dengan nilai

amplifikasi besar dan nilai frekuensi dominannya kecil, beresiko mengalami kerusakan yang besar pula terhadap bencana gempa bumi.



Gambar 5. Kontur frekuensi dominan tanah

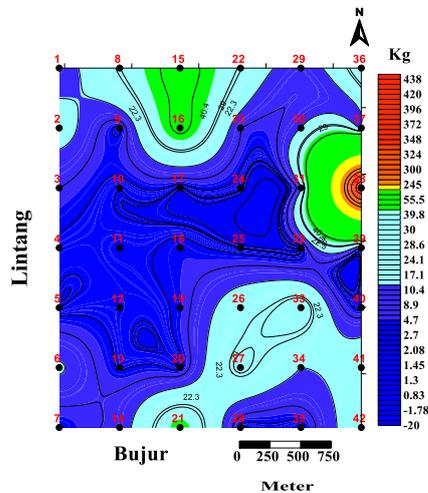


Gambar 6. Kontur amplifikasi

Indeks Kerentanan Seismik

Perhitungan indeks kerentanan seismik dilakukan dengan membandingkan kuadrat nilai faktor amplifikasi dan frekuensi dominan tanah. Nilai indeks kerentanan seismik yang diperoleh berkisar antara 0,422-421,167. Nilai indeks kerentanan rendah ditandai dengan warna biru tua pada peta kontur sedangkan nilai indeks kerentanan tinggi ditandai dengan warna orange. Nilai indeks kerentanan seismik rendah, frekuensi dominannya tinggi, amplifikasinya kecil. Nilai indeks kerentanan tinggi, frekuensi dominannya rendah, amplifikasinya besar. Daerah dengan nilai frekuensi dominan rendah menunjukkan bahwa lapisan sedimen yang menutupi batuan dasar cukup tebal. Bila di sertai dengan penguatan gelombang atau

amplifikasi besar maka akan menghasilkan nilai indeks kerentanan yang besar dan daerah tersebut termasuk daerah

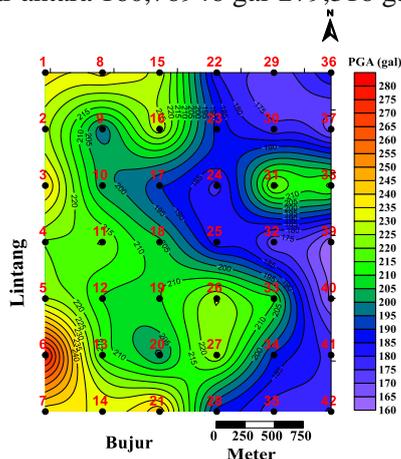


Gambar 7. Kontur Indeks kerentanan seismik

yang sangat rentan kerusakan ketika terjadi gempa bumi.

Percepatan Tanah Maksimum

Nilai percepatan tanah yang diperoleh di setiap titik ukur berbeda-beda. Titik ukur dengan nilai PGA paling tinggi adalah titik ukur 6 dengan nilai PGA 279,316 gal, dengan periode sebesar 2,36 s ($f = 0,4220$ Hz), magnitudo sebesar 6 SR, kedalaman 35 km dan jarak episenter 6,286 km. Semakin besar nilai PGA pada suatu daerah maka semakin rentan daerah tersebut terhadap guncangan gempa bumi. daerah dengan nilai PGA tinggi ditandai dengan warna merah dan nilai PGA rendah ditandai dengan warna biru pada peta kontur. Sehingga dapat dikatakan bahwa daerah di sekitar titik ukur 6 sangat rentan terhadap guncangan gempa bumi., Berdasarkan hasil pengolahan data, nilai PGA yang diperoleh berkisar antara 160,76946 gal-279,316 gal.



Gambar 8. Kontur percepatan tanah maksimum

Ditinjau dari skala MMI, lokasi penelitian dikelompokkan kedalam tingkat resiko besar kedua hingga resiko besar ketiga dengan skala intensitasnya VIII hingga IX.

Table 2. Tingkat resiko gempa bumi (Fauzi, dkk, 2005 dalam Edwiza dan Novita, 2008) [9].

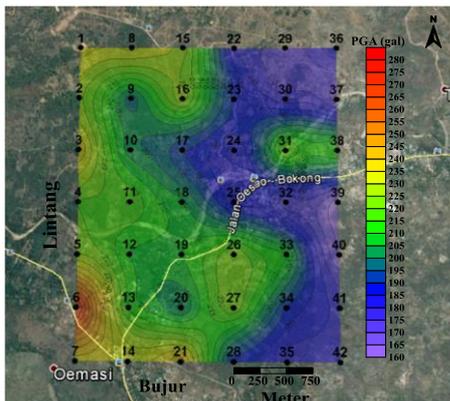
No	Tingkat Resiko	Nilai PGA (gal)	Intensitas (MMI)
1	Resiko sangat kecil	< 25	< VI
2	Resiko kecil	25-50	VI – VII
3	Resiko sedang satu	50 – 75	VII – VIII
4	Resiko sedang dua	75 – 100	VII – VIII
5	Resiko sedang tiga	100 - 125	VII – VIII
6	Resiko besar satu	125- 150	VIII – IX
7	Resiko besar dua	150 – 200	VIII – IX
8	Resiko besar tiga	200 – 300	VIII – IX
9	Resiko sangat besar satu	300 – 600	IX – X
10	Resiko sangat besar dua	>600	> X

Pada skala intensitas VIII, identifikasi pada bangunan dengan konstruksi kurang baik mengalami roboh sebagian, retak-retak dan mengalami kerusakan ringan. Pada skala IX, identifikasi kejadian pada bangunan dengan konstruksi kurang baik kadang-kadang runtuh total, sedangkan bangunan dengan konstruksi kuat dapat mengalami rusak berat, umumnya rusak sampai pondasi (Afnimar, 2009) [10].

Mikrozonasi

Pemetaan mikrozonasi untuk daerah penelitian didasarkan pada nilai indeks kerentanan seismik dan percepatan tanah maksimum. Peta mikrozonasi dibuat dengan menempatkan atau menggabungkan titik-titik yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik dan PGA yang sama atau dalam kisaran nilai tertentu kedalam satu zona.

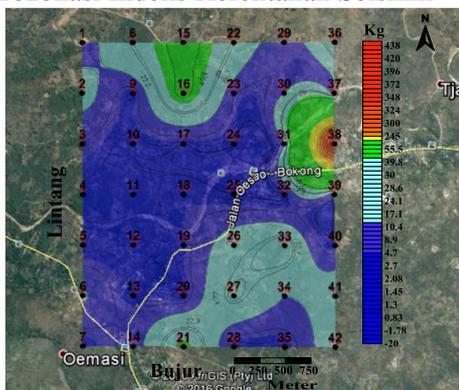
a. Mikrozonasi PGA



Gambar 9. Mikrozonasi PGA

1. Zona 1. Kisaran nilai PGA 150-200 gal memiliki tingkat resiko besar dua, terdapat pada titik 39, 40, 37, 32, 29, 35, 30, 24, 41, 22, 42, 25, 36, 28, 23, 34, 17, 9 dan 20.
2. Zona 2. Kisaran nilai PGA 200-300 gal, memiliki tingkat resiko besar tiga dan terdapat pada titik 10, 18, 12, 19, 33, 13, 38, 4, 11, 31, 27, 5, 26, 2, 15, 16, 14, 7, 8, 1, 3, 21 dan 6.

b. Mikrozonasi Indeks Kerentanan Seismik



d. Gambar 10. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik

1. Zona 1. Nilai indeks kerentanan seismik 0,42-10,42, ditandai dengan warna biru tua pada peta mikrozonasi. Terdapat pada titik 17, 28, 32, 20, 25, 5, 9, 35, 10, 40, 24, 12, 4, 13, 7, 1

1, 39, 19, 18, 3, 23, 29, 14, 1, 37 dan 31. Titik-titik ini tidak rentan terhadap bencana seismik.

2. Zona 2. Nilai indeks kerentanan seismik 10,5-20,5, ditandai dengan

sedikit warna biru tua dan sedikit warna biru terang pada peta mikrozonasi. Terdapat pada titik 34, 30 dan 6. Titik-titik ukur ini tidak terlalu rentan terhadap bencana seismik.

3. Zona 3. Nilai indeks kerentanan seismik 20,6-30,6. Ditandai dengan warna biru terang pada peta mikrozonasi. Terdapat pada titik 2, 41, 26, 42, 22 dan 8. Titik-titik ukur ini cukup rentan terhadap bencana seismik.
4. Zona 4. Nilai indeks kerentanan seismik 30,7-40,7, ditandai dengan warna biru terang pada peta mikrozonasi. Terdapat pada titik 27, 33 dan 36. Titik-titik ukur ini rentan terhadap bencana seismik.
5. Zona 5. Nilai indeks kerentanan seismik 48-56, ditandai dengan warna merah pada peta mikrozonasi. Terdapat pada titik 21, 16 dan 15. Titik-titik ukur ini sangat rentan terhadap bencana seismik.
6. Zona 6. Nilai indeks kerentanan seismik 421, ditandai dengan warna merah pada peta mikrozonasi dan terdapat pada satu titik saja yaitu titik 38. Titik ini paling rentan terhadap bencana seismik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Nilai frekuensi dominan berkisar antara 0,279 Hz-17,210 Hz. Nilai amplifikasi berkisar antara 1,802-10,240.
2. Nilai indeks kerentanan seismik berkisar antara 0,422-421,167.
3. Besarnya nilai percepatan tanah yaitu berkisar antara 160,769 gal-279,316 gal.

SARAN

1. Perlu adanya penelitian selanjutnya tentang survei mikrotremor dengan membandingkan nilai percepatan tanah oleh Tong dan Katayama dengan persamaan percepatan tanah lain. Persamaan harus ada parameter periode dominan.
2. Data hasil penelitian dapat menjadi bahan pertimbangan bagi pemerintah setempat dalam melakukan kajian tata ruang dan wilayah dalam perluasan kota dengan merancang bangunan yang kokoh dan tahan

gempa serta menghindari pembangunan di daerah-daerah dengan indeks kerentanan dan percepatan tanahnya tinggi, sebagai salah satu upaya mitigasi bencana seismik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sianturi, H. L. 2010. *Pengantar Seismologi*. Departemen Pendidikan Nasional. Undana.
2. Hidayah, C., Prasetyo, B., Santoso, A dan Palupi, R., P. 2014. Analisa Percepatan Tanah Maksimum Pulau Jawa Menggunakan Metode Mc Guire Berdasarkan Data Gempa Tahun 2005-2013. Template Makalah Seminar Nasional UII Program Studi Teknik Geofisika Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
3. Susanto, A. 2011. Perhitungan Percepatan Tanah Maksimum Berdasarkan Data Gempa Bumi di Daerah Istimewa Yogyakarta. Skripsi, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang.
4. Edwiza, D. 2008. Analisis Terhadap Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar. *Jurnal teknikA*. 1. 29.73-79.
5. Irjan dan Bukhori, A. 2011. Pemetaan Wilayah Rawan Bencana Berdasarkan Data Mikroseismik Menggunakan TDS Tipe 303 S. *Jurnal Neutrino*. 2.3.153-162.
6. Arifin, S. S., Mulyanto, B. S., Marjiyono dan Setihegara, R. 2013. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSR Mikrotremor dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 1. 1. 30-40.
7. Douglas, J. 2011. Ground-motion Prediction Equation 1964-2010.
8. Rosidi, H.M.D., Tjokrosoetro, dan S., Gafoer, S. 1996. Peta Geologi Lembar Kupang-Atambua. Timor.
9. Edwiza, D., dan Novita, S., 2008. Pemetaan Percepatan Tanah Maksimum dan Intensitas Seismik Kota Padang Panjang Menggunakan Metode Kanai. *Jurnal TeknikA*.2.29. 111-118.
10. Afnimar., 2009. Seismologi Laboratorium Seismologi. ITB. Bandung.