

## **Makrozonasi dan Mikrozonasi Kerentanan Bencana Gempa Bumi di Wilayah Ende sebagai Data dasar Perencanaan dan Pengembangan Wilayah**

S.E.A. SAputrA<sup>1</sup>, A. SuhAimi<sup>1</sup>, dan F. MuLyASari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Jln. Diponegoro No.57 Bandung

<sup>2</sup>Georisk Project, Kerjasama Indonesia - Jerman, Jln. Diponegoro No.57 Bandung

### **Sari**

Penerapan makrozonasi dan mikrozonasi kerentanan bencana gempa bumi dalam peraturan zonasi tingkat kabupaten dan kota ini, merupakan salah satu kegiatan kerjasama teknik antara Badan Geologi (DESDM) dan Institut Geosains dan Sumber Daya Alam Republik Federal Jerman (BGR) dengan melibatkan Pemerintah Kabupaten/Kota Ende. Makrozonasi tingkat kabupaten bermuatan informasi dasar mengenai keseismotektonikan yang mencakup kondisi geologi (bentang alam, batuan, stuktur geologi, dan neotektonik), dan kegempaan (sebaran pusat gempa, mekanisme fokal, lajur sumber gempabumi, percepatan pada batuan keras, sedang dan lunak, tingkat kerusakan). Di sisi lain, zonasi ini juga masuk wilayah administratif dan potensi bencana gempa bumi serta ikutannya bila terjadi gempabumi. Sementara penelitian kerentanan bencana gempa bumi di wilayah kota terdiri atas mikrozonasi dengan parameter amplifikasi, periode dominan dan indeks kerentanan bencana gempa bumi sebagai perpaduannya. Kedua parameter tersebut di atas diharapkan dapat dipakai sebagai data dasar RTRW (Rencana Tata Ruang dan Wilayah) bagi penilaian resiko bencana gempabumi di masing masing zona berdasarkan tingkat kerentanan yang dimilikinya.

**Kata kunci:** makrozonasi, mikrozonasi, peraturan zonasi, gempa bumi, Ende

### **Abstract**

*The application of macrozonation and microzonation on earthquake hazard susceptibility for zoning regulation in the regency and city levels, is one of the activities of joint technical cooperation between the Geological Agency, Ministry of Energy and Mineral Resources and the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) which involved the local government of Ende. Macrozonation of the Ende Regency contains a basic information of seismotectonics which consists of geological conditions (geomorphology, lithology, structural geology, and neotectonics) and seismicities (epicenter distribution, focal mechanism, earthquake source zones, and accelerations of hard, intermediate and soft rocks as well as their maximum intensity). On the other sides, it includes administrative boundaries and potential earthquake hazards as well as its collateral hazards when the earthquakes occurred. The research in the city area was a microzonation parameters of amplification, predominant period, and susceptibility index of earthquake hazard and its combinations. These important parameters can be used as spatial planning data for an earthquake risk assessment at each zone based on it own susceptibility degree.*

**Keywords:** macrozonation, microzonation, zoning regulation, earthquake, Ende

### **Pendahuluan**

Kabupaten Ende, Provinsi Nusatenggara Timur merupakan salah satu daerah yang rentan bencana gempa bumi Indonesia. Daerah ini populasi dan infrastrukturnya berkembang sangat cepat, terutama

di Kota Ende dan penyangganya. Gempa bumi merusak yang pernah melanda daerah ini (gempa bumi Maumere 1989 dan 1992), secara genetika disebabkan oleh aktivitas sesar lajur tunjaman dan sesar aktif. Salah satu sesar aktif di daerah ini berlokasi di sebelah utara Flores dan dikenal sebagai sesar

naik bawah permukaan laut Busur Belakang Flores. Selain itu, dijumpai sesar geser aktif di tengah Kabupaten Ende. Gempa bumi merusak tercatat di daerah ini berintensitas maksimum antara VII - IX MMI (Puslitbang Geologi, 2003).

Dalam rangka melindungi masyarakat dan infrastruktur hasil pembangunan dari bencana gempa bumi, pemerintah Indonesia telah membuat Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana dan Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang. Berdasarkan peraturan tersebut di atas, tugas dan fungsi pemerintah daerah adalah melakukan aksi pencegahan bencana yang terdiri atas upaya mitigasi dan membuat regulasi perencanaan mitigasi risiko bencana.

Proyek Georisk merupakan kerja sama teknik antara Badan Geologi dan BGR (*German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources*) dalam rangka mengembangkan metode penilaian risiko bencana geologi sebagai informasi dasar pembuatan peraturan zonasi yang disahkan dalam bentuk Peraturan Daerah sebagaimana tercantum dalam UU No. 26/2007 (Pasal 36 ayat 3).

Penelitian makrozonasi dilakukan di wilayah Kabupaten Ende, sedangkan untuk wilayah kota dilakukan mikrozonasi. Hal ini dikarenakan cakupan area penelitian di Kabupaten Ende lebih luas daripada wilayah Kota Ende.

### Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah menyediakan data dan informasi dasar untuk peraturan zonasi sebagai pedoman pengendalian pemanfaatan ruang dan pengembangan wilayah (UU No.26/2007, pasal 36 ayat 1). Informasi yang dimaksud dalam hal ini adalah penilaian bencana gempa bumi. Pengertian peraturan zonasi sendiri menurut UU No. 26/2007 merupakan ketentuan yang mengatur tentang persyaratan pemanfaatan ruang dan ketentuan pengendaliannya, disusun untuk setiap blok/zona peruntukan yang penetapan zonanya dalam rencana terperinci tata ruang.

### Metodologi

Sebagai langkah awal dalam metode penelitian ini dilakukan evaluasi kebencanaan gempa bumi

yang sifatnya regional dan dalam skala kecil, terdiri atas kondisi geologi (geomorfologi, batuan, struktur geologi, dan neotektonik) dan penilaian risiko bencana gempa berdasarkan kebolehjadian bencana gempa serta aplikasinya dari tiga dimensi sumber gempa (latar belakang zona kegempaan, lajur sumber gempa bumi sesar aktif, dan lajur sumber gempa bumi tunjaman). Analisis kebencanaan gempa bumi di daerah ini menggunakan model percepatan probabilistik (Seis Risk III) dan model atenuasi Fukushima dan Tanaka (1990).

$$\log_{10} A = 0.41 M - \log_{10} (R + 0.032 \times 10^{0.41M}) - 0.0034 R + 1.30$$

A : percepatan maksimum dalam gal (cm/det<sup>2</sup>)

R : jarak pusat gempa (km)

M : kekuatan gempa di permukaan

Penilaian kebencanaan gempa bumi lokal terdiri atas determinasi sifat fisik dan respon spektrum batuan dan tanah (mikrotremor) secara regional (kabupaten) dan lokal (kota dan kecamatan).

Makrozonasi berskala 1:100.000 dan peta mikrozonasi berskala 1:10.000 - 1:50.000 berbasiskan SNI 13-6010-1999 (seismotektonik) dan SNI 1726-2002 (kebencanaan gempa bumi). Metode mikrozonasi ini dijelaskan di dalam makalah berjudul *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Application* (Nakamura, 2000). Peta mikrozonasi bencana gempa bumi Kota Ende dibuat berdasarkan analisis data mikrotremor dari 45 titik mikrotremor.

Langkah terakhir berupa penilaian risiko geologi (bencana dan kerentanan) serta implementasinya.

### Geologi Kabupaten Ende

Geologi Kabupaten Ende terdiri atas tiga bagian utama, yaitu bentang alam, batuan, dan struktur geologi.

#### Bentang Alam

Berdasarkan analisis peta topografi dan citra satelit, bentang alam daerah ini terdiri atas bentang alam asal gunung api (Kompleks Gunung Api Kelimutu dan Gunung Api Iya), bentangalam denudasi gunung api (Endora, Randu, Tarawoka, Nabe, Lempebusu, Kima, Endota, Wumbu, dan Ngita), bentang alam denudasi struktur (bagian barat dan

tengah daerah sekitar Nangapanda, Kecamatan Wewaria, Maokaro, Detukeli, dan Detusuko), bentang alam asal sungai (terutama di bagian utara khususnya sepanjang sungai utama), bentang alam asal laut (sepanjang pantai utara dan daerah tertentu di pantai selatan), dan bentangalam asal denudasi (bagian barat dan timur Kecamatan Worojita).

### Batuan

Batuan penyusun daerah ini berdasarkan peta geologi Lembar Ende (Suwarna drr., 1989) terdiri atas sedimen Tersier (breksi, lava, tuf pasir, batupasir tufan, batupasir, dan batugamping). Selain itu dalam satuan ini dijumpai batuan terobosan granit. Batuan gunung api Kuartar (Plistosen) yang tersingkap di daerah ini terdiri atas lava, breksi, aglomerat, tuf pasir, dan tuf batuapung). Batuan gunung api Holosen tersusun oleh lava, breksi, aglomerat, tuf, dan pasir gunung api. Batuan termuda yang dijumpai di daerah ini berupa endapan sungai dan endapan pantai berumur Holosen. Batuan ini tersebar sepanjang pantai dan lembah-lembah sungai. Berdasarkan penelitian respons dinamika dengan menggunakan analisis mikrotremor, batuan dan tanah di daerah ini dapat dibagi menjadi empat jenis, yaitu batuan, diluvium, aluvium, dan aluvium lunak. Klasifikasi batuan dan tanah tersebut dibandingkan dengan periode dominan standar dan faktor koreksinya (Tabel 1).

### Struktur Geologi

Struktur geologi di daerah ini secara umum terdiri atas lipatan antiklin dan sinklin serta tiga jenis sesar, yakni sesar naik, sesar geser, dan sesar turun. Sumbu lipatan antiklin dan sinklin memperlihatkan arah barat-timur. Sumbu lipatan ini paralel dengan sesar naik dan tersesarkan oleh sesar geser mengiri dengan arah barat daya-timur laut. Sesar normal dijumpai sebagai sesar kesetimbangan dan mem-

perlihatkan arah barat laut-tenggara. Dari ketiga tipe sesar di daerah ini, sesar geser mengiri merupakan sesar aktif utama; salah satu sesar aktif utama di daerah ini disebut sebagai sesar geser bagian tengah Kabupaten Ende. Sesar ini merupakan lajur potensi sumber gempa bumi.

### KegeMPaan

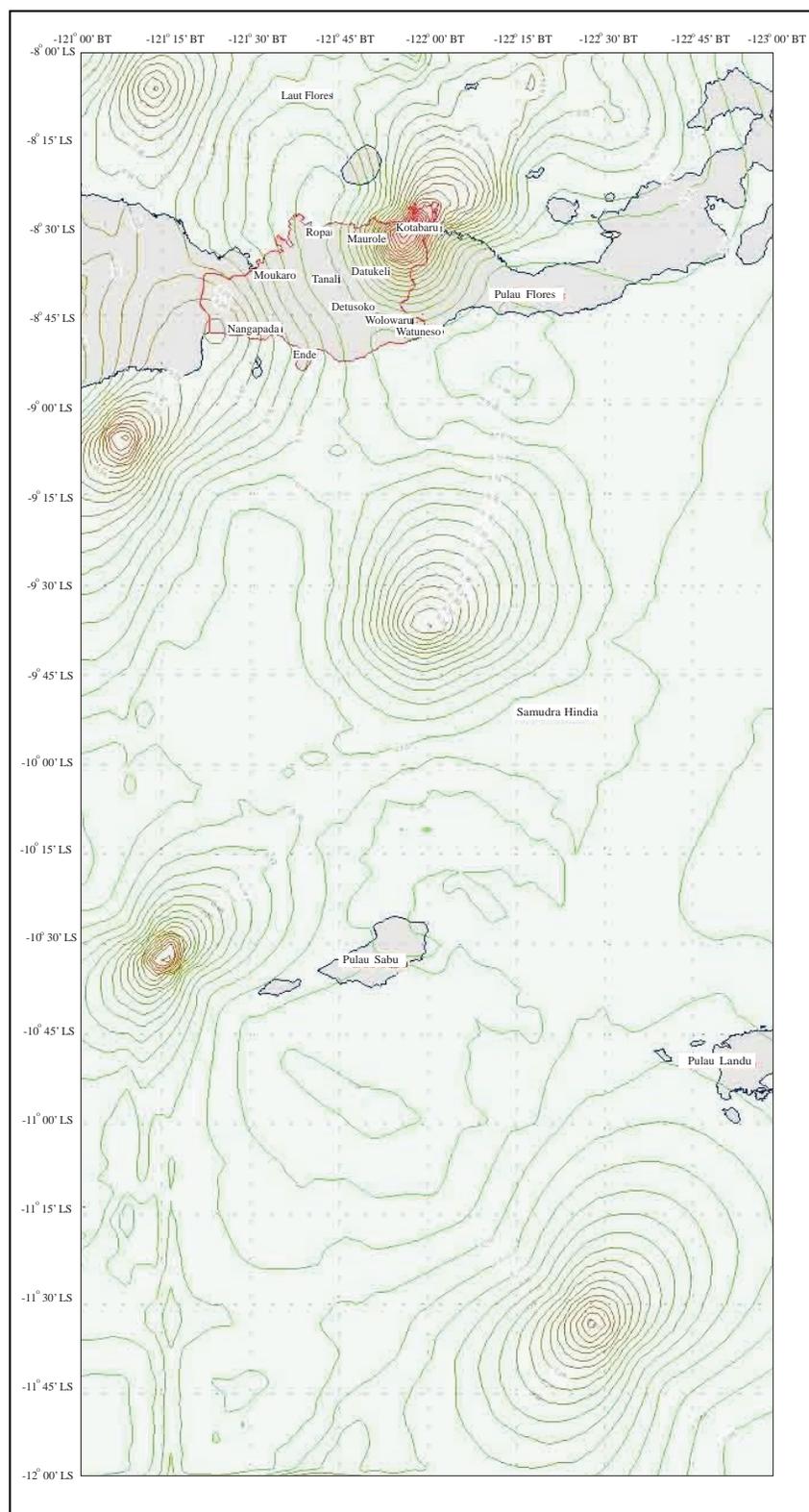
Berdasarkan katalog gempa (NEIC, USGS dari tahun 1964 - 2008) kegeMPaan daerah ini yang terletak pada koordinat 121° -123° BT dan 8° -12° LS terdiri atas 300 pusat gempa bumi (berkekuatan > 4Mb dan kedalaman 0 - 260 Km). Dalam penerapannya, kegeMPaan di daerah ini dibagi menjadi kekuatan > 6 Mb, 5-6 Mb dan < 5 Mb dengan kedalaman < 30 Km, 30-100 Km dan > 100 Km. KegeMPaan daerah ini berdasarkan kedalaman dan lokasi pusat gempa serta keberadaan sesar aktif dan mekanisme fokalnya dapat dibagi menjadi tiga lajur sumber gempa bumi utama.

Lajur sumber gempa pertama merupakan Lajur Sumber Gempa Bumi Tunjaman Benioff Wadati dari Lempeng Samudra Indo-Australia yang menunjam di bawah Lempeng Kontinen Eurasia. Lajur sumber gempa bumi tersebut berlokasi di sebelah selatan daerah ini. Lajur sumber gempa kedua adalah Lajur Sumber Gempa Bumi Sesar Naik Bawah Laut Busur Belakang Flores yang berlokasi di sebelah utara busur kepulauan ini. Lajur sumber gempa ketiga adalah Lajur Sumber Gempa Bumi Sesar Geser bagian tengah Kabupaten Ende.

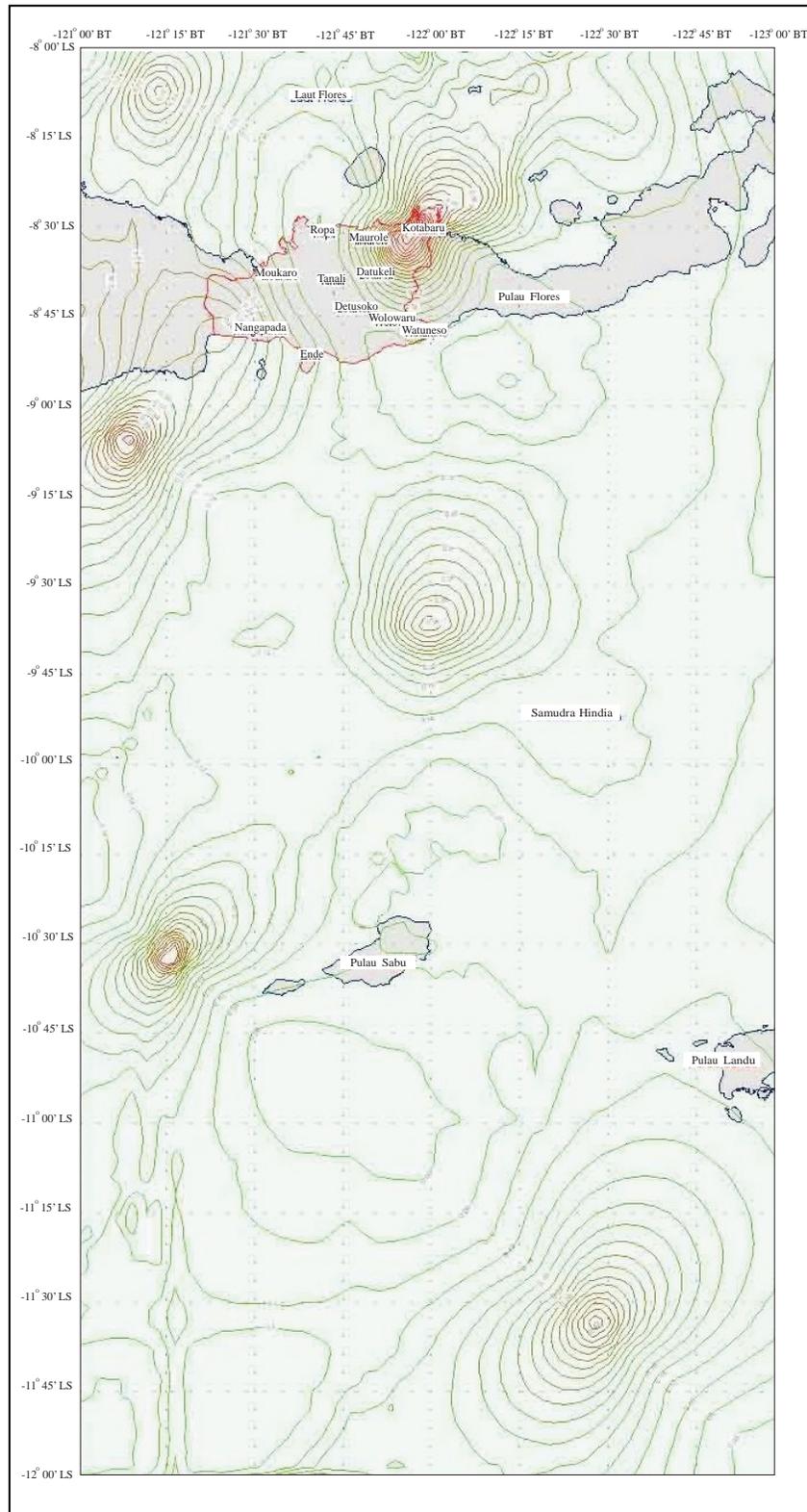
Model percepatan probabilistik dalam periode ulang 50 tahun, 100 tahun, dan 250 tahun dalam studi ini diperlihatkan dalam Gambar 1, 2, dan 3 serta perhitungan percepatan batuan dasar untuk setiap kota dan kecamatan diperlihatkan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Faktor Koreksi untuk Batuan/Tanah

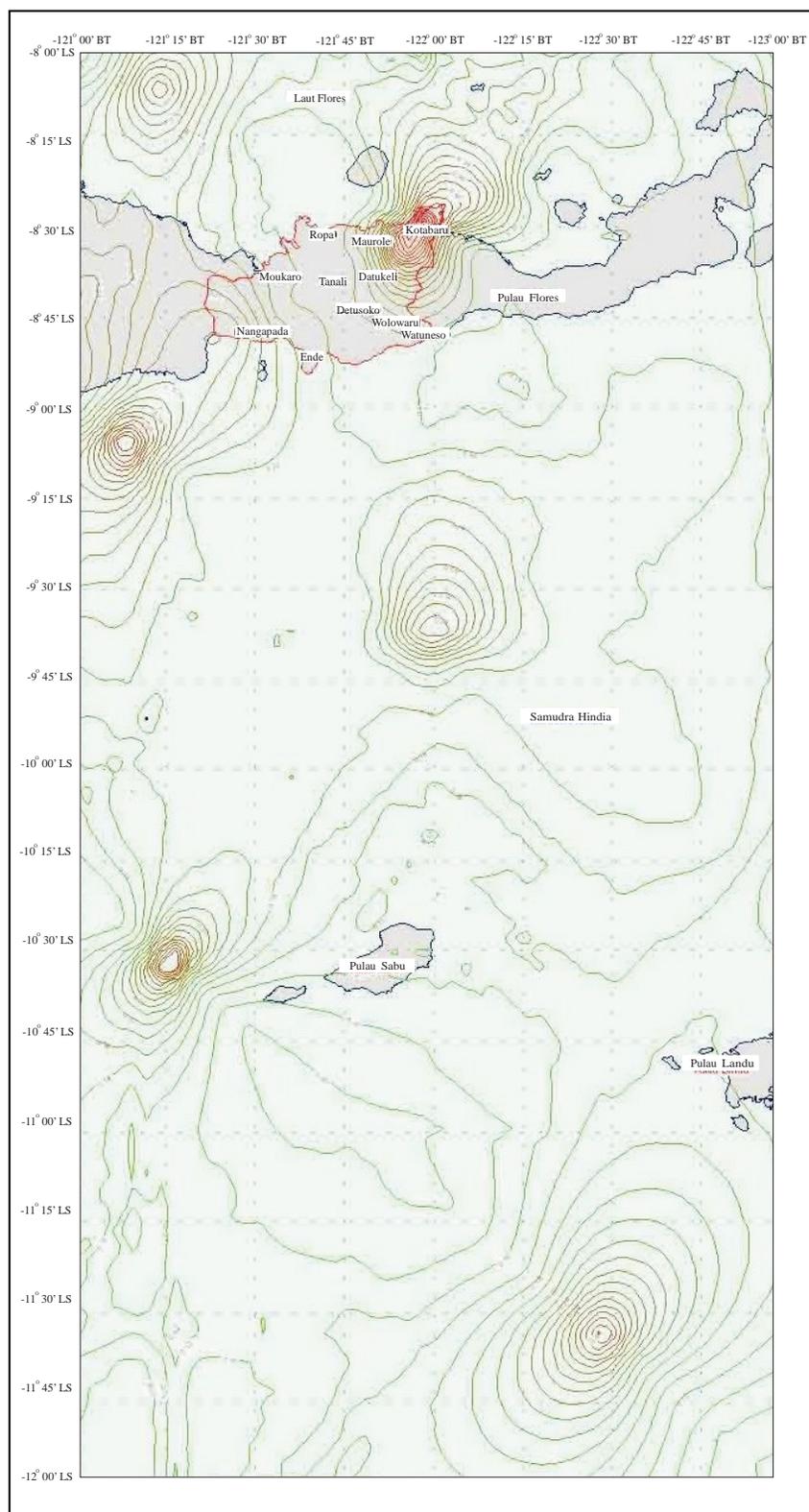
Jenis Batuan/Tanah	Periode Dominan Standar Ts(detik)	Periode Dominan Lokal Ts (detik)	Faktor Koreksi (v)
Batuan	Ts < 0,25	Ts < 0,20	0,80
Diluvium	0,25 < Ts < 0,50	0,20 Ts < Ts < 0,50	1,00
Aluvium	0,5 < TS < 0,75	0,50 < Ts < 0,70	1,10
Aluvium Lunak	Ts > 0,75	0,70 < Ts < 1,40	1,20



Gambar 1. Peta percepatan batuan dasar kebolehtahanan (50 tahun).



Gambar 2. Peta percepatan batuan dasar kebolehjadian (100 tahun).



Gambar 3. Peta percepatan batuan dasar kebolehjadian (250 tahun).

Tabel 2. Periode ulang dan Percepatan Batuan Dasar

Periode Ulang T (tahun)	Ac (g)										
	Ende	Detu- soko	Ropa	Wolo- waru	Watu- neso	Morole	Detu- keli	Nanga- panda	Tonali	Makaro	Kota- baru
50	0,167	0,111	0,11	0,096	0,097	0,187	0,16	0,243	0,096	0,096	0,402
100	0,173	0,12	0,119	0,117	0,121	0,195	0,169	0,249	0,122	0,117	0,406
250	0,188	0,176	0,166	0,178	0,175	0,207	0,18	0,258	0,179	0,179	0,412

### SeiSMoTeKTONiK

Seismotektonik daerah ini memperlihatkan tipe seismotektonik asimetri yang terdiri atas dua karakter seismotektonik yang kontras, yakni Lempeng Tektonik Samudra dan Lempeng Tektonik Benua. Lempeng tektonik samudra di daerah ini menjam di bawah lempeng tektonik benua. Fenomena seismotektonik ini menghasilkan sesar naik Benioff Wadati. Kondisi seismotektonik lainnya dimiliki oleh zona seismotektonik kerak benua bagian atas dan disebut sebagai sesar naik bawah laut Busur Belakang Flores dan sesar geser aktif bagian tengah Kabupaten Ende. Mekanisme fokal dari kedua lajur seismotektonik ini memperlihatkan mekanisme sesar naik dengan arah kompresi maksimum barat daya-timur laut (Gambar 4).

### Sesar Aktif

Sesar yang memperlihatkan aktivitas dalam zaman Kuarter sejak ± dua juta tahun yang lalu disebut sebagai sesar aktif. Sementara sesar berkemungkinan aktif adalah sesar yang mempunyai potensi aktif dalam kurun waktu dua juta tahun yang lalu. Hasil interpretasi kondisi geologi seperti gambaran bentang alam, sebaran produk gunung api muda dan sedimen klastiknya serta dinamika struktur geologi (kinematika sesar dan arah kompresinya) dan sebaran pusat-pusat gempa bumi dangkal pada dan sekitar zona sesar, menyatakan sesar geser aktif bagian tengah Kabupaten Ende adalah salah satu sesar aktif di daerah ini. Studi seismotektonik di sepanjang sesar ini menunjukkan adanya rumpang gempa bumi yang berada di antara dua segmen sesar, yakni segmen sesar Kota Baru dan segmen sesar Nangapanda. Rumpang gempa ini mencerminkan potensi sumber gempa di masa yang akan datang.

### Koefisien Zona Seismik

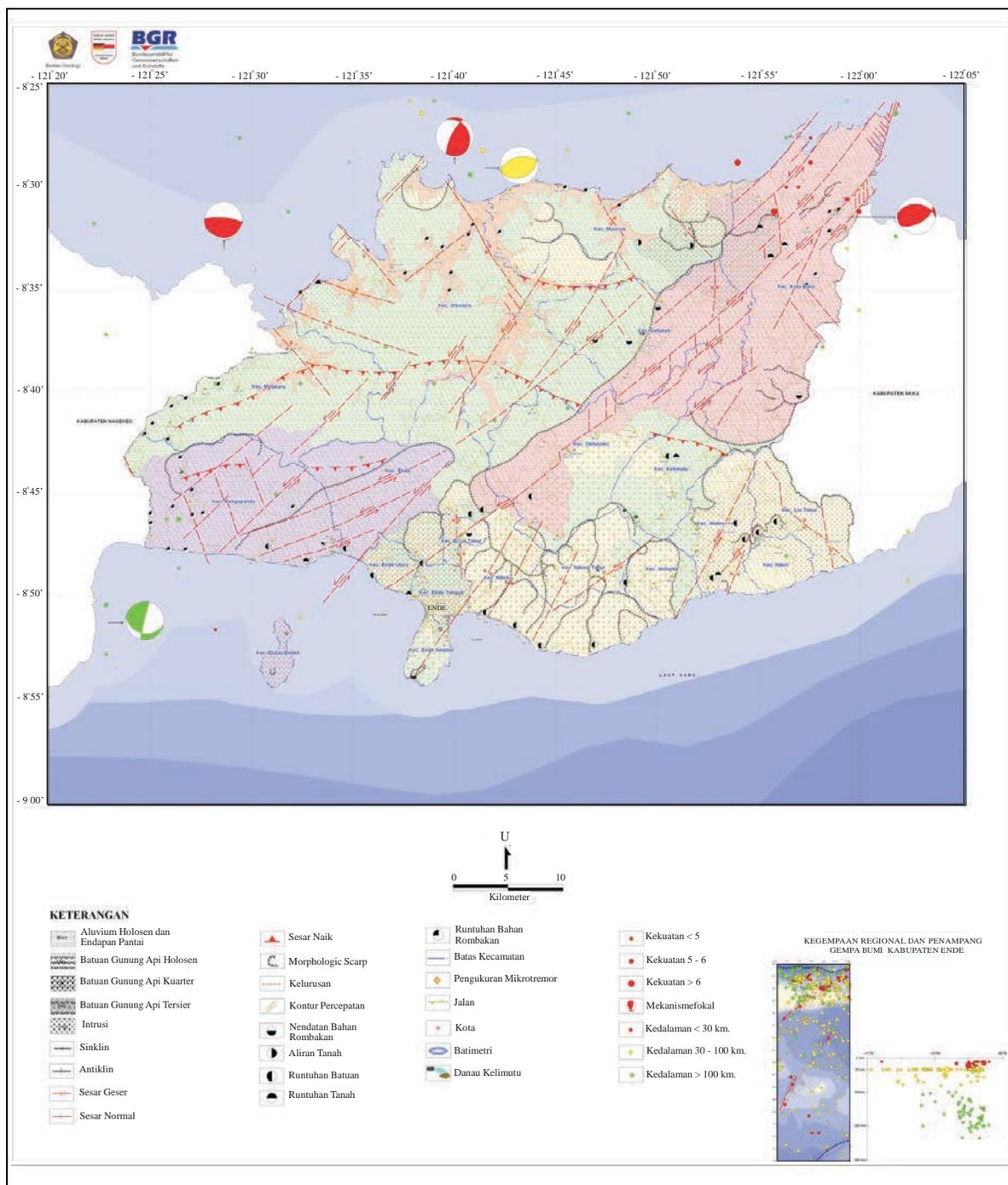
Koefisien zona seismik adalah salah satu faktor penting dalam menentukan percepatan gempa bumi deterministik. Koefisien zona yang dipakai dalam penelitian ini berdasarkan penelitian zonasi seismotektonik dan aktivitas kegempaan masa lalu (sejarah intensitas dan aktivitasnya serta evaluasi kegempaan masa lalu) yang dikorelasikan pada ketentuan *Uniform Building Code* (Celebi, 1995) seperti diperlihatkan dalam Tabel 3.

### MaKrozoNaSi BeNcAna GeMpa BuMi KaBuPaTen Ende

Makrozonasi bencana gempabumi Kabupaten Ende dapat dibagi menjadi lima zona makrozonasi bencana gempa (Gambar 4 dan Tabel 4).

### Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Sangat Tinggi

Zona kerentanan bencana gempa bumi sangat tinggi berada di bagian tengah sebagai poros Kabupaten Ende dan merupakan bagian Kecamatan Kota Baru, Detukeli, dan Detusuko. Zona ini memanjang dengan arah barat daya-timur laut (panjang 50 km dan lebar 8 km). Bentang alam zona ini umumnya terdiri atas bentang alam denudasi struktur. Batuan penyusun zona ini umumnya berupa batuan gunung api dan batuan sedimen berumur Tersier, dan sebagian kecil daerah ini terdiri atas endapan aluvium sungai dan endapan pantai berumur Holosen. Struktur geologi tersingkap sebagai sesar geser mengiri. Analisis bencana gempa bumi terdiri atas percepatan batuan dasar (50 thn = 0,40 g, 100 thn = 0,406 g, 250 thn = 0,255 g), koefisien zona (Z) = 1, Ad (100 thn) untuk batuan keras = 0,325 g, k = 0,33. untuk batuan menengah = 0,406 g, k = 0,41, batuan lunak



Gambar 4. Peta seismotektonik dan makrozonasi potensi bahaya gempabumi Kabupaten Ende.

Tabel 3. Koefisien Zona Gempa *Z* (*Uniform Building Code* dalam Celebi, 1995)

Nama Zona	Nomor Zona	Koefisien <i>Z</i>
Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Sangat Tinggi	4	1
Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Tinggi	3	1/4
Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Menengah	2	1/8
Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Menengah - Rendah	1	1/16
Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Rendah	0	0

= 0,487 g,  $k = 0,50 = \frac{1}{2}$ , dan maksimum intensitas dalam zona ini adalah IX MMI.

#### Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Tinggi

Zona kerentanan bencana gempa bumi tinggi dijumpai di bagian barat daya kabupaten ini, yakni di Kecamatan Nangapanda dan Ende. Zona ini memanjang dengan arah barat-timur (panjang 24 km, lebar 12 km). Bentangalam zona ini umumnya terdiri atas bentang alam denudasi struktur, bentang alam asal gunung api, bentang alam denudasi gunung api, serta bentang alam asal laut. Batuan di dalam zona ini tersusun oleh batuan gunung api berumur Kuartar dan Tersier dan sebagian kecil daerah ini merupakan aluvium sungai dan pantai berumur Holosen. Struktur geologi yang dijumpai berupa sesar geser mengiri. Analisis bencana gempa terdiri atas percepatan batuan dasar (50 thn = 0,243 g, 100 thn = 0,246 g, 250 thn = 0,258 g), koefisien zona ( $z$ ) = 1, Ad (100 thn) untuk batuan keras = 0,197 g,  $k = 0,20$ . untuk batuan menengah = 0,246 g,  $k = 0,25$ , batuan lunak = 0,295 g,  $k = 0,30$ , dan maksimum intensitas dalam zona ini adalah VII MMI.

#### Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Menengah

Zona kerentanan bencana gempa bumi menengah dijumpai di bagian utara dan bersentuhan dengan zona pantai utara. Zona ini tersebar sepanjang lembah sungai utama dan termasuk ke dalam Kecamatan Wewaria dan Worore. Bentang alam zona ini adalah bentang alam asal sungai dan bentang alam asal laut. Batuan penyusun zona ini terdiri atas aluvium

sungai dan pantai berumur Holosen. Struktur geologi dijumpai sebagai sesar mendatar mengiri dan sesar normal. Analisis bencana gempa terdiri atas percepatan batuan dasar (50 thn = 0,110 g, 100 thn = 0,119 g, 250 thn = 0,166 g), koefisien zona ( $z$ ) = 0,25 Ad (100 thn) untuk batuan keras = 0,024 g,  $k = 0,02$ . untuk batuan menengah = 0,030 g,  $k = 0,03$ , batuan lunak = 0,036 g,  $k = 0,04$ , dan maksimum intensitas dalam zona ini adalah VI-VII MMI.

#### Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Menengah - Rendah

Zona kerentanan bencana gempa bumi menengah-rendah dijumpai terutama di bagian tenggara Kabupaten Ende dan termasuk Kecamatan Worowaru, Watuneso, Detukeli, dan Detusuko. Sebaran zona ini bersifat tidak merata dan memanjang dengan arah timur laut-barat daya. Bentang alam zona ini terdiri atas bentang alam denudasi struktur, bentang alam asal gunung api, bentang alam denudasi gunung api, dan bentang alam asal denudasi. Batuan zona ini berupa sedimen berumur Tersier dan batuan gunung api berumur Kuartar, terobosan granit berumur Tersier dan sebagian kecil daerahnya disusun oleh endapan sungai dan pantai berumur Holosen. Struktur geologi dijumpai berupa sesar geser mengiri dan sesar normal. Analisis bencana gempa bumi terdiri atas percepatan batuan dasar (50 thn = 0,096 g, 100 thn = 0,117 g, 250 thn = 0,175 g), koefisien zona ( $z$ ) = 0,125 Ad (100 thn) untuk batuan keras = 0,012 g,  $k = 0,01$ ; untuk batuan menengah = 0,015 g,  $k = 0,01$ ; batuan lunak = 0,018 g,  $k = 0,02$ , dan maksimum intensitas dalam zona ini adalah V MMI.

Tabel 4. Matrik Zonasi Bencana Gempa Bumi

Zona	Geomorfologi	Litologi	Struktur Geologi/ neotektonik	Bahaya Gempa Bumi	Bahaya Gempa Bumi
Kerentanan Bahaya Gempa Bumi Sangat Tinggi 	Gawir sesar, cekungan tarikan, gawir longsoran Kemiringan 25° - 45° = 40% Kemiringan 10° - < 25° = 20% Kemiringan 0° - < 10° = 40%	- Batuan Gunung Api Kuarter: lava, breksi, aglomerat, tuf, dan pasir gunung api - Batuan Gunung Api Tersier: breksi, lava, breksi, batupasir tufan, tuf - Sedimen Tersier: breksi, lava, batupasir tufan, tuf	Sesar mendatar, Sesar normal/ Pergeseran Sungai, erosi ke hulu teras sungai	Percepatan dasar (50 tahun) = 0,404 g (100 tahun) = 0,406 g (250 tahun) = 0,255 g Koefisien Zona (Z) = 1,20 - 1,40 Ad )100 tahun) untuk - Batuan keras = 0,454 g K = 0,47 - Batuan sedang = 0,568 g K = 0,59 - Batuan lunak = 0,682 g K = 0,69 Intensitas maksimum: IX MMI	Goncangan tanah sangat kuat, patahan gempa, gerakan tanah, runtuh batuan dan tanah, retakan tanah dan likuifaksi
Kerentanan Bahaya Gempa Bumi Tinggi 	Gawir sesar, cekungan tarikan, gawir longsoran Kemiringan 25° - 45° = 60% Kemiringan 10° - < 25° = 20% Kemiringan 0° - < 10° = 20%	- Sedimen Tersier: breksi, lava, batupasir tufan, tuf	Sesar mendatar, Sesar normal/ Pergeseran Sungai, erosi ke hulu teras sungai	Percepatan dasar (50 tahun) = 0,243 g (100 tahun) = 0,246 g (250 tahun) = 0,258 g Koefisien Zona (Z) = 1,20 - 1,40 Ad )100 tahun) untuk - Batuan keras = 0,275 g K = 0,28 - Batuan sedang = 0,344 g K = 0,32 - Batuan lunak = 0,413 g K = 0,42 Intensitas maksimum: VIII MMI	Goncangan tanah kuat, runtuh batuan dan tanah, runtuh rombakan, dan mendenat rombakan, retakan tanah, likuifaksi
Kerentanan Bahaya Gempa Bumi Menengah 	Dataran Pantai, dataran pasang surut dan lembah sungai, gosong pasir Kemiringan 0° - 10° = 100%	- Endapan pantai dan rawa aluvium sungai terdiri atas pasir, kerikil dan kerakal, lempung hitam-abu abu	Sesar mendatar, Sesar normal/ Rayapan terus menerus, terbanan, erosi ke hulu, pergeseran sungai	Percepatan dasar (50 tahun) = 0,110 g (100 tahun) = 0,119 g (250 tahun) = 0,166 g Koefisien Zona (Z) = 1,20 - 1,40 Ad )100 tahun) untuk - Batuan keras = 0,133 g K = 0,14 - Batuan sedang = 0,166 g K = 0,17 - Batuan lunak = 0,119 g K = 0,20 Intensitas maksimum: VII - VIII MMI	Goncangan tanah sedang, retakan tanah, dan patahan gempa, likuifaksi
Kerentanan Bahaya Gempa Bumi Menengah- Rendah 	Gawir longsoran, gawir pinggir kawah dan kipas diluvium Kemiringan > 45° = 10% Kemiringan 25° - 45° = 60% Kemiringan 10° - 25° = 15% Kemiringan 0° - < 10° = 15%	- Batuan Gunung Api Kuarter: lava, breksi, aglomerat, tuf, dan pasir gunung api - Batuan Gunung Api Tersier: breksi, lava, breksi, batupasir tufan, tuf - Sedimen Tersier: breksi, lava, tuf pasir dan batupasir tufan, batupasir, batugamping	Sesar naik, sesar mendatar/ Pergeseran sungai, erosi ke hulu, undak sungai	Percepatan dasar (50 tahun) = 0,096 g (100 tahun) = 0,117 g (250 tahun) = 0,175 g Koefisien Zona (Z) = 1,20 - 1,40 Ad )100 tahun) untuk - Batuan keras = 0,107 g K = 0,10 - Batuan sedang = 0,134 g K = 0,14 - Batuan lunak = 0,161 g K = 0,16 Intensitas maksimum: VII MMI	Goncangan tanah, runtuh batuan dan tanah, rayapan tanah, longsoran bahan rombakan
Kerentanan Bahaya Gempa Bumi Rendah 	Gawir sesar, Punggungan pegunungan dan lereng, lembah sesar dan lipatan, gawir erosi Kemiringan 25° - 45° = 30% Kemiringan 10° - < 25° = 40% Kemiringan 0° - < 10° = 30%	- Batuan Gunung Api Kuarter: lava, breksi, aglomerat, tuf, dan pasir gunung api - Batuan Gunung Api Tersier: breksi, lava, breksi, batupasir tufan, tuf, lapukan granit, dan aluvium sungai - Sedimen Tersier: breksi, lava, tuf pasir dan batupasir tufan, batupasir, batugamping (sangat keras/basement), rombakan	Sesar mendatar, Sesar normal/ Pergeseran alur Sungai	Percepatan dasar (50 tahun) = 0,096 g (100 tahun) = 0,122 g (250 tahun) = 0,179 g Koefisien Zona (Z) = 1,20 - 1,40 Ad )100 tahun) untuk - Batuan keras = 0,107 g K = 0,10 - Batuan sedang = 0,170 g K = 0,16 - Batuan lunak = 0,257 g K = 0,26 Intensitas maksimum: VI MMI	Goncangan tanah, retakan tanah, dan runtuh

### **Zona Kerentanan Bencana Gempa Bumi Rendah**

Zona kerentanan bencana gempa bumi rendah dijumpai di bagian tengah sebagai inti Kabupaten Ende. Zona ini berlokasi dari bagian tengah sampai pantai utara Kabupaten Ende, dan memperlihatkan bentang alam denudasi struktur dan bentang alam denudasi gunung api tua. Batuan dalam zona ini tersusun oleh batuan sedimen dan batuan gunung api berumur Tersier. Struktur geologi tersingkap sebagai sesar naik dan sesar geser mengiri. Analisis bencana gempa terdiri atas percepatan batuan dasar (50 thn = 0,096 g, 100 thn = 0,122 g, 250 thn = 0,179 g), koefisien zona ( $z$ ) = 0,0625 Ad (100 thn) untuk batuan keras = 0,006 g,  $k$  = 0,006; untuk batuan menengah = 0,008 g,  $k$  = 0,008; batuan lunak = 0,009 g,  $k$  = 0,009, dan maksimum intensitas dalam zona ini adalah IV MMI.

### **Mikrozonasi Bencana gempa Kota Ende**

Mikrozonasi bencana gempa bumi Kota Ende dibuat dengan mengkorelasikan titik pengamatan. Setiap titik pengamatan memperlihatkan nilai amplifikasi, serta nilai periode dominan kondisi batuan dan tanah setempat. Korelasi titik-titik yang mempunyai amplifikasi dan periode dominan yang sama dan dipersentasikan sebagai mikrozonasi amplifikasi dan mikrozonasi periode dominan. Selain itu, Kota Ende mempunyai peta mikrozonasi kerentanan. Peta ini merupakan perpaduan kedua peta tersebut di atas. Peta mikrozonasi amplifikasi kota Ende dibagi menjadi empat zona, yakni zona amplifikasi rendah (faktor amplifikasi 0 - 3 kali), zona amplifikasi sedang (faktor amplifikasi 0 - 6 kali), zona amplifikasi tinggi (faktor amplifikasi 6 - 9 kali), dan zona amplifikasi sangat tinggi (faktor amplifikasi >9 kali) (Gambar 5).

Peta mikrozonasi periode dominan Kota Ende juga terbagi atas empat zona. Zona periode dominan rendah (periode dominan < 0,4 detik), periode dominan menengah (periode dominan 0,4 - 0,8 detik), periode dominan tinggi (periode dominan 0,8 - 1,2 detik), dan periode dominan sangat tinggi (periode dominan > 1,2 detik) (Gambar 6).

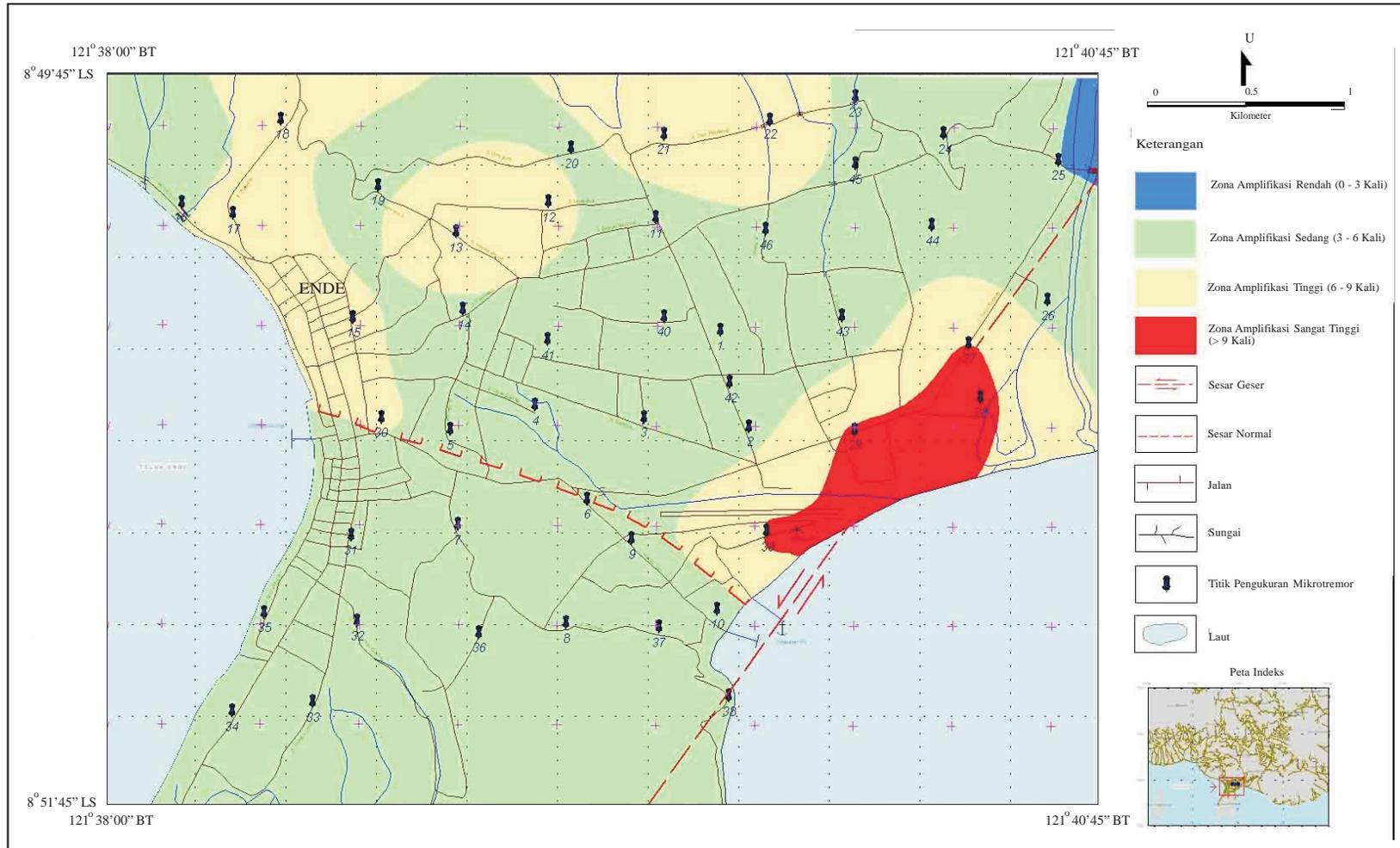
Nilai amplifikasi dan periode dominan memperlihatkan kondisi fisik batuan dan tanah setempat. Nilai amplifikasi tinggi mencerminkan kondisi batuan dan tanah lunak, sedangkan nilai amplifikasi rendah

memperlihatkan kondisi batuan dan tanah keras. Kondisi fisik ini sesuai dengan periode dominan, makin panjang, makin lunak dan tebal kondisi batuan dan tanahnya. Kondisi setempat tersebut menjelaskan bahwa amplifikasi dan periode tinggi memperlihatkan daerah ini lebih rentan dibandingkan dengan daerah sekitarnya yang mempunyai amplifikasi dan periode dominan lebih rendah. Berdasarkan kedua macam peta, mikrozonasi ini dapat direkonstruksi peta kerentanan yang mempunyai dasar parameter utamanya sebagai perkalian dari faktor amplifikasi dan periode dominan yang menghasilkan nilai kerentanan.

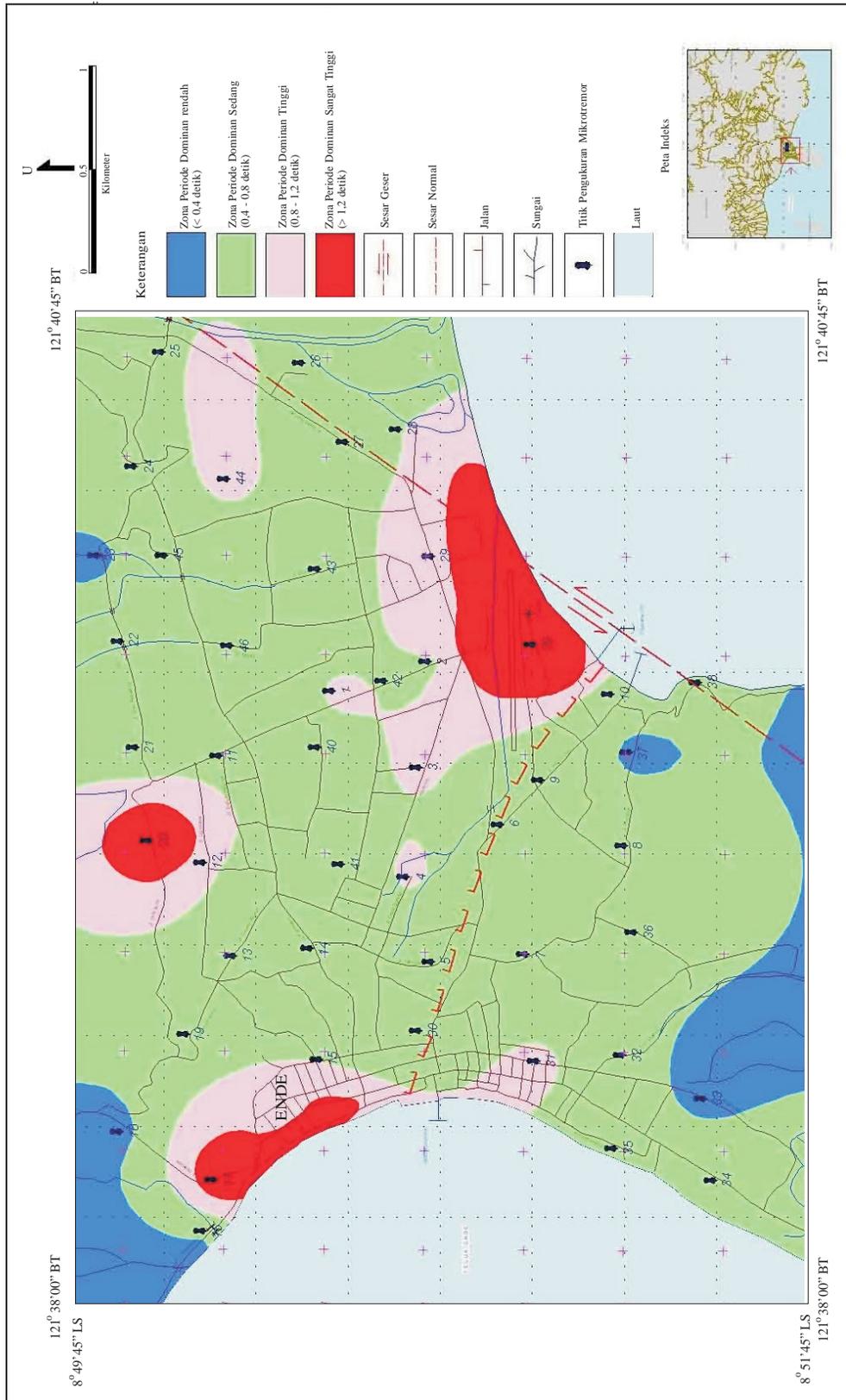
Peta mikrozonasi kerentanan bencana gempa bumi Kota Ende tersebut terbagi dalam empat zona yakni, Zona Kerentanan sangat tinggi (indeks > 24), Zona kerentanan tinggi (indeks 16 - 24), Zona kerentanan menengah (indeks 8 - 16), dan Zona kerentanan rendah (indeks < 8). Indeks kerentanan tinggi memperlihatkan suatu daerah makin berbahaya terhadap guncangan gempa bumi dibandingkan dengan daerah yang mempunyai indeks kerentanan lebih kecil. Hasil mikrozonasi Kota Ende dapat dilihat pada Gambar 7.

### **Penilaian Risiko gempa bumi Kota Ende**

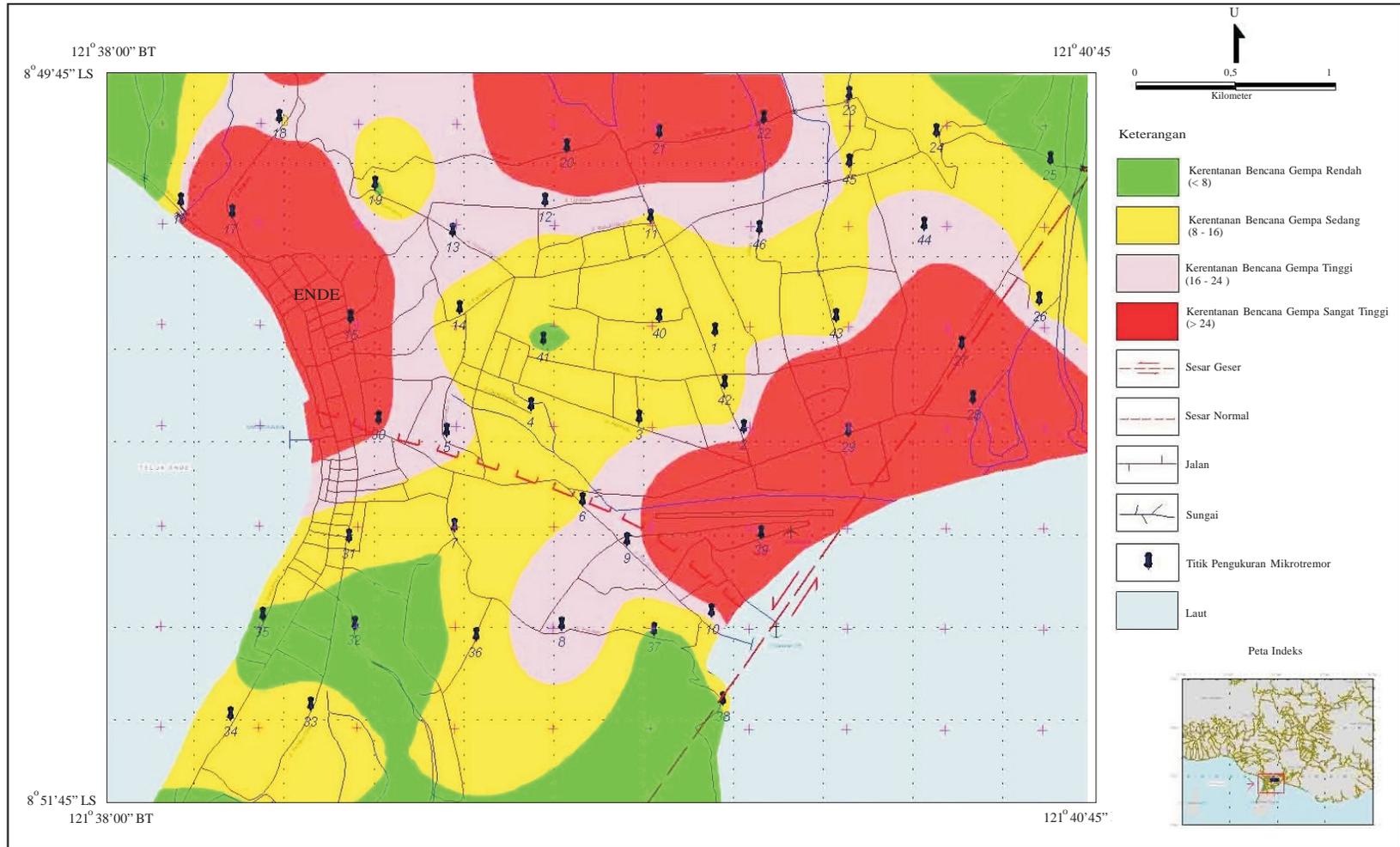
Penilaian risiko gempa bumi Kota Ende dalam studi ini berdasarkan determinasi percepatan maksimum yang terdiri atas tiga parameter dasar. Parameter dasar pertama adalah zonasi bencana (zona risiko rendah, sedang, dan tinggi), kedua adalah faktor batuan ( $v$ ), dan ketiga yakni, koefisien zona ( $z$ ). Percepatan dasar di kota ini untuk periode 100 tahun adalah 0,173 g. Berdasarkan data tersebut di atas percepatan maksimum di batuan dasar untuk setiap zona risiko dapat dihitung. Hasil perhitungan tersebut dapat dibedakan menjadi: zona risiko tinggi (percepatan maksimum adalah 0,208 g dan intensitas maksimumnya VII-VIII MMI), zona risiko menengah (percepatan maksimum adalah 0,048 g dan intensitas maksimumnya V-VI MMI), serta zona risiko rendah (percepatan maksimum adalah 0,022 g dan intensitas maksimumnya V MMI). Peta penilaian risiko gempa bumi Kota Ende diperlihatkan dalam Gambar 8. Untuk mengetahui risiko guncangan tanah yang direfleksikan oleh nilai percepatan dan intensitas di kota ini digunakan korelasi skala intensitas MMI dan MSK, serta percepatan puncak (PGA) (Gambar 9).



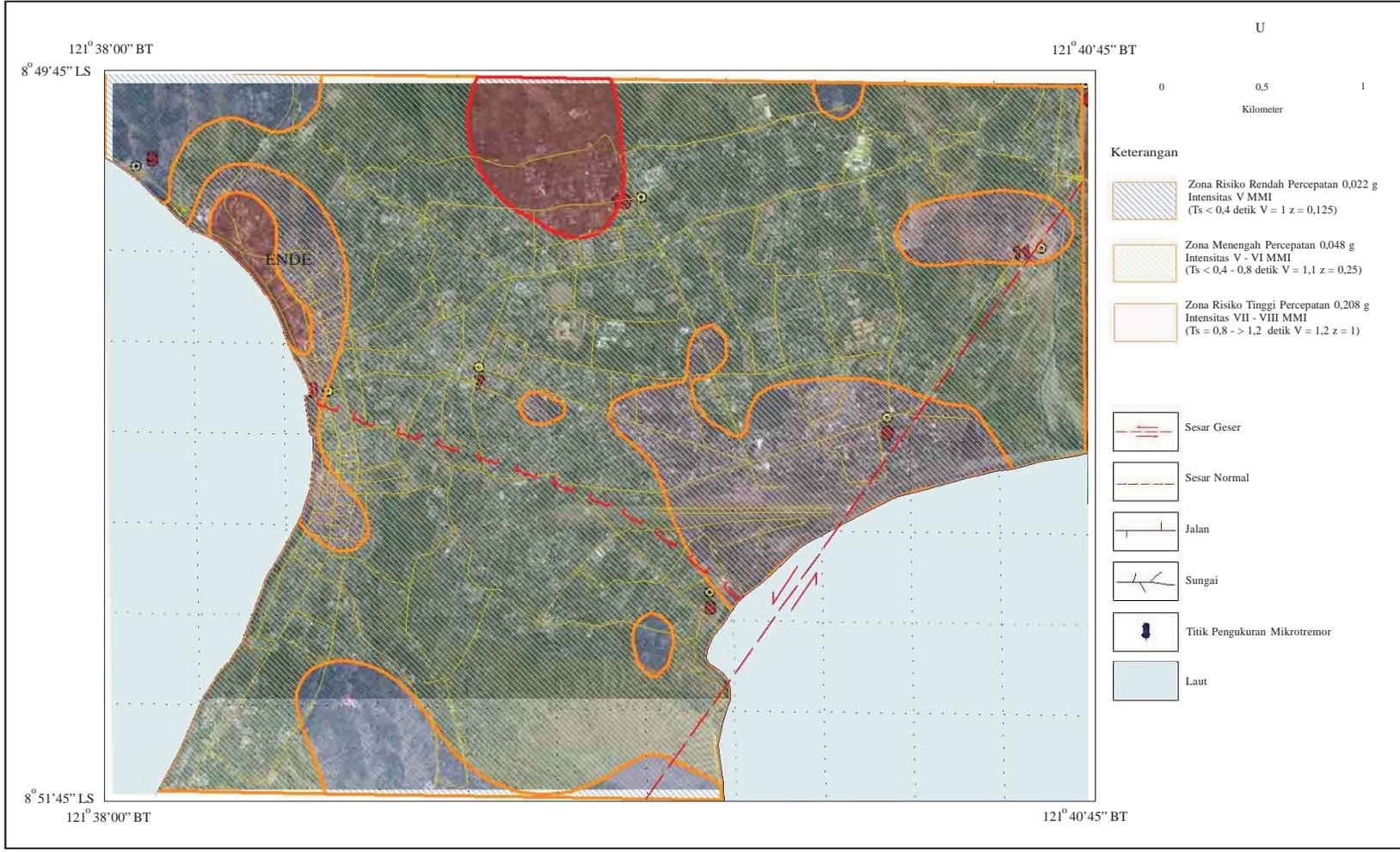
Gambar 5 : Peta mikrozonasi amplifikasi batuan/tanah Kota Ende.



Gambar 6. Peta mikrozonasi periode dominan batuan/tanah Kota Ende.



Gambar 7. Peta mikrozonasi kerentanan bahaya gempa bumi Kota Ende.



Gambar 8. Peta penilaian resiko gempabumi Kota Ende (100 tahun).

XII	XI XII	1g
XI	X	
X	X	
IX	IX	0.1g
VIII	VIII	
VII	VII	
VI	VI	
V	V	
IV	IV	
III	III	0.01g
II	II	
I	I	
I	I	0.001g
M.M. SCALE	M.S.K. SCALE	P.G.A.

Gambar 9. Korelasi antara skala MMI dan MSK serta percepatan batuan dasar maksimum (*Peak Ground Acceleration*) (Kanai, 1983).

### Kesimpulan

- Seismotektonik dan makrozonsasi Kabupaten Ende merupakan data dasar dan informasi regulasi kerentanan bencana gempa bumi untuk perencanaan regional tingkat Kabupaten Ende.
- Mikrozonasi (periode dominan, amplifikasi, dan kerentanan) Kota Ende dapat digunakan sebagai data dasar kerentanan bencana untuk evaluasi penilaian risiko tingkat kota.
- Zona kerentanan bencana gempa bumi dapat dijadikan parameter dan informasi untuk pembuatan peraturan zonasi rencana tata ruang dan wilayah ke dalam.

**Ucapan Terima Kasih**—Ucapan terima kasih disampaikan kepada *Georisk Project, Mitigation of Georisk*, kerjasama Indonesia - Jerman.

### Acuan

- Badan Standardisasi Nasional, 1999. *Penyusunan Peta Seismotektonik*, SNI 13-6010-1999 (ICS 07.060).
- Celebi, M., 1995. Earthquake Mitigation and Building Codes, *Bulletin USGS (MS977)*.
- Fukushima, Y. dan Tanaka, T., 1990. A new attenuation relation for horizontal acceleration of strong earthquake ground motion in Japan. *Bulletin Seismology Society of America*, 80, h. 757-783.
- Kanai, K., 1983. *Engineering Seismology*. University of Tokyo Press.
- Nakamura, Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura'S technique and its applications. *World Conference of Earthquake Engineering, XII*, h. 1-15.
- Puslitbang Geologi, 2003. Atlas geologi dan Potensi Sumber Daya Mineral dan Energi Kawasan Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Suwarna, N., Santosa, S., dan Koesoemadinata, S., 1989. *Geological Map of Ende Quadrangle, scale of 1 : 250.000*. Geological Research and Development Center, Bandung.
- Peraturan Pemerintah No. 26, 2007. Tentang Penataan Ruang, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Penataan Ruang.
- Undang-Undang Republik Indonesia No. 24, 2007. Tentang Penanggulangan Bencana, Dewan Perwakilan Rakyat Indonesia.