

**ANALISIS INDEKS KERENTANAN SEISMIK  
MENGUNAKAN MIKROZONASI DI KECAMATAN  
RAPPOCINI, KOTA MAKASSAR, SULAWESI SELATAN**

**SKRIPSI**

oleh:  
**DARA MULYANINGTYASTUTI**  
**125090707111012**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**



**ANALISIS INDEKS KERENTANAN SEISMIK  
MENGUNAKAN MIKROZONASI DI KECAMATAN  
RAPPOCINI, KOTA MAKASSAR, SULAWESI SELATAN**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

oleh:  
**DARA MULYANINGTYASTUTI**  
**125090707111012**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2018**

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS INDEKS KERENTANAN SEISMIK  
MENGUNAKAN MIKROZONASI DI KECAMATAN  
RAPPOCINI, KOTA MAKASSAR, SULAWESI SELATAN**

oleh:  
**DARA MULYANINGTYASTUTI**  
**125090707111012**

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji  
pada tanggal .....  
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains dalam bidang fisika

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Adi Susilo, Ph.D.**  
**NIP.196312271991031002**

**Muh. Karnaen, S.Si., M.Si**  
**NIP. 197602151997031001**

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Fisika**  
**Fakultas MIPA Universitas Brawijaya**

**Prof.Dr.rer.nat Muhammad Nurhuda**  
**NIP. 196409101990021001**

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dara Mulyaningtyastuti

NIM : 125090707111012

Jurusan : Fisika

Penulis Skripsi berjudul :

### **ANALISIS INDEKS KERENTANAN SEISMIK MENGUNAKAN MIKROZONASI DI KECAMATAN RAPPOCINI, KOTA MAKASSAR, SULAWESI SELATAN**

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Tugas akhir ini adalah benar-benar karya saya sendiri, dan bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Karya-karya yang tercantum dalam daftar pustaka Tugas Akhir ini, semata-mata digunakan sebagai acuan/referensi.
2. Apabila di kemudian hari diketahui bahwa isi Tugas Akhir saya merupakan hasil plagiat, maka saya bersedia menanggung akibat dari keadaan tersebut.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, Desember, 2018

Yang menyatakan,

(Dara Mulyaningtyastuti)

NIM. 125090707111012

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



# ANALISIS INDEKS KERENTANAN SEISMIK MENGUNAKAN MIKROZONASI DI KECAMATAN RAPPOCINI, KOTA MAKASSAR, SULAWESI SELATAN

## ABSTRAK

Telah dilakukan prosedur mikrozonasi di wilayah Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan dengan tujuan untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik pada titik akuisisi data, sehingga dapat diketahui potensi kerusakan terhadap bencana gempabumi dan dapat membantu rencana tata ruang kota, yaitu pembangunan bangunan hunian, perkantoran maupun lapangan dan taman hijau.

Berdasarkan pengolahan data mikrotremor dengan metode HVSR menggunakan *software Geopsy*, didapatkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan amplifikasi ( $A_0$ ) yang akan digunakan untuk menentukan nilai indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ).

Dari hasil penelitian didapatkan hasil persebaran nilai indeks kerentanan seismik wilayah rentan dengan rentang nilai 35 hingga 60 berada pada titik Kassi Kassi, Tidung 1 dan Ballaparang. Berpotensi terjadi kerusakan berat pada saat gempabumi karena memiliki struktur batuan aluvial berupa kerikil, pasir, lanau, lempung dan batuan dasar yang dalam dan tebal. Sedangkan titik Gunungsari 1, Gunungsari 2, Tidung 2 dan Bonto Makkio merupakan wilayah kurang rentan dengan nilai indeks kerentanan seismik 0,1 hingga 20.

**Kata Kunci:** Gempabumi, Metode HVSR, Indeks Kerentanan Seismik

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



repository.ub.ac.id

# SEISMIC VULNERABILITY INDEX ANALYSIS USING MICROZONATION PROCEDURE IN RAPPOCINI REGION, MAKASSAR CITY, SOUTH SULAWESI

## ABSTRACT

Microzonation procedures have been carried out in the Rappocini area, Makassar City, South Sulawesi with purpose of determining seismic vulnerability index values at the data acquisition point, so that potential earthquake disasters can be identified and can help the city spatial plan, namely construction of residential buildings, offices, fields and parks green.

Based on the processing of microtremor data with the HVSR method using Geopsy software, the dominant frequency ( $f_0$ ) and amplification ( $A_0$ ) values will be used to determine the seismic vulnerability index value ( $K_g$ )

From the results of the study, the results of the distribution of vulnerable areas with a range of values of 35 to 60 were found in the Kassi Kassi, Tidung 1 and Ballaparang points. Potential for heavy damage during earthquakes because it has an alluvial rock structures in the form of gravel, sand, silt, clay and thick and deep bedrock. While the pointa of Gunungsari 1, Gunungsari 2, Tidung 2 and Bonto Makkio are less vulnerable areas with a seismic vulnerability index of 0.1 to 20.

**Key Words:** Earthquake, HVSR method, Seismic Vulnerability Index

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga terselesaikannya Tugas Akhir yang dilaksanakan pada 28 Juli 2016 – 28 Agustus 2016 dan juga menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisis Indeks Kerentanan Seismik Menggunakan Mikrozonasi di Kecamatan Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan”**.

Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi tanggung jawab penulis setelah melakukan Tugas Akhir di Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar serta sebagai salah satu syarat akademis untuk mendapatkan gelar Sarjana Fisika. Dalam laporan ini akan dijelaskan tentang penentuan potensi gempabumi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik di wilayah Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.

Terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini tak lepas dari bantuan, bimbingan, dan arahan beberapa pihak yang telah membantu. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Drs. Darminto M.Si dan Ibu Dra. Ratny Gandarwaty selaku orang tua kandung yang selama ini telah memberikan dukungan materil maupun moril kepada penulis.
3. Dwidary Mulyaningrum selaku adik dari penulis yang tak pernah surut memberikan motivasi dan semangat kepada penulis.
4. Bapak Adi Susilo, Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir atas pengarahan, kesabaran dan bimbingan yang diberikan selama pelaksanaan Tugas Akhir.
5. Bapak Ikhsan, ST selaku Kepala Bidang Observasi BBMKG Kelas IV Makassar yang telah memberikan izin melakukan penelitian.
6. Bapak Muh. Karnaen, ST, M.Si selaku pembimbing lapangan dari pihak BBMKG Kelas IV Makassar yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan selama pelaksanaan Tugas Akhir.
7. Bapak Arohman Saleh, S.Si. selaku pembimbing lapangan dari pihak BBMKG Kelas IV Makassar yang telah memberikan bimbingan serta pengarahan selama pelaksanaan Tugas Akhir.

8. Saudara Renado Anggara yang selalu memberikan semangat, dukungan, dan berjuang bersama selama pembuatan laporan Tugas Akhir.
9. Saudari Dessy Lutfiani yang selalu memberikan semangat dan nasihat kepada penulis untuk segera menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
10. Sahabat-sahabat penulis Bagus Aditya Muslim, Yuzrival, Intan Setianingrum yang selalu memberikan dukungan, semangat dan kebahagiaan kepada penulis.
11. Teman-teman Geofisika UB 2012 yang telah menemani penulis menimba ilmu di Universitas Brawijaya
12. Dan semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini mungkin masih jauh dari sempurna. Untuk itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan maupun penulis sendiri. Amiiin.

Malang, 20 Desember 2018

Dara Mulyaningtyastuti

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	i
<b>Lembar Pengesahan</b> .....	iii
<b>Lembar Pernyataan</b> .....	v
<b>Abstrak</b> .....	vii
<b>Abstract</b> .....	ix
<b>Kata Pengantar</b> .....	xi
<b>Daftar Isi</b> .....	xiii
<b>Daftar Gambar</b> .....	xv
<b>Daftar Tabel</b> .....	xvii
<b>Daftar Lampiran</b> .....	xix
<b>BAB I Pendahuluan</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat penelitian .....	3
<b>BAB II Tinjauan Pustaka</b> .....	5
2.1 Geologi Regional .....	5
2.2 Gempabumi .....	7
2.3 Teori Tektonik Lempeng .....	11
2.4 Gelombang Seismik .....	14
2.4.1 Gelombang Tubuh (Body Wave) .....	15
2.4.2 Gelombang Permukaan (Surface Wave) .....	17
2.5 Mikrozonasi Seismik .....	19
2.6 Mikrotremor .....	20
2.6.1 Klasifikasi Gelombang Mikrotremor .....	22
2.7 Hubungan Mikrotremor dengan Kerusakan Struktur .....	23
2.8 Metode dalam Analisis Mikrotremor .....	23
2.9 Indeks Kerentanan Seismik .....	24
<b>BAB III Metode Penelitian</b> .....	27
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	27
3.2 Metode Penelitian .....	28
3.3 Perangkat Penelitian .....	28
3.4 Pengolahan Data .....	29

**BAB IV Hasil Dan Pembahasan**..... 35

    4.1 Interpretasi Data Hasil Pengolahan Menggunakan Metode  
        HVSR..... 35

    4.2 Interpretasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik dan Potensi  
        Bencana Gempabumi ..... 40

**BAB V Penutup**..... 45

    5.1 Kesimpulan ..... 45

    5.2 Saran..... 45

**Daftar Pustaka** ..... 47

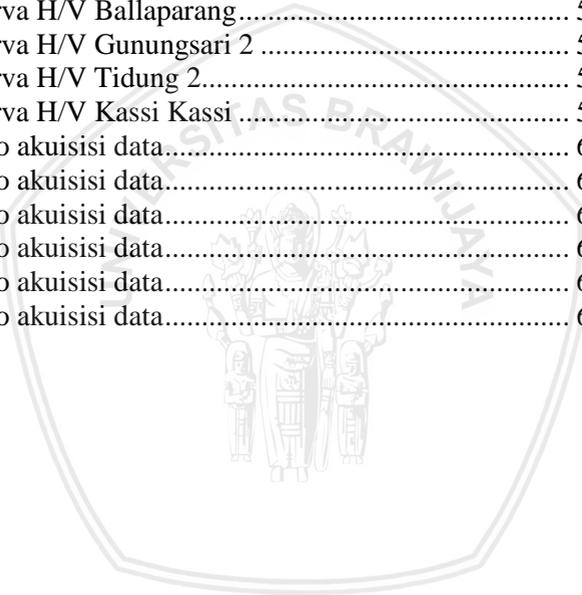
**Lampiran**..... 51



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Kota Makassar, Sulawesi Selatan .....	6
Gambar 2.2 Lokasi distribusi gempa di seluruh dunia berada di batas pertemuan lempeng.....	8
Gambar 2.3 Distribusi lempeng tektonik di seluruh dunia.....	10
Gambar 2.4 Mekanisme tektonik pada batas lempeng .....	11
Gambar 2.5 Peta tektonik dan struktur sulawesi .....	14
Gambar 2.6 Arah penjalaran gelombang P.....	17
Gambar 2.7 Arah penjalaran gelombang S.....	17
Gambar 2.8 Arah penjalaran gelombang Rayleigh .....	18
Gambar 2.9 Arah penjalaran gelombang Love.....	18
Gambar 2.10 Diagram perkembangan mikrozonasi .....	19
Gambar 2.11 Kurva HVSR .....	22
Gambar 2.12 Peta indeks kerentanan seismik Kota Makassar .....	26
Gambar 3.1 Lokasi penelitian mikrotremor di wilayah Rappocini, Kota Makassar .....	27
Gambar 3.2 Pengolahan data menggunakan <i>software Geopsy</i> .....	29
Gambar 3.3 Spektrum rasio H/V menunjukkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan amplifikasi ( $A$ ) .....	30
Gambar 3.4 Proses <i>windowing</i> data mikrotremor .....	30
Gambar 3.5 Perhitungan nilai indeks kerentanan seismik menggunakan <i>software Microsoft Excel</i> .....	31
Gambar 3.6 Tahap awal perangkat lunak <i>Surfer 9</i> .....	32
Gambar 3.7 Hasil <i>Gridding Report</i> .....	33
Gambar 3.8 Peta kontur 2D .....	33
Gambar 3.9 Diagram alir penelitian .....	34
Gambar 4.1 Kurva H/V Tidung 1 .....	35
Gambar 4.2 Peta kontur persebaran nilai frekuensi dominan 7 titik di kecamatan Rappocini.....	36
Gambar 4.3 Peta kontur persebaran nilai amplifikasi 7 titik di kecamatan Rappocini.....	38
Gambar 4.4 Peta kontur 2D sebelum diberi keterangan persebaran nilai indeks kerentanan seismik .....	40
Gambar 4.5 Data hasil perhtungan indeks kerentanan seismik.....	41
Gambar 4.6 Peta kontur persebaran indeks kerentanan seismik 7 titik di kecamatan Rappocini.....	43
Gambar L1.1 Data mentah mikrotremor 3 komponen Tidung 1 .....	51

Gambar L1.2 Data mentah mikrotremor 3 komponen Gunungsari 1	51
Gambar L1.3 Data mentah mikrotremor 3 komponen Bonto Makkio	52
Gambar L1.4 Data mentah mikrotremor 3 komponen Ballaparang	52
Gambar L1.5 Data mentah mikrotremor 3 komponen Gunungsari 2	53
Gambar L1.6 Data mentah mikrotremor 3 komponen Tidung 2	53
Gambar L1.7 Data mentah mikrotremor 3 komponen Kassi Kassi	54
Gambar L2.1 Kurva H/V Tidung 1	56
Gambar L2.2 Kurva H/V Gunungsari 1	56
Gambar L2.3 Kurva H/V Bonto Makkio	57
Gambar L2.4 Kurva H/V Ballaparang	57
Gambar L2.5 Kurva H/V Gunungsari 2	58
Gambar L2.6 Kurva H/V Tidung 2	58
Gambar L2.7 Kurva H/V Kassi Kassi	59
Gambar L3.1 Foto akuisisi data	60
Gambar L3.2 Foto akuisisi data	60
Gambar L3.3 Foto akuisisi data	61
Gambar L3.4 Foto akuisisi data	61
Gambar L3.5 Foto akuisisi data	62
Gambar L3.6 Foto akuisisi data	62



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Skala Intensitas Gempabumi .....	9
Tabel 4.1 Tabel klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekuensi dominan mikrotremor oleh Kanai .....	39
Tabel L.1.Data hasil perhitungan indeks kerentanan seismik .....	55



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Perhitungan .....	51
Lampiran 2. Spektrum Kurva HCSR .....	56
Lampiran 3. Foto Akuisisi Data .....	60



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang kaya akan sumber daya alam namun juga berpotensi atau berisiko tinggi mengalami bencana alam seperti gunung meletus, banjir, tanah longsor dan gempa bumi. Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng sabuk pegunungan aktif yaitu lempeng Pasifik, lempeng Mediterania, dan lempeng Indo-Australia. Hal ini mengakibatkan Indonesia adalah negara yang rawan akan keadaan seismik. Gempa bumi terjadi apabila terjadi patahan akibat bergesernya lempengan, tsunami terjadi apabila tumbukan antarlempeng terjadi di bawah permukaan laut. Indonesia berada pada jalur *The Pasific Ring of Fire* (Cincin Api Pasifik) yaitu jalur rangkaian gunung api aktif di dunia.

Bencana gempa bumi tidak dapat diramalkan waktu kejadiannya. Hal ini disebabkan gempa dapat terjadi secara tiba-tiba pada zona gempa bumi. Pergerakan atau tumbukan lempeng tektonik bisa terjadi akibat dipicu oleh panas di inti bumi.

Penelitian akan dilakukan di pulau Sulawesi yang diapit oleh dua lempeng besar dunia yaitu lempeng Eurasia dan Indo-Australia. Terdapat beberapa jalur sesar yang tersebar di beberapa daerah seperti pada gambar 2.5. Terdapat sedikitnya 9 unsur tektonik dan struktur yang dapat memicu terjadinya gempa dan tsunami yaitu patahan Walanae, patahan Palu-Koro, patahan naik Batui-Balantak, subduksi lempeng Laut Sulawesi dan subduksi lempeng Maluku (Kaharuddin, 2011).

Tingkat kerentanan akan bencana gempa bumi di kecamatan Rappocini Kota Makassar termasuk dalam kategori rawan kerusakan karena berada pada lempeng patahan Walanae yang merupakan salah satu patahan aktif di pulau Sulawesi dan melewati beberapa daerah di Sulawesi Selatan, sehingga daerah tersebut rentan terhadap besarnya guncangan atau getaran akibat gempa bumi. Hal ini yang mendasari penelitian terhadap nilai indeks kerentanan seismik di kecamatan Rappocini, metode yang digunakan adalah metode HVS<sub>R</sub> (*horizontal-to-vertical spectral ratio*).

repository.ub.ac.id

Metode ini merupakan metode yang ramah lingkungan karena dapat merekam getaran dimana saja, kapan saja. Teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi secara langsung tanpa harus mengetahui struktur kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah permukaan lebih dulu, dimana metode ini dapat menentukan kerentanan wilayah terhadap gempabumi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik. Nilai indeks kerentanan seismik selain dapat mengetahui daerah rawan bencana, dapat juga membantu keperluan mitigasi di wilayah penelitian di Kota Makassar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Kota Makassar memiliki tingkat resiko yang tinggi terhadap bencana gempabumi, kota yang memiliki kepadatan penduduk yang cukup tinggi dan pertumbuhan penduduk yang terus meningkat. Kota Makassar yang terdapat di atas endapan aluvial dengan material sedimen halus juga memberi dampak terhadap respon penjaralan gelombang seismik.

Berdasarkan uraian permasalahan dan latar belakang tersebut, maka perlu dilakukan kajian pelaksanaan mikrozonasi, yang dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana prosedur penerapan mikrozonasi di kecamatan Rappocini, Kota Makassar?
2. Bagaimana nilai indeks kerentanan seismik di kecamatan Rappocini, Kota Makassar?
3. Bagaimana tingkat potensi bencana gempabumi di kecamatan Rappocini, Kota Makassar?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan nilai indeks kerentanan seismik di kecamatan Rappocini, Kota Makassar
2. Menganalisis tingkat potensi bencana yang diakibatkan oleh gempabumi.

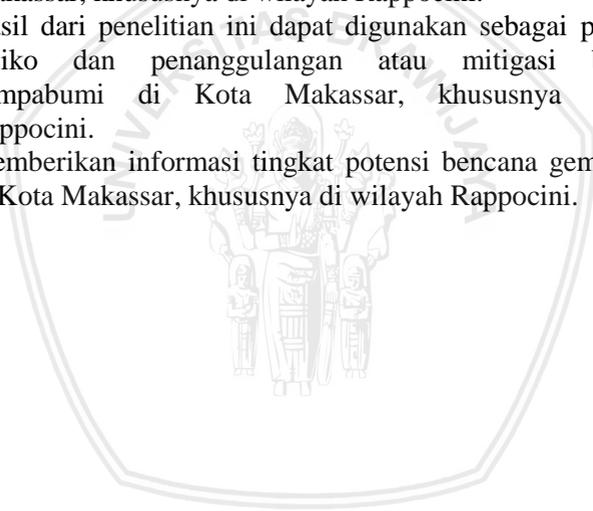
#### 1.4 Batasan Masalah

1. Wilayah penelitian dbatasi, yaitu berada pada wilayah RappociniTidung 1, Tidung 2, Gunungsari 1, Gunungsari 2, Bonto Makkio, Ballaparang dan Kassi Kassi.
2. Penentuan tingkat potensi bencana gempabumi di wilayah Rappocini berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik (Kg).
3. Metode yang digunakan adalah HVSR (*horizontal-to-vertical spectral ratio*).

#### 1.5 Manfaat

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Hasil dari analisis mikrozonasi dapat digunakan sebagai referensi perancangan tata ruang dan wilayah di Kota Makassar, khususnya di wilayah Rappocini.
2. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan sebagai penilaian resiko dan penanggulangan atau mitigasi bencana gempabumi di Kota Makassar, khususnya wilayah Rappocini.
3. Memberikan informasi tingkat potensi bencana gempabumi di Kota Makassar, khususnya di wilayah Rappocini.



**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Regional**

Berdasarkan peta geologi, Kota Makassar tersusun atas 3 satuan batuan yaitu aluvial, basal dan sedimen laut yang berselingan batuan gunung api bawakaraeng. Adapun formasi camba yang ikut menyusun geologi Kota Makassar yang terdiri dari lava, breksi, tufa dan breksi seperti pada gambar 2.1. Secara umum geologi Kota Makassar tersusun oleh jenis tanah inceptisol, yaitu jenis tanah yang memiliki tingkat porositas rendah dan permeabilitas tinggi. Jenis tanah yang seperti ini banyak mengandung lapisan tanah liat dan bersifat asam serta miskin unsur hara. Dominan berada di bagian barat dan sekatan Kota Makassar.

Batuan penyusun Kota Makassar terdiri dari 3 satuan batuan, yaitu:

1. Formasi Camba, merupakan batuan sedimen laut yang berselingan dengan batuan gunung api, menyebar dari utara ke selatan bagian timur Kota Makassar.
2. Formasi Baturape-Cindako, merupakan batuan dari hasil erupsi gunung api baik berupa efusif maupun eksplosif, menyebar di bagian selatan Makassar. Satuan batuan tersebut merupakan satuan batuan gunung api yang berumur kuartar (plistosen), terdiri dari lelehan lava dan tersisip tufa halus hingga kasar.
3. Satuan aluvial, merupakan satuan batuan yang terdiri dari kerikil, pasir, lempung, lumpur, gamping koral (Husain dan Sultan, 2012).

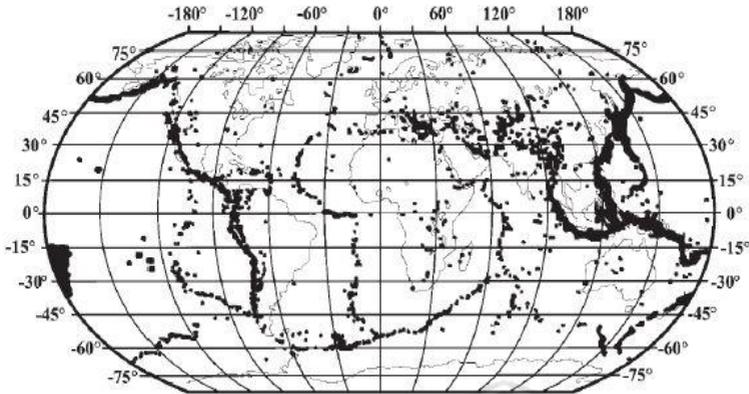


## 2.2 Gempabumi

Gempabumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi. Gempabumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi). Kata gempabumi juga digunakan untuk menunjukkan daerah asal terjadinya kejadian gempabumi tersebut. Bumi kita walaupun padat, selalu bergerak, dan gempabumi terjadi apabila tekanan yang terjadi karena pergerakan itu sudah terlalu besar untuk dapat ditahan. Sebenarnya, kulit bumi bergetar secara kontinu walaupun relatif sangat kecil. Getaran tersebut tidak dikatakan sebagai gempabumi karena sifat getarannya terus-menerus, sedangkan gempabumi memiliki waktu awal dan akhir terjadinya sangat jelas. Terdapat dua teori yang menyatakan proses terjadinya atau asal mula gempa yaitu pergeseran sesar dan teori kekenyalan elastis. Gerak tiba-tiba sepanjang sesar merupakan penyebab yang sering terjadi (Bolt, 1978).

Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), gempabumi adalah 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 gempabumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan kesegala arah berupa gelombang gempabumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi.

Gempabumi diartikan sebagai guncangan tanah yang disebabkan oleh pelepasan energi dari kerak bumi secara tiba-tiba. Energi ini dapat terbentuk dari sumber yang berbeda - beda seperti pergerakan lempeng bumi, erupsi gunung api, atau bahkan dapat terbentuk akibat aktivitas manusia atau runtuhnya goa bawah tanah. Lokasi persebaran gempabumi ditunjukkan oleh Gambar 2.2 (Elnashai dan Di Sarno, 2008).



**Gambar 2.2** Lokasi distribusi gempa di seluruh dunia berada di batas pertemuan lempeng (Elnashai dan Di Sarno, 2008)

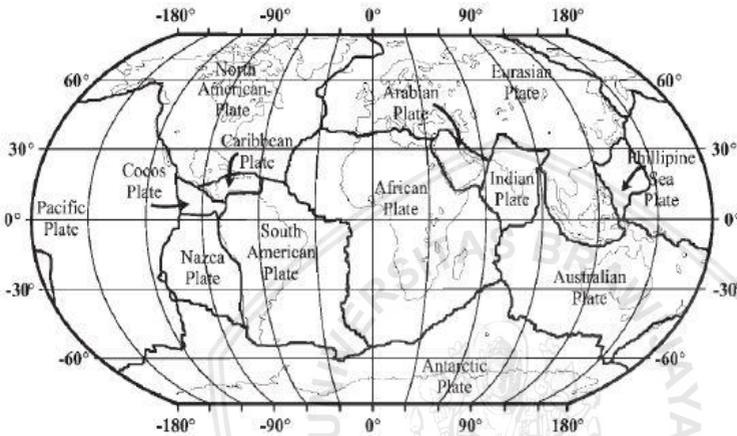
Gempabumi dapat diklasifikasikan secara umum berdasarkan sumber kejadian gempa menjadi :

1. Gempabumi runtuh, merupakan gerakan yang diakibatkan oleh runtuh dari lubang-lubang interior bumi. Sebagai contoh adalah runtuhnya dinding goa pada pertambangan bawah tanah.
2. Gempabumi vulkanik, merupakan gerakan yang diakibatkan oleh aktivitas gunungapi.
3. Gempa tektonik, merupakan gerakan yang diakibatkan oleh lepasnya sejumlah energi pada saat bergesernya lempeng

**Tabel 2.1** Skala Intensitas Gempabumi ([www.bmkg.go.id](http://www.bmkg.go.id))

Skala SIG BMKG	Warna	Deskripsi Sederhana	Deskripsi Rinci	Skala MMI
I	Putih	TIDAK DIRASAKAN ( <i>No Felt</i> )	Tidak dirasakan atau dirasakan hanya oleh beberapa orang tetapi terekam oleh alat	I-II
II	Hijau	DIRASAKAN ( <i>Felt</i> )	Dirasakan oleh orang banyak tetapi tidak menimbulkan kerusakan. Benda-benda ringan yang digantung bergoyang dan jendela bergetar	III-V
III	Kuning	KERUSAKAN RINGAN ( <i>Slight Damage</i> )	Bagian non struktur bangunan mengalami kerusakan ringan, seperti retak rambut pada dinding, genteng bergeser ke bawah dan sebagian berjatuhan	IV
IV	Jingga	KERUSAKAN SEDANG ( <i>Moderate Damage</i> )	Banyak retakan terjadi pada dinding bangunan sederhana, sebagian roboh, kaca pecah. Sebagian plester dinding lepas. Hampir sebagian besar genteng bergeser ke bawah atau jatuh. Struktur bangunan mengalami kerusakan ringan sampai sedang.	VII-VIII
V	Merah	KERUSAKAN BERAT ( <i>Heavy Damage</i> )	Sebagian besar dinding bangunan permanen roboh. Struktur bangunan mengalami kerusakan berat. Rel kereta api melengkung	IX-XII

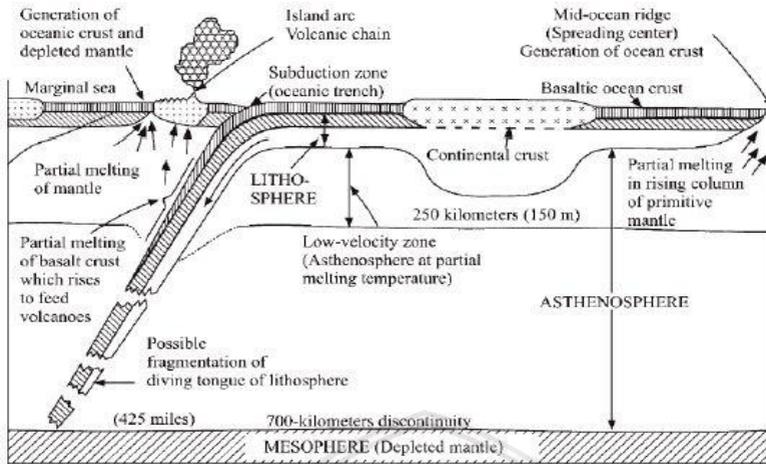
Kejadian gempabumi, dalam hal ini gempa tektonik, dapat dijelaskan dengan teori pergerakan lempeng tektonik berskala luas. Teori tektonik lempeng berasal dari teori *continental drift* dan *sea-floor spreading*. Teori lempeng tektonik menunjukkan bahwa gempabumi merupakan gejala dari pergerakan tektonik aktif. Hal ini telah teruji oleh penelitian, bahwa sebagian besar aktivitas seismik yang hebat terjadi di batas lempeng (Elnashai dan Di Sarno, 2008).



**Gambar 2.3** Distribusi lempeng tektonik di seluruh dunia (Elnashai dan Di Sarno, 2008).

Lempeng bumi merupakan lapisan batuan yang solid, stabil dan luas dengan ketebalan 100 km. Lapisan ini membentuk kulit atau litosfer dan bagian atas mantel bumi. Sedangkan kerak merupakan lapisan batuan paling luar dengan struktur geologi internal yang kompleks dan memiliki ketebalan yang bervariasi antara 25-60 km di bawah benua dan 4-6 km di bawah samudera. Mantel merupakan bagian dari interior bumi yang terletak di bawah kerak, terletak pada kedalaman sekitar 30 km hingga sekitar 2.900 km yang terdiri dari batuan silika yang tebal. Pergerakan horisontal litosfer disebabkan oleh arus konveksi pada mantel. Kecepatan pergerakannya kira-kira 1-10 sm/tahun. Gaya tektonik yang besar terkumpul di tepi lempeng akibat pergerakan relatif dari litosfer-astenosfer. Gaya ini memicu perubahan fisika serta mempengaruhi feologi antarlempeng.

Oleh karena litosfer yang mempunyai karakter yang kuat dan rapuh, maka terjadilah gempabumi (Elnashai dan Di Sarno, 2008).



**Gambar 2.4** Mekanisme tektonik pada batas lempeng yang menyebabkan terjadinya gempa bumi (Elnashai dan Di Sarno, 2008).

Dalam suatu kejadian gempa bumi dikenal adanya parameter gempa bumi. Parameter gempa bumi adalah acuan nilai besaran dan letak kejadian suatu gempa bumi. Besaran gempa bumi merupakan suatu ukuran yang dihitung berdasarkan data dari alat perekam gempa atau seismograf. Parameter gempa bumi tersebut meliputi (Shohaya dkk., 2013).

1. Waktu kejadian gempa bumi
2. Hiposenter
3. Episenter
4. Kedalaman sumber gempa bumi
5. Kekuatan gempa bumi atau magnitude.

### 2.3 Teori Tektonik Lempeng

Teori Tektonik Lempeng (*Plate Tectonics*) adalah teori dalam bidang Geologi yang dikembangkan untuk memberi penjelasan terhadap adanya bukti-bukti pergerakan skala besar yang dilakukan oleh litosfer (kerak bumi). Teori ini telah mencakup dan juga menggantikan Teori Pergeseran Benua yang lebih dahulu dikemukakan pada paruh pertama abad ke-20 dan konsep sea floor spreading yang dikembangkan pada tahun 1960 an (Watson, 1975).

Lapisan litosfer dibagi menjadi lempeng-lempeng tektonik (*tectonic plates*). Di bumi, terdapat tujuh lempeng utama dan banyak lempeng-lempeng yang lebih kecil. Lempeng-lempeng litosfer ini menumpang di atas atmosfer. Mereka bergerak relatif satu dengan yang lainnya di batas-batas lempeng, baik divergen (menjauh), konvergen (bertumbukan), ataupun transform (menyamping). Gempabumi, aktivitas vulkanik, pembentukan palung samudera semuanya umum terjadi di daerah sepanjang batas lempeng. Pergerakan lateral lempeng lazimnya berkecepatan 50-100 mm/a (Watson, 1975).

Ada tiga jenis batas lempeng yang berbeda dari cara lempengan tersebut bergerak relatif terhadap satu sama lain. Tiga jenis ini masing-masing berhubungan dengan fenomena yang berbeda di permukaan. Tiga jenis batas lempeng tersebut adalah:

1. Batas transform (*transform boundaries*) terjadi jika lempeng bergerak dan mengalami gesekan satu sama lain secara menyimpang di sepanjang sesar transform (*transform fault*). Gerakan relatif kedua lempeng bisa senistral (ke kiri di sisi yang berlawanan dengan pengamat) ataupun dekstral (ke kanan di sisi yang berlawanan dengan pengamat). Sebagai contoh adalah Sesar San Andreas di California.
2. Batas divergen/konstruktif (*divergent/constructive boundaries*) terjadi ketika dua lempeng bergerak menjauh satu sama lain. *Mid-oceanic ridge* dan zona retakan (*rifting*) yang aktif adalah contoh batas divergen
3. Batas konvergen atau destruktif (*convergent boundaries*) terjadi jika dua lempeng bergesekan mendekati satu sama lain sehingga membentuk zona subduksi jika salah satu lempeng bergerak di bawah yang lain, atau tabrakan benua (*continental collision*) jika kedua lempeng mengandung kerak benua (Holmes, 1978).

Lempeng kerak bumi dibagi menjadi dua kelompok, yaitu lempeng mayor (lempeng besar) dan lempeng minor (lempeng kecil). Ada tujuh lempeng utama yaitu:

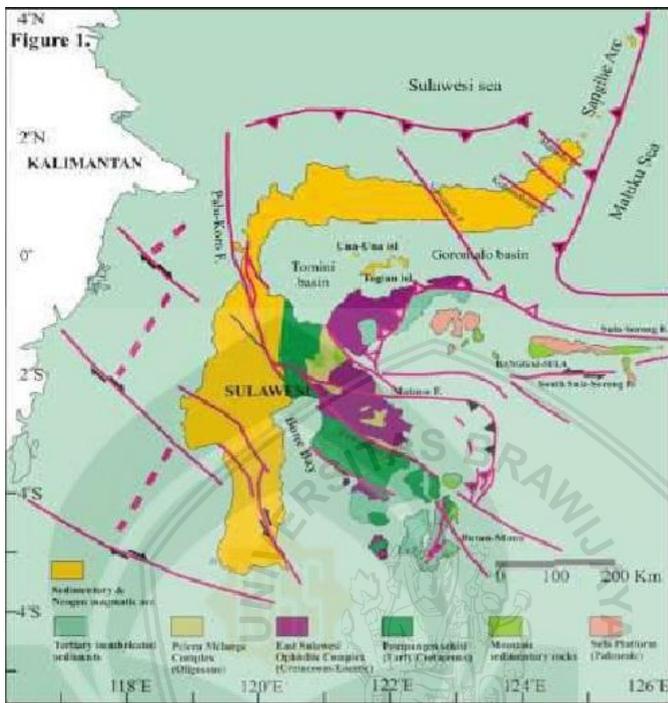
1. Lempeng Pasifik (*Pacific Plate*), merupakan lempeng samudera yang meliputi seluruh samudera pasifik.
2. Lempeng Eurasia (*Eurasian Plate*), merupakan lempeng benua yang meliputi Asia dan Eropa.

3. Lempeng India-Australia (*Indian-Australian Plate*), merupakan lempeng benua Australia (tergabung dengan lempeng India antara 50 sampai 55 juta tahun yang lalu).
4. Lempeng Afrika (*African Plate*), merupakan lempeng benua, meliputi seluruh Afrika.
5. Lempeng Amerika Utara (*North American Plate*), merupakan lempeng benua, meliputi Amerika Utara dan Siberia timur laut.
6. Lempeng Amerika Selatan (*South American Plate*), merupakan benua yang meliputi Amerika Utara.
7. Antartika (*Antartican Plate*), merupakan lempeng benua yang meliputi seluruh Antartika

Beberapa Lempeng Minor, yaitu:

1. Lempeng Nasca (*Nasca Plate*), diapit oleh Pacific Plate, Cocos Plate, South American Plate, Antarctic Plate.
2. Lempeng Arab (*Arabian Plate*), diapit oleh African Plate, Iranian Plate dan Turkish Plate
3. Lempeng Karibia (*Caribbean Plate*), diapit oleh South American Plate, North American Plate dan Cocos Plate
4. Lempeng Phillippines (*Phillippines Plate*), diapit oleh Pacific Plate, Indian-Australian Plate dan Eurasian Plate.
5. Lempeng Scotia (*Scotia Plate*), terletak di antara Antartica plate dan South American Plate.
6. Lempeng Cocos (*Cocosa Plate*), diapit oleh Nazca Plate, Rivera Plate, Caribbean Plate dan North American Plate.

Zona lingkaran api pasifik ini sangat luas, yaitu membentang mulai dari pantai barat Amerika Selatan, berlanjut ke pantai barat Amerika Utara, melingkar ke Kanada, semenanjung Kamchatka, Kepulauan Jepang, Indonesia, Selandia Baru, dan Kepulauan Pasifik Selatan. Selain menjadi tempat munculnya gunung api, zona subduksi di lingkaran api pasifik juga merupakan tempat terjadinya gempa bumi. Menurut United State Geology Survey (USGS), sekitar 90% gempa bumi di dunia terjadi di sepanjang jalur lingkaran api pasifik. Gempa bumi yang terjadi di lingkaran api pasifik lebih sering diakibatkan oleh gerakan lempeng tektonik daripada aktivitas gunung apinya (Holmes, 1978).



**Gambar 2.5**Peta tektonik dan struktur Sulawesi (Yeni, 2016)

## 2.4 Gelombang Seismik

Gelombang Seismik adalah gelombang yang merambat melalui medium permukaan dan bawah permukaan bumi. Perambatan ini tergantung dari sifat elastisitas yang dimiliki oleh suatu batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode penimbulkan gelombang seismik secara aktif atau disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah gangguan yang muncul terjadi secara alamiah, contohnya gempa. Teori tektonik lempeng telah menjelaskan bagaimana pergerakan dari lempeng bumi. Pergerakan lempeng bumi menyebabkan batuan terdeformasi atau berubah bentuk dan ukuran karena adanya pergerakan antar

lempeng. Deformasi akibat pergerakan lempeng ini berupa tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*).

Gelombang seismik yang melalui bidang interior bumi disebut gelombang Badan (*Body Wave*) sedangkan gelombang seismik yang merambat melalui luar bumi disebut sebagai gelombang permukaan (*Surface Wave*). Gelombang Primer (Longitudinal) dibedakan berdasarkan arah getarnya dengan arah rambatnya tegak lurus dengan gelombang sekunder. *Surface Wave* dibagi lagi menjadi rayleigh wave (*ground roll*) dan love wave (Telford, dkk. 1990). Gelombang mekanik disebabkan oleh gangguan dalam media. Misalnya, ketika tali yang tegang dipetik, gangguan yang dihasilkan perjalanan sepanjang tali dikatakan sebagai gelombang. Gelombang seperti ini, di mana gerakan menengah ( *string* ) tegak lurus terhadap arah propagasi dari gangguan, disebut gelombang transversal (Tipler, 2008). Berdasarkan medium penjalarnya, gelombang seismik dibagi menjadi dua tipe yaitu Gelombang Tubuh (*Body Wave*) dan Gelombang Permukaan (*Surface Wave*).

#### **2.4.1 Gelombang Tubuh (*Body Wave*)**

Gelombang Tubuh merupakan gelombang yang energinya ditransfer melalui medium di dalam bumi (Priyono, 2006). Berdasarkan sifat gerakan partikel mediumnya, Gelombang Tubuh dibagi menjadi dua, yaitu Gelombang-P / Gelombang Primer / *Pressure* dan Gelombang-S / Gelombang Sekunder/ *Shear*. Pergerakan partikel pada Gelombang-P sejajar dengan arah penjalarnya atau merambat secara longitudinal (Priyono, 2006). Gelombang-P merambat paling cepat, sehingga merupakan gelombang yang pertama kali terekam. Kecepatan Gelombang-P bervariasi di medium. Kecepatan Gelombang-P di kerak bumi sebesar 5-7 km/s, kecepatan di mantel dan inti bumi sebesar > 8 km/s, kecepatan di air sebesar 1,5 km/s dan kecepatan di udara sebesar 0,3 km/s (Braile, 2004). Beberapa energi dari Gelombang-P dikonversi menjadi energi Gelombang-S pada titik refleksi Gelombang-P dapat merambat pada benda padat, cair dan gas. Secara matematik, Gelombang-P ditulis sebagai (persamaan 2.1) (Priyono, 2006).

$$v_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

dimana :

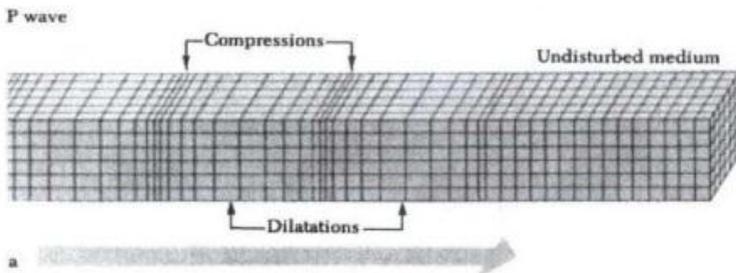
- $v_p$  = kecepatan primer  
 $k$  = modulus bulk (menyatakan incompressibility)  
 $\mu$  = konstanta lame (menyatakan rigidity)  
 $\rho$  = densitas Pergerakan Gelombang-S secara transversal, yaitu tegak lurus terhadap arah rambatanya.

Jika arah gerakan partikelnya pada bidang horizontal, maka Gelombang-S tersebut merupakan Gelombang-S Horizontal (SH) dan jika pergerakan partikelnya pada bidang vertikal, maka Gelombang-S tersebut merupakan Gelombang-S Vertikal (SV) (Priyono, 2006). Gelombang-S hanya merambat dalam benda padat dan tiba setelah Gelombang-P dengan kecepatan yang bervariasi. Pada kerak bumi kecepatan Gelombang-S sebesar 3-4 km/s, pada mantel bumi kecepatannya sebesar  $> 4,5$  km/s sedangkan kecepataanya pada inti bumi sebesar 2,5 – 3 km/s (Braile, 2004). Secara matematik, Geombang-S ditulis sebagai (persamaan 2.2) (Priyono, 2006).

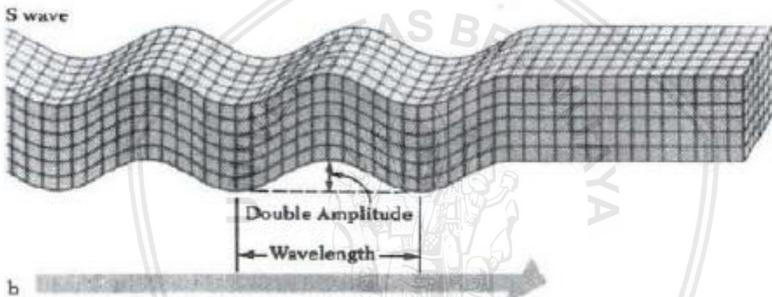
$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

dimana :

- $v_s$  = kecepatan sekunder  
 $\mu$  = kontanta lame (menyatakan rigidity)  
 $\rho$  = densitas



**Gambar 2.6** Arah penjaralan gelombang P (Wallace dan Thorne, 1995)

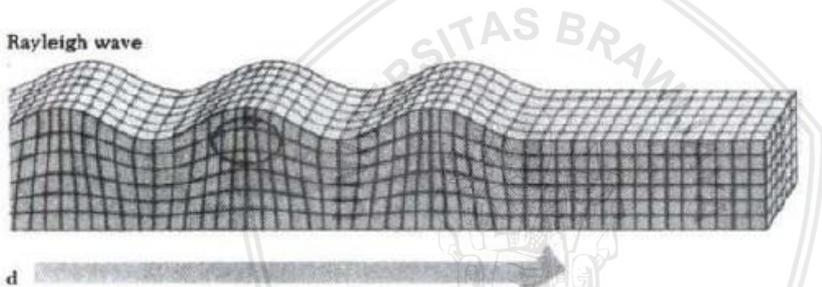


**Gambar 2.7** Arah penjaralan gelombang S (Wallace dan Thorne, 1995)

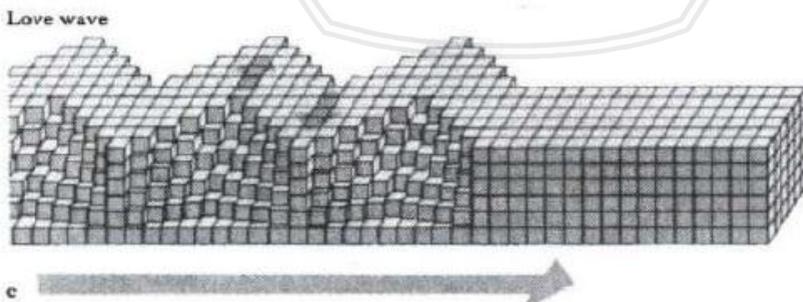
### 2.4.2 Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang Permukaan merupakan gelombang yang transfer energinya terjadi pada permukaan bebas dan menjaral dalam bentuk *ground roll* dengan kecepatan berkisar antara 500 m/s hingga 600 m/s (Priyono, 2006). Gelombang Permukaan memiliki amplitudo besar dan frekuensi yang rendah. Ada dua tipe gelombang Permukaan, yaitu Gelombang *Love* dan Gelombang *Rayleigh*. Gelombang *Love* merupakan Gelombang Permukaan yang gerakan partikelnya mirip dengan Gelombang-S, yaitu terjadi secara transversal (Priyono, 2006). Gelombang *Love* merupakan gelombang permukaan yang terbesar dan amplitudonya meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman. Kecepatan (2-4,4 km/s) dan penetrasi Gelombang *Love*

bergantung pada frekuensi, semakin kecil frekuensi maka kecepatan dan penetrasi akan semakin besar. Gelombang *Love* merambat lebih cepat dari pada Gelombang *Rayleigh* (Braile, 2004). Gelombang *Rayleigh* memiliki gerakan partikel yang merupakan kombinasi dari gerakan partikel Gelombang P dan S. Gerakan partikel gelombang ini terpolarisasi elips dengan faktor amplitudo yang mempunyai tanda berkebalikan sehingga gerakan partikelnya mundur (Priyono, 2006). Kecepatan (2 - 4,2 km/s) dan penetrasi Gelombang *Rayleigh* bergantung pada frekuensi, semakin kecil frekuensi maka kecepatan dan penetrasi akan semakin besar (Braile, 2004). Gelombang seismik yang merambat secara paralel ke permukaan bumi tanpa adanya penyebaran energi ke dalam bumi. Memiliki frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, kemudian menjalar akibat efek *free surface* dimana terdapat perbesaan sifat elastik (Susilawati, 2008).



**Gambar 2.8** Arah penjalaran gelombang Rayleigh (Wallace dan Thorne, 1995)



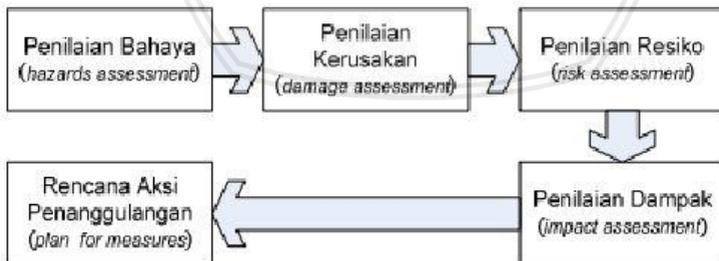
**Gambar 2.9** Arah penjalaran gelombang Love (Wallace dan Thorne, 1995).

## 2.5 Mikrozonasi Seismik

Irjan dan Ahmad Bukhori (2011) menyatakan bahwa mikrozonasi seismik atau dikenal *seismic microzonation* adalah proses pembagian area yang berpotensi memiliki kerusakan akibat aktivitas sesimik dan gempabumi dengan mempertimbangkan karakteristik geologi dan geofisis dari lapisan sedimen. Secara umum mikrozonasi seismik dapat dikatakan sebagai proses untuk memperkirakan respon dan tingkah laku dari lapisan tanah atau sedimen terhadap adanya gempabumi.

Mikrozonasi seismik dalam pengembangannya tidak hanya ditujukan untuk memetakan bahaya atau wilayah rawan gempabumi, tetapi juga untuk penilaian resiko dan penanggulangan bencana gempabumi (Muntohar, 2010).

Kerentanan terhadap pengaruh gempa ini menyebabkan seismisitas harus dipertimbangkan dalam penentuan kerawanan kelongsoran. Kemampuan tanah untuk menghantarkan dan amplifikasi gelombang gempa harus diwaspadai akan mampu menyebabkan kelongsoran. Kehancuran kota Mexico karena gempa ketika dihantarkan melalui tanah dan batuan. Penyertaan faktor seismisitas dan amplifikasi gelombang gempa dalam usaha mengurangi kemungkinan terjadinya longsor adalah melalui mikrozonasi seismik untuk stabilitas lereng. Mikrozonasi merupakan alat yang efektif dalam merencanakan tata ruang wilayah dengan memperhitungkan faktor aktivitas seismik sehingga mampu mengurangi resiko jatuhnya korban karena bencana seismik (Ketut, 2013).



**Gambar 2.10** Diagram perkembangan mikrozonasi seismik (Muntohar, 2010).

## 2.6 Mikrotremor

Mikrotremor adalah salah satu pengujian kuantitatif non-destruktif yang dilakukan guna memeriksa kekuatan bangunan. Perekaman dan analisis *ambient noise* dapat dilakukan dengan mudah dan dapat diterapkan ke tempat-tempat rawan gempa dengan skala rendah. Hasil perekaman data dalam beberapa menit dengan mikrotremor biasanya sudah cukup, karena ditampilkan dalam bentuk ruang dan waktu yang *continue* dengan menggunakan 3 instrumen *component station* untuk memperoleh data (Hernanti, dkk. 2014).

Menurut Tokimatsu, mikrotremor atau yang biasa disebut dengan *ambient noise* adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan, seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan.

Nakamura mengembangkan analisis mikrotremor dengan mengusulkan teknik baru, umumnya disebut sebagai metode H/V atau HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode HVSR didasarkan pada perbandingan antara amplitudo spektral komponen horizontal terhadap komponen vertikal. Mikrotremor merupakan getaran alami (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama yakni alam dan manusia. Rekaman dari gerakan tanah selalu mengandung *ambient vibration*. Ini menunjukkan bahwa tanah tidak pernah benar-benar berhenti bergerak. Hal ini dikarenakan semua penghasil sumber energi membangkitkan gelombang seismik seperti laut dan gangguan meteorologi yang terus menerus terjadi, sehingga menyebabkan adanya *noise* setiap saat (Nakamura. 2000).

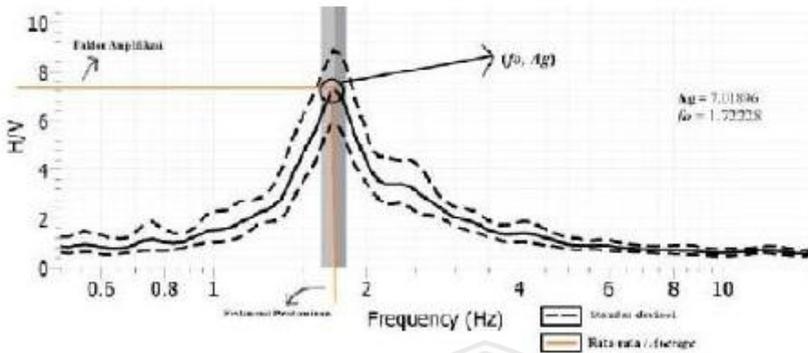
Teknik HVSR (*Horizontal to Vertical Fourier Amplitude Spectral Ratio*) pada analisis data mikrotremor telah digunakan secara luas untuk studi efek lokal dan mikrozonasi. Selain sederhana dan bisa dilakukan kapan dan dimana saja, teknik ini juga mampu mengestimasi frekuensi resonansi secara langsung tanpa harus mengetahui struktur kecepatan gelombang geser dan kondisi geologi bawah permukaan lebih dulu. Metode HVSR pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Iragashi. Hasil dari penelitian menyatakan adanya hubungan antara perbandingan komponen horizontal dan vertikal dari terhadap kurva elipsitas pada gelombang rayleigh.

Mikrotremor adalah getaran tanah natural dengan amplitudo rendah yang ada dipermukaan bumi diakibatkan oleh berbagai penyebab alami seperti angin, gelombang laut, kebisingan kendaraan dan lainnya. Mikrotremor merupakan getaran yang memiliki amplitudo sekitar 0,1-1 mikron dan kecepatan 0,001-0,01 cm/detik yang dapat dideteksi dengan menggunakan seismograph tertentu.

Mikrotremor adalah semua getaran yang terjadi pada permukaan tanah dalam waktu yang singkat seperti gempa atau ledakan yang mereka sebut sebagai *seismic noise* dengan sumber dan tipe frekuensinya bermacam-macam, seperti gelombang laut atau ombak, angin dan juga oleh aktivitas manusia yang tinggi seperti perjalanan, mobilisasi ekonomi dan aktivitas industri terutama di wilayah perkotaan. (Ibs-von Seht dan Wohlenberg, 1999).

Metode HVSR merupakan metode yang efektif, murah dan ramah lingkungan sehingga dapat digunakan pada wilayah permukiman. Dalam metode HVSR digunakan data pengukuran seismik pasif (mikrotremor) tiga komponen. Metode HVSR menghasilkan dua parameter penting yaitu frekuensi natural (frekuensi dominan) dan amplifikasi. Kedua parameter tersebut berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan sehingga dapat digunakan untuk karakterisasi geologi setempat (Herak, 2008).

Kerusakan bangunan akibat gempa dipengaruhi oleh efek lokal, yakni geologi setempat. Efek lokal yang dapat menyebabkan kerusakan akibat gempabumi berkorelasi dengan parameter HVSR mikrotremor, yang dicirikan oleh frekuensi natural rendah (periode tinggi) dan amplifikasi tinggi (Sungkono dan Santosa, 2010). Gelombang gempa menjalar dari kecepatan tinggi ke kecepatan rendah (sedimen). Selanjutnya, terjadi multi-refleksi gelombang yang terjadi pada sedimen, berakibat pada terjadinya amplifikasi amplitudo gelombang. Amplifikasi ini berbanding lurus dengan kerusakan bangunan. Selain amplifikasi, kerusakan bangunan juga dipengaruhi oleh frekuensi natural (Sungkono, 2011).



**Gambar 2.11** Kurva HVSR dimana sumbu  $x$  merupakan nilai frekuensi dominan dan sumbu  $y$  merupakan nilai amplifikasi (Wibowo, 2015).

### 2.6.1 Klasifikasi Gelombang Mikrotremor

Ada dua teori yang menerangkan terjadinya gelombang mikrotremor yaitu sebagai berikut:

- Teori pantai yang menyatakan bahwa gelombang mikrotremor berasal dari aktivitas ombak yang memecah pantai yang curam.
- Teori siklon yang menyatakan bahwa gelombang ini berasal dari aktivitas angin siklon di atas laut dalam.

Berdasarkan observasi yang dilakukan pada stasiun-stasiun seismik di Swedia menemukan fakta mengenai gelombang mikrotremor yaitu (Bath, 1979):

- Gelombang mikrotremor periode pendek ( $< 2$  s) yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti getaran mesin, angin, dan sebagainya.
- Gelombang mikrotremor periode sedang ( $\sim 8$  s) yang disebabkan pada saat terjadi badai di laut sebelah utara Norwegia.
- Gelombang mikrotremor periode panjang (17-20 s), timbulnya sangat jarang terjadi pada saat gelombang laut yang sangat besar.

## 2.7 Hubungan Mikrotremor dengan Kerusakan Struktur

Metode pengujian ini adalah salah satu metode geofisika dengan memanfaatkan getaran alami yang terjadi pada tanah atau bangunan yang dapat ditangkap atau direkam dengan menggunakan alat sejenis seismograf dengan sensitivitas yang sangat tinggi dan dilakukan analisis numerik untuk mengetahui karakteristik dinamis bangunan maupun kondisi tanah di lokasi bangunan (Hernanti, dkk. 2014)

Intensitas kerusakan tinggi akibat gempa bumi biasanya terjadi pada lokasi dengan pola spektrum mikrotremor dengan frekuensi resonansi rendah dengan puncak spektrum tinggi, sebaliknya intensitas kerusakan rendah terjadi pada lokasi dengan pola spektrum frekuensi resonansi tinggi dengan puncak spektrum mikrotremor rendah (Ngadmanto, dkk. 2013).

Penerapan utama observasi mikrotremor adalah untuk *seismic microzonation* atau proses pembagian area yang berpotensi akan proses seismik dan kegempaan dengan mempertimbangan karakteristik geologi dan geofisika seperti getaran tanah, kerentanan *liquefaction*, tanah longsor dan lainnya. Mikrotremor akan sangat berguna untuk mitigasi bencana kerusakan parah akan dapat dicegah. Selain itu dapat juga dilakukan untuk pembangunan setelah terjadinya gempa bumi.

## 2.8 Metode dalam Analisis Mikrotremor

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis mikrotremor. Prosedur yang paling umum diperkenalkan oleh Borcherdt (1970) adalah dengan membandingkan spektrum seismogram dengan spektrum yang didapatkan pada stasiun terdekat dengan episentrum. Faktor jarak terhadap episentrum dan sumber radiasi ini akan dipertimbangkan untuk menentukan adanya perbedaan efek dari kondisi geologi dan sifat fisis dari suatu daerah, namun metode ini membutuhkan adanya gempa bumi untuk bisa dilakukan. Selain itu perlu dilakukan pengukuran untuk setiap daerah yang menjadi studi. Menurut Nakamura (1989) adalah metode yang mudah diterapkan. Metode ini didasarkan pada rasio spektrum dari komponen horizontal terhadap metode vertikal yang ditimbulkan oleh getaran tanah akibat mikrotremor.

Pengolahan mikrotremor pertama kali diperkenalkan oleh Nogoshi dan Igarashi (1971) dan selanjutnya disebarluaskan oleh Nakamura (1989). Teknik H/V ratio merupakan teknik estimasi rasio

antara komponen horisontal dan vertikal dari spektrum amplitudo Fourier dari gelombang alam (*ambient vibration*) yang direkam pada satu stasiun. Metode Nakamura (H/V ratio) dapat digunakan untuk menunjukkan frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan nilai puncak HVSR ( $A$ ) yang merepresentasikan karakteristik dinamis lapisan sedimen. Dari hubungan keduanya juga dapat diketahui indeks kerentanan seismik ( $Kg$ ).

Hipotesis utama dalam merumuskan metode ini yaitu (Winoto, 2010):

- Ambient noise* atau bunyi alami ditimbulkan oleh refleksi dan refraksi gelombang *shear* dalam lapisan tanah dangkal dan oleh gelombang permukaan S.
- Sumber *noise* lokal tidak mempengaruhi *ambient noise* pada bagian bawah struktur yang tidak terkonsolidasi.
- Lapisan tanah yang rapuh/*soft* tidak menguatkan komponen vertikal dari *ambient noise*.

## 2.9 Indeks Kerentanan Seismik

Indeks kerentanan seismik ( $Kg$ ) merupakan indeks yang dapat menggambarkan daerah rawan atau zona rentan pada saat terjadi gempa bumi. Pada tahun 1997 Nakamura memperkenalkan parameter ini ( $Kg$ ) yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi. Nilai  $Kg$  dirumuskan sebagai (persamaan 2.3)

$$Kg = \frac{A^2}{f_0} \quad (2.3)$$

dengan:

$Kg$  = indeks kerentanan seismik ( $s^2/m$  atau  $s^2/cm$ )

$A_0$  = amplifikasi

$f_0$  = frekuensi dominan (Hz)

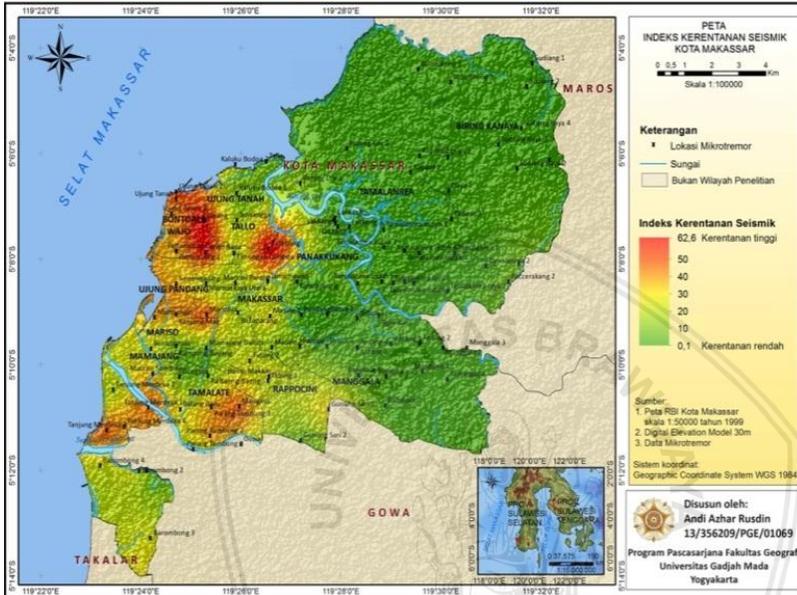
Data kuantitatif kerentanan seismik penting sebagai sarana informasi untuk memperkirakan dan meminimalisir dampak yang disebabkan oleh gempa bumi. Mikrozonasi indeks kerentanan seismik dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam pengembangan infrastruktur kota, sehingga pengembangan infrastruktur kota dapat

diarahkan ke daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik yang lebih rendah (Laberta, dkk, 2013).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya korelasi antara nilai  $K_g$  dengan kerusakan akibat gempa bumi. Indeks kerentanan seismik yang tinggi berasosiasi dengan kerusakan yang parah akibat gempa bumi. Pengukuran mikrotremor telah dilakukan untuk mengkaji indeks kerentanan seismik di distrik Marina (San Fransisco). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa adanya perbedaan sebaran nilai indeks kerentanan seismik di daerah pantai hingga perbukitan. Penelitian menunjukkan bahwa di daerah perbukitan memiliki indeks kerentanan seismik yang rendah, sedangkan di kawasan pantai tersusun batuan aluvial memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi (Nakamura, 2008).

Variasi nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi beberapa faktor yaitu material penyusun, ketebalan sedimen, kedalaman batuan dasar dan kedalaman muka air tanah. Ketebalan lapisan sedimen memiliki korelasi dengan nilai indeks kerentanan seismik. Semakin tipis lapisan sedimen maka nilai indeks kerentanan seismiknya rendah, semakin tebal sedimen maka nilai indeks kerentanan seismiknya tinggi (Azhar, 2014)

Hasil dari pengukuran mikrotremor yang dilakukan di Kota Makassar, didapatkan bagian barat Kota Makassar termasuk wilayah Rappocini memiliki nilai indeks kerentanan tinggi tersusun dari endapan aluvium berupa pasir, lanau serta lempung. Pada bagian timur Kota Makassar, indeks kerentanan mengalami penurunan yang tersusun oleh Formasi Camba yang terdiri dari batuan sedimen laut berselingan dengan batuan gunungapi (Breksi, Lava, Konglomerat, Tufa). Hasil tersebut menunjukkan adanya hubungan antara geologi dengan indeks kerentanan seismik (Azhar, 2014).



**Gambar 2.12**Peta indeks kerentanan seismik Kota Makassar (Azhar, 2014).

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Data yang digunakan merupakan data sekunder dari penelitian sebelumnya oleh pihak instansi yaitu pada bulan Agustus 2014. Penelitian secara keseluruhan dilaksanakan di Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar pada tanggal 28 Juli hingga 28 Agustus 2016



**Gambar 3.1** Lokasi penelitian mikrotremor wilayah Rappocini, Kota Makassar

### 3.2 Metode Penelitian

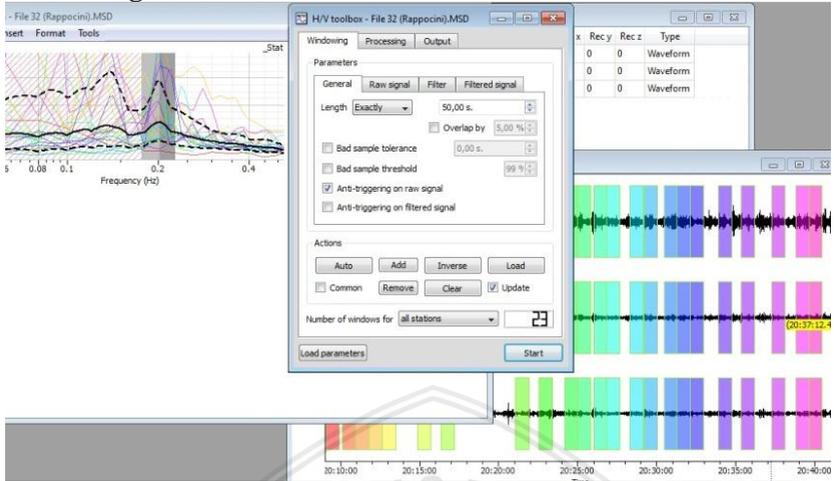
Pada penelitian ini digunakan perangkat lunak sebagai berikut:

1. *DataPro* untuk mengkonversi data mikrtremor ke format *miniseed*.
2. *Geopsy* untuk mendapatkan spektrum rasio H/V dengan mengolah data digital mikrotremor 3 komponen (utara-selatan, vertikal, dan barat-timur).
3. *Microsoft Excel* untuk melakukan koreksi kurva HVSR, menghitung nilai indeks kerentanan seismik.
4. *Google Earth Pro* untuk memberikan informasi mengenai wilayah penelitian.
5. *ArcGIS 10.5* untuk membuat peta lokasi penelitian mikrotremor gempabumi.
6. *Surfer 9* untuk membuat peta kontur persebaran indeks kerentanan seismik.

Pada penelitian ini digunakan perangkat keras sebagai berikut:

1. Seismometer *portable TDL-303S* sebagai alat perekam getaran mikrotremor.
2. GPS antena digunakan untuk menentukan lokasi penelitian.
3. Kompas digunakan untuk menentukan arah mata angin.
4. Laptop digunakan untuk menampilkan gelombang mikrtremor saat akuisisi data dan pengolahan data.

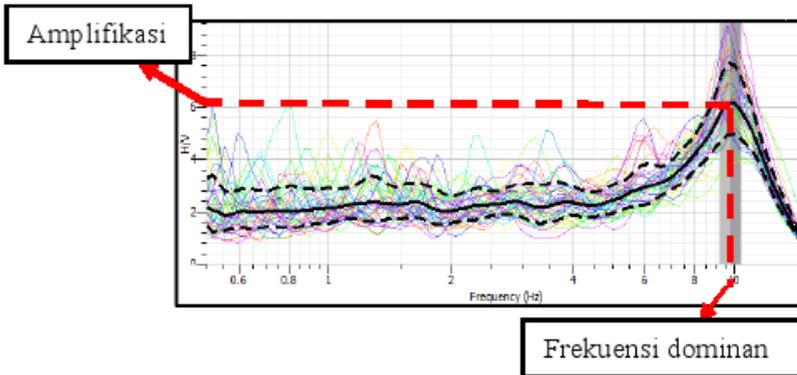
### 3.3 Pengolahan Data



**Gambar 3.2** Pengolahan data menggunakan *software Geopsy*.

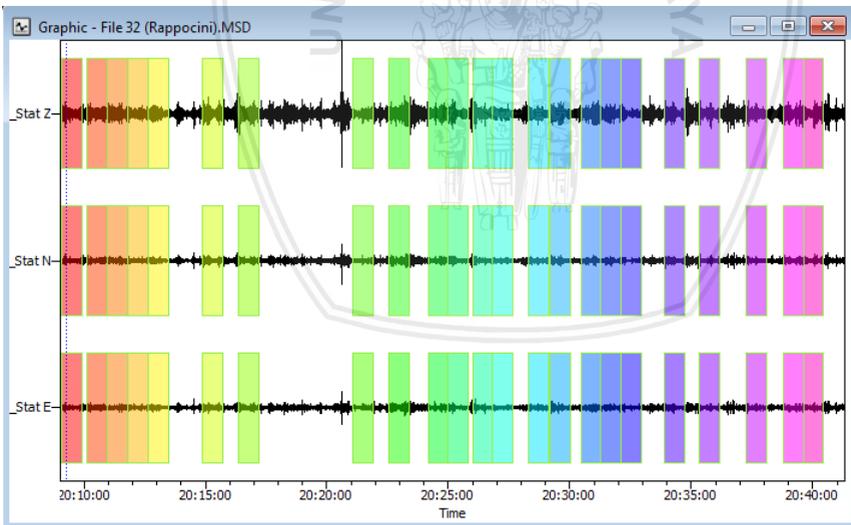
Penelitian dilaksanakan dengan menginterpretasi hasil pengolahan data sekunder dari Balai Besar Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika Wilayah IV Makassar. Data yang digunakan berjumlah 7 titik, berupa data gelombang mikrotremor hasil perekaman perangkat seismometer *portable TDL-303S* (3 komponen). Data rekaman mikrotremor 3 komponen tersebut adalah komponen vertikal UD (*up-down*), komponen timur-barat EW (*East-West*), dan komponen utara-selatan NS (*North-South*). Data tersebut akan diolah menggunakan perangkat lunak *Geopsy*, data mentah hasil perekaman harus diubah terlebih dahulu ke dalam format mini-SEED (*save as mini-SEED*) menggunakan perangkat lunak *Datapro*.

Data mikrotremor yang telah diubah ke dalam format mini-SEED difilter menggunakan algoritma anti-triggering untuk menghindari bagian *transient noise*. Selanjutnya bagian rekaman berupa *ambient noise* dibagi kedalam beberapa *window*. Kemudian dilakukan proses transformasi fourier terhadap sinyal dalam kawasan waktu yang telah dilakukan proses *windowing* seperti gambar 3.4. Proses tersebut bertujuan untuk mengubah sinyal dari kawasan waktu ke kawasan frekuensi sehingga diperoleh spektrum fourier. Pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Geopsy* bertujuan untuk mendapatkan spektrum rasio H/V.



**Gambar 3.3** Spektrum rasio H/V menunjukkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan amplifikasi (A).

Nilai spektrum rasio H/V didapatkan dari penjumlahan komponen horisontal dengan rata-rata kuadrat kemudian dibagi dengan komponen vertikal. Dari spektrum rasio H/V ini dapat ditentukan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan amplifikasi (A).



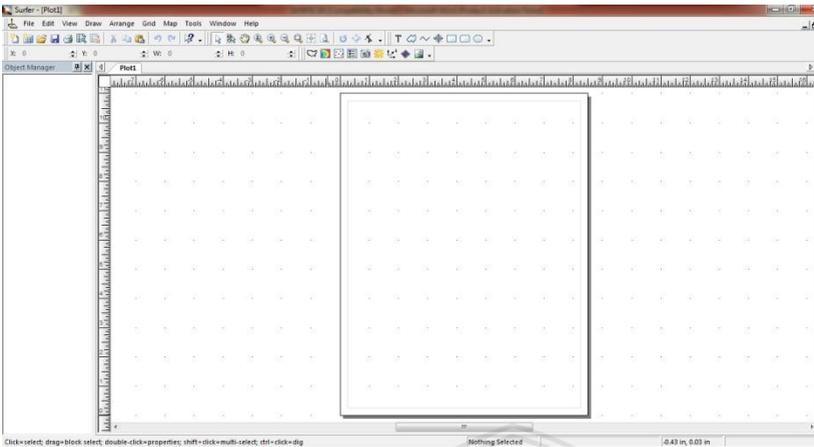
**Gambar 3.4** Proses *windowing* data mikrotremor 3 komponen

Hasil keluaran pengolahan data mikrotremor 3 komponen pada perangkat lunak *Geopsy* berupa rata-rata spektrum mikrotremor. Dari spektrum ini diketahui nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan nilai puncak spektrum mikrotremor atau amplifikasi ( $A$ ) yang akan digunakan untuk menentukan indeks kerentanan seismik di beberapa titik pada kecamatan Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel*. Setelah didapatkan nilai indeks kerentanan seismik akan diperoleh hasil peta persebaran nilai indeks kerentanan seismik berupa peta kontur dan akan diketahui dan dianalisis wilayah sangat rentan dan wilayah kurang rentan yang disebabkan oleh gempabumi.

Titik Akuisisi Data	Frekuensi ( $f_0$ )	Amplifikasi ( $A$ )
Titik 1 Tidung 1	0,2936	5,43
Titik 2 Gunungsari 1	0,1803	2,15
Titik 3 Bonto Makkio	0,1565	1,65
Titik 4 Ballaparang	0,1328	2,64
Titik 5 Gunungsari 2	0,399	1,77
Titik 6 Tidung 2	0,4232	1,65
Titik 7 Kassi Kassi	0,4022	3,67

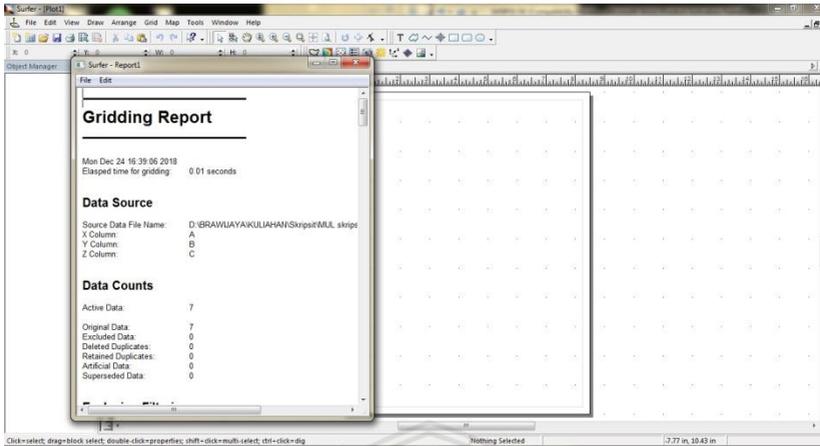
**Gambar 3.5** Perhitungan nilai indeks kerentanan seismik menggunakan *software Microsoft excel*

Dilakukan perhitungan nilai indeks kerentanan seismik pada *Microsoft Excel* dengan membagi kuadrat puncak spektrum mikrotremor ( $A$ ) dengan frekuensi dominan ( $f_0$ ) sesuai persamaan 2.3. Setelah didapatkan nilai indeks kerentanan seismik, dibuatkan peta kontur menggunakan perangkat lunak *Surfer 9* dengan penambahan nilai input titik bujur dan lintang dari setiap titik. Lalu dipindahkan pada worksheet *Surfer 9* untuk dibuat peta konturnya. Didapatkan peta kontur persebaran nilai indeks kerentanan seismik yang dapat menggambarkan wilayah sangat rentan dan kurang rentan akibat bencana alam gempabumi di wilayah penelitian, yaitu di kecamatan Rappocini, Kota Makassar, Sulawesi Selatan.



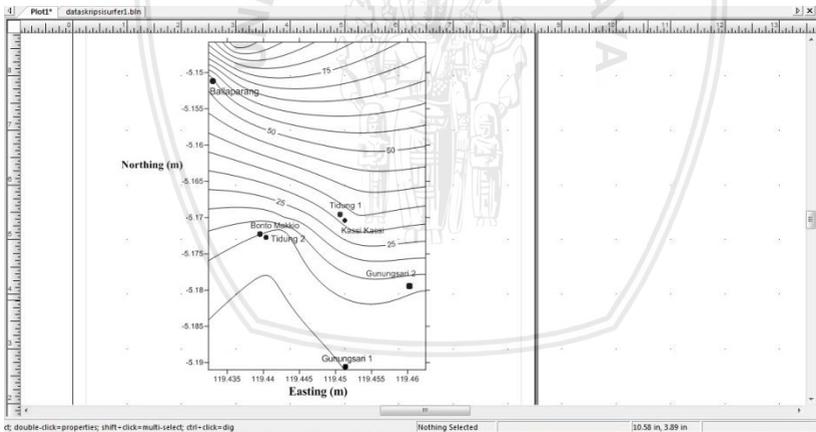
**Gambar 3.6** Tampilan awal perangkat lunak *Surfer 9*

Pada pengolahan data menggunakan perangkat lunak *Surfer 9* data yang dimasukkan pada lembar kerja atau kolom x, y dan z adalah data besaran bujur (kolom x), besaran lintang (kolom y), dan nilai parameter frekuensi dominan ( $f_0$ ), amplifikasi ( $A$ ) dan indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) (kolom z) secara bergantian. Semua data tersebut telah diatur terlebih dahulu pada *Microsoft Excel*. Kemudian data tersebut disimpan pada folder di komputer atau laptop dengan format \*.bln (*BLN Golden Software Blanking*). Kemudian klik plot untuk kembali ke tampilan awal *Surfer 9* lalu pilih dan buka kembali data \*.bln untuk meng-*gridding* data secara otomatis sehingga diperoleh hasil *Gridding Report* seperti pada gambar 3.7.



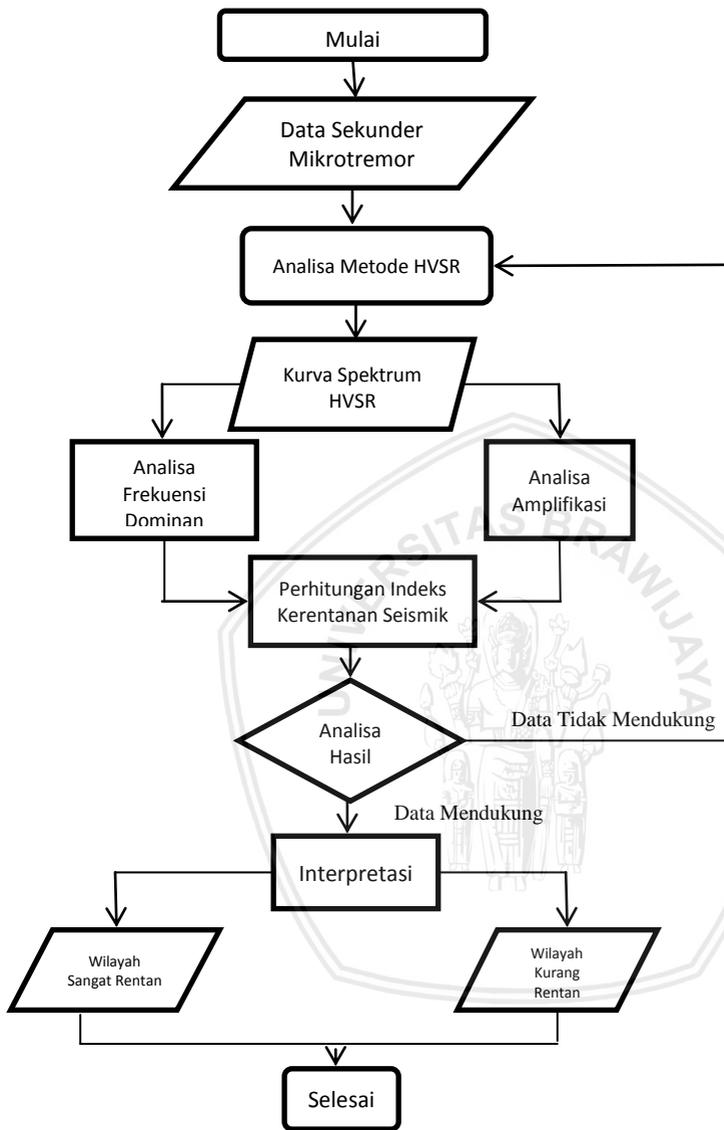
**Gambar 3.7** Hasil *Gridding Report* pada *Surfer 9*

Setelah dilakukan *gridding*, langkah berikutnya adalah membuat peta kontur dengan persebaran setiap parameter (frekuensi dominan, amplifikasi dan nilai indeks kerentanan seismik).



**Gambar 3.8** Peta kontur 2D

Langkah berikutnya, dilakukan interpretasi data hasil pengolahan metode HVSR dan peta kontur distribusi persebaran nilai indeks kerentanan seismik. Diagram alir pengolahan data ditunjukkan pada Gambar 3.9

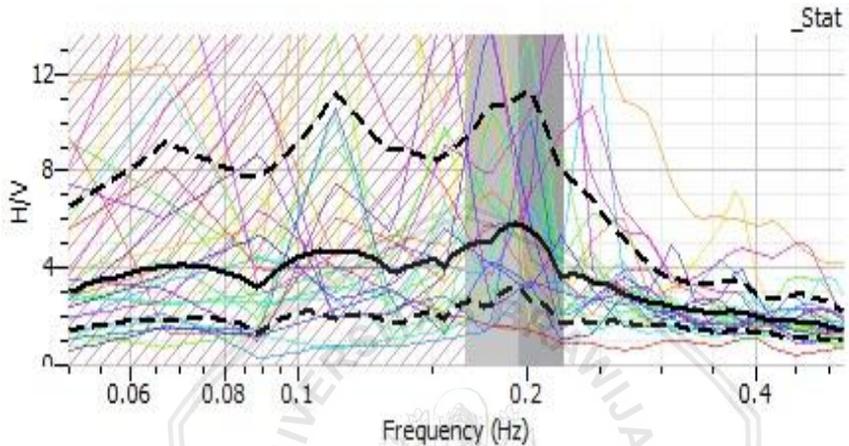


Gambar 3.9 Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

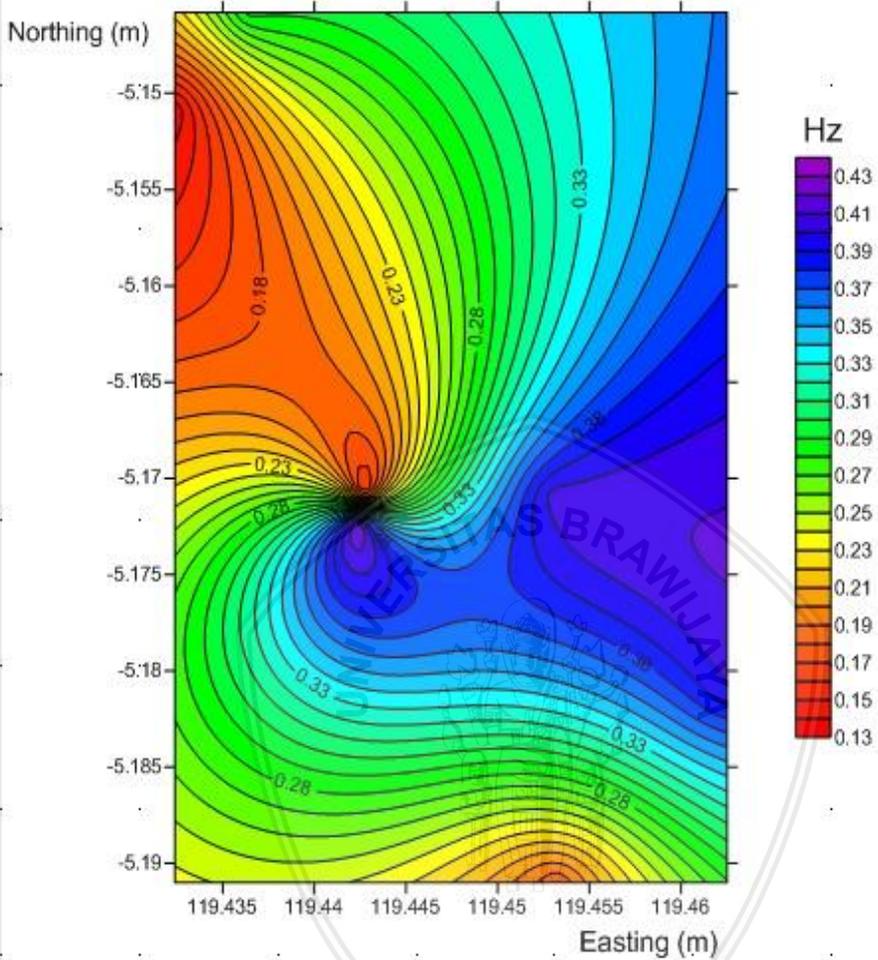
#### 4.1 Interpretasi Data Hasil Pengolahan Menggunakan Metode HVSR



**Gambar 4.1** Kurva H/V Tidung 1

Berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan menggunakan perangkat lunak *Geopsy* metode HVSR (*horizontal-to-vertical spectrum ratio*) didapatkan kurva H/V 7 titik. Dari kurva tersebut didapatkan sumbu x dan y, sumbu x menunjukkan nilai frekuensi dominan ( $f_0$ ) dan sumbu y menunjukkan nilai amplifikasi ( $A$ ). Dari nilai frekuensi dominan dan amplifikasi tersebut dilakukan perhitungan pada *Microsoft Excel* untuk diketahui nilai indeks kerentanan seismik di setiap titik dengan rumus seperti pada (persamaan 2.3).

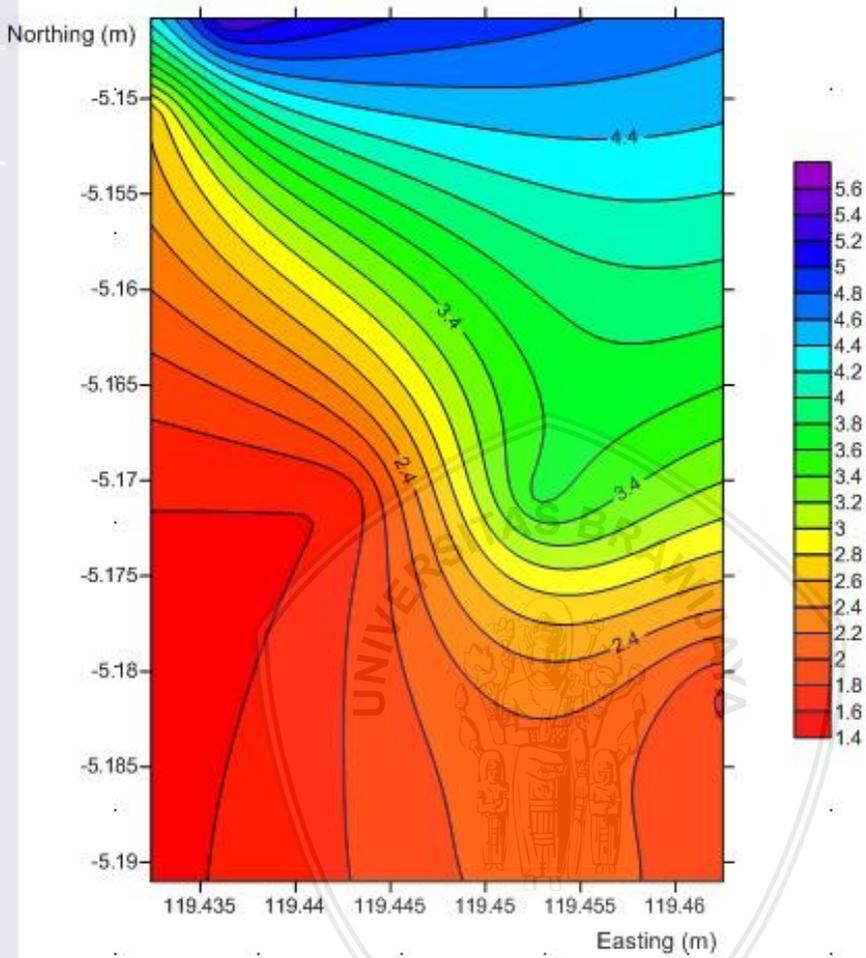
Dengan menganalisis sinyal pengukuran mikrotremor tersebut diperoleh nilai frekuensi dominan yang tinggi di setiap titik. Dimana rentang nilai frekuensi dominan  $< 2,5$  yaitu berada pada rentang 0,18 hingga 0,42 persebaran nilai frekuensi dominan ditunjukkan pada gambar 4.2. Berdasarkan klasifikasi tanah dilihat dari nilai frekuensi mikrotremor oleh Kanai (Tabel 4.1) bahwa nilai frekuensi di wilayah penelitian, yaitu kecamatan Rappocini dapat diklasifikasikan sebagai jenis tanah IV berupa batuan *alluvial* yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur dengan ketebalan sedimen 30 meter atau lebih (sangat tebal).



**Gambar 4.2** Peta kontur persebaran nilai frekuensi dominan 7 titik di Kecamatan Rappocini

Nilai amplifikasi yang diperoleh dari pengolahan data termasuk dalam kategori rendah dengan nilai  $< 3$  terdapat pada titik 2/Gunungsari 1 (2,15), titik 3/Bonto Makkio (1,65), titik 4/Ballaparang (2,64), titik 5/Gunungsari 2 (1,77), dan titik 6/Tidung 2 (1,65) yang didominasi oleh warna merah, orange dan kuning. Sedangkan nilai amplifikasi pada wilayah penelitian dalam kategori sedang dengan nilai  $> 3$  terdapat pada titik 1/Tidung 1 (5,67) dan titik 7/Kassi Kassi (3,67) yang didominasi oleh warna hijau hingga biru keunguan. Menurut Darsiman (2016), nilai amplifikasi menggambarkan besarnya penguatan gelombang gempabumi pada saat melalui medium tertentu. Nilai persebaran amplifikasi ditunjukkan pada gambar 4.4.



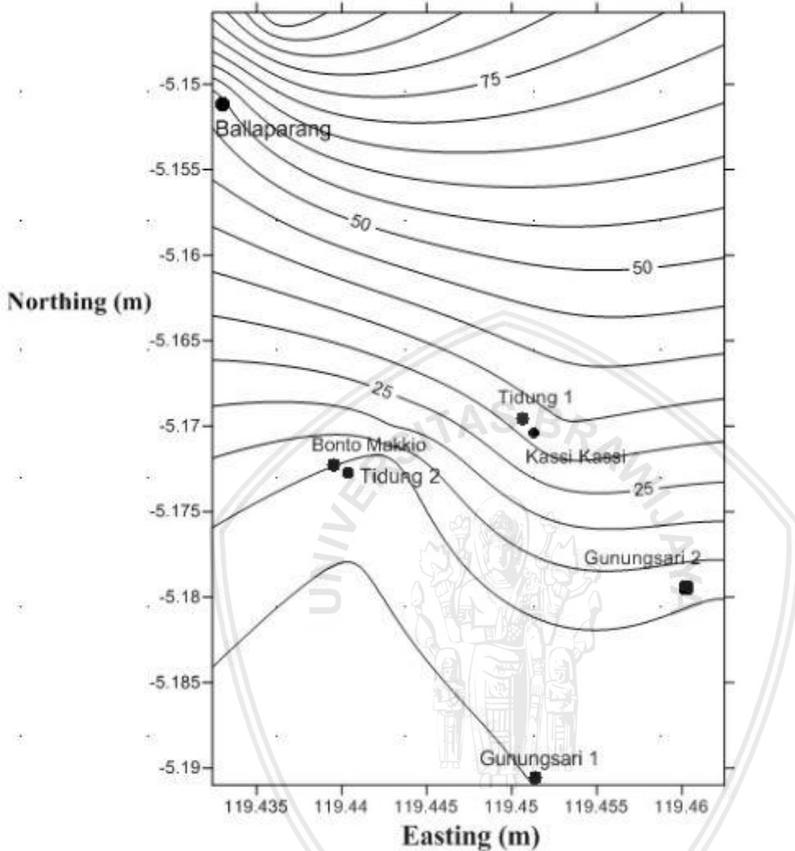


**Gambar 4.3** Peta kontur persebaran nilai amplifikasi 7 titik di Kecamatan Rappoci.

**Tabel 4.1** Tabel Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai

Tipe	Jenis	Frekuensi Dominan (Hz)	Klarifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe IV	Jenis I	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hardsandy gravel</i> dan lain-lain.	Ketebalan sedimen permukaan tipis, didominasi oleh batuan keras.
	Jenis II	4 – 10	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan 5 meter. Terdiri dari <i>sandy, gravel, sandy hard clay, loam</i> , dan lain-lain	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter.
Tipe III	Jenis III	2,5 - 4	Batuan <i>alluvial</i> , dengan ketebalan > 5 meter. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dan lain-lain.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter.
Tipe II dan I	Jenis IV	< 2,5	Batuan <i>alluvial</i> , yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur dengan kedalaman 30 meter atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tebal.

## 4.2 Interpretasi Nilai Indeks Kerentanan Seismik dan Potensi Bencana Gempabumi



**Gambar 4.4** Peta kontur 2D sebelum diberi keterangan persebaran nilai indeks kerentanan seismik dimana *Easting* menunjukkan Bujur dan *Northing* menunjukkan Lintang.

	A	B	C	D
1		Frekuensi ( $f_0$ )	Amplifikasi (A)	Indeks Kerentanan Seismik (Kg)
2	Titik 1 Tidung 1	0,2936	5,43	100,4254087
3	Titik 2 Gunungsari 1	0,1803	2,15	5,756537983
4	Titik 3 Bonto Makkio	0,1565	1,65	17,39616613
5	Titik 4 Ballaparang	0,1328	2,64	52,48192771
6	Titik 5 Gunungsari 2	0,399	1,77	7,851879699
7	Titik 6 Tidung 2	0,4232	1,65	6,433128544
8	Titik 7 Kassi Kassi	0,4022	3,67	33,48806564

**Gambar 4.5** Data hasil perhitungan indeks kerentanan seismik.

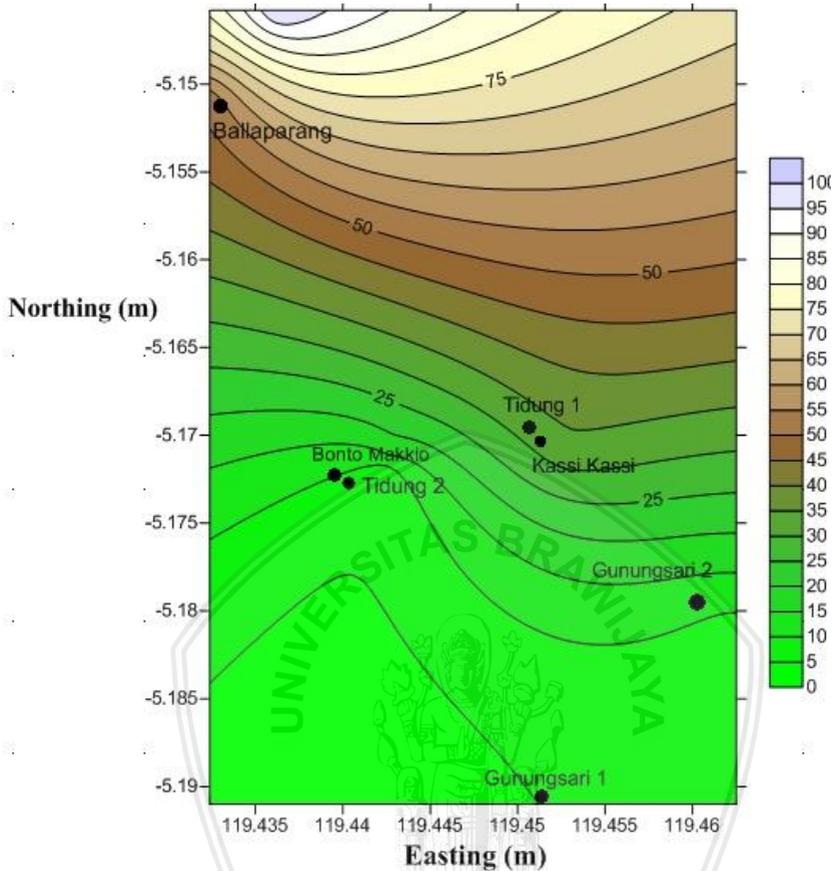
Data yang diperoleh dari pengolahan dengan metode HVSR, dilakukan perhitungan nilai indeks kerentanan seismik pada *Microsoft Excel* terlebih dahulu. Setelah itu dimasukkan nilai frekuensi dominan dan amplifikasi serta bujur (*easting*) dan lintang (*northing*) dari setiap titik penelitian. Setelah didapatkan nilai indeks kerentanan seismik, dibuat peta kontur dengan perangkat lunak *Surfer 9*. Diinput nilai bujur, lintang dan nilai indeks kerentanan seismik yang telah didapatkan dari perhitungan oleh *Microsoft Excel*. Tampak jelas peta kontur awal sebelum diberi keterangan persebaran indeks kerentanan seismik pada Gambar 4.4, Kemudian diatur warna maupun skala panjang distribusi indeks kerentanan seismik sehingga didapatkan peta kontur persebaran nilai indeks kerentanan seismik pada gambar 4.6

Variasi nilai indeks kerentanan seismik sangat dipengaruhi oleh jenis material penyusunnya. Kawasan perbukitan merupakan daerah yang relatif aman secara seismik karena keterdapatannya batuan keras singkapan permukaan yang masif dan stabil. Lapisan pasir yang bercampur dengan kerikil berpengaruh terhadap besarnya nilai indeks kerentanan seismik atau terjadinya potensi bencana gempa bumi. Daerah yang terdapat lapisan pasir kuarter merupakan material kuarter yang belum mengalami pematatan sempurna sehingga masih merupakan *unconsolidated sedimen* yang menyebabkan kerentanan seismik dan kerusakan bangunan yang

tinggi. Sedangkan lapisan pasir bercampur kerikil merupakan material lepas, sehingga nilai regang gesernya cukup besar jika mengalami guncangan gempa bumi yang menyebabkan material lepas dan mudah mengalami deformasi (Nakamura, 2008).

Parameter frekuensi dan amplifikasi dapat mempengaruhi nilai indeks kerentanan seismik di wilayah penelitian, setelah dilakukan pengolahan dan perhitungan data frekuensi di 7 titik kecamatan Rappocini dapat dikategorikan tinggi. Sesuai persamaan dalam tinjauan pustaka, dimana nilai kerentanan seismik berbanding terbalik dengan frekuensi dominannya. Nilai amplifikasi di 7 titik kecamatan Rappocini bervariasi, yaitu rendah dan tinggi. Menurut pandangan seismik perbedaan ini dapat disebabkan oleh kondisi geologi daerah penelitian, baik dari struktur geologi serta batuan penyusun tanahnya.





**Gambar 4.6** Peta Kontur Persebaran Indeks Kerentanan Seismik 7 titik di kecamatan Rappocini.

Hasil analisa data mikrotremor dengan metode HVSR, diperoleh nilai frekuensi dominan dan amplifikasi dari tiap-tiap titik lokasi penelitian. Kemudian kedua nilai tersebut diolah menggunakan *Microsoft Excel* untuk didapatkan nilai indeks kerentanan seismik lalu dibuat peta persebarannya menggunakan perangkat lunak *Surfer 9* seperti gambar. Dari peta tersebut, diperoleh nilai terendah indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) yakni 0 dan nilai tertinggi 100. Nilai indeks kerentanan seismik rendah ( $K_g < 1$ ). Sedangkan nilai indeks kerentanan tinggi ( $K_g > 30$ ) (Azhar, 2014).

Nilai indeks kerentanan pada wilayah penelitian terletak pada rentang 0,1 hingga 60. Dapat dilihat wilayah yang sangat rentan ditunjukkan oleh dominasi warna hijau kecokelatan, yakni titik Kassi Kassi, Tidung 1 dan Ballaparang. Nilai indeks kerentanan dari tiap titik tersebut pada rentang 35 hingga 60. Berdasarkan struktur batuan penyusun Kota Makassar, titik-titik tersebut termasuk dalam satuan batuan aluvium yang berupa material pasir, lanau dan lempung yang tebal dengan batuan dasar yang dalam yang menyebabkan terjadinya getaran atau resonansi gelombang seismik pada saat terjadinya gempa bumi dan berpotensi terjadi kerusakan besar.

Wilayah yang kurang rentan ditunjukkan oleh dominasi warna hijau muda, yakni titik Gunungsari 1, Gunungsari 2, Tidung 2, dan Bonto Makkio. Nilai indeks kerentanan seismik pada titik tersebut terdapat pada rentang 0,1 hingga 20. Berdasarkan struktur batuan penyusun Kota Makassar, titik-titik tersebut juga termasuk dalam satuan batuan aluvium dan diduga terdapat sebagian formasi camba yang tersusun dari batuan sedimen laut berselingan dengan gunungapi dengan ketebalan sedimen yang tipis sehingga kurang berpotensi terjadinya getaran atau resonansi saat terjadi gempa bumi dan berpotensi terjadi kerusakan ringan hingga sedang.

Daerah dengan nilai indeks kerentanan seismik yang tinggi, diduga terdapat susunan batuan aluvium material pasir, lanau dan lempung tebal yang menyebabkan terjadinya kerusakan sedang hingga kerusakan berat saat terjadinya gempa bumi. Hasil dari pengukuran tersebut sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nakamura (2008) dan Azhar (2014) bahwa nilai indeks kerentanan seismik rendah menunjukkan tingkat potensi kerusakan akibat gempa bumi juga rendah. Dan nilai indeks kerentanan seismik tinggi menunjukkan tingkat potensi kerusakan akibat gempa bumi juga tinggi. Semakin rendah nilai frekuensi natural dan semakin tingginya nilai amplifikasi maka akan semakin besar nilai indeks kerentanan tanahnya sehingga semakin besar nilai indeks kerentanan tanahnya yang berarti semakin rentan untuk terjadi kerusakan yang diakibatkan oleh bencana alam gempa bumi (Wifayanti dan Sungkono, 2013)

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Nilai indeks kerentanan seismik di kecamatan Rappocini diketahui dalam rentang nilai 0,1 hingga 60. Pada wilayah sangat rentan dengan rentang nilai 35 hingga 60 di titik Kassi Kassi, Tidung 1, Ballaparang. Dan wilayah kurang rentan dengan rentang nilai 0,1 hingga 20 di titik Gunungsari 1, Gunungsari 2, Tidung 2, Bonto Makkio.
2. Secara keseluruhan kecamatan Rappocini merupakan daerah rentan terjadi kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi. Tingkat kerentanan dapat dikategorikan menjadi wilayah sangat rentan dan kurang rentan. Wilayah sangat rentan didominasi oleh batuan aluvial (kerikil, pasir, lempung, lumpur) serta batuan dasar yang tebal dan dalam.

#### **5.2 Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan, pada daerah dengan tingkat kerentanan tinggi, disarankan pondasi bangunan dipasang hingga lapisan bedrock agar bangunan lebih tahan gempa. Untuk penelitian selanjutnya, supaya dilakukan di beberapa wilayah lainnya dan digunakan metode lain selain metode HVSR agar didapatkan hasil yang lebih akurat.

**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**



**DAFTAR PUSTAKA**

- Aswatama, Ketut. 2013. *Karakteristik Kuat Geser Tanah Pantai. Jember*. Universitas Jember.
- Arthur, Holmes. 1978. *Principles of Physical Geology* (ed. 3rd). Wiley.
- Azhar, A.R. 2014. *Analisis Pengaruh Karakteristik Sedimen Terhadap Indeks Kerentanan Seismik Kota Makassar*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Bath, Markus. 1979. *Intensity Relation for Swedish Earthquakes*. Seismological Institute
- Bolt, B.A. 1978 *Earthquake* San Fransisco : W.H Freeman & Company.
- Braile, L. 2004. *Seismic Report Indonesian Continental Self Seismic Survey at Indian Ocean West of Aceh*. Jakarta.
- Elnashai, S. A., dan Sarno, D.L. 2008 *Fundamental of Earthquake Engineering*. Hongkong:Wiley
- Herak, M. 2008. “*Model HVSR: a Matlab tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise*”, Computers and Geosciences, vol.34, hal. 1514-1526.
- Hernanti, Hanna Y., SA. Kristiawan dan Sholihin As’ad. 2014. *Evaluasi Kerentanan Bangunan Dengan Pengujian Mikrotremor Dan Kinerja Dinamik Bangunan Terhadap Gempa Disertai Metode Rehabilitasi Bangunan Rusunawa Lubuk Buaya Padang*. Semarang: Universitas Sebelas Maret.
- Husain, J.R. dan Sultan. 2012. *Analisis Cutting Bor Dan Nilai Resistivity Batuan untuk Penentuan Letak Pipa Saringan Pada Sumur Bor Di Daerah Kampus Unhas Tamalanrea Kota Makassar*. Makassar: Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Ibs-von Seht, M., dan Wohlenberg, J. 1999. *Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments*. Bull. Seism. Soc. Am. Vol.89, hal.250-259
- Irjan dan Ahmad Bukhori. 2011. *Pemetaan Wilayah Daerah Rawan Bencana Berdasarkan Data Mikroseismik Menggunakan TDS (Time Digital Seismograph) Tipe 303 S*. Jurnal Neutrino.
- Kaharuddin MS., Hutagalung, R., dan Nurhamdan. 2011. *Perkembangan Tektonik dan Implifikasinya Terhadap Potensi Gempa dan Tsunami di Kawasan Pulau Sulawesi*. Proceeing JSM Makassar 2011, the 36<sup>th</sup>HAGI and 40<sup>th</sup>IAGI Annual Convention and Exhibition.

- repository.ub.ac.id
- Kanai, K., 1983. *Engineering Seismology*. University of Tokyo Press.
- Laberta, S., Wibowo, N. G., Darmawan, D. 2013. *Mikrozonasi Indeks Krentanan Seismik berdasarkan Analisis Mikrotremor di Kecamatan Jetis, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta: Prosiding Seminar Nasional UNY.
- Muntohar, A.S. 2010. *Mikro-Zonasi Potensi Likuifaksi Dan Penurunan Tanah Akibat Gempabumi*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah, Yogyakarta.
- Nakamura Y. 2000. Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's, System and Data Research. Co. Ltd, 3-25-3 Fujimidai, Kunitachisi, Tokyo.
- Nakamura Y. 2008. On The H/V Spectrum, The 14<sup>th</sup>World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Ngadmanto, D., P. Sisilanto, B. Nurdianto, S. Pakpahan, dan Masturyono. 2013. Efel Tapak Lokal pada Daerah Kerusakan Akibat gempabumi Bogor. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*.
- Pawirodikromo, Widodo. 2012. *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta : Universitas Islam Indonesia. Pustaka Belajar.
- Priyono, A. 2006. *Acquisition, Processing, And Interpretation Seismic Data*: FTTM ITB Bandung.
- Read HH, Watson Janet (1975). *Introduction to Geology*. New York: Halsted.
- Refrizon, Hadi A.H., Lestari K, dan Oktari T. 1988. *Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum dan Tingkat Kerentanan Seismik Daerah Ratu Agung Kota Bengkulu*. Lampung: Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung.
- Setiawan J.R. 2009. "*Mikrozonasi Seismisitas Daerah Yogyakarta Dan Sekitarnya*". Tesis. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2009.
- Shohaya, J. N., U. Chasanah, A. Mutiarani, L. Wahyuni, dan Madlazim. 2013. Survey dan Analisis Seismisitas Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data Gempa Bumi Periode 1999-2013. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa Pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Medan: USU e-Repository.

- Telford, W. M., L. P. Geldart, dan R.E. Sheriff 1990. *Applied Geophysics, Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tipler, Paul.A. Mosca, Gene. 2008. *Physics for Scientists and Engineers Sixth Edition*. New York, W.H. Freeman and Company.
- Wallace, Terry C dan Thorne Lay. 1995. *Modern Global Seismology*. USA: Academic Press.
- Wibowo, N. 2015. *Spatial Analysis of Surface Aquifer Thickness Based Frequency Dominant in Bantul District*. Journal of Applied Physics
- Wifayanti, EJ. Dan Sungkono. 2013. *Estimasi Indeks Kerentanan Tanah Menggunakan Metode HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio)*. Jurnal Sains dan Seni POMITS.
- Winoto. 2010. *Analisis Mikrotremor Kawasan Universitas Brawijaya Berdasarkan Metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Nakamura Method) (Studi Awal Mikrozonasi Seismik Wilayah Malang)*. Malang: Universitas Brawijaya.  
“Skala Intensitas Gempabumi (SIG) BMKG”.  
<https://www.bmkg.go.id/gempabumi/skala-intensitas-gempabumi.bmkg> (30 November 2018)

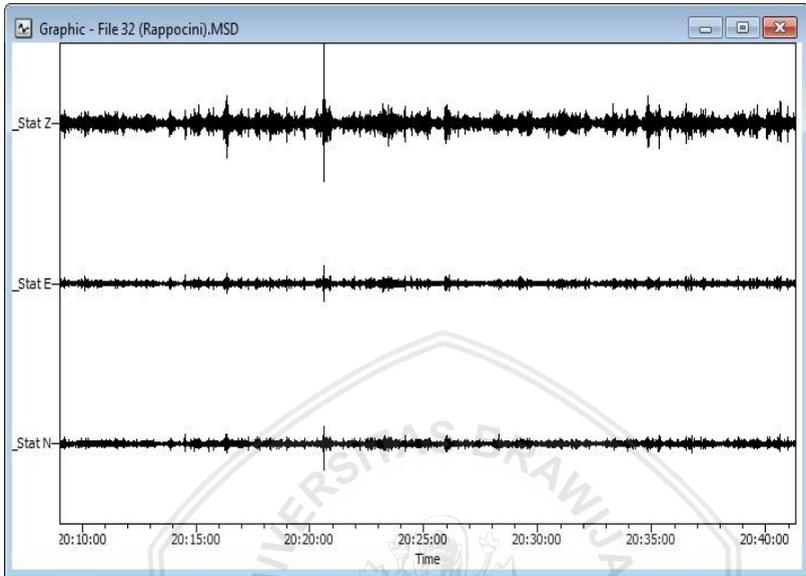


**(Halaman ini sengaja dikosongkan)**

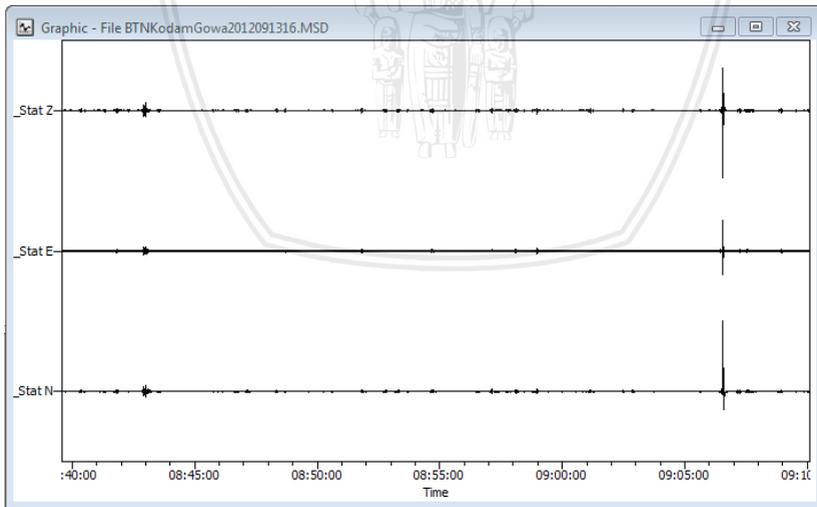


# LAMPIRAN

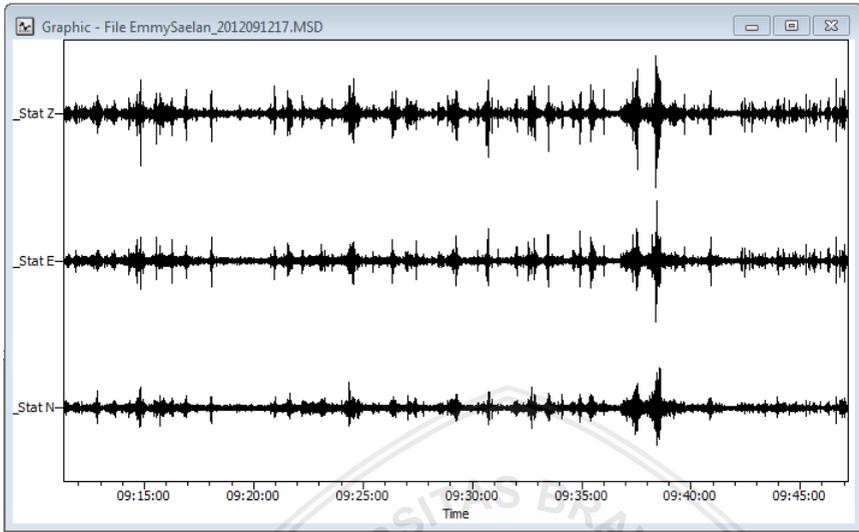
## Lampiran 1



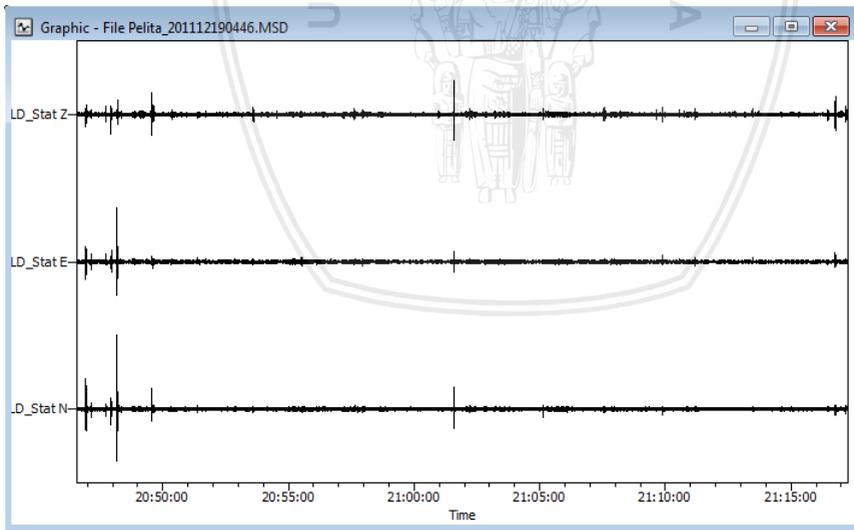
**Gambar L1.1** Data mentah mikrotremor Tidung 1



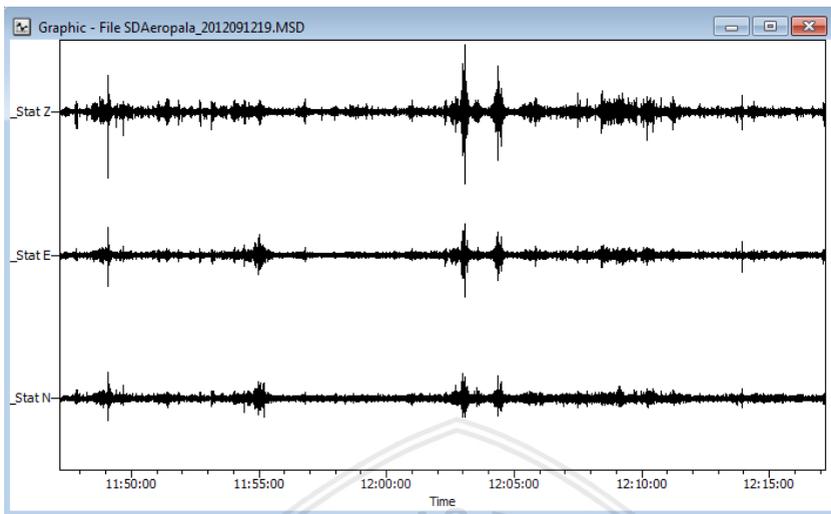
**Gambar L1.2** Data mentah mikrotremor Gunung Sari 1



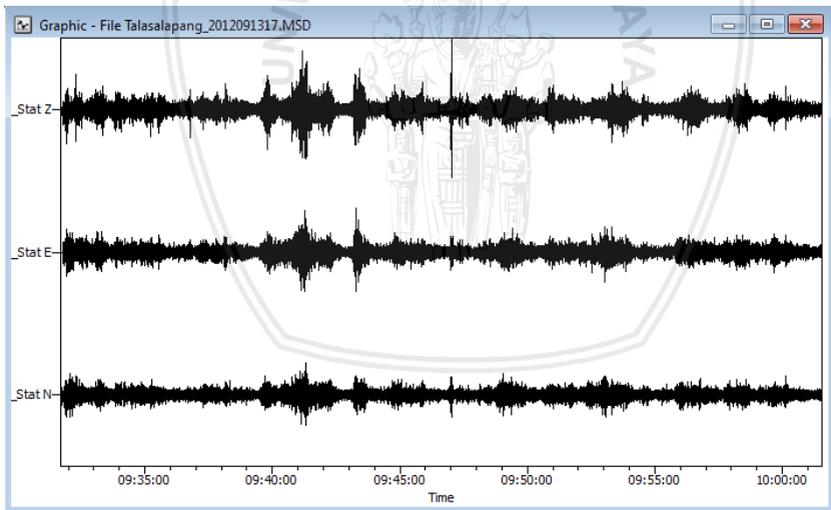
**Gambar L1.3** Data mentah mikrotremor Bonto Makkio



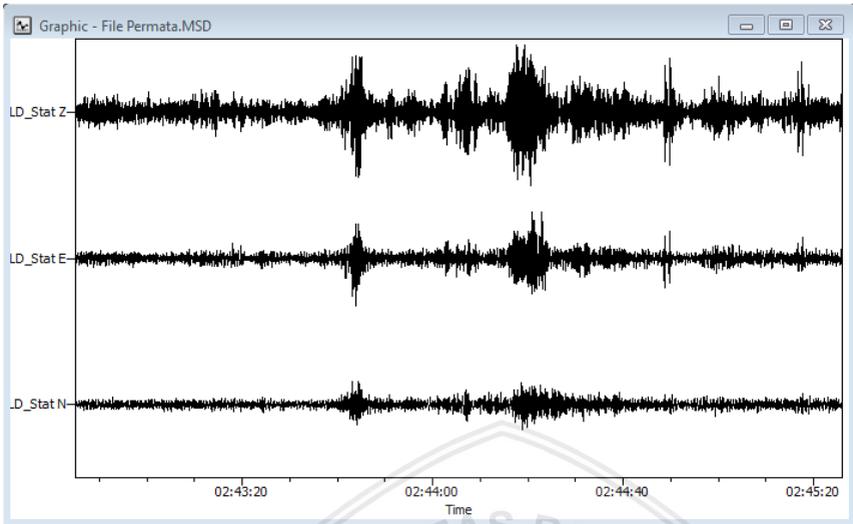
**Gambar L1.4** Data mentah mikrotremor Ballaparang



**Gambar L1.5** Data mentah mikrotremor Gunung Sari 2



**Gambar L1.6** Data mentah mikrotremor Tidung 2



**Gambar L1.7** Data mentah mikrotremor Kassi Kassi

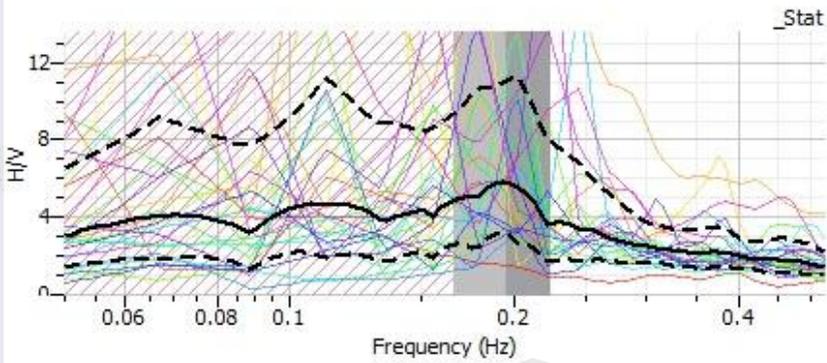


**Tabel 1.** Data Hasil Perhitungan Indeks Kerentanan Seismik

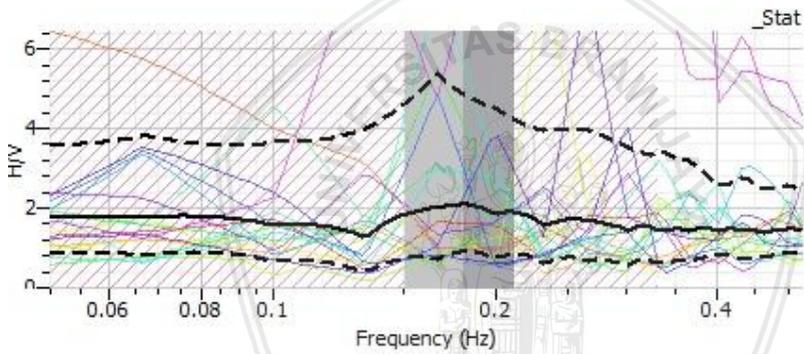
	A	B	C	D	E	F
1		Frekuensi ( $f_v$ )	Amplifikasi (A)	Indeks Kerentanan Seismik (Kg)	Longitude	Latitude
2	Titik 1 Tidung 1	0,2936	5,43	100,4254087	119,4363	-5,1458
3	Titik 2 Gunungsari 1	0,1803	2,15	5,756537983	119,4533	-5,191
4	Titik 3 Bonto Makkio	0,1565	1,65	17,39616613	119,4427	-5,1708
5	Titik 4 Ballaparang	0,1328	2,64	52,48192771	119,4324	-5,1507
6	Titik 5 Gunungsari 2	0,399	1,77	7,851879699	119,4625	-5,1811
7	Titik 6 Tidung 2	0,4232	1,65	6,433128544	119,4424	-5,1722
8	Titik 7 Kassi Kassi	0,4022	3,67	33,48806564	119,4528	-5,1708



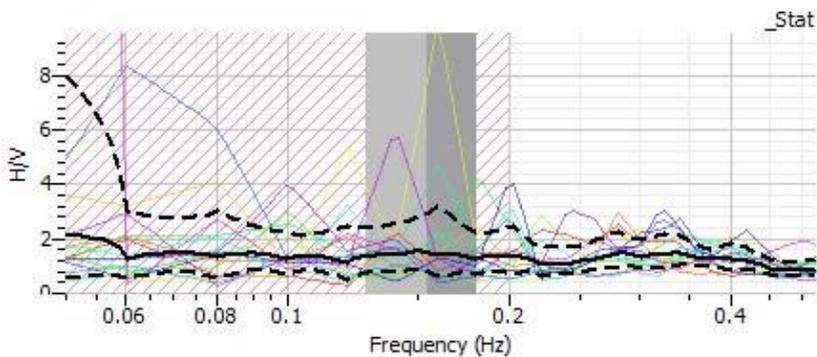
Lampiran 2. Spektrum Kurva HVSR



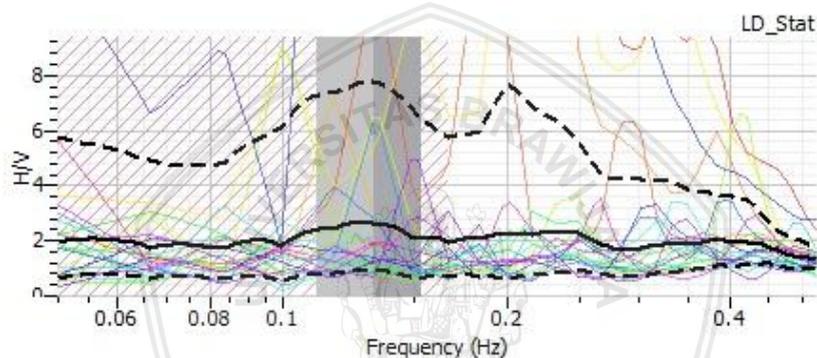
Gambar L2.1 Kurva H/V Titik 1 Tidung 1



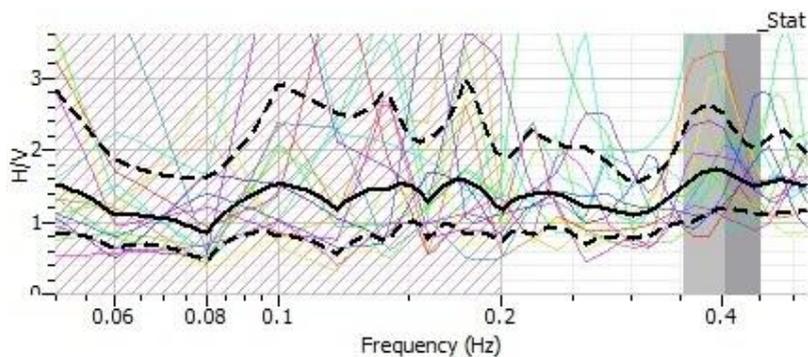
Gambar L2.2 Kurva H/V Titik 2 Gunungsari 1



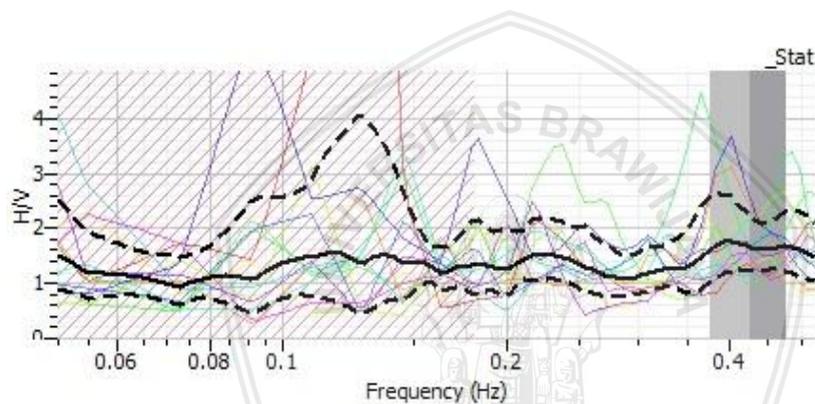
**Gambar L2.3** Kurva H/V Titik 3 Bonto Makkio



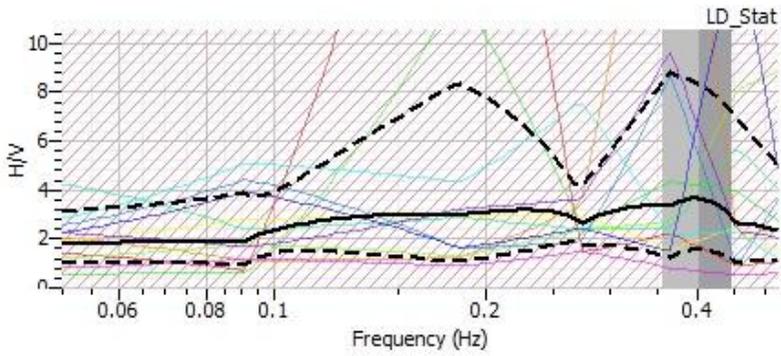
**Gambar L2.4** Kurva H/V Titik 4 Ballaparang



**Gambar L2.5** Kurva H/V Titik 5 Gunung Sari 2



**Gambar L2.6** Kurva H/V Titik 6 Tidung 2



**Gambar L2.7** Kurva H/V Titik 7 Kassi Kassi



### Lampiran 3. Foto Pengambilan Data di Lokasi Penelitian



**GambarL3.1** Foto Akuisisi Data



**Gambar L3.2** Foto Akuisisi Data



**Gambar L3.3** Foto Akuisisi Data



**Gambar L3.4** Foto Akuisisi Data



**Gambar L3.5** Foto Akuisisi Data



**Gambar L3.6** Foto Akuisisi Data