

**ANALISIS SEDIMEN KUARTER DAN ZONA KERENTANAN
SEISMIC BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR
(STUDI KASUS KABUPATEN GOWA DAN KOTA MAKASSAR)**

*QUARTER SEDIMENTARY ANALYSIS AND SEISMIC
VULNERABILITY ZONE WITH MICROTREMOR MEASUREMENT
(CASE STUDY: GOWA REGENCY AND MAKASSAR CITY)*

ADE PERDANA SUHENDRATMAN

P3000210007



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2013

TESIS

**ANALISIS SEDIMEN KUARTER DAN ZONA KERENTANAN
SEISMIK BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR**

(Studi Kasus: Kabupaten Gowa dan Kota Makassar)

Disusun dan diajukan oleh

ADE PERDANA SUHENDRATMAN

Nomor Pokok P3000210007

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 14 Pebruari 2013

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasihat,

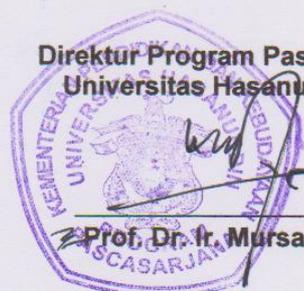
Prof. Dr. rer. nat. Ir. A.M. Imran
Ketua

Dr. Eng. M. Alimuddin Hamzah, M.Sc
Anggota

**Ketua Program Studi
Teknik Geologi**

Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T.

**Direktur Program Pascasarjana
Universitas Hasanuddin**



Prof. Dr. Ir. Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Ade Perdana Suhendratman
Nomor mahasiswa : P3000210007
Program studi : Teknik Geologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Pebruari 2013
Yang menyatakan

Ade Perdana Suhendratman

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan tesis dengan judul: “**ANALISIS SEDIMEN KUARTER DAN ZONA KERENTANAN SEISMIK BERDASARKAN PENGUKURAN MIKROTREMOR (Studi Kasus: Kabupaten Gowa dan Kota Makassar)**”. Tak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Rasul Allah Muhammad SAW.

Sulawesi Selatan khususnya Kota Makassar dengan Kabupaten terdekat yaitu Kabupaten Gowa merupakan daerah pusat pertumbuhan ekonomi dan pembangunan, pemetaan kerentanan seismik sekitar Kota Makassar dan Kabupaten Gowa dipandang perlu sebagai antisipasi terhadap kerusakan bangunan akibat gempa bumi.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidaklah mudah, bimbingan serta dorongan semangat dari semua pihak menjadikan tesis ini selesai. Oleh karena itu, pada kesempatan yang baik ini, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Ir. A. M. Imran dan Bapak Dr.Eng. M. Alimuddin Assagaf, M.Eng. selaku Ketua dan Anggota Komisi Penasihat atas bimbingan, bantuan dan ilmu yang telah diberikan selama proses penyusunan tesis ini.

2. Bapak Dr. Adi Tonggihroh, S.T., M.T., Ibu Dr. Ir. Hj. Rohaya Langkoke, M.T. dan Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T. selaku anggota panitia penilai, atas kesediaannya meluangkan waktu untuk menelaah dan memberikan saran perbaikan tesis ini.
3. Ibu Dr. Ulva Ria Irfan, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Geologi atas segala dukungan dan bantuan selama penulis mengikuti pendidikan.
4. Bapak dan Ibu staf pengajar beserta staf administrasi Program Studi Magister Teknik Geologi yang telah membimbing dan memberikan arahan kepada penulis selama mengikuti pendidikan.
5. Bapak Robert Owen Wahyu, S.Si. selaku Kepala Stasiun Geofisika Gowa, yang telah memberikan ijin untuk mengikuti Program Pasca Sarjana Teknik Geologi di Universitas Hassanuddin Makassar.
6. Rekan-rekan Program Pasca Sarjana Teknik Geologi yang telah banyak membantu dan membagi ilmunya.
7. Seluruh Pengamat Meteorologi dan Geofisika di Stasiun Geofisika Gowa atas bantuan alat dan data untuk penulisan tesis ini.
8. Ayahanda, Ibunda, Bapak, Ibu, Istri dan anak-anakku tercinta atas pengertian, do'a serta dukungan selama penulis mengikuti pendidikan ini.

9. Serta secara khusus penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian pendidikan pada Program Pasca Sarjana Teknik Geologi Universitas Hasanuddin yang tidak sempat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan tesis ini.

Makassar, Pebruari 2013

Ade Perdana Suhendratman

ABSTRAK

ADE PERDANA SUHENDRATMAN. Analisis Sedimen Kuartar dan Zona Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor : *Studi kasus Kabupaten Gowa dan Kota Makassar (dibimbing oleh A.M. Imran dan Alimuddin Hamzah)*

Penelitian ini bertujuan mengetahui (1) ketebalan rata-rata sedimen kuartar delta Sungai Jeneberang, (2) peta Kg (indeks kerentanan seismik) delta Sungai Jeneberang.

Penelitian ini menggunakan pengukuran mikrotremor metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*) dan pengukuran geolistrik tahanan jenis metode VES (*Vertical Electrical Sounding*). Hasil dan pembahasan dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif melalui pendekatan peta geologi regional.

Hasil penelitian ketebalan sedimen kuartar berdasarkan pengukuran mikrotremor dan pengukuran geolistrik dari 2 titik pengukuran yaitu di Jalan Aroepala, Kabupaten Gowa dihasilkan kedalaman 61m dan 60m. Daerah Tanjung Bayang, Kota Makassar dihasilkan kedalaman yang sama sebesar 43m. Secara umum ketebalan sedimen kuartar Kota Makassar menipis ke arah barat dengan persebaran material yang tidak merata berupa sedimen kuartar lepas, halus dan tidak massif yang terdiri dari kerikil, pasir, lempung, lumpur dan koral. Zona Kg terendah berkisar (0-40) di Kota Makassar pada Kecamatan Tamalate, Mamajang dan Mariso. Zona Kg sedang berkisar (41-80) di Kota Makassar pada Kecamatan Barombong, Ujung Tanah, Wajo, Bontoala, Panakukang bagian utara, untuk Kabupaten Gowa pada Kecamatan Sombaopu dan Palangga. Zona Kg tertinggi berkisar (81-130) di Kota Makassar pada Kecamatan Panakukang bagian selatan dan Rapocini bagian utara, ketiga zona tersebut merupakan sedimen kuartar gunung Bawakaraeng dan pantai barat Sulawesi.

Kata kunci: Sedimen kuartar, Indeks kerentanan seismik, HVSR, VES

ABSTRACT

ADE PERDANA SUHENDRATMAN. *Analysis Quarter Sediments and Seismic Vulnerability Zone Microtremor Based Measurement :Case studies Gowa and Makassar (Supervised by A.M. Imran and M. Alimuddin Hamzah)*

This study aims to find out: (1) the average thickness of quarter sediments in Jeneberang River delta, and (2) the map of Kg value (seismic vulnerability index) of Jeneberang River delta.

The research used microtremor measurement and analyzed with HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) method and geoelectric resistivity measurement method of VES (Vertical Electrical Sounding). The analysis was conducted quantitatively and qualitatively by using the regional geology map.

The result shows that the thickness of quarter sediments based on microtremor and geoelectric measurements of two measuring points at Aroepala Street, Gowa are depth of 60m and 61m. Mean while in Tanjung Bayang, Makassar produced the depth of 43m. In general, the thickness of quarter sedimentary of Makassar City thinning towards the west with the uneven distribution of material are the form of quarter sediments off the smooth, no massif and consist of gravel, sand, clay, mud and coral. Range (0-40) Kg are lowest zone of Makassar City on Tamalate, Mamajang and Mariso Subdistrict. Range (41-80) Kg are middle zone in Makassar covering area Barombong, Ujung Tanah, Wajo, Bontoala, north of Panakukang Subdistrict and Gowa District at Sombaopu and Palangga Subdistrict. Range (81-130) Kg are highest zone of Makassar City at southern of Panakukang and northern of Rapocini. The three zones are the quarter sedimentary Bawakaraeng Mountains and the west coast of Sulawesi.

Keywords: Quarter sediments, Seismic vulnerability index, HVSR, VES

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
PRAKATA	iii
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Kegunaan Penelitian	3
E. Ruang Lingkup	3
F. Kerangka Konseptual	5
G. Hipotesis	7
H. Daftar Istilah	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Geologi Regional	9
B. Geologi Lokal	14
C. Mikrotremor	17
D. Teknik Perbandingan Spektra Mikrotremor	20
E. Teknik Perbandingan Spektra Nakamura	21
F. Prinsip Dasar Perhitungan Kedalaman	23

BAB III METODE PENELITIAN	26
A. Rancangan Penelitian	26
B. Lokasi dan Waktu	34
C. Populasi dan Teknik Sampel	35
D. Instrumen Pengumpul Data	38
E. Analisis	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Hasil	42
B. Pembahasan	91
BAB V PENUTUP	99
A. Kesimpulan	99
B. Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	101
LAMPIRAN	104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tipe Nilai Vp dan Vs	13
Tabel 3.1 Aturan dalam Pengukuran Mikrotremor	40
Tabel 4.1 Ketebalan Sedimen dan Indeks Kerentanan Seismik	70
Tabel 4.2 Perbandingan Kedalaman Batuan Dasar Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor dan Geolistrik	81
Tabel 4.3 Resistivitas Batuan	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Penelitian Makassar dan Sungguminasa	4
Gambar 1.2	Diagram Alur Penelitian Ketebalan Sedimen	6
Gambar 2.1	Peta Geologi Lokasi Penelitian	10
Gambar 2.2	Peta Struktur dan Gempabumi Pulau Sulawesi	11
Gambar 2.3	Perbandingan antara Percobaan dan Hasil Teori untuk Perbandingan Kecepatan Gelombang dalam Tanah Kering dan Tanah Jenuh Daerah Ottawa (Hardin dan Richart 1963)	13
Gambar 2.4	Perbandingan Sinyal Tremor dan Sinyal Gempabumi	19
Gambar 2.5	Dua Teknik untuk Evaluasi Respon Lokasi Menggunakan Spektra <i>Noise</i>	20
Gambar 2.6	Ilustrasi Model Nakamura	22
Gambar 2.7	Prinsip Dasar Respon Lokasi	23
Gambar 3.1	Konsep Dasar Amplifikasi Gelombang Seismik	27
Gambar 3.2	Peta Lokasi Sensor Gempabumi	33
Gambar 3.3	Peta Geologi Pengukuran Ketebalan Sedimen dan Indeks Kerentanan Seismik	34
Gambar 3.4	Peta Lokasi Pengukuran Mikrotremor Kota Makassar dan Kabupaten Gowa	37
Gambar 3.5	Peralatan Pendukung Survei Mikrotremor	39
Gambar 4.1	Sinyal Gempabumi 14 Juni 2011 pada Sensor Tana Toraja jam 14:06:3	43
Gambar 4.2	Sinyal Gempabumi 14 Juni 2011 yang Tercatat pada Sensor Penelitian	43
Gambar 4.3	Peta Seismisitas Sulawesi Selatan yang Tercatat Sensor Gempabumi Kabupaten Gowa	44

Gambar 4.4	Kontur Kecepatan Gelombang Permukaan untuk Wilayah Sulawesi Selatan.	45
Gambar 4.5	Peta Lokasi 22 Penampang Melintang Sungai Jeneberang	46
Gambar 4.6	Peta Daerah Penelitian Ketebalan Sedimen Sungai Jeneberang di Kota Makassar dan Kabupaten Gowa	47
Gambar 4.7	Penampang Melintang 1	48
Gambar 4.8	Penampang Melintang 2	49
Gambar 4.9	Penampang Melintang 3	50
Gambar 4.10	Penampang Melintang 4	51
Gambar 4.11	Penampang Melintang 5	52
Gambar 4.12	Penampang Melintang 6	53
Gambar 4.13	Penampang Melintang 7	54
Gambar 4.14	Penampang Melintang 8	55
Gambar 4.15	Penampang Melintang 9	56
Gambar 4.16	Penampang Melintang 10	57
Gambar 4.17	Penampang Melintang 11	58
Gambar 4.18	Penampang Melintang 12	59
Gambar 4.19	Penampang Melintang 13	60
Gambar 4.20	Penampang Melintang 14	61
Gambar 4.21.	Penampang Melintang 15	62
Gambar 4.22	Penampang Melintang 16	63
Gambar 4.23	Penampang Melintang 17	64
Gambar 4.24	Penampang Melintang 18	65

Gambar 4.25 Penampang Melintang 19	66
Gambar 4.26 Penampang Melintang 20	67
Gambar 4.27 Penampang Melintang 21	68
Gambar 4.28 Penampang Melintang 22	69
Gambar 4.29 Garis Penampang Melintang pada Kota Makassar dan Kabupaten Gowa (Utara-Selatan)	71
Gambar 4.30 Penampang Melintang Lintasan A-B	72
Gambar 4.31 Penampang Melintang Lintasan C-D	72
Gambar 4.32 Penampang Melintang Lintasan E-F	73
Gambar 4.33 Penampang Melintang Lintasan G-H	73
Gambar 4.34 Penampang Melintang Lintasan I-J	74
Gambar 4.35 Garis Penampang Melintang pada Kota Makassar dan Kabupaten Gowa (Barat-Timur)	75
Gambar 4.36 Penampang Melintang Lintasan K-L	75
Gambar 4.37 Penampang Melintang Lintasan M-N	76
Gambar 4.38 Penampang Melintang Lintasan O-P	76
Gambar 4.39 Penampang Melintang Lintasan Q-R	77
Gambar 4.40 Penampang Melintang Lintasan S-T	77
Gambar 4.41 Analisis Ketebalan Sedimen Pengukuran Mikrotremor di Tanjung Bayang, Kota Makassar	78
Gambar 4.42 Analisis Kedalaman <i>Bedrock</i> dengan Pengukuran Geolistrik di Tanjung Bayang, Kota Makassar	79
Gambar 4.43 Analisis Ketebalan Sedimen Pengukuran Mikrotremor di Jalan Aroepala, Gowa	80

Gambar 4.44 Hasil Analisis Kedalaman <i>Bedrock</i> Pengukuran Geolistrik di Jalan Aroepala, Gowa	80
Gambar 4.45 Model Penampang Melintang Berdasarkan Pengukuran Geolistrik (Skala tidak Sebenarnya)	82
Gambar 4.46 Topografi Kota Makassar dan Kabupaten Gowa	84
Gambar 4.47 Peta Kontur Ketebalan Sedimen Kota Makassar dan Kabupaten Gowa Analisis Mikrotremor	85
Gambar 4.48 Model Ketebalan Sedimen Sungai Jeneberang Kota Makassar dan Kabupaten Gowa Analisis Mikrotremor	87
Gambar 4.49 Peta Kontur Kedalaman Batuan Dasar Kota Makassar dan Kabupaten Gowa	88
Gambar 4.50 Model Kedalaman <i>Bedrock</i> Analisis Mikrotremor	89
Gambar 4.51 Peta Kontur Indeks Kerentanan Seismik Kota Makassar dan Kabupaten Gowa	91
Gambar 4.52 Bentangan Danau Mawang, Kabupaten Gowa	93
Gambar 4.53 Lokasi Pengukuran Mikrotremor pada Lokasi Penelitian Danau Mawang, Kabupaten Gowa	94
Gambar 4.54 Penempatan Sensor Mikrotremor pada Desa Borongloe, Kabupaten Gowa	95
Gambar 4.55 Pengukuran Mikrotremor di Desa Bolangi, Kabupaten Gowa	95
Gambar 4.56 Pengukuran Mikrotremor Tepi Sungai Jeneberang, Kecamatan Barombong, Kabupaten Gowa	96
Gambar 4.57 Sinyal Mikrotremor Lokasi Pengukuran Jembatan Barombong, Tanjung Bayang	97
Gambar 4.58 Proses Analisis Gelombang Mikrotremor Lokasi Pengukuran Jembatan Barombong, Tanjung Bayang	97
Gambar 4.59 Histogram Hubungan Antara Frekuensi Gelombang dengan Indeks Kerentanan Seismik	98

LAMPIRAN

Tabel 1	Koordinat Posisi Stasiun Pencatat Gempabumi	104
Tabel 2	Parameter Gempabumi yang Terekam Seismometer di Kabupaten Gowa	104
Tabel 3	Lembar Pengisian Pengukuran Mikrotremor di Danau Mawang, Kabupaten Gowa	105
Tabel 4	Lembar Pengisian Pengukuran Mikrotremor di Desa Bolangi, Kabupaten Gowa	106
Tabel 5	Lembar Pengisian Pengukuran Mikrotremor di Barombong, Tanjung Bayang, Kota Makassar	107
Tabel 6	Hasil Analisis Ketebalan Sedimen dan Indeks Kerentanan Seismik	108
Tabel 7	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 1	110
Tabel 8	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 2	111
Tabel 9	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 3	112
Tabel 10	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 4	113
Tabel 11	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 5	114
Tabel 12	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 6	115
Tabel 13	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 7	116
Tabel 14	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 8	117
Tabel 15	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 9	118
Tabel 16	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 10	119
Tabel 17	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 11	119
Tabel 18	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 12	120
Tabel 19	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 13	121

Tabel 20	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 14	121
Tabel 21	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 15	122
Tabel 22	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 16	122
Tabel 23	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 17	123
Tabel 24	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 18	124
Tabel 25	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 19	126
Tabel 26	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 20	126
Tabel 27	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 21	127
Tabel 28	Ketebalan Sedimen Penampang Melintang 22	129
Tabel 29	Hasil Penguuran Geolistrik pada titik 56 di Tanjung Bayang, Kota Makassar	133
Tabel 30	Hasil Penguuran Geolistrik pada titik 45 di Jalan Aroepala, Kabupaten Gowa	134

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Ilmu geologi selalu dijadikan dasar pertimbangan dalam pembangunan suatu wilayah, misal pengembangan daerah, pembangunan jalan, permukiman dan lain-lain. Penelitian Geologi sebagai salah satu informasi yang berguna bagi pengembang dalam menentukan rancang bangun dan tata ruang kota. Ketebalan sedimen dan kerentanan seismik daerah dapat memberikan acuan dalam merencanakan suatu bangunan. Informasi ketebalan sedimen dan kerentanan seismik suatu kawasan sebagai langkah mitigasi bencana gempabumi yang mungkin dapat terjadi secara tiba-tiba khususnya di Kota Makassar dan Kabupaten Gowa seperti gempabumi dengan kekuatan 5.9 SR yang pernah dirasakan di Kota Makassar dan Kabupaten Gowa pada tanggal 13 Desember 2010.

Pengukuran mikrotremor dengan alat seismograph untuk mendapatkan frekuensi natural dan amplifikasi yang merupakan variabel dalam menentukan indeks kerentanan seismik suatu lokasi, sehingga dapat mendeskripsikan dampak kerusakan suatu bangunan infrastruktur yang diakibatkan gelombang seismik.

Kejadian gempa bumi yang terekam oleh seismograph di wilayah Sulawesi Selatan kurun waktu (2010 - 2011) merupakan data untuk mendapatkan nilai kecepatan gelombang geser di Kota Makassar dan Kabupaten Gowa. Data kecepatan gelombang geser dan frekuensi natural pengukuran mikrotremor merupakan variabel yang dapat digunakan dalam menentukan ketebalan sedimen, sehingga dapat mendeskripsikan kedalaman basement Kota Makassar dan Kabupaten Gowa. Data frekuensi natural, amplifikasi dan kecepatan gelombang permukaan yang didapat melalui pengukuran dengan grid sangat rapat pada suatu kawasan sangat menentukan keakuratan ketebalan sedimen dan indeks kerentanan seismik kawasan tersebut.

B. Rumusan Masalah

Pada penelitian ini menitik beratkan beberapa permasalahan yang harus di selesaikan yaitu:

1. Bagaimana ketebalan lapisan sedimen kuarter Sungai Jeneberang?
2. Bagaimana indeks kerentanan seismik daerah penelitian Kota Makassar dan Kabupaten Gowa?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini:

1. Menganalisis ketebalan lapisan sedimen kuarter daerah Sungai Jeneberang dengan metode perbandingan kecepatan gelombang

geser terhadap frekuensi natural gelombang mikrotremor (HVSR, *Horizontal Vertical Spectra Ratio*).

2. Menganalisis indeks kerentanan seismik Kabupaten Gowa dan Kota Makassar dengan metode perbandingan spektrum amplitudo gelombang mikrotremor horisontal terhadap vertikal (HVSR, *Horizontal Vertical Spectra Ratio*).

D. Kegunaan Penelitian

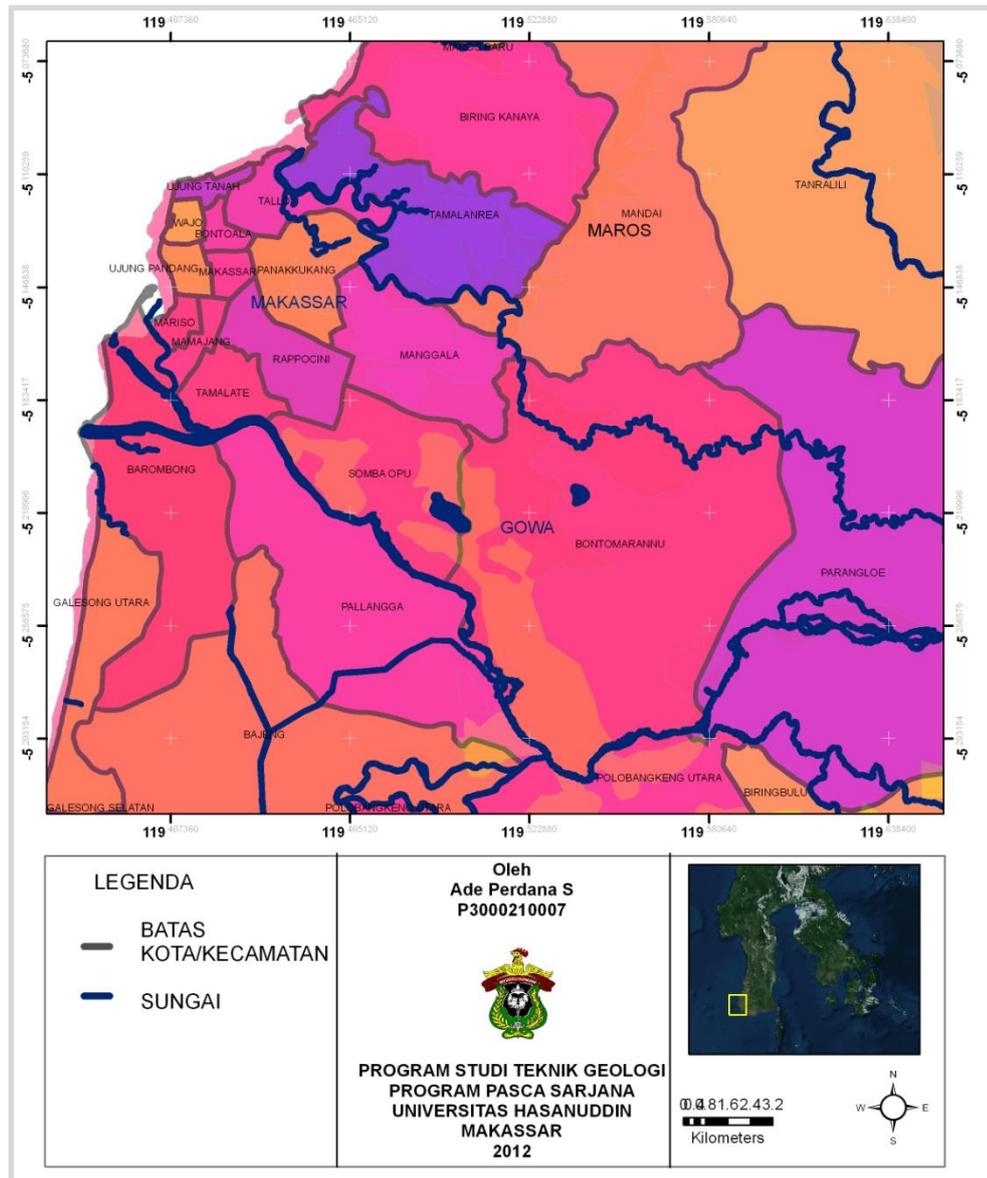
Data ketebalan sedimen daerah Sungai Jeneberang dan indeks kerentanan seismik Kota Makassar dan Kabupaten Gowa dapat digunakan sebagai petunjuk pengembangan kawasan daerah aliran sungai dan langkah mitigasi bencana gempa bumi.

E. Ruang Lingkup

Kondisi geografis daerah penelitian merupakan pengembangan pembangunan kota dengan kawasan daerah aliran Sungai Jeneberang yang berhulu di Kabupaten Gowa (Pegunungan Malino) dan bermuara di pantai Barombong, Kota Makassar. Batas koordinat geografis Kota Makassar dan Kabupaten Gowa adalah (119,30 BT - 120,00 BT) dan (5,00 LS - 5,60 LS). Penelitian ini menitik beratkan pada pendugaan ketebalan sedimen dan indeks kerentanan seismik daerah penelitian.

Ketebalan sedimen yang dihasilkan merupakan ketebalan sedimen kuarter dengan metode HVSR serta zona-zona yang termasuk

kawasan rentan terhadap bencana geologi gempa bumi berdasarkan nilai indeks kerentanan seismik.

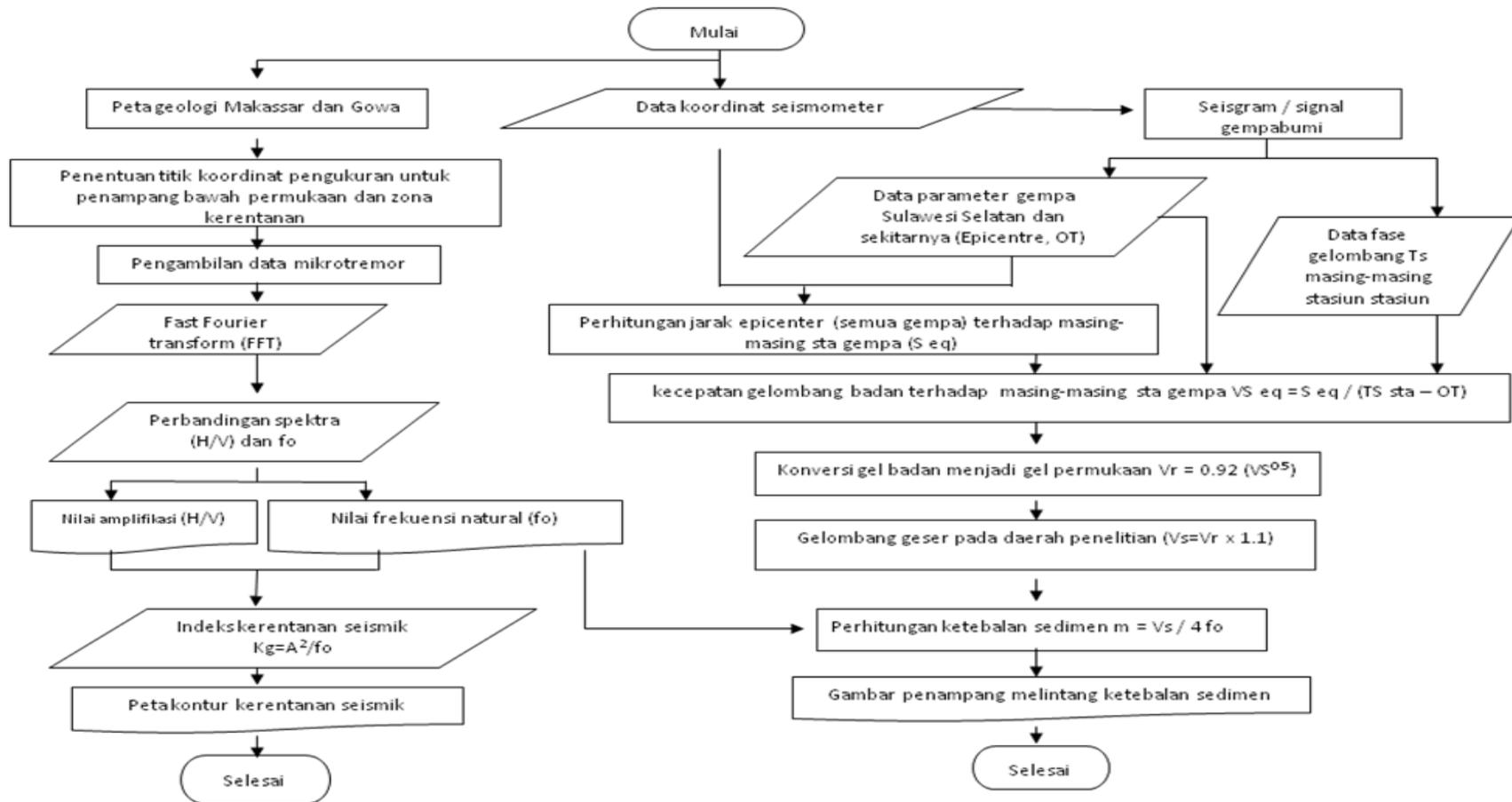


Gambar 1.1. Peta Lokasi Penelitian Kota Makassar dan Sungguminasa

F. Kerangka Konseptual

Peta Geologi (R sukamto dan S Priyatna, 1982) dan data kejadian gempabumi Sulawesi Selatan merupakan data sekunder penelitian ini. Pengukuran mikrotremor untuk mendapatkan variabel amplifikasi dan frekuensi natural gelombang mikrotremor tiap-tiap titik pengukuran daerah penelitian sebagai data primer. Hasil analisis parameter gempabumi yang terjadi di sekitar Sulawesi Selatan dan penentuan waktu tiba gelombang permukaan (*rayleigh*) pada masing-masing seismometer yang telah ditentukan digunakan sebagai variable untuk menentukan kecepatan gelombang permukaan. Pendekatan geologi regional dan lokal serta analisis kuantitatif dan kualitatif menghasilkan penampang ketebalan lapisan sedimen kuartar dan peta kontur indeks kerentanan seismik Kota Makassar dan Kabupaten Gowa.

Diagram Alur Penelitian



Gambar 1.2. Diagram Alur Penelitian Ketebalan Sedimen dan Indeks Kerentanan seismik

G. Hipotesis

Hipotesis sementara penelitian ini sebagai berikut:

1. Sebagian daerah dataran tinggi Malino, Kabupaten Gowa merupakan hulu dari Sungai Jeneberang mempunyai ketebalan sedimen kuartar yang relatif tipis. Daerah gunung memiliki material yang keluar akibat proses erupsi gunungapi ke permukaan bumi sebagai batuan vulkanik. Hasil analisis kecepatan rambat gelombang permukaan dan frekuensi natural gelombang mikrotremor pada tiap titik pengukuran dapat diperoleh ketebalan sedimen lunaknya. Sebagian daerah pantai yang merupakan muara dari Sungai Jeneberang mempunyai material sedimen yang merupakan batuan yang tertransportasi dari laut menuju daratan berupa sedimen laut sebagai dataran rendah atau pantai digunakan untuk daerah pengembangan pemukiman dan ekosistem.
2. Pengukuran mikrotremor menghasilkan parameter amplifikasi dan frekuensi natural gelombang mikrotremor. Sedimentasi yang lunak mengalami amplifikasi gelombang seismik lebih besar daripada sedimen masif atau keras. Pada sedimen lunak indeks kerentanan seismik cenderung lebih besar dan sebaliknya untuk daerah dengan sedimentasi masif amplifikasi gelombang seismiknya menjadi kecil, sehingga nilai indeks kerentanan seismiknya kecil.

H. Daftar Istilah

Berikut adalah daftar istilah pada penulisan penelitian Analisis Sedimen Kuarter dan Zona Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor:

- Basement : Batuan dasar yang teridentifikasi berumur tua.
- Bedrock* : Batuan dengan volume besar terkonsolidasi yang mendasari sedimen.
- Breksi : Sedimentasi batuan klastik yang terdiri fragmen berukuran granual atau lebih besar dengan presentasi dan ukuran besar.
- Mikrotremor : Getaran alami pada bumi yang berlangsung secara terus menerus yang mempunyai amplitudo (0,1 μ - 1 μ).
- Sedimen kuarter : Endapan hasil rombakan batuan asal melalui proses kimia, fisika dan biologi yang tertransportasi ke suatu tempat berumur kuarter
- Tufa : Sedimentasi yang dihasilkan dari abu vulkanik.

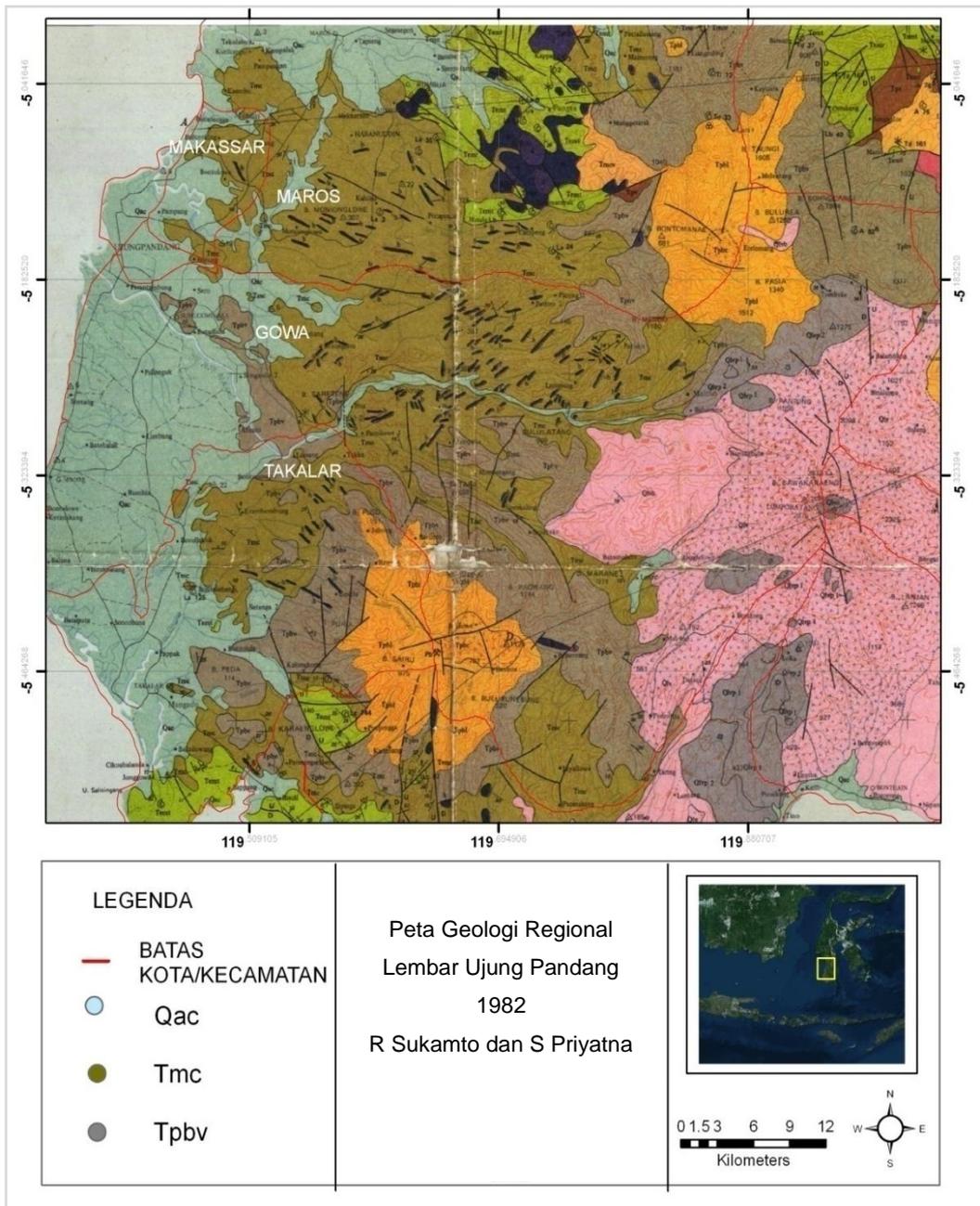
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Geologi Regional

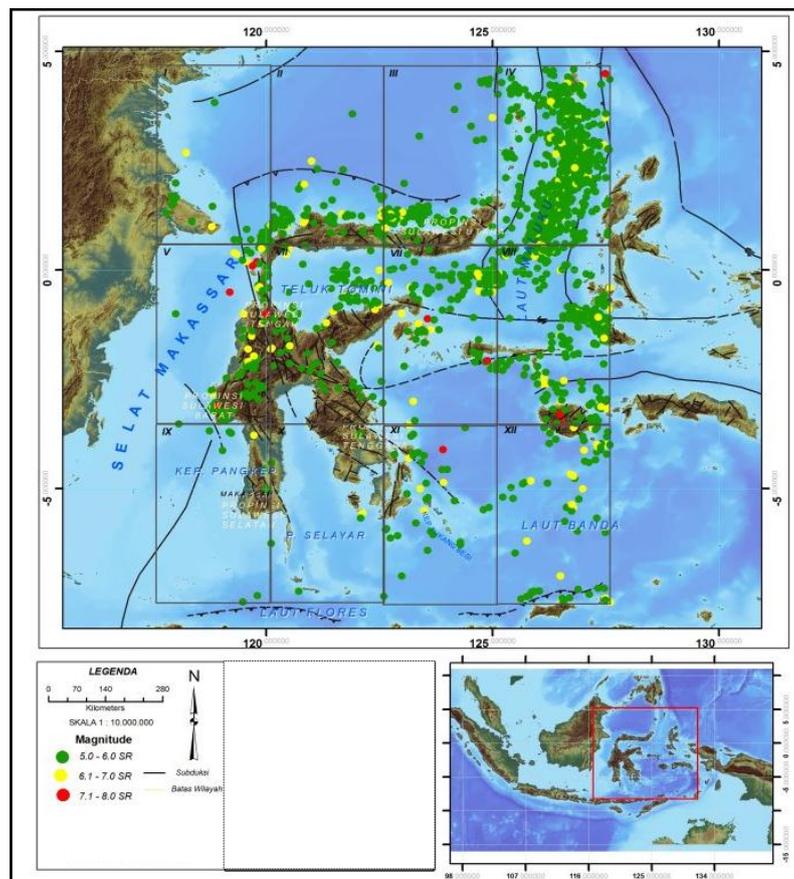
Berdasarkan peta geologi regional lembar Ujung Pandang, Benteng dan Sinjai, Sulawesi Selatan (R. Sukamto dan S. Supriatna, 1982) dan citra landsat Sulawesi bagian selatan, dinyatakan geologi daerah Kota Makassar, Kabupaten Maros, Kabupaten Gowa, dan sekitarnya dikontrol oleh 5 periode tektonik yakni Oligo–Miosen, Miosen Tengah, Mio-Pliosen, Pilo-Plistosen dan Holosen. Berdasarkan peta geologi regional tersebut batuan penyusun di daerah penelitian terdiri atas perselingan endapan hasil erupsi Gunungapi Bawakaraeng, sedimen laut Selat Makassar dan Formasi Camba yang terdiri dari lava, breksi, tufa dan konglomerat hasil erupsi Gunungapi Batturappe-Cindako. Jenis batuan tersebut merupakan batuan dasar daerah penelitian dan sekitarnya. Berdasarkan ciri jenis batuanya, secara umum batuan tersebut mempunyai sifat fisik keras dan padu. Di atas batuan tersebut dijumpai endapan yang berumur lebih muda yakni endapan pasir pantai, endapan rawa, endapan delta, endapan limbah banjir dan endapan alur sungai. Selain itu dijumpai talus sebagai material sisa erosi permukaan yang terdiri atas krakal, kerikil, lempung,

lumpur dan batu gamping koral yang terbentuk dalam lingkungan sungai, rawa, pantai dan delta.



Gambar 2.1. Peta Geologi Lokasi Penelitian

Berdasarkan data tektonik geologi dan kegempaan, maka daerah Sulawesi dapat diindikasikan memiliki 3 jenis sumber gempa bumi yaitu: sumber gempa bumi patahan, sumber gempa bumi penunjaman dan sumber gempa bumi tersebar (*diffuse*). Lajur sesar kerak bumi dangkal (*Shallow Crustal Fault Zone*) daerah Sulawesi yang menimbulkan kejadian gempa bumi pada kerak bumi dangkal yaitu gempa-gempa yang berhubungan dengan kegiatan sesar, seperti Sesar Walanae, Palu Koro, Poso-Wekuli, Matano Tolo, Batui Banggai Sula, Balantak-Kolaka-Lawanopo, Wekuli, penunjaman Sulawesi, *diffuse* Buton dan sumber gempa bumi Mamuju.



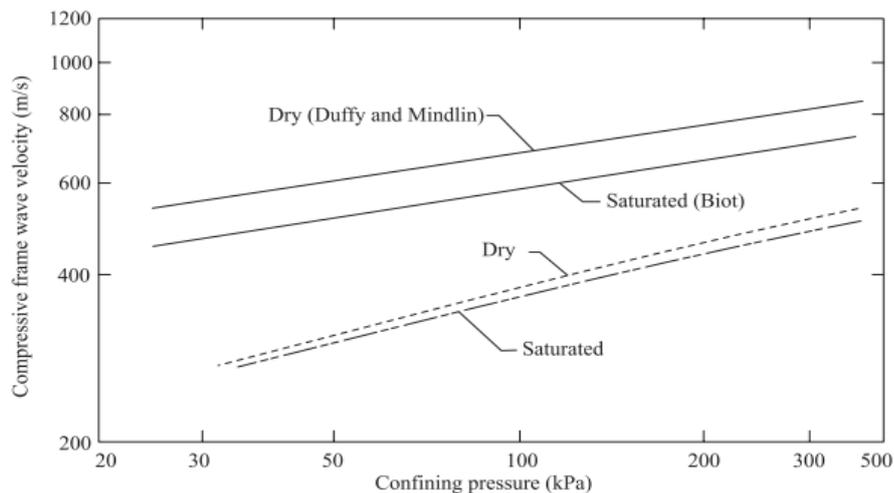
Gambar 2.2. Peta Struktur dan Gempabumi di Pulau Sulawesi

Kejadian gempa bumi di Sulawesi Selatan dan sekitarnya terletak pada lajur gempa bumi dengan kedalaman sangat bervariasi dari dangkal hingga sedang (0 - 100km). Gempa bumi dangkal (0 - 33km) umumnya terletak pada lajur struktur Sesar Walanae yang berarah barat laut-tenggara, mulai dari barat daya Kota Mamuju, Majene, Pinrang, Watansoppeng hingga Bulukumba dan menerus hingga pantai timur Pulau Selayar. Selain gempa bumi dangkal (0 - 33km), pada lajur ini juga berasosiasi gempa bumi berkedalaman sedang (33km - 100km). Hal ini menunjukkan bahwa Sesar Walanae ini merupakan sesar dengan penetrasi cukup dalam. Diduga Sesar Walanae ini mempunyai kemiringan ke arah barat dengan sudut lebih besar 60° . Beberapa gempa bumi lebih besar 6.0 SR pernah terjadi pada lajur ini, yakni gempa bumi Bulukumba (1828), Tinambung (1967), Majene (1969), Mamuju (1972 dan 1974), serta gempa bumi Pinrang dan Tinabung memperlihatkan sesar mendatar naik, blok sebelah barat cenderung bergerak mengiri dan naik. Gelombang gempa bumi yang populer dengan gelombang seismik terdiri atas gelombang *body* atau badan dan gelombang *surface* atau permukaan, gelombang *body* sendiri terbagi atas gelombang P (*longitudinal*) dan gelombang S (*transversal*). Kecepatan gelombang P lebih besar dari pada gelombang S jika merambat pada medium yang sama. Berikut dibawah adalah tabel perbandingan kecepatan gelombang P terhadap gelombang S pada medium yang berbeda.

Tabel 2.1. Tipe Nilai V_p dan V_s

Soil type	Compressive wave velocity, v_p (m/s)	Shear wave velocity, v_s (m/s)
Fine sand	300	90 -150
Dense sand	460	230
Gravel	762	180 – 215
Moist clay	1220 – 1370	150
Granite	3960 – 5490	2130 – 3350
Sandstone	1370 – 3960	610 – 2130

Sumber: Das Braja M and G V Ramana, *Soil Dynamic, Second Edition, California USA*



Gambar 2.3. Perbandingan antara Percobaan dan Hasil Teori untuk Perbandingan Kecepatan Gelombang dalam Tanah Kering dan Tanah Jenuh daerah Ottawa (Hardin dan Richart 1963)

Kota Makassar terletak pada jarak yang relatif jauh dari sumber seismik aktif. Walaupun demikian endapan permukaan yang lunak di Kota Makassar dapat memperbesar getaran tanah yang disebabkan oleh gempa bumi jauh. Data kecepatan menunjukkan walaupun kemungkinan terjadinya gempa bumi besar dekat Kota Makassar rendah, potensi

kerusakan di kota tersebut yang disebabkan oleh gempa bumi jauh tidak dapat dikesampingkan.

B. Geologi Lokal

Basement Kota Makassar yang terletak di daerah sekitar Kabupaten Maros merupakan batuan gunungapi Formasi Camba yang terdiri dari breksi, lava, konglomerat dan tufa. Ringkasan geologi Kota Makassar di atas sebagai referensi awal penelitian.

Bentangan alam Kota Makassar berupa dataran pantai yang dijumpai di sebelah barat dan utara poros jalan utama Kota Makassar-Kabupaten Maros dan berbatasan langsung dengan dataran sungai dan dataran banjir. Dataran sungai dan dataran banjir dijumpai di antara pedataran 2 sungai besar yang membelah Kota Makassar yakni Sungai Jeneberang dan Sungai Tallo. Dataran lembah sungai terdiri atas beting dan teras sungai. Dataran banjir menempati daerah sungai serta tinggian berlereng landai dijumpai daerah bagian utara, timur dan selatan Kota Makassar yang meliputi daerah Biringkanaya, Panakukang dan Sungguminasa.

Berdasarkan peta geologi Kota Makassar tahun 2008 diperoleh informasi secara umum geologi Kota Makassar disusun atas 3 satuan batuan:

1. Satuan Aluvial: penyebaran satuan batuan aluvial mendominasi hampir seluruh wilayah kota dengan luas 11.693,83ha. Penyebarannya mendominasi daratan sampai ke pantai.
2. Satuan Basal: satuan batuan basal terdapat 2 wilayah kecamatan yaitu Kecamatan Tamalanrea dengan luas 3,201ha dan di Kecamatan Biringkanaya dengan luas 25,027ha.
3. Satuan Tufa dan Breksi: satuan batuan tufa dan breksi terdapat di Kecamatan Biringkanaya, Tamalanrea, Panakukang dan Kecamatan Manggala.

Karakteristik litologi Kota Makassar terbagi atas dua bagian yaitu:

1. Daerah aliran Sungai Jeneberang: bagian hulu daerah aliran Sungai Jeneberang disusun oleh batuan gunungapi yang terdiri dari aglomerat, breksi, lava, endapan lahar dan tufa. Batuan gunungapi tersebut termasuk dalam batuan Gunungapi Batturappe-Cindako dan batuan Gunungapi Lompobattang. Bagian tengah daerah aliran Sungai Jeneberang selain batuan gunungapi, dijumpai juga batuan sedimen laut dari Formasi Camba yang terdiri dari batupasir, batulempung, napal, batugamping, konglomerat dan breksi. Bagian hilir Sungai Jeneberang tersusun atas endapan aluvial yang terdiri dari kerikil, pasir, lempung, lumpur, batugamping dan koral. Batuan yang menyusun daerah perairan pantai di sekitar muara Sungai Jeneberang adalah endapan aluvial pantai terdiri dari pasir, lempung dan lumpur.

2. Daerah pantai Kota Makassar: batuan alas yang menyusun pantai Kota Makassar berasal dari Formasi Camba yang berumur miosen tengah sampai miosen akhir, batuan alas ini terdiri dari satuan batupasir, batulempung, tufa dan breksi. Bagian atas batuan alas yang berbentuk cekungan diisi oleh endapan pasir kasar dari Sungai Jeneberang dan endapan pasir halus dari Sungai Tallo sedangkan di sepanjang pantai ditemukan pasir berbutir kasar dan halus yang berwarna abu-abu hingga kehitaman.

Secara umum geologi Kota Makassar tersusun oleh jenis tanah inceptisol yaitu jenis yang memiliki tingkat porositas yang rendah dan permeabilitas yang tinggi (ultisol). Jenis tanah yang demikian banyak mengandung lapisan tanah liat dan bersifat asam serta miskin unsur hara. Jenis tanah inceptisol dominan berada di bagian barat dan selatan Kota Makassar. Jenis tanah ini terdiri dari tanah aluvial, andosol, regosol dan glei humus. Jenis tanah ultisol dominan berada di sebelah utara Kota Makassar, jenis tanah ini termasuk di dalamnya podsolik merah kuning, latosol dan hidromorf kelabu. Pada bagian timur Kota Makassar jenis tanahnya merupakan kombinasi kedua jenis tanah inceptisol dan ultisol.

Secara topografi Kota Makassar dicirikan dengan keadaan dan kondisi: relatif datar, bergelombang, dan berbukit serta berada pada ketinggian (0 - 25m) diatas permukaan laut dengan tingkat kemiringan lereng (*elevasi*) 0 - 15%.

Daerah sekitar Kabupaten Gowa yang terdiri batuan gunungapi hasil erupsi parasit yang berasal dari batuan Gunungapi Lompobattang berupa konglomerat, lava, breksi, endapan lahar, dan tufa.

Kabupaten Gowa tersusun oleh:

1. Sedimen dan terobosan Formasi Camba yang berumur tersier.
2. Batuan gunungapi dan terobosan yang termasuk dalam kelompok batuan Gunungapi Batturappe-Cindako berumur tersier.
3. Batuan Gunungapi Lompobattang yang berumur kuartar.
4. Endapan aluvial.

Daerah dataran yang merupakan daerah terendah di atas permukaan laut umumnya ditempati oleh endapan aluvial. Kelompok batuan Formasi Camba dan batuan gunungapi tersier umumnya menempati daerah perbukitan dan hanya sebagian kecil yang berada di daerah dataran bergelombang. Morfologi pegunungan yang merupakan bagian tertinggi dalam wilayah Kabupaten Gowa tersusun oleh batuan gunungapi kuartar.

C. Mikrotremor

Mikrotremor adalah getaran tanah natural dengan amplitudo rendah yang ada di permukaan bumi diakibatkan oleh berbagai penyebab alami seperti angin, gelombang laut, kebisingan kendaraan dan lainnya. Mikrotremor merupakan getaran yang memiliki amplitudo sekitar ($0,1\mu$ - 1μ) dan kecepatan ($0,001\text{cm/s}$ - $0,01\text{cm/s}$) yang dapat dideteksi dengan menggunakan seismograph tertentu (Mirzaoglu, 2003). Periode

gelombang mikrotremor telah diketahui memiliki hubungan dengan keadaan alami tanah dan karakteristik dinamik dari permukaan bawah tanah.

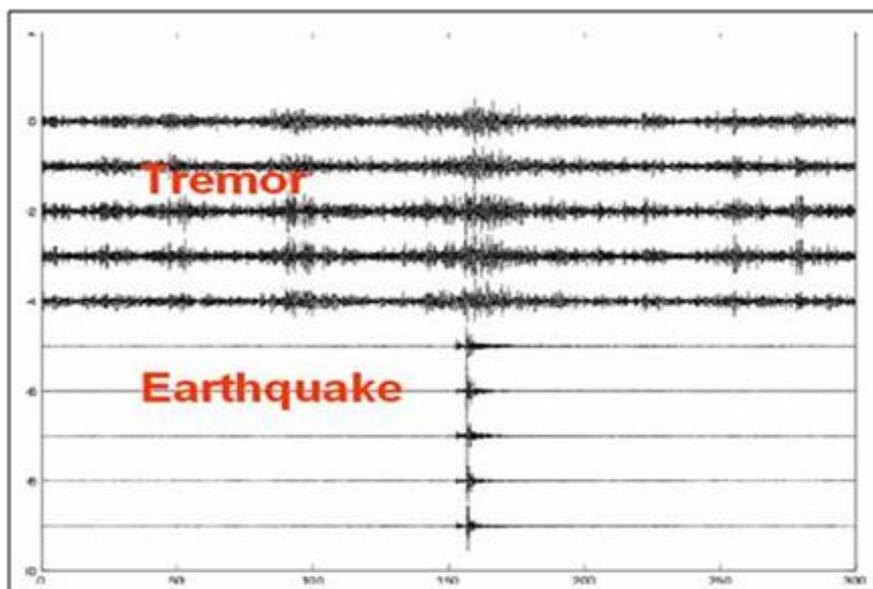
Mikrotremor yang juga dikenal sebagai getaran alami (*ambient vibration*) pada frekuensi rendah yaitu di bawah 1hz. Gelombang laut menimbulkan *ambient vibration* dengan frekuensi sekitar 0,2hz sedangkan frekuensi sekitar 0,5hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Untuk frekuensi di bawah 0,1hz diasosiasikan dengan aktivitas di atmosfer. Frekuensi lebih tinggi dari 1hz bisa ditimbulkan oleh angin, aliran air dan aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan lainnya. Lokasi sumber biasanya berada di permukaan tanah dan bervariasi dengan adanya siang dan malam.

Teknik pengolahan gelombang mikrotremor ini diperkenalkan dan disebarluaskan oleh Nakamura (1989), yaitu teknik estimasi rasio antara komponen horisontal dan vertikal (H/V) dari spektrum amplitudo fourier dari gelombang alam (*ambient vibration*) yang direkam pada satu tempat.

Pengamatan terhadap mikrotremor diketahui mampu memberikan informasi yang sangat berguna bagi pengetahuan tentang karakteristik dinamik dari suatu tempat seperti predomnan amplitudo dan periode. Pengamatan dan penelitian terhadap mikrotremor merupakan metode baru yang diperkenalkan dalam bidang seismologi dan memiliki keunggulan yaitu biaya yang jauh lebih murah dibandingkan metode seismologi lainnya seperti seismik refleksi maupun refraksi. Observasi

mikrotremor dapat dilakukan pada daerah–daerah yang memiliki tingkat seismisitas rendah. Observasi mikrotremor juga diketahui memiliki banyak kegunaan pada bidang eksplorasi minyak, penyelidikan air bawah tanah hingga penyelidikan lapisan *bedrock*.

Penerapan observasi mikrotremor dapat menghasilkan seismik mikrozonasi atau proses pembagian area yang berpotensi akan proses seismik dan kegempaan dengan mempertimbangkan karakteristik geologi dan geofisika seperti getaran tanah, *liquifaction*, tanah longsor dan menentukan ketebalan sedimen.



Gambar 2.4. Perbandingan Sinyal Tremor dan Sinyal Gempabumi

Metode H/V berguna untuk menunjukkan frekuensi resonansi atau predomnan frekuensi (f_0) dan nilai puncak H/V (A_g) yang

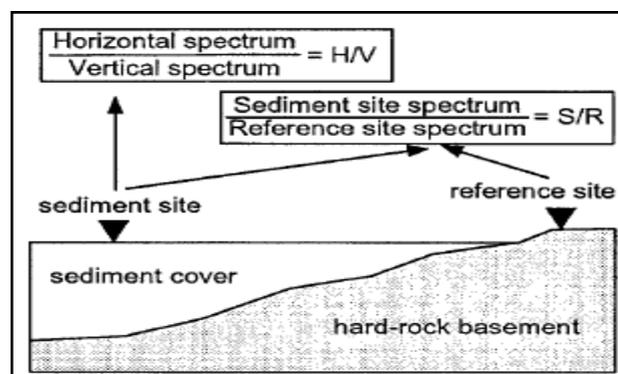
merepresentasikan karakteristik dinamis lapisan sedimen. Dari hubungan keduanya dapat diketahui indeks kerentanan seismik (K_g).

Nakamura merumuskan metode ini berdasarkan 3 hipotesis utama yaitu:

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

D. Teknik Perbandingan Spektra Mikrotremor

Ada dua teknik perbandingan spektra yang digunakan untuk menentukan frekuensi resonansi dari rekaman *ambient noise*, yakni teknik perbandingan spektra klasik dan teknik perbandingan spektra Nakamura.



Gambar 2.5. Dua Teknik untuk Evaluasi Respon Lokasi Menggunakan Spektra *Noise*

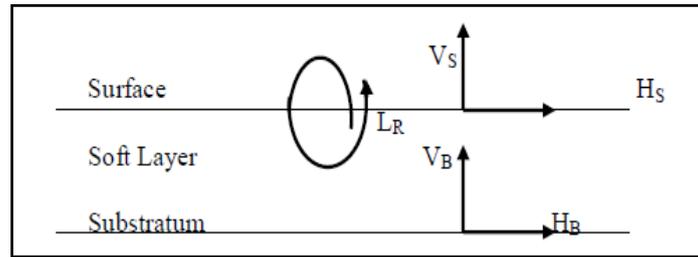
E. Teknik Perbandingan Spektra Nakamura

Teknik perbandingan spektra pertama kali digunakan oleh Nakamura (1989) untuk menginterpretasi hasil pengukuran mikrotremor. Deskripsi mengenai teknik ini berdasarkan Lermo dan Chaves-Garcia (1993). Hipotesis awalnya adalah bahwa rekaman mikrotremor umumnya terdiri dari gelombang *rayleigh*. Amplifikasi respon lokasi didasarkan pada kehadiran gelombang *rayleigh* pada permukaan yang melapisi *half-space* dari keadaan ini akan diperoleh empat komponen dari getaran tanah yaitu: komponen horisontal dan vertikal untuk getaran pada *half-space* dan komponen horisontal dan vertikal untuk getaran pada permukaan. Menurut Nakamura, efek amplitudo dari sumber, A_S , dapat dihitung dengan perbandingan:

$$A_S(\omega) = \frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)} \quad (1)$$

dimana, V_S adalah spektrum amplitudo dari komponen vertikal getaran pada permukaan, V_B adalah spektrum amplitudo dari getaran pada *half space*. Nakamura kemudian menetapkan estimasi dari respon lokasi S_E , dengan perbandingan:

$$S_E(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \quad (2)$$



Gambar 2.6. Ilustrasi Model Nakamura

dimana, H_S adalah spektrum amplitudo komponen horisontal dari getaran pada permukaan dan H_B adalah spektrum amplitudo komponen horisontal dari getaran pada dasar lapisan tanah. Untuk mengimbangi S_E dengan efek dari sumber, Lermo dan Chaves-Garcia menghitung fungsi respon lokasi modifikasi, S_M , dengan:

$$S_M(\omega) = \frac{S_E(\omega)}{A_S(\omega)} \quad (3)$$

atau

$$S_M(\omega) = \frac{\frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}}{\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)}} \quad (4)$$

dengan mengasumsikan bahwa $\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)} = 1$, maka fungsi respon lokasi yang dikoreksi dengan efek sumber menjadi:

$$S_M = \frac{H_S}{V_S} \quad (5)$$

asumsi $\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)} = 1$ telah diverifikasi melalui percobaan oleh Nakamura (1989) menggunakan rekaman mikrotremor yang diperoleh pada lubang

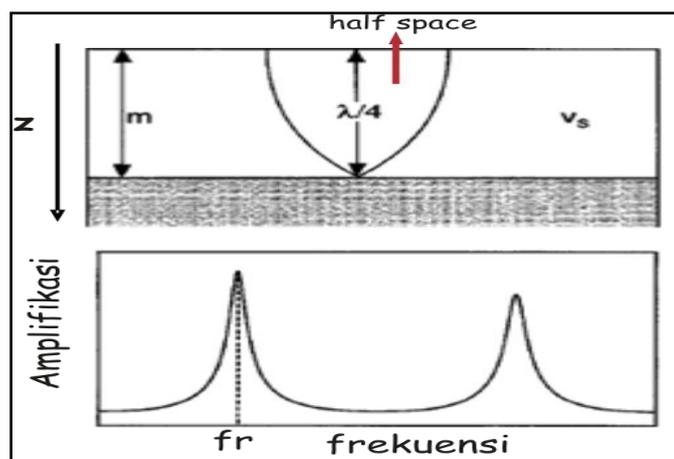
bor (Lermo dan Chaves-Garcia, op.cit). Lermo dan Chaves-Garcia (1993) telah membuktikan bahwa hasil yang diperoleh dari teknik analisis gelombang *rayleigh* akan relatif sama jika diaplikasikan pada gelombang geser.

Perbandingan spektra H/V [$T_{H/V}(\omega)$] diperoleh dengan membagi spektra rata-rata komponen horisontal [$S_{NS}(\omega) + S_{EW}(\omega)$] dan spektra rata-rata komponen vertikal [$S_V(\omega)$] lokasi sedimen:

$$T_{H/V}(\omega) = \frac{S_{NS}^-(\omega) + S_{EW}(\omega) / 2}{S_V(\omega)} \quad (6)$$

F. Prinsip Dasar Perhitungan Kedalaman

Prinsip dasar dari hubungan antara respon lokasi dan ketebalan sedimen dapat dijelaskan melalui sebuah model dua lapisan sederhana sebagai berikut:



Gambar 2.7. Prinsip Dasar Respon Lokasi

Pada gambar di atas terdapat sebuah basement *hardrock* yang ditutupi oleh sedimen dengan ketebalan (m) dan memiliki kecepatan gelombang geser (V_s). Frekuensi resonansi dari sistem terdapat pada lapisan yang ketebalannya merupakan kelipatan dari $\lambda/4$ atau biasa disebut lapisan *half-space*. Fungsi kecepatan kedalaman pada lapisan sedimen adalah:

$$V_s(Z) = V_0(1 + Z)^x \quad (7)$$

dimana, V_0 adalah kecepatan gelombang geser pada permukaan, $Z = z/z_0$ (dengan $z_0 = 1m$), dan x adalah kedalaman bergantung pada kecepatan.

Frekuensi resonansi dihitung dengan:

$$f_r = \frac{1}{4 T_0} \quad (8)$$

dimana, T_0 adalah waktu tempuh gelombang geser antara dasar dan permukaan lapisan. Dengan mendefinisikan, $v(z)=dz/dt$, maka T_0 dapat dihitung dengan:

$$T_0 = \int_0^m \frac{dz}{V_s(z)} = \frac{1}{V_0} \int_0^m (1 + Z)^{-x} dz \quad (9)$$

$$T_0 = \frac{1}{V_0} \frac{(1 + m)^{1-x}}{(1 - x)} \quad (10)$$

dengan mensubstitusikan persamaan (10) ke persamaan (8), maka hubungan antara ketebalan dan frekuensi resonansi atau frekuensi natural menjadi:

$$f_r = \frac{v_0 (1 - x)}{4[(1 + m)^{1-x}] - 1} - 1 \quad (11)$$

atau

$$m = \left[\frac{v_0 (1 - x)}{4 f_r} + 1 \right] - 1 \quad (12)$$

Pada penelitian ini kecepatan gelombang geser (V_0) diasumsikan tidak berubah terhadap kedalaman, sehingga $x = 0$, maka ketebalan (m) pada persamaan (12) menjadi:

$$m = \frac{v_0}{4 f_r} \quad (13)$$