

No. Reg: 201090000038756

LAPORAN PENELITIAN



INTERPOLASI DATA METODE HVSR DAN METODE SPAC DALAM PEMETAAN KERENTANAN SEISMİK DI KAWASAN SESAR SUMATRA

Ketua Peneliti

Yusran, S.Pd. M.Pd.

NIDN: 2026067104

ID Peneliti: 202606710408521

Anggota:

Rahmati, S.Pd.I. M.Pd.

Kategori Penelitian	Penelitian Terapan Kajian Strategis Nasional
Bidang Ilmu Kajian	Tarbiyah dan Ilmu Pendidikan
Sumber Dana	DIPA UIN Ar-Raniry Tahun 2020

PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH
SEPTEMBER 2020

HALAMAN PENGESAHAN

LEMBARAN IDENTITAS DAN PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN PUSAT PENELITIAN DAN PENERBITAN LP2M UIN AR-RANIRY TAHUN 2020

1. a. Judul Penelitian : Interpolasi Data Metode HVSR dan Metode SPAC dalam Pemetaan Kerentanan Gempa di Kawasan Sesar Sumatera
- b. Kategori Penelitian : Penelitian Terapan Kajian Strategis Nasional
- c. No. Registrasi : 201090000038756
- d. Bidang Ilmu yang diteliti : Tarbiyah dan Keguruan/Ilmu Pendidikan Fisika Terapan
2. Peneliti/Ketua Peneliti
 - a. Nama Lengkap : Yusran, S.Pd. M.Pd.
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. NIP *(Kosongkan bagi Non PNS)* : 197106261997021003
 - d. NIDN : 202067104
 - e. NIPN (ID Peneliti) : 20206710408521
 - f. Pangkat/Gol. : Pembina, IV/a
 - g. Jabatan Fungsional : Untuk Dosen Non PNS Semuanya Asisten Ahli
 - h. Fakultas/Prodi : FTK/Pendidikan Teknologi Informasi
 - i. Anggota Peneliti 1
 - Nama Lengkap : Rahmati, S.Pd.I. M.Pd.
 - Jenis Kelamin : Perempuan
 - Fakultas/Prodi : FTK/Pendidikan Fisika
3. Lokasi Penelitian :
4. Jangka Waktu Penelitian : 6 (enam) Bulan
5. Th Pelaksanaan Penelitian : 2020
6. Jumlah Biaya Penelitian : Rp. 75.000.000
7. Sumber Dana : DIPAA UIN Ar-Raniry Banda Aceh Tahun 2020
8. *Output* dan *outcome* Penelitian : a. Laporan Penelitian; b. Publikasi Ilmiah; c. HKI

Mengetahui,
Kepala Pusat Penelitian dan Penerbitan
LP2M UIN Ar-Raniry Banda Aceh,

Banda Aceh, 22 September 2020
Peneliti,

Dr. Anton Wijayanto, M. Ag.
NIP. 197204261997031002



Yusran, S.Pd. M.Pd.
NIDN. 2026067104

Menyetujui:
Rektor UIN Ar-Raniry Banda Aceh,

Prof. Dr. H. Warul Walidin, AK., MA.
NIP. 195811121985031007

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah Ini:

Nama : **Yusran, S.Pd. M.Pd.**
NIDN : 2026067104
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat/ Tgl. Lahir : Aceh Besar, 26 Juni 1971
Alamat : Gampong Cot Mesjid Banda Aceh
Fakultas/Prodi : FTK/Pendidikan Teknologi Informasi

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penelitian yang berjudul: **“Interpolasi Data Metode HVSR dan Metode SPAC dalam Pemetaan Kerentanan Gempa di Kawasan Sesar Sumatera”** adalah benar-benar Karya asli saya yang dihasilkan melalui kegiatan yang memenuhi kaidah dan metode ilmiah secara sistematis sesuai otonomi keilmuan dan budaya akademik serta diperoleh dari pelaksanaan penelitian yang dibiayai sepenuhnya dari DIPA UIN Ar-Raniry Banda Aceh Tahun Anggaran 2020. Apabila terdapat kesalahan dan kekeliruan di dalamnya, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya.

Banda Aceh, 22 September 2020
Saya yang membuat pernyataan,
Ketua Peneliti,



Yusran, S.Pd. M.Pd.
NIDN. 2026067104

ABSTRAK

INTERPOLASI DATA METODE HVSR DAN METODE SPAC DALAM PEMETAAN KERENTANAN GEMPA DI KAWASAN SESAR SUMATERA

Ketua Peneliti:

Yusran, S.Pd. M.Pd.

Anggota Peneliti:

Rahmati, S.Pd.I, M.Pd.

Penyusunan program mitigasi bencana gempa dibutuhkan kajian tentang kondisi geologi, aktifitas dan kerentanan seismic suatu kawasan tertentu. Penelitian ini dilakukan pada Kawasan GSF segmen Seulimeum dan segmen Aceh yang berdasarkan beberapa penelitian terdahulu yaitu oleh Sieh dan Natawidjaja (2000) dan Hurukawa et al. (2014). menemukan adanya sejarah dan potensi gempa dengan pergerakan segmen ini relatif tinggi pada kedua segmen tersebut. Survey dilakukan dengan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) dan metode Spatial Autocorrelation (SPAC) pada kawasan sesar Sumatra sebanyak 24 titik yang membentuk tiga garis memotong segmen Aceh dan Segmen Seulimeum. Berdasarkan analisis data diperoleh sebanyak 11 titik (46%) pengukuran berdasarkan hasil pengukuran dengan HVSR. Dan sebanyak 22 titik (91,67%) kecuali titik AA07 (Krueng Raya) dan AA20 (Leupung) berdasarkan data Vs30 Metode SPAC, lokasi pengukuran/survey tersebut memiliki lapisan bantuan yang terdiri dari tanah sedang dan lunak. Dengan demikian maka semuanya memiliki tingkat kerentanan yang sedang dan tinggi pada lapisan batuan di kedalaman 20-30 m. Peta tingkat kerentanan seismic pada sesar Sumatra, berdasarkan data metode HVSR dan metode SPAC, menunjukkan sebagian besar (>50%) wilayah (survey) terdiri atas lapisan batuan dengan kepadatan lunak untuk kedalaman 0-20 m dan batuan dengan kepadatan sedang. Sedangkan kondisi batuan pada Kawasan titik pengukuran di kedalaman 20-30 m, sebanyak 8 titik (33,3%) lokasi pengukuran merupakan lapisan batuan lunak dan 14 titik (58,3%) merupakan lapisan batuan sedang. Dengan demikian sebanyak 48,3% wilayah pada Kawasan Sesar Sumatra merupakan kawasan rentan terhadap Gempa atau memiliki Kerentanan Seismik sedang dan 33,3% memiliki kerentanan seismic tinggi.

Kata Kunci: *Frekwensi Dominan; Amplifikasi Tanah; Kerentanan Seismik; Nilai Suseptibilitas Batuan.*

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT dan salawat beriring salam penulis persembahkan kepangkuan alam Nabi Muhammad SAW, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis telah dapat menyelesaikan laporan penelitian dengan judul **“Interpolasi Data Metode HVSR dan Metode SPAC dalam Pemetaan Kerentanan Seismik di Kawasan Sesar Sumatra”**.

Dalam proses penelitian dan penulisan laporan ini tentu banyak pihak yang ikut memberikan motivasi, bimbingan dan arahan. Oleh karena itu penulis tidak lupa menyampaikan ucapan terima kasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Rektor Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh;
2. Ibu Ketua LP2M UIN Ar-Raniry Banda Aceh;
3. Bapak Kepala Pusat Penelitian dan Penerbitan UIN Ar-Raniry B. Aceh;
4. Dr. Muksin Umar, M.Si, M.Phil sebagai Tim Ahli HVSR;
5. Dr. Muhammad Syukri, M.Si sebagai Tim Ahli SPAC;
6. Rahmati, S.Pd.I, M.Pd. sebagai anggota Tim Peneliti;
7. Anggota Tim Personalia Penelitian;

Akhirnya hanya Allah SWT yang dapat membalas amalan mereka, semoga menjadikannya sebagai amal yang baik.

Harapan penulis, semoga hasil penelitian ini bermanfaat dan menjadi salah satu amalan penulis yang diperhitungkan sebagai ilmu yang bermanfaat di dunia dan akhirat. *Amin ya Rabbal ‘Alamin*.

Banda Aceh, 22 September 2020
Ketua Peneliti,

Yusran, S.Pd. M.Pd.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 <i>Latar Belakang.....</i>	1
1.2 <i>Pembatasan Masalah.....</i>	3
1.3 <i>Rumusan Masalah.....</i>	4
1.4 <i>Tujuan Penelitian.....</i>	4
1.5 <i>Urgensi Penelitian.....</i>	4
1.6 <i>Luaran Penelitian.....</i>	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Sistem Tektonik.....</i>	6
2.1.1 <i>Sistem Tektonik Indonesia</i>	6
2.1.2 <i>GSF Segmen Aceh dan Segmen Seulimeum</i>	8
2.2 <i>Gempa Bumi.....</i>	9
2.2.1 <i>Sejarah Gempa di Sumatra dan Great Sumatra Fault (GSF).....</i>	9
2.3 <i>Penelitian Terdahulu.....</i>	11
2.3.1 <i>Penelitian tentang GSF.....</i>	11
2.3.2 <i>Penelitian tentang HVSR.....</i>	12
2.3.3 <i>Penelitian dengan Metode SPAC.....</i>	12
2.4 <i>Pengukuran Kerentanan.....</i>	13
2.4.1 <i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR).....</i>	14
BAB III METODE PENELITIAN.....	16
3.1 <i>Lokasi Penelitian.....</i>	16
3.1.1 <i>Titik Pengukuran.....</i>	16
3.2 <i>Tahapan Pengukuran Data HVSR dan SPAC.....</i>	17
3.2.1 <i>Pengukuran Data Mikrotremor</i>	17
3.2.2 <i>Akuisisi data kecepatan gelombang geser.....</i>	22
3.2.3 <i>Pengolahan data</i>	22
3.2.4 <i>Diagram Penelitian.....</i>	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 <i>Titik Pengukuran.....</i>	26
4.1.1 <i>Survey I.....</i>	26
4.1.2 <i>Titik Survey II.....</i>	27
4.2 <i>Pengolahan Data dengan Aplikasi Geopsy.....</i>	28
4.3 <i>Kerentanan Seismik.....</i>	29
4.4 <i>Klasifikasi Tanah</i>	31
4.5 <i>Kecepatan Geser Vs30 inversi aplikasi geopsy.....</i>	32

4.6	<i>Analisis Kecepatan Rata-Rata Gelombang Geser (AVs)</i>	33
4.7	<i>Peta Geologi Metode HVSR</i>	54
4.7.1	Peta Frekwensi Dominan.....	55
4.7.2	Peta Nilai Amplifikasi	57
4.7.3	Peta Kerentanan Seismik (Kg).....	58
4.8	<i>Kecepatan Gelombang Gesar S (Vs)</i>	60
4.8.1	Vs Data HVSR.....	60
4.8.2	Tingkat Kerentanan dan Peta Data SPAC.....	61
BAB V PENUTUP		65
5.1	<i>Kesimpulan</i>	65
DAFTAR PUSTAKA		66

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Data Gempa Signifikan di Provinsi Aceh Tahun 1964-2016.....	10
Tabel 2-2. Klasifikasi tanah konversi Kanai & Tanaka dengan Omote-Nakajima (Pitilakis & Kakderi, 2011)	15
Tabel 3-1. Lokasi dan Jumlah Titik Pengukuran.....	17
Tabel 3-2 Syarat Pengukuran Mikrotremor (Bard et <i>al.</i> , 2004)	18
Tabel 3-3 Klasifikasi Tanah berdasarkan Kecepatan Geser Vs (SNI 1726-2012)	24
Tabel 4-1 Titik Lokasi Survey I	26
Tabel 4-2 Titik Lokasi Survey II	27
Tabel 4-3 Nilai Frekuensi Dominan, Amplifikasi, dan Kerentanan Seismik.....	30
Tabel 4-4 Spesifikasi/Jenis Tanah berdasarkan Kanai & Tanaka di Lokasi Pengukuran Lamteuba	31
Tabel 4-5 Data Nilai Kecepatan Geser (Vs) Rata-rata pada Kedalaman 30 m	32
Tabel 4-6 Nilai Rata-rata Kecepatan Geser Gelombang Seismik pada kedalaman 10 m dan 20 m	54
Tabel 4-7 Klasifikasi Tanah/Batuan berdasarkan nilai Kecepatan Geser Gelombang Rata-rata pada Kedalaman 30 m (Vs30)	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Tatanan tektonik Indonesia (Adiyoso & Kanegae, 2013)	6
Gambar 2-2. Tatanan Tektonik Sumatra dan Indonesia (Irsyam et al., 2017)	7
Gambar 2-3. Sistem Tektonik Great Sumatra Fault (Omang <i>et al.</i> , 2016)	8
Gambar 2-4. GSF Segmen Aceh dan Segmen Seulimeum	9
Gambar 2-5 Diagram gempa signifikan di Provinsi Aceh Tahun 1964 - 2016.....	11
Gambar 3-1 Peta Lokasi di Kawasan Aceh Besar	16
Gambar 3-2. Tiga komponen spektrum (dua horizontal dan satu vertikal)	20
Gambar 3-3. Grafik H/V (amplifikasi dan frekuensi dominan)	21
Gambar 3-4 Susunan geophone 5 Hz dengan array segitiga untuk mengukur gelombang seismik	22
Gambar 3-5 Penentuan kecepatan gelombang S rata-rata (V_s) dari dispersi permukaan.	23
Gambar 3-6. Diagram Penelitian	25
Gambar 4-1 Tampilan layar aplikasi geopsy dalam analisis data mikrotremor	29
Gambar 4-2 Peta Kondisi Geologi Kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai frekwensi dominan (dengan topografi)	55
Gambar 4-3 Peta kondisi geologi Kawasan Aceh Besar berdasarkan Nilai Frekwensi Dominan (tanpa topografi)	56
Gambar 4-4 Peta kondisi batuan kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai amplifikasi tanah (dengan topografi)	57
Gambar 4-5 Peta kondisi geologi Kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai Amplifikasi tanah (tanpa topografi)	58
Gambar 4-6 Peta Kerentanan Seismik (K_g) Kawasan Aceh Besar	59
Gambar 4-7 Peta Klasifikasi Batuan Berdasarkan Data Kecepatan V_{s30}	61
Gambar 4-8 Data Klasifikasi Batuan/tanah Berdasarkan Nilai Kecepatan Geser Gelombang S (V_s) pada Kedalaman 10 m dan 20 m.....	62
Gambar 4-9 Peta Klasifikasi Batuan/tanah Berdasarkan Kecepatan V_s (10 m)	63
Gambar 4-10 Peta Klasifikasi Batuan/tanah Berdasarkan Kecepatan V_s (20 m) Error!	

Bookmark not defined.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki tingkat kerentanan bencana yang tinggi yaitu tanah lonsor, gempa bumi dan tsunami. Kerentanan tersebut diakibatkan karena Indonesia terletak dalam kawasan empat lempeng aktif yaitu Australia, Eurasia, Filipina, dan Pasifik (Adiyoso & Kanegae, 2013). Disamping itu Indonesia juga terdapat beberapa lempeng aktif seperti Patahan Semangko (Sumatra), Patahan Opak (Jogjakarta), Patahan Grindulu (Pacitan), Patahan Lembang (Jawa Barat), Patahan Flores, Patahan Palu dan lain-lain (Qiu et al., 2016).

Patahan Sumatra disebut Patahan Semangko dikarenakan patahan ini membentang dari Teluk Semangko sampai Perairan Utara Aceh. Patahan Semangko terbentuk sejak jutaan tahun lalu pada waktu Patahan/Lempeng (Samudra) Hindia-Australia menabrak bagian barat Sumatera yang menjadi bagian dari Patahan/Lempeng (Benua) Eurasia sepanjang 1900 km (Sieh dan Natawidjaja, 2000). Sehingga patahan ini juga sering disebut sebagai Patahan Besar Sumatra atau Great Sumatra Fault (Natawidjaja et al., 2017).

Great Sumatra Fault (GSF) tidak terhubung secara utuh melainkan terbagi atas beberapa bagian yang biasa disebut segmen. Segmen tersebut tersebar sepanjang Pulau Sumatra dari Teluk Semangko sampai Aceh yang terbagi menjadi 19 segmen yaitu Segmen Sunda, Semangko, Kumering, Manna, Musi, Ketaun, Dikit, Siulak, Suliti, Sumani, Sianok, Sumpur, Barunun, Angkola, Toru, Renun, Tripa, Aceh, dan Seulimeum (Sieh dan Natawidjaja 2000; (Burton & Hall, 2014). Dari 19 segmen GSF tiga diantaranya berada di wilayah Provinsi Aceh yaitu Segmen Aceh, Segmen Seulimeum dan Segmen Tripa (Genrich et al., 2000).

Setiap segmen-segmen pada GSF memiliki karakteristik masing-masing antara lain adalah jumlah gempa yang pernah terjadi dengan magnetude yang beragam. Jumlah gempa terbanyak terjadi pada segmen Toru yaitu sebanyak 142 kali dengan magnetude tertinggi 7.6 M, sedangkan terendah ada pada segmen Kumering yaitu 33 kali gempa dengan magnetude tertinggi 7,6 M (Burton & Hall,

2014; Natawidjaja et al., 2007). Sedangkan untuk segmen Seulimeum tercatat magnetude tertinggi 6,7 M dengan pergeseran relatif (*slip-rate*) 2.5 mm/yr dan pada segmen Aceh mengalami *slip-rate* 2 mm/yr dengan magnetude maksimum 7.7 M (Irsyam, 2010).

Penelitian terdahulu telah mencatat beberapa gempa besar yang terjadi di wilayah Aceh dan sekitarnya. Gempa-gempa tersebut antara lain gempa di Pulau Simeulu tahun 2002 (M 7.3), gempa Sumatra - Andaman tahun 2004 Mw 9.15 (Natawidjaja et al., 2007), gempa Simeulu – Nias tahun 2005 (Mw 8.6), Gempa simeulu tahun tahun 2008 (Mw 7.4), tahun 2010 gempa Pulau Banyak (Mw 7.8), Tahun 2010 gempa Simeulu (Mw 7.2) dan Tahun 2012 Mw 8.6 & Mw 8.2 (Burton & Hall, 2014). Gempa-gempa tersebut seperti terjadi berkaitan dengan gempa megathrust di zona subduksi sesar Australia terhadap Sesar Eurasiadan dan memiliki momentum seismik (Burton & Hall, 2014).

Banyaknya korban yang ditimbulkan pada setiap bencana alam khususnya gempa bumi diakibatkan minimnya pengetahuan masyarakat tentang bencana dan kondisi alam serta metode mitigasi bencana yang dipengaruhi pengalaman dan pengaruh kepercayaan lokal (Haulle, 2012; McCaughey et al., 2017) dan juga kecenderungan seseorang melakukan upaya penyelamatan juga dipengaruhi oleh faktor sosial dan keluarga seperti yang dilakukan warga Banda Aceh pada bencana gempa bumi tahun 2012 (McCaughy et al., 2017). Dalam penelitian lain diperoleh bahwa pengetahuan tentang mitigasi tidak serta merta aplikatif pada saat bencana terjadi (Adiyoso & Kanegae, 2013). Oleh karena itu penyusunan program mitigasi bencana harus dilaksanakan secara terus menerus dan berdasarkan data pengukuran dengan berbagai metode pada kawasan yang sejarah kegempaanannya ada meskipun aktivitas seismiknya tidak tinggi.

Rendahnya aktifitas seismik di GSF menyebabkan kurangnya perhatian dan kajian seismik oleh para peneliti di kawasan tersebut (Rivera, Sieh, Helmberger, & Natawidjaja, 2002). Meskipun demikian pada GSF khususnya segmen Seulimeum, penelitian yang menggunakan data geomagnetik menunjukkan eksistensi segmen Seulimeum di sekitar Ie Jue Lamteuba Kabupaten Aceh Besar (Zakaria et al., 2016) dan di kawasan Krueng Raya Kabupaten Aceh Besar yang berhasil membuat

pemetaan segmen seulum untuk kawasan tersebut (H. Hisham, M. Nordiana, R. Saad, M. Syukri, S. Nabila, M. Umi, 2015). Kedua kajian tersebut terfokus pada eksistensi sistem lempeng sumatra dengan metode geomagnetik dan metode gravity serta belum mengkaji lebih jauh tentang kerentanan seismik pada kawasan tersebut.

Bertolak dari hal tersebut untuk kebutuhan mitigasi bencana perlu dikaji lebih mendalam aktifitas seismik dan kerentanannya dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)* dan *Spatial Autocorrelation (SPAC)* pada GSF segmen Seulum dan segmen Aceh, hal ini dikarenakan adanya potensi gempa yang ditandai dengan pergerakan segmen ini relatif tinggi pada kedua segmen tersebut (Hirukawa et al., 2014). Dan metode HVSr merupakan salah satu metode efektif dan dapat dipergunakan untuk berbagai tujuan yang lain seperti studi sedimentasi (Mucciarelli & Gallipoli, 2001) serta sangat efektif untuk pencegahan kerusakan akibat gempa yang akan terjadi dengan mengungkap aktifitas seismik pada sesar tertentu (Nakamura, 2008). Disamping menggunakan metode HVSr, pengukuran tingkat kerentanan juga dapat berdasarkan interpretasi struktur bawah permukaan tanah dengan menggunakan metode geomagnetik. Pengukuran dengan kedua metode tersebut diharapkan akan menjawab bagaimana tingkat aktifitas seismik, pola gerakan, struktur bawah permukaan tanah dan kerentanannya terhadap gempa.

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan Pemetaan kerentanan seismik/bencana gempa berdasarkan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)* dan ditambah pengukuran mikrozonasi dengan metode SPAC pada kawasan lempeng/sesar Sumatra (GSF) khususnya Kawasan Aceh Besar dan Banda Aceh (GSF segmen Seulum dan segmen Aceh).

1.2 Pembatasan Masalah

Penelitian ini melakukan pemetaan kerentanan seismik/bencana gempa bumi pada Kawasan Aceh Besar dan Kota Banda Aceh wilayah Lempeng Sumatra (GSF) segmen Seulum dan segmen Aceh.

1.3 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini dengan mengacu pada latar belakang di atas, selanjutnya dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat kerentanan seismik pada kawasan segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Kawasan Aceh Besar dan Banda Aceh dengan menggunakan data metode HVSR?
2. Berapa besar tingkat kerentanan seismik pada kawasan segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Kawasan Aceh Besar dan Banda Aceh berdasarkan data metode SPAC?
3. Bagaimana pemetaan tingkat kerentanan seismik di sekitar segmen Seulimeum dan segmen Aceh di Kawasan Aceh Besar dan Banda Aceh berdasarkan interpolasi data metode HVSR dan SPAC?

1.4 Tujuan Penelitian

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisa tingkat kerentanan seismik pada segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Kawasan Aceh Besar dengan menggunakan data metode HVSR.
2. Menganalisa tingkat kerentanan seismik pada segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Kawasan Aceh Besar berdasarkan data Metode SPAC.
3. Menghasilkan peta tingkat kerentanan seismik pada Segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Kawasan Aceh Besar, berdasarkan data metode HVSR, metode geomagnetic dan metode SPAC.

1.5 Urgensi Penelitian

Penelitian ini sangat penting mengingat belum ada kajian dan pengukuran struktur bawah permukaan tanah dan kerentanan seismik pada GSF segmen Seulimeum dan segmen Aceh serta belum adanya peta kerentanan seismik pada Kawasan Aceh Besar dan Banda Aceh disekitar kedua segmen tersebut berdasarkan interpolasi data metode HVSR dan metode SPAC. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai salah satu dalam penyusunan program mitigasi bencana gempa pada kawasan tersebut. Dan selanjutnya akan menjadi dasar penyusunan kurikulum

Pendidikan kebencanaan baik di jenjang dasar menengah maupun Pendidikan tinggi di Aceh.

1.6 Luaran Penelitian

Penelitian ini akan melakukan analisa dan pemetaan tingkat kerentanan seismik melalui pengukuran mikrotremor dan pengukuran struktur bawah permukaan pada Kawasan GSF Segmen Seulimeum dan Segmen Aceh. Secara khusus penelitian ini akan menghasilkan luaran penelitian :

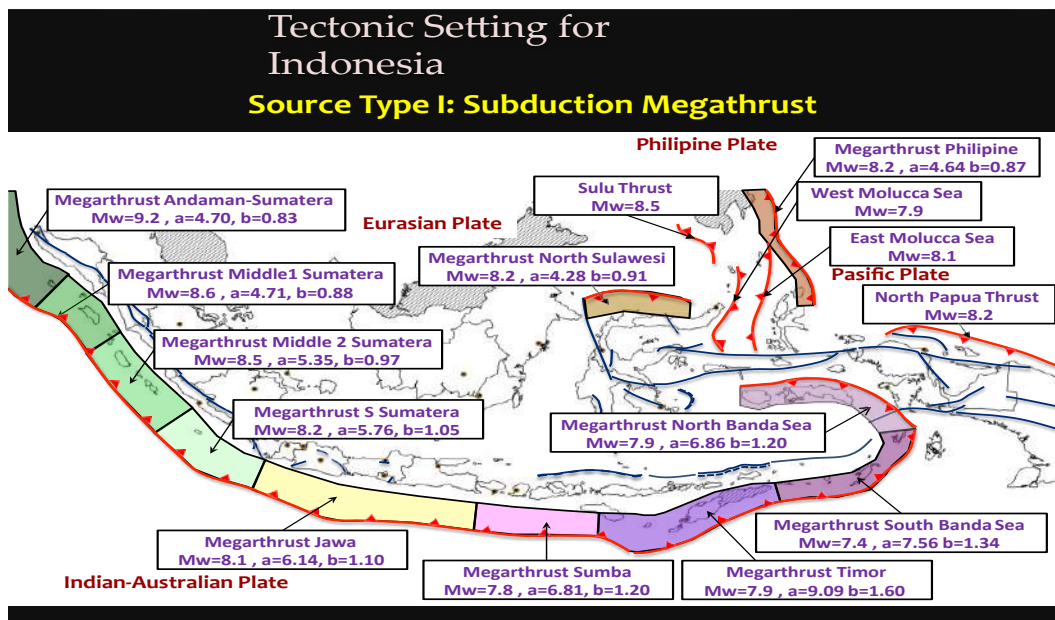
1. Analisa kerentanan seismik pada Kawasan GSF segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Seulimeum, Darul Imarah, Peukan Bada Kabupaten Aceh Besar dan Banda Aceh dengan menggunakan metode HVSR.
2. Analisa kerentanan seismik pada Kawasan GSF segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Aceh Besar dan Banda Aceh berdasarkan struktur bawah permukaan tanah dengan menggunakan metode SPAC.
3. Peta kerentanan seismik pada Kawasan GSF segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Aceh Besar dan Banda Aceh dengan menggunakan metode HVSR.
4. Peta kerentanan seismik pada Kawasan GSF segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Aceh Besar dan Banda Aceh berdasarkan struktur bawah permukaan tanah dengan menggunakan metode SPAC.
5. Peta Self Organizing Maps (SOM) kerentanan seismik pada Kawasan GSF segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Aceh Besar dan Banda Aceh berdasarkan interpolasi data metode HVSR dan SPAC.
6. Publikasi melalui prosiding dan jurnal internasional/SINTA.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tektonik

2.1.1 Sistem Tektonik Indonesia

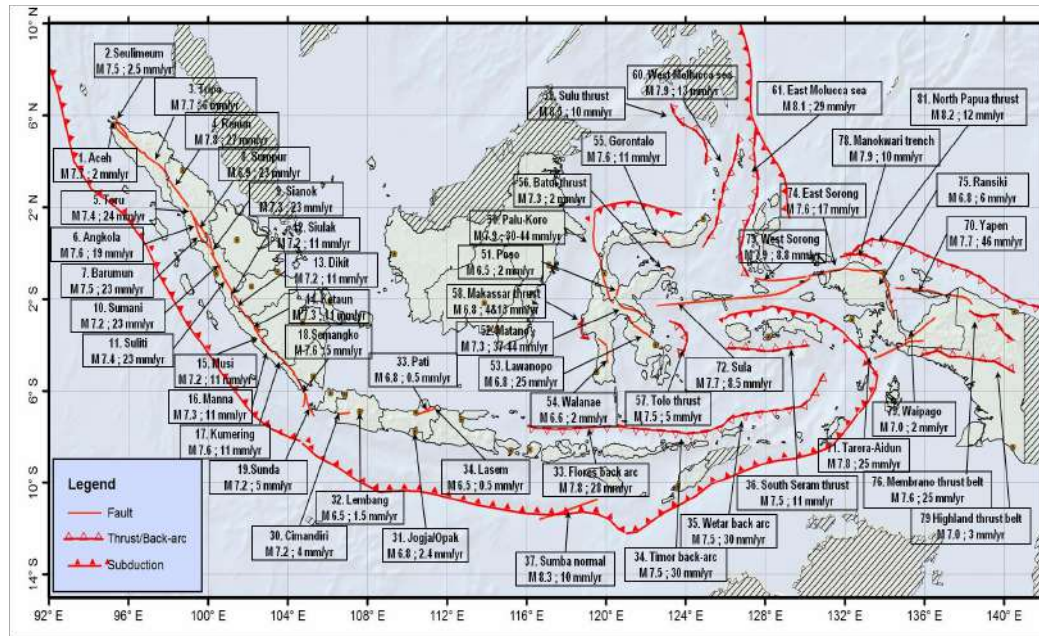
Indonesia adalah sebuah kawasan yang dengan kerawanan bencana yang tinggi, sebagai contoh disebutkan bahwa Indonesia berada pada peringkat 1 dari 76 negara pada kerawanan bencana tsunami, peringkat 1 dari 162 negara untuk ancaman tanah longsor, peringkat 3 dari 153 negara untuk ancaman gempa. Salah satu faktor penyebabnya adalah posisi Indonesia yang berada pada empat lempeng aktif yaitu Lempeng Philipina, Lempeng Atlantik, Lempeng Eurasia, dan Lempeng India-Australia (Adiyoso & Kanegae, 2013).



Gambar 2-1. Tatanan tektonik Indonesia (Adiyoso & Kanegae, 2013)

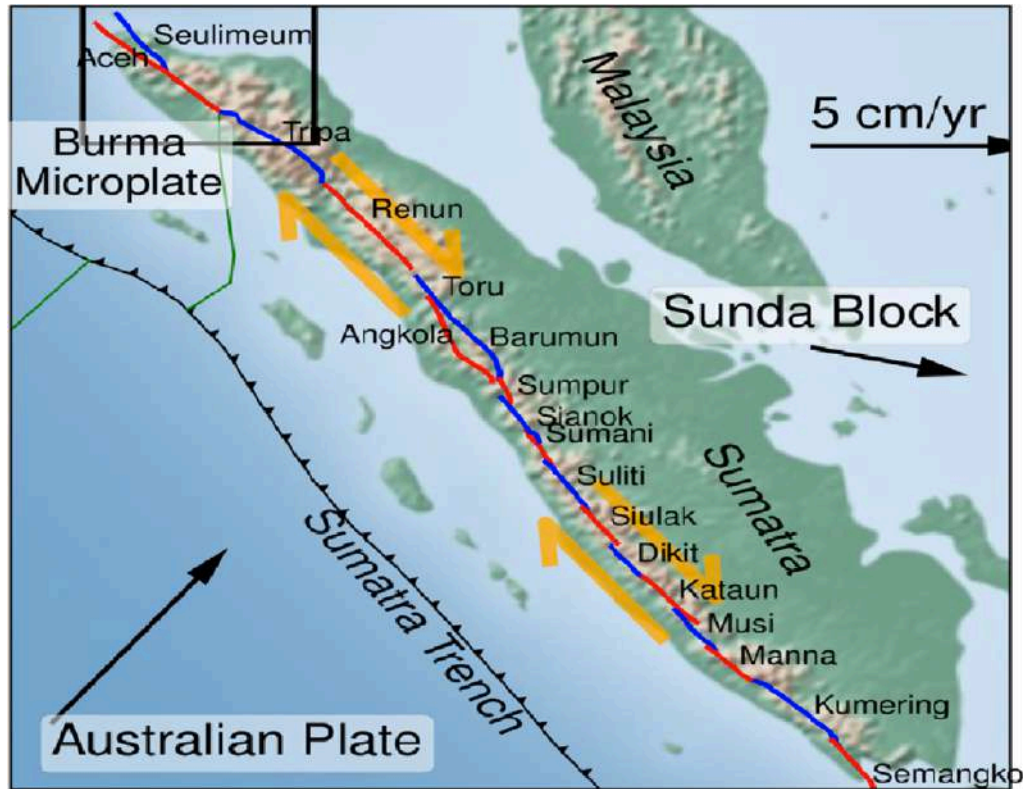
Disamping keempat lempeng besar tersebut, di Indonesia juga terdapat beberapa lempeng aktif seperti Patahan Semangko (Sumatra), Patahan Opak (Jogjakarta), Patahan Grindulu (Pacitan), Patahan Lembang (Jawa Barat), Patahan Flores, Patahan Palu dan lain-lain (Qiu *et al.*, 2016). Patahan atau lempeng-lempeng tersebut telah menunjukkan keaktifannya yang ditandai dengan beberapa gempa besar (lebih dari Mw 6.0) dalam beberapa tahun terakhir. Keaktifan tersebut juga

dapat dilihat berdasarkan data pengukuran terhadap pergerakan lempeng per tahun, seperti ditunjukkan pada gambar 2-2:



Gambar 2-2. Tatanan Tektonik Sumatra dan Indonesia (Irsyam et al., 2017)

Dari semua wilayah Indonesia wilayah dalam 20 tahun terakhir Pulau Sumatra yang pernah mengalami gempa besar, seperti gempa Aceh tahun 2004 dan Gempa Nias tahun 2005, sementara gempa darat terjadi di Bener Meriah dan Pidie Jaya provinsi Aceh (Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), 2018). Lempeng Sumatra atau sering juga disebut dengan Lempeng Semangko merupakan salah satu lempeng aktif yang terletak di Pulau Sumatra. Lempeng ini terbentang sepanjang Pulau Sumatra dari Teluk Semangko di Provinsi Lampung sampai Pulau Sabang Provinsi Aceh atau juga dikenal sebagai *Great Sumatra Fault* (GSF), dan terbagi menjadi 19 Segmen yaitu Sunda, Semangko, Kumering, Manna, Musi, Ketaun, Dikit, Siulak, Suliti, Sumani, Sianok, Sumpur, Barunum, Angkola, Toru, Renun, Tripa, Aceh, dan Seulimeum (Sieh & Natawidjaja, 2000; Burton & Hall, 2014). Secara umum lempeng Sumatra dapat ditunjukkan pada gambar 2-3:

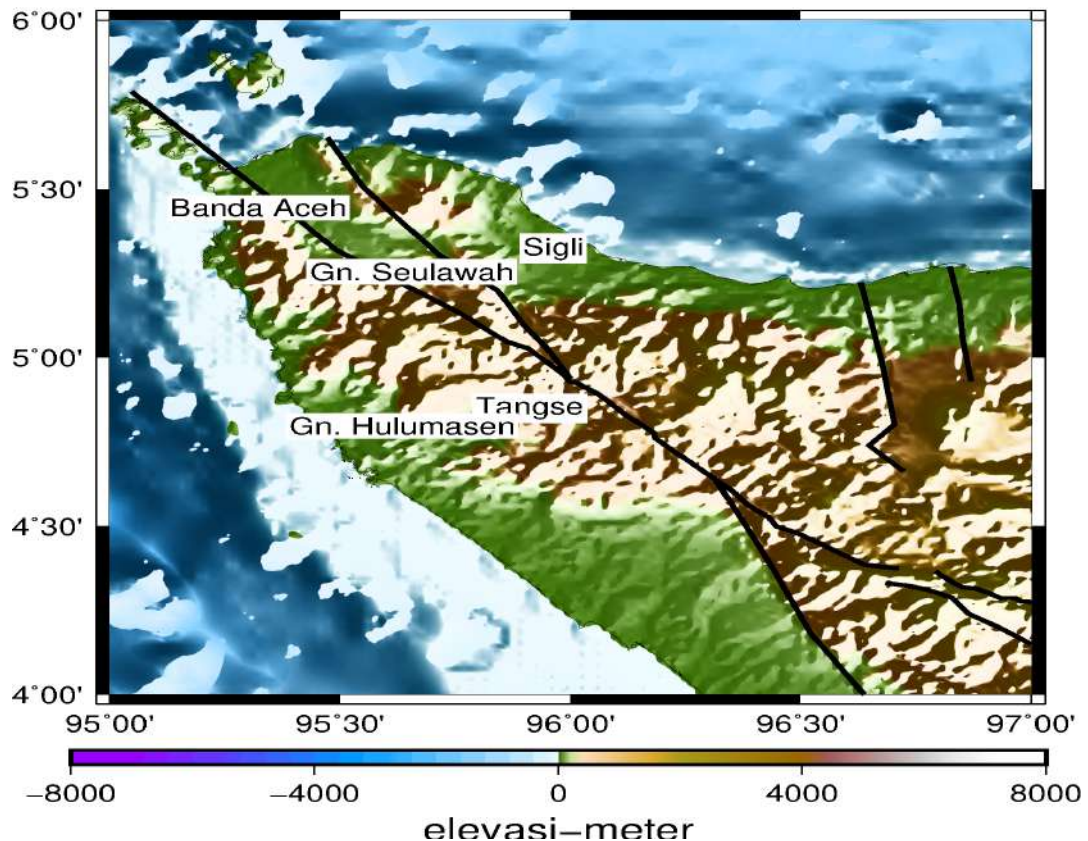


Gambar 2-3. Sistem Tektonik Great Sumatra Fault (Omang *et al.*, 2016)

2.1.2 GSF Segmen Aceh dan Segmen Seulimeum

Dari 19 Segmen GSF tiga diantaranya berada di wilayah Provinsi Aceh yaitu Segmen Aceh, Segmen Seulimeum dan Segmen Tripa (Genrich *et al.*, 2000). Segmen Aceh dan Segmen Seulimeum memiliki titik temu di kawasan Tangse Pidie. Segmen Aceh terbentang dari Tangse Pidie sampai Pulau Aceh dan meliputi wilayah Kabupaten Pidie, Kabupaten Aceh Besar, dan Kota Banda Aceh. Sedangkan Segmen Seulimeum terbentang dari Tangse Kabupaten Pidie melewati Kawasan Seulawah Kabupaten Aceh Besar sampai dengan Sabang (Omang *et al.*, 2016).

Aceh



Gambar 2-4. GSF Segmen Aceh dan Segmen Seulimeum

2.2 Gempa Bumi

2.2.1 Sejarah Gempa di Sumatra dan *Great Sumatra Fault* (GSF)

Great Sumatra Fault (GSF) atau Sesar Sumatra terbagi atas 19 segmen, beberapa diantaranya adalah segmen Sunda Semangko, Aceh, dan Seulimeum (Burton & Hall, 2014; Sieh & Natawidjaja, 2000). Kesemua segmen tersebut memiliki letak geografis dan karakteristik berbeda-beda. Perbedaan yang juga tercatat dengan frekuensi gempa yang tidak sama pada setiap segmen, dimana ada beberapa segmen dengan frekuensi gempa yang tinggi dan yang lainnya relatif rendah.

Sementara sejarah gempa pada GSF khususnya Segmen Seulimeum dan Segmen Aceh yaitu pada Segmen Seulimeum terjadi gempa M 6.5 pada tahun 1964 (Sieh dan Natawidjaja, 2000) dan pada Segmen Aceh tahun 1997 (M 6.0)

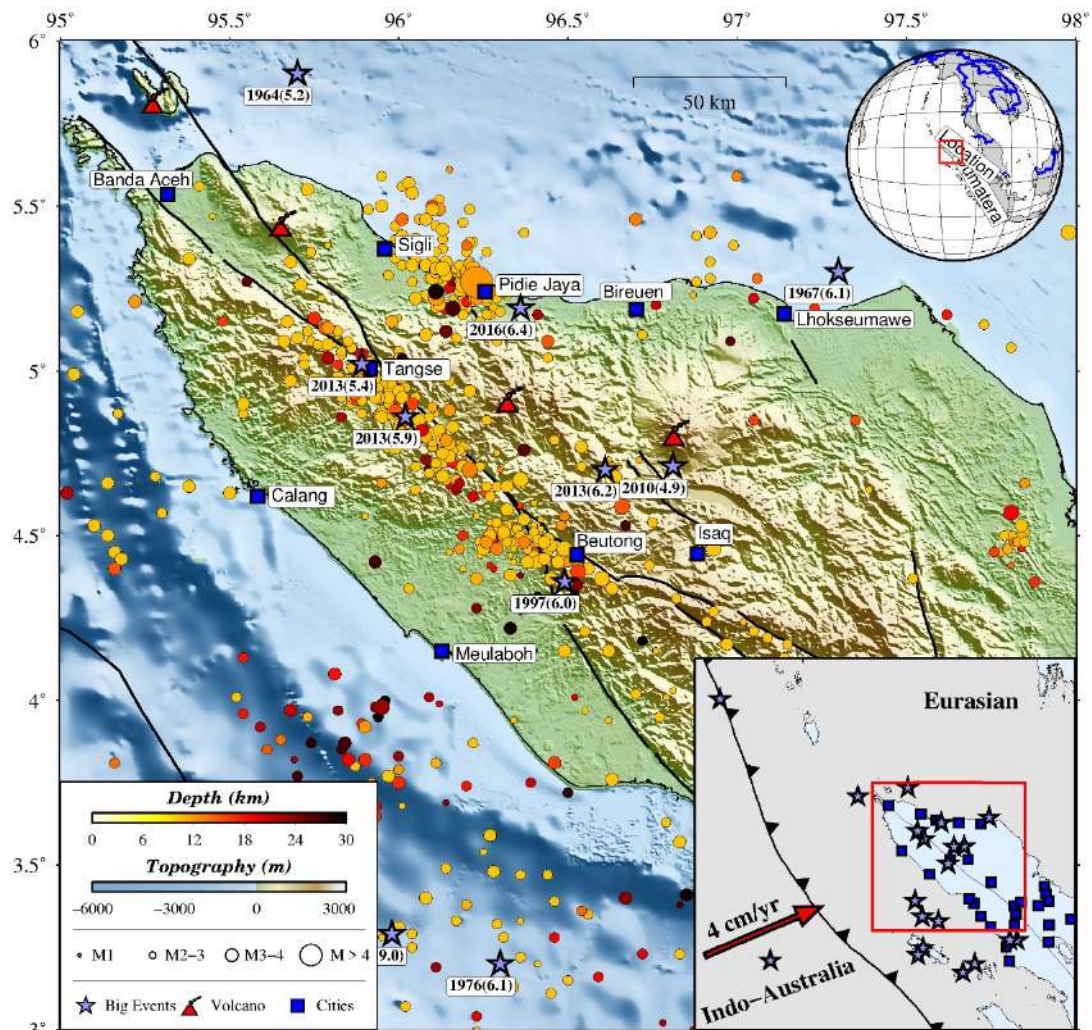
(Hurukawa *et al.*, 2014). Gempa juga terjadi di luar kedua Segmen tersebut yaitu yang terjadi pada tahun 2013 di Bener Meriah (M 6,2) dan tahun 2016 di Pidie Jaya (M 6.5) dengan menimbulkan banyak korban harta dan jiwa (BMKG, 2018; Irsyam, 2010). Secara umum gempa-gempa yang pernah terjadi sepanjang GSF dapat digambarkan seperti pada tabel 2-1 berikut:

Tabel 2-1 Data Gempa Signifikan di Provinsi Aceh Tahun 1964-2016

No	Tahun	Lokasi	Epicentrum		Bulan/Magnitude			
			Lat	Long	Jan-Mar	Apr-June	Jul-Sep	Okt-Des
1	1964	Lamteuba, Seulimeum	5,9	95,7		5,2		
2	1967	Aceh Tengah	5,3	97,3		6,1		
3	1976	Kotacane	3,2	96,3		6,1		
4	1983	Aceh (Laut P Aceh)	5,72	94,72		6,6		
5	1997	Beutong	4,36	96,49			6	
6	2004	Aceh-Andaman	3,295	95,982				9
7	2005	Simeulue	2,164	96,786		6,8		6,5
8	2008	Simeulue	2,65	96	7,3			
9	2010	Aceh tengah	4,71	96,81	4,9			
10		Simeulue	2,33	97,02		7,6		
11		Aceh Barat	3,61	95,84		7,2		
12		Aceh-Andaman	7,68	91,99		7,5		
13	2011	Singkil	2,81	97,85			6,7	
14	2012	Simeulue	2,4	92,99		8,5		
15		Subulussalam	2,81	97,71		6,6		
16		Simeulue	2,51	95,9			6,4	
17	2013	Pidie	4,86	96,02	5,9			
18		Bener Meriah	4,7	96,61			6,2	
19		Tangse, Pidie	5,02	95,89				5,4
20	2016	Meureudu, Pidie Jaya	5,19	96,36				6,4

Sumber :BMKG (2018)

Berdasarkan tabel 2-1 di atas ditunjukkan pada peta berikut:



Gambar 2-5 Diagram gempa signifikan di Provinsi Aceh Tahun 1964 - 2016

2.3 Penelitian Terdahulu

2.3.1 Penelitian tentang GSF

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa sejarah kegempaan suatu wilayah akan memberikan informasi berharga bahwa membatasi parameter sumber gempa (Rivera *et al.*, 2002). Gempa di Pulau Sumatra sebagaiannya bersumber dari GSF yang telah dilakukan segmentasi oleh (Burton & Hall, 2014), dengan menggunakan pendekatan analitis algoritma k-means. Selanjutnya beberapa para ahli sepakat bahwa GSF dibagi kedalam 19 Segmen dari Teluk Semangko sampai dengan

perairan utara Aceh dan di Aceh terdapat tiga Segmen yaitu Segmen Tripa, Segmen Aceh, dan Segmen Seulimeum (Genrich *et al.*, 2000).

Penelitian terbaru Muksin *et al.* (2019) berhasil mengungkapkan beberapa segmen aktif selain tiga yang meliputi patahan Batee, Beutong, Tangse-Geumpang, Lampahan dan Nisam. Diperoleh data dari sesar baru yaitu sesar Pamue dan Atu Lintang-Peusangan. Segmen Aceh dan Sesar Seulimum di wilayah paling utara dari jaringan dan keduanya aktif. Sejarah mencatat bahwa pada Sesar Seulimeum telah terjadi gempa bumi daratan dengan kekuatan lebih besar dari M 6,5 yang mengakibatkan kerusakan di Desa Lamteuba dan Krueng Raya. Penelitian pendahuluan dengan metode HVSR menunjukkan kerentanan seismik yang tinggi di Kawasan Segmen Seulimeum (Simanjuntak *et al.*, 2018).

2.3.2 Penelitian tentang HVSR

Menurut Nakamura (2008) bahwa gempa bumi akan pernah terjadi ketika kekuatan seismik melampaui daya tahan tanah dan struktur. Oleh karena itu, studi tentang gempa secara berkesinambungan sangat diperlukan agar bencana gempa bumi dapat diprediksi dan dipantau. Salah satu metode untuk mengkaji tentang kondisi geologi (tanah dan struktur) adalah metode HVSR. Model HVSR dapat digunakan mikrozonasi atau studi serupa (Herak, 2008). Riset mengungkapkan juga bahwa Metode HVSR telah banyak digunakan dalam estimasi frekuensi getaran dominan tanah. Salah satu pengukuran kondisi geologi dengan metode HVSR telah menemukan bahwa Banda Aceh berada di atas lapisan alluvium setebal sekitar 70 m sampai dengan 206 m (Setiawan & Kusuma, 2013).

2.3.3 Penelitian dengan Metode SPAC

Chávez-García *et.al.* (2005) mengungkapkan bahwa terdapat dua kelebihan pada metode Spacial Autocorelation (SPAC), kelebihan tersebut adalah (1) dalam interval jarak yang saling berdekatan metode ini mampu menentukan beberapa kecepatan geser dan perekaman secara simultan dengan penggunaan berbagai stasiun pada lokasi secara fleksibel. Pada penelitian yang lain Chávez-García *et.al* (2006), mengungkapkan bahwa hasil pengukuran dengan metode SPAC tidak

terbatas pada geometri tertentu dari array, asalkan persyaratan dasar stasioneritas terpenuhi.

Cho et.al (2008), menemukan bahwa metode SPAC banyak digunakan untuk menentukan besar kecepatan fase gelombang Rayleigh. Mereka melakukan validasi berdasarkan hasil analisis data real dan data eksperimen numerik. (Nakahara, 2012), mengungkapkan bahwa atas dasar teoretis metode SPAC tidak hanya mampu memperkirakan kecepatan fase tetapi juga distribusi antenuisi dari noise sekitar. Metode ini berhubungan dengan korelasi domain-waktu dari noise sekitar dan dapat menentukan fungsi gelombang bawah permukaan dari noise seismik (Tsai & Moschetti, 2010; Haney *et.al.*, 2012).

2.4 Pengukuran Kerentanan

Dalam lingkup bencana ada lima istilah yang populer yaitu: (1) *Disaster Risk Reduction (DDR)* adalah langkah-langkah yang diambil sebelum/selama/ setelah terjadinya bencana yang bertujuan untuk mengurangi risiko kepada masyarakat (Wang, 2016), (2) *vulnerability* (kerentanan) adalah kemungkinan masyarakat/ komunitas untuk mengalami kerugian dari suatu bencana, (3) *exposure* adalah komunitas/orang-orang dan harta benda yang berisiko terpapar bahaya bencana, (4) *risk* (resiko) adalah kemungkinan kerugian bagi komunitas/orang-orang atau harta benda (hal yang berharga) yang diakibatkan oleh bencana, dan (5) *hazard* (ancaman) adalah sesuatu hal yang berpotensi menyebabkan kerugian terhadap komunitas/orang-orang atau harta benda (Twigg, 2004). Oleh karena itu pengukuran kerentanan tertentu seperti gempa tidak akan terlepas dari kajian terhadap hal-hal tersebut.

Spektrum gempa berupa gelombang seismik tiba disuatu tempat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: besarnya *magnitude*, sumber dan karakteristik gempa (*source activation*), jarak dari sumber pelepasan energi, jalur penjalaran signal (*wave travel path*), dan efek geologi lokal (*local geology and site conditions*). Tiga faktor penting yang paling mempengaruhi spektrum adalah besaran *magnitude*, jarak, dan kondisi geologi lokal. Oleh karena itu, kondisi geologi lokal (amplifikasi spektrum tanah tertentu) dapat menyebabkan amplifikasi maupun deamplifikasi dan perubahan karakteristik gelombang seismik yang tiba.

Untuk memperoleh data kondisi geologi local dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya adalah metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dan metode geomagnetik (Elnashai & Di Sarno, 1996).

2.4.1 *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr)

HVSr atau H / V untuk metode "horizontal-ke-vertikal" menggunakan satu seismometer tiga komponen seukuran pita lebar untuk merekam kebisingan seismik ambien. Ini dianggap sebagai metode seismik "pasif" karena tidak memerlukan sumber seismik buatan, seperti muatan peledak atau pukulan palu. Metode HVSr mengukur komponen vertikal dan dua horisontal (utara-selatan dan timur-barat) dari kebisingan seismik ambien, yang mencakup gelombang mikro yang diinduksi oleh angin, gelombang laut, dan aktivitas antropogenik. Rasio spektrum frekuensi rata-rata H / V (horizontal-ke-vertikal) digunakan untuk menentukan frekuensi resonansi situs fundamental, yang dapat diinterpretasikan dengan menggunakan persamaan regresi untuk memperkirakan ketebalan sedimen dan kedalaman batuan dasar (Nakamura, 2008).

Metode HVSr menghasilkan sebuah spektrum HVSr dengan frekuensi dominan (f_0) dan amplifikasi mikrotremor (A_0) yang merupakan parameter yang mencerminkan karakteristik dinamika lapisan tanah permukaan. frekuensi dominan (f_0) merupakan frekuensi dari getaran yang terjadi pada saat nilai spektrum amplitudo fourier maksimal. Nilai periode dominan di suatu tempat berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dominannya. Frekuensi dominan dan periode dominan tanah yang dapat ditentukan dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr) dari rekaman mikrotremor (Bard *et al.*, 2004).

Nilai nilai amplifikasi A_0 dan nilai frekwensi f_0 tanah dipengaruhi oleh ketebalan sedimen (*badrock*) dan kecepatan rata-rata gelombang bawah permukaan. Nilai amplifikasi berbanding terbalik dengan kepadatan, dimana semakin tinggi kepadatan batuan di suatu wilayah maka nilai amplifikasi akan semakin berkurang. Sebaliknya Nilai f_0 sebanding dengan kepadatan batuan yaitu semakin tebal sedimen maka akan semakin kecil nilai f_0 ditempat itu. ketebalan lapisan sedimen/lapuk/lunak dan kecepatan bawah permukaan (V_s) sangat mempengaruhi nilai A_0 dan nilai f_0 (Marco Mucciarelli & Gallipoli, 2004). Berikut

ini klasifikasi tanah yang telah dilakukan konversi oleh Kanai dan Tanaka dengan Omite-Nakajima:

Tabel 2-2. Klasifikasi tanah konversi Kanai & Tanaka dengan Omote-Nakajima (Pitilakis & Kakderi, 2011)

Klasifikasi Tanah		Periode Predominan (s)	Frekuensi Predominan (Hz)	Keterangan
Kanai	Omote-Nakajima			
Jenis I	Jenis A	0,05 – 0,15	6,7 - 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras (<i>hardsandy gravel</i>)
Jenis II	Jenis B	0,1 – 0,25	4 – 6,7	Batuan <i>alluvial</i> dengan ketebalan 5m. Terdiri dari pasir keriki (<i>sandy gravel</i>), lempung keras berpasir (<i>sandy hard clay</i>), lempung (<i>loam</i>), dan sebagainya.
Jenis III	Jenis C	0,25 – 0,4	2,5 - 4	Batuan <i>alluvial</i> yang hampir sama dengan tanah jenis II, hanya dibedakan oleh adanya formasi yang belum diketahui (<i>buff formation</i>).
Jenis IV	Jenis D	>0,4	1,4 – 2,5	Batuan <i>alluvial</i> yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, tanah lunak, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lembek, dengan kedalaman 30m.

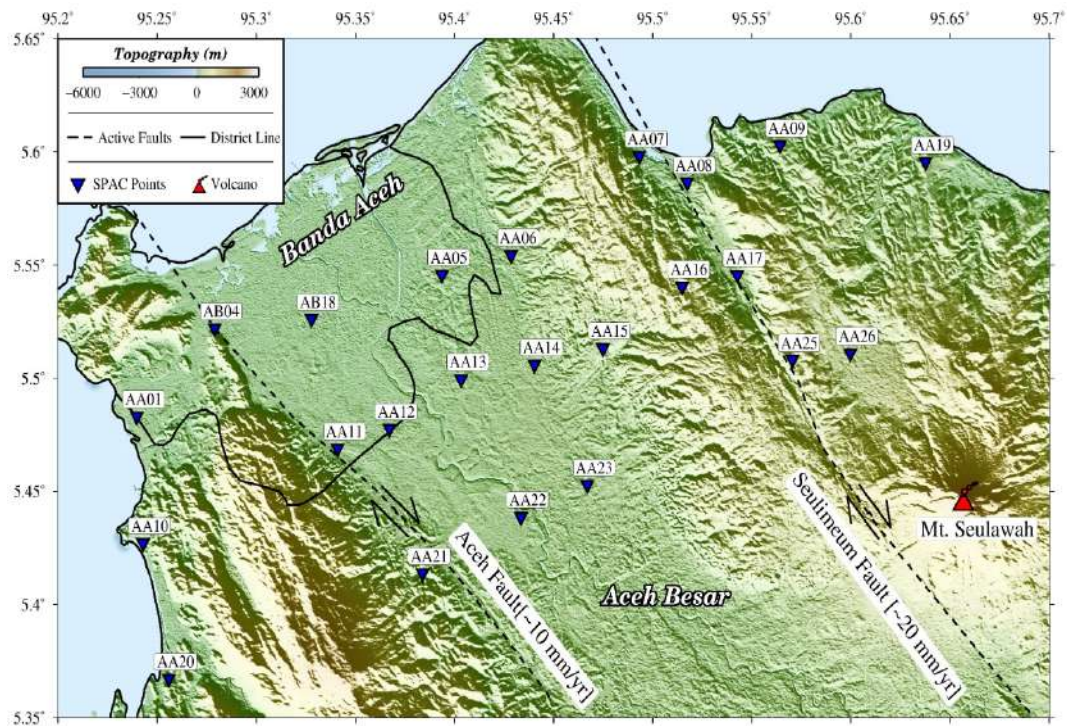
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pengukuran metode HVSr, SPAC dan geomagnetik pada Kawasan Aceh Besar (Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar), selama tahun 2018 dan 2019.

3.1.1 Titik Pengukuran

Pengukuran mikrotremor dan geomagnetik dilaksanakan pada Kawasan segmen Seulimeum di Lamteuba Kecamatan Seulimeum dan Segmen Aceh yaitu di Kecamatan Darul Imarah, Kecamatan Peukan Bada, seperti ditunjukkan pada gambar 4-1 berikut:



Gambar 3-1 Peta Lokasi di Kawasan Aceh Besar

Tabel 3-1. Lokasi dan Jumlah Titik Pengukuran

No	Jenis Pengukuran	Jumlah Titik	Lokasi	Waktu
1.	HVSr/SPAC	9	Lhoknga ke Krueng Raya	Januari-Februari 2020
2.		8	Leupung ke Lampanah	Februari 2020
3.		7	Leupung ke Leungah	Pebruari Maret 2020

3.2 Tahapan Pengukuran Data HVSr dan SPAC

3.2.1 Pengukuran Data Mikrotremor

Pengukuran data mikrotremor dengan metode HVSr yang menggunakan satu seismometer tiga komponen seukuran pita lebar untuk merekam kebisingan seismik ambien. Perekaman kebisingan seismik ambien tersebut mencakup gelombang mikro yang diinduksi oleh angin, gelombang laut, dan aktivitas antropogenik. Oleh karena itu untuk memperoleh data yang valid ada beberapa persyaratan pengukuran harus dipenuhi, sebagai berikut:

Tabel 3-2 Syarat Pengukuran Mikrotremor (Bard *et al.*, 2004)

Jenis Parameter	Saran yang dianjurkan	
Durasi Pencatatan	fg minimum yang diharapkan (Hz)	Durasi pencatatan minimum yang disarankan (menit)
	0.2	30
	0.5	20
	1	10
	2	5
	5	3
	10	2
Posisi Sensor	1. Sensor diletakkan dan diatur langsung pada permukaan tanah atau dengan lempengan kayu atau besi 2. Hindari menempatkan sensor seismograf pada permukaan tanah lunak (lumpur, semak-semak) atau tanah lunak setelah hujan. 3. Hindari pengukuran dekat dengan bangunan, gedung bertingkat, dan pohon yang tinggi, jika tiupan angin di atas ± 5 m/detik. Kondisi ini sangat mempengaruhi hasil analisa HVSR. 4. Hindari pengukuran di lokasi tempat parkir, pipa air dan gorong-gorong.	
Pengaruh Cuaca	1. Angin : Lindungi sensor dari angin (lebih cepat dari 5 m/s). 2. Hujan : Hindari pengukuran pada saat hujan lebat. Hujan ringan tidak memberikan gangguan berarti. 3. Suhu : Bergantung pada sensor dan mengikuti instruksi pabrik.	
Gangguan Lain	1. Sumber monokromatik: hindari pengukuran mikrotremor dekat dengan mesin, industri, pompa air, generator yang sedang beroperasi. 2. Sumber sementara : jika terdapat sumber getar <i>transient</i> (jejak langkah kaki, mobil lewat, motor lewat) tingkatkan durasi pengukuran untuk memberikan jendela yang cukup untuk analisis setelah gangguan tersebut hilang.	

Wilayah yang getaran mikrotremornya tinggi menunjukkan bahwa wilayah tersebut sangat rentan rusak jika terjadi gempa. Pengukuran yang akan dilakukan yaitu survei mikrotremor menggunakan sebuah seismometer yang dipindah-pindah pada 90 titik di kawasan Aceh Besar. Perekaman mikrotremor akan dilakukan masing-masing selama satu jam untuk setiap titik pengukuran dengan frekuensi antara 0-10 Hz.

Indeks kerentanan seismik dapat dikaji dari rasio spektrum horizontal

terhadap vertikal gelombang mikrotremor atau HVSR (Nakamura, 2008). Sebuah daerah mempunyai kerentanan seismik tinggi jika nilai HVSR tinggi pada frekuensi rendah. Dengan menggunakan software *Geopsy* gelombang *transient* berupa gelombang akibat gempa, mobil lewat atau aktivitas lainnya dihilangkan menggunakan 11 metode STA/LTA. Gelombang mikrotremor berdomain waktu diubah jadi domain frekuensi dominan dan periode dominan. Tingkat kerentanan seismik K_g ditentukan sebagai yaitu $K_g = A^2/f_0$ (Nakamura, 1997) dimana f_0 adalah frekuensi resonansi yaitu frekuensi dimana nilai HVSR maksimum yang bernilai A yang dihitung pada setiap titik. Nilai kerentanan seismik pada 90 titik kemudian diinterpolasi dan dibuatkan peta kerentanan seismik untuk Kawasan Aceh Besar.

3.2.1.1 Akuisi Data Mikrotremor dan Analisis Data

Data mikrotremor diperoleh melalui pengukuran dengan menggunakan Seismometer Mark Sensor 1 Hz dengan datalogger DSS cube. Dalam penelitian ini akan direkam gelombang mikroseismik yang merupakan gelombang ambient yang terdapat di alam. Perekaman dilakukan dengan durasi ± 30 menit dan harus sesuai dengan frekuensi dominan (f_0) minimum yang diinginkan berdasarkan rekomendasi dari SESAME (Bard *et al.*, 2004).

3.2.1.2 Analisis Data mikrotremor dengan metode HVSR

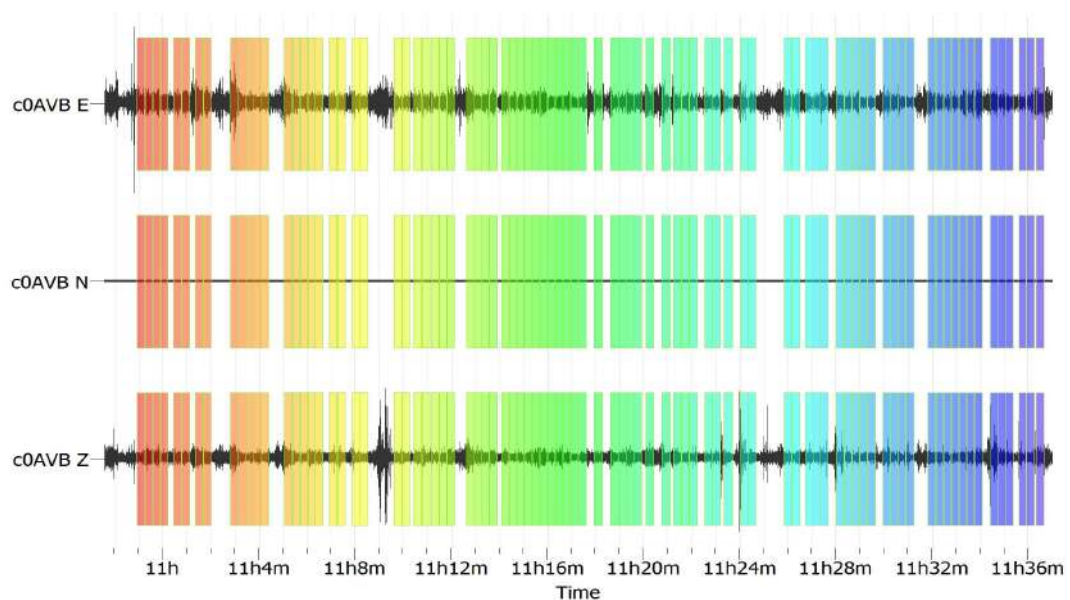
Metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectrum Ratio*) digunakan untuk melakukan analisis data mikrotremor. Data tersebut diperoleh melalui proses perekaman tanah yang menggunakan satu stasiun tunggal dengan tiga komponen (dua komponen horizontal, utara-selatan dan barat-timur dan satu komponen vertikal). Perhitungan data mikrotremor dilakukan melalui perbandingan komponen horizontal dengan komponen vertikal spektrum getaran tanah pada setiap data, yang selanjutnya diakusisi dan dianalisis dengan menggunakan persamaan di bawah ini (Herak, 2008).

$$HVSR = \frac{S_H}{S_V}$$

Keterangan:

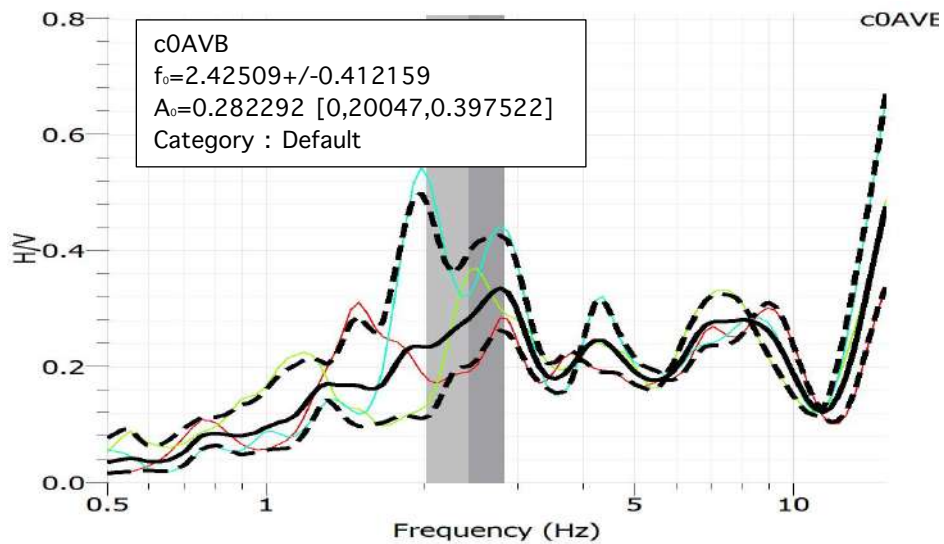
S_H adalah spektrum komponen horizontal data pengukuran mikrotremor
 S_V adalah spektrum vertikal data pengukuran mikrotremor.

Analisis data mikrotremor melalui metode HVSR dapat dilakukan dengan software geopsy dan akan didapatkan gambar spektrum komponen horizontal (utara-selatan dan timur-barat), komponen vertikal (gambar 3-1). Selanjutnya akan diperoleh grafik H/V yang akan menunjukkan nilai amplifikasi (A_0), frekuensi dominan (f_0).



Gambar 3-2. Tiga komponen spektrum (dua horizontal dan satu vertikal)

Gambar 3-1 menunjukkan model tampilan pada aplikasi geopsy yang menunjukkan tiga komponen spektrum hasil pengukuran dengan menggunakan satu stasiun. Ketiga komponen spektrum tersebut masing-masing yaitu spektrum pertama, c0AVB E yang merupakan komponen horizontal timur-barat, kedua, c0AVB N merupakan komponen horizontal pada arah utara-selatan, dan ketiga, c0AVB Z merupakan komponen vertikal. Sedangkan posisi horizontal pada gambar merupakan waktu/lamanya pengukuran. Hasil pengukuran tersebut kemudian diinterpolasi oleh aplikasi geopsy dan ditampilkan dalam grafik hubungan antara H/V terhadap frekuensi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-2.



Gambar 3-3. Grafik H/V (amplifikasi dan frekuensi dominan)

Adapun tahapan-tahapan pengolahan data mikrotremor pada penelitian ini antara lain:

- Data pengukuran (*raw data*) atau data mentah yang telah direkam dikonversi dari domain waktu menjadi domain spektrum (frekuensi). Dari profil hubungan amplitudo dengan frekuensi, maka diperoleh nilai frekuensi dengan amplitudo tertinggi (frekuensi dominan f_0). Nilai amplitudo pada nilai frekuensi dominan adalah nilai amplifikasi A_0 . Dari nilai f_0 dan A_0 maka dapat ditentukan nilai kerentanan seismik K_g .
- Interpolasi dan dibuatkan peta distribusi nilai f_0 , A_0 , dan K_g untuk wilayah Segmen Aceh dan Segmen Seulimeum, (contoh seperti gambar 3-3).
- Interpretasi tipe tanah, ketebalan sedimen kemudian tingkat kerentanan seismik.

Indeks kerentanan seismik merupakan salah satu parameter yang menunjukkan tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap ancaman resiko gempa bumi. Hubungan Indeks kerentanan seismik dengan tingkat resiko gempa bumi terhadap kerusakan akibat gempa bumi menunjukkan hubungan yang linear. Untuk setiap titik ukur, nilai indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai amplifikasi (A_0) kemudian dibagi dengan nilai frekuensi dominan (f_0) yang didapatkan pada spektrum HVSR

sebagaimana yang ditunjukkan dengan persamaan :

$$K_g = \frac{A_0^2}{f_0}$$

Keterangan:

K_g : adalah tingkat kerentanan seismik

A_0 : adalah nilai amplifikasi

f_0 : adalah nilai frekuensi dominan

3.2.2 Akuisisi data kecepatan gelombang geser

Penentuan kecepatan gelombang seismik diturunkan dari kecepatan rata-rata gelombang geser. Kecepatan ini diturunkan dari data gelombang seismik yang direkam pada array seismik yang terdiri dari tiga *geophone* 5 Hz yang dipasang secara segitiga. Gambar 4.4 menunjukkan konfigurasi lapangan

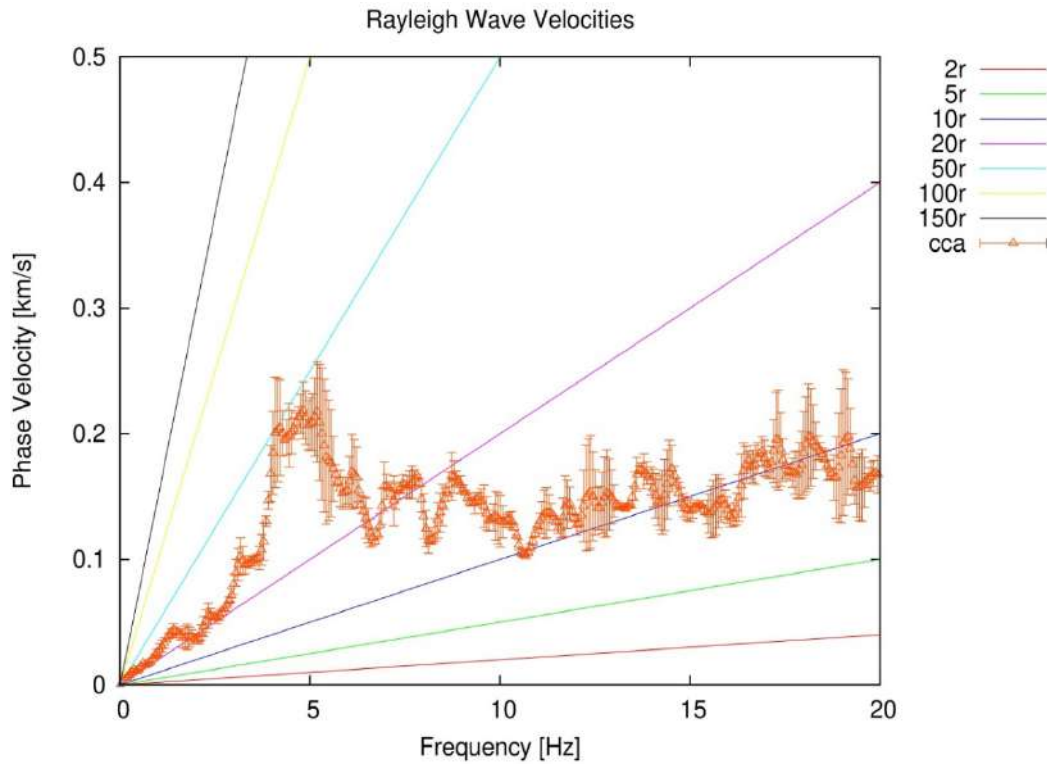


Gambar 3-4 Susunan geophone 5 Hz dengan array segitiga untuk mengukur gelombang seismik

3.2.3 Pengolahan data

Tahapan setelah pengukuran adalah pengolahan data. Data yang diperoleh merupakan data berupa sinyal dalam domain waktu (*time domain*), maka dilakukan transformasi dengan *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk mendapatkan data domain

frekuensi serta pembuatan kurva dispersi yang menunjukkan hubungan nilai frekuensi terhadap kecepatan gelombang seismik untuk keseluruhan *geophone*. Selanjutnya melakukan proses inversi kurva dispersi sehingga didapatkan model kecepatan bawah permukaan dengan rms (root mean square) terkecil.



Gambar 3-5 Penentuan kecepatan gelombang S rata-rata (V_s) dari dispersi permukaan.

Berdasarkan kurva dispersi seperti pada Gambar 2 akan ditentukan kecepatan rata-rata gelombang geser berdasarkan garis radius yang berpotongan pada frekuensi tertentu. Hasil yang diperoleh kemudian digunakan dalam perhitungan untuk mendapatkan nilai kecepatan setiap lapisan yang diinginkan.

$$\frac{AV_{S_{0-10}} + AV_{S_{10-20}}}{2} = AV_{S_{0-20}}$$

Keterangan:

$AV_{S_{0-10}}$: Kecepatan rata-rata pada jarak 0-10 (r)

$AV_{S_{10-20}}$: Kecepatan rata-rata pada jarak 10-20 (r)

AV_{s0-20} : Kecepatan rata-rata pada jarak 0-20 (r)

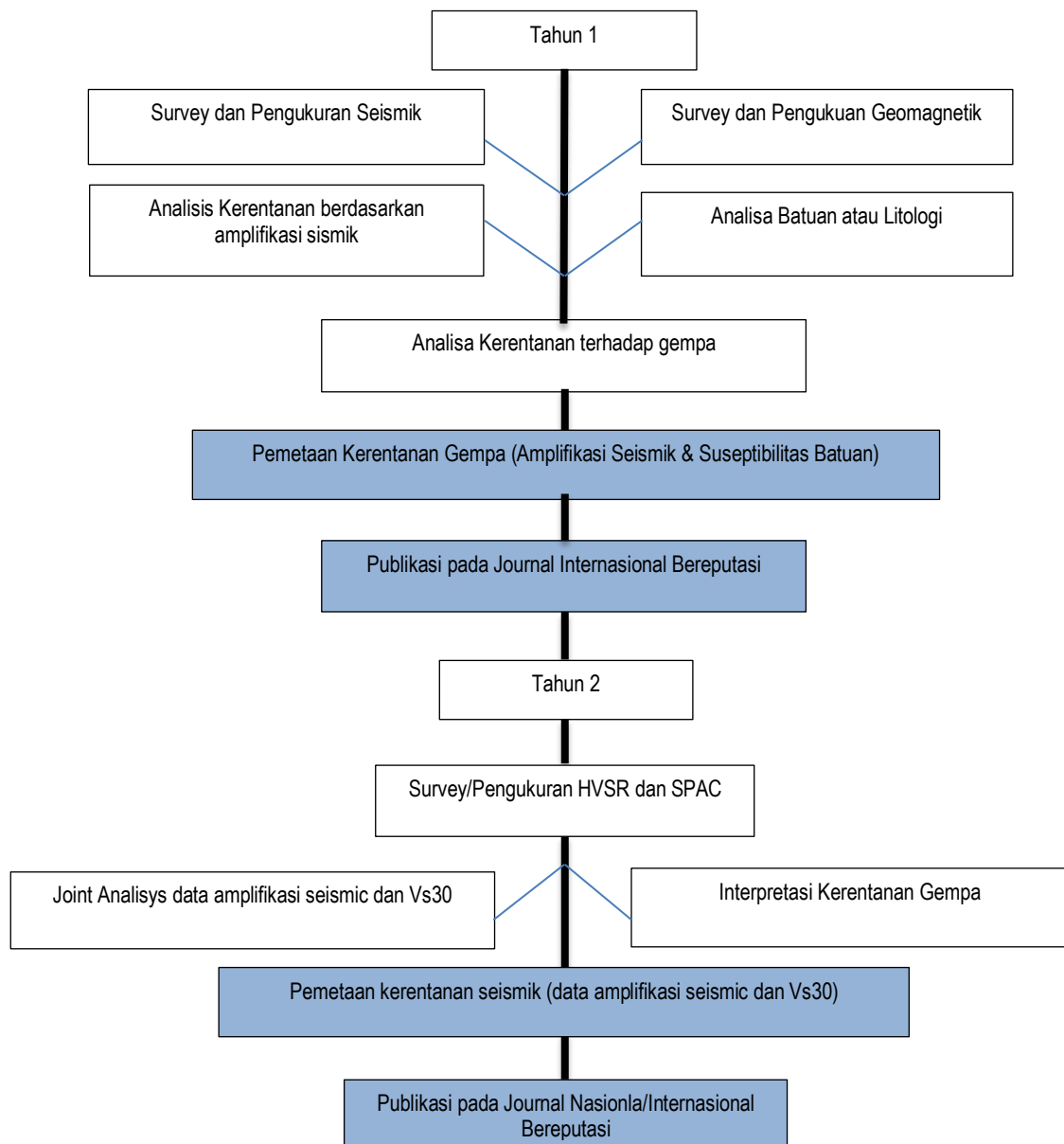
Selanjutnya hasil perhitungan nilai V_s tersebut akan diklasifikasikan berdasar tabel Standar Nasional Indonesia (SNI). Tabel tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 3-3 Klasifikasi Tanah berdasarkan Kecepatan Geser V_s (SNI 1726-2012)

Klasifikasi Situs	Deskripsi Umum	V_s (m/dt)	N	S_u (KPa)
SA	Batuan Keras	$V_s \geq 1500$	N/A	N/A
SB	Batuan	$750 < V_s \leq 1500$	N/A	N/A
SC	Tanah sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$	$N > 50$	$S_u \geq 100$
SD	Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$	$15 \leq N \leq 50$	$50 \leq S_u \leq 100$
SE	Tanah Lunak	$V_s < 175$	$N < 15$	$S_u < 50$
		Setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3m dengan karakteristik sebagai berikut : $PI > 20$ Kadar air $\geq 40\%$ Kuat geser tak terdrainase $S_u < 25 \text{ KPa}$		
SF	Tanah Khusus	Membutuhkan evaluasi khusus		

3.2.4 Diagram Penelitian

Berdasarkan beberapa uraian sebelumnya, secara umum langkah-langkah kerja pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4-6 diagram penelitian:



Gambar 3-6. Diagram Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Titik Pengukuran

Pada tahap ini penelitian dilakukan dengan melaksanakan survey kerentanan gempa dengan menggunakan metode HVSR dan SPAC pada kawasan Aceh Besar, sebanyak 24 titik pengukuran. Pengukuran/survey dilakukan pada titik-titik tersebut yang berlokasi di Kawasan Aceh Besar yang membentuk garis-garis yang membentang dan memotong segmen Aceh dan segmen Seulimeum. Pengukuran/survey metode HVSR dan SPAC ini dilakukan dengan menggunakan satu set seismograf dan peralatan SPAC yang masing-masing titik disurvey selama 30 menit.

4.1.1 Survey I

Pengukuran mikrotremor dan SPAC batuan pada titik/koordinat tersebut dilakukan untuk menentukan besaran/tingkat kerentanan seismik di wilayah yang berada/berdekatan dengan Kawasan sesar/segmen Seulimeum dan segmen Aceh. Kerentanan seismic yang dimaksud berkaitan dengan seberapa besar akibat gempa bumi pada suatu Kawasan sangat bergantung pada material atau lapisan tanah/batuan dan Kawasan pemukiman serta kualitas pembangunannya pada Kawasan tersebut (Michellier, Pigeon, Kervyn, & Wolff, 2016; Nakamura, 2000).

Tabel 4-1 Titik Lokasi Survey I

No	Titik	LONGITUDE	LATITUDE
1	AA01	95,239662	5,483069
2	AA04	95,352588	5,5351
3	AA05	95,393639	5,545723
4	AA06	95,428567	5,55445
5	AA07	95,493155	5,598203
6	AA08	95,517319	5,586484
7	AA09	95,564097	5,602946
8	AA10	95,242819	5,427174

9	AA11	95,340989	5,468878
10	AA12	95,367209	5,477651
11	AA13	95,403269	5,499698
12	AA14	95,440313	5,505964
13	AA15	95,474835	5,513287
14	AA16	95,514863	5,540604
15	AA17	95,542639	5,545636
16	AA19	95,63759	5,595472
17	AA20	95,245881	5,352278
18	AA21	95,383789	5,413772
19	AA22	95,433465	5,438638
20	AA23	95,467029	5,452954
21	AA25	95,570488	5,508096
22	AA26	95,599676	5,511004
23	AB04	95,27898	5,52206
24	AB18	95,32777	5,52613

4.1.2 Titik Survey II

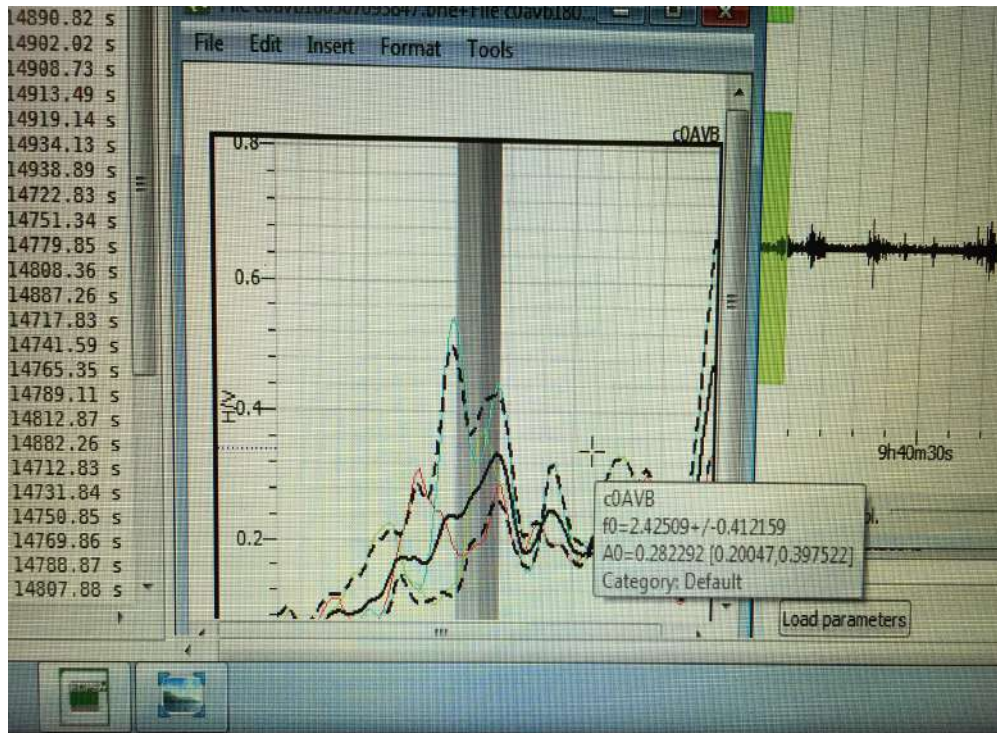
Tabel 4-2 Titik Lokasi Survey II

No	Titik	Latitude	Longitude
1	S01	5.50270	95.25439
2	S02	5.510389	95.260661
3	S03	5.516348	95.266813
4	S04	5.524514	95.273927
5	S05	5.529082	95.300321
6	S06	5.536782	95.287947
7	S07	5.542707	95.295519
8	S08	5.549496	95.301394
9	S09	5.556002	95.309154
10	S10	5.564399	95.314263
11	S11	5.48979	95.26131

12	S12	5.50071	95.27131
13	S13	5.506987	95.279014
14	S14	5.518353	95.283128
15	S15	5.521501	95.293135
16	S16	5.527538	95.300321
17	S17	5.532138	95.307087
18	S18	5.539214	95.314738
19	S19	5.545915	95.321197
20	S20	5.546190	95.326259

4.2 Pengolahan Data dengan Aplikasi Geopsy

Aplikasi Geopsy adalah salah satu aplikasi yang digunakan untuk pengolahan data metode HVSR yang dapat menentukan frekwensi dominan dan sekaligus dapat menentukan nilai ampifikasi tanah (Bard et al., 2004; Partono, Windu; Irsyam, Mansyur; Prabandiyani, Sri RW; Maarif, 2013). Selanjutnya berdasarkan nilai dari frekwensi dominan dan amplifikasi tersebut dapat menentukan nilai kerentanan seismic pada titik tertentu. Berikut adalah tampilan aplikasi geopsy yang digunakan untuk mengolah data pengukuran microtremor di Kawasan Aceh Besar:



Gambar 4-1 Tampilan layar aplikasi geopsy dalam analisis data mkrotremor

Gambar 4-1 di atas menunjukkan tampilan layar aplikasi geopsy pada pengolahan data HVSR, gambar tersebut menunjukkan nilai frekwensi dominan (f_0) dan nilai amplifikasi tanah (A_0). Selanjutnya berdasarkan kedua nilai tersebut peneliti dapat menghitung nilai kerentanan seismic (K_g).

4.3 Kerentanan Seismik

Data yang diperoleh pada survey mikrotremor pada titik yang telah ditentukan selanjutnya dianalisis menggunakan software Geopsy. Berdasarkan hasil Analisa diperoleh data frekuensi dominan dan data amplifikasi serta dapat dihitung nilai kerentanan seimik (K_g).

Tabel 4-3 Nilai Frekuensi Dominan, Amplifikasi, dan Kerentanan Seismik

No.	Station	Longitude	Latitude	F ₀	A ₀	Kg
1	AA01	95.239662	5.483069	2.71131	3.88649	5,571036
2	AA04	95.352588	5.535100	2.48118	1.03867	0,434807
3	AA05	95.393639	5.545723	2.74690	7.23156	19,037992
4	AA06	95.428567	5.554450	3.03922	1.68237	0,931281
5	AA07	95.493155	5.598203	2.93518	1.60391	0,876446
6	AA08	95.517319	5.586484	2.30441	1.73804	1,310870
7	AA09	95.564097	5.602946	2.85782	3.35485	3,938323
8	AA10	95.242819	5.427174	1.31374	1.19244	1,082340
9	AA11	95.340989	5.468878	2.68332	5.88089	12,888834
10	AA12	95.367209	5.477651	5.59816	0.95852	0,164118
11	AA13	95.403269	5.499698	2.56927	2.88374	3,236700
12	AA14	95.440313	5.505964	0.80050	1.03464	1,337257
13	AA15	95.474835	5.513287	2.19988	1.22638	0,683677
14	AA16	95.514863	5.540604	4.01131	1.54332	0,593780
15	AA17	95.542639	5.545636	3.81298	4.02166	4,241761
16	AA19	95.637590	5.595472	6.94645	2.68965	1,041427
17	AA20	95.245881	5.352278	4.98067	6.11112	7,498145
18	AA21	95.383789	5.413772	2.97729	1.19535	0,479920
19	AA22	95.433465	5.438638	7.41756	6.32608	5,395209
20	AA23	95.467029	5.452954	5.73773	2.26043	0,890517
21	AA25	95.570488	5.508096	2.54047	7.59113	22,682911
22	AA26	95.599676	5.511004	4.81681	3.48147	2,516320
23	AB04	95.278980	5.522060	7.81429	0.252352	0,008149
24	AB018	95.327770	5.526130	2.53231	0.857269	0,290213

4.4 Klasifikasi Tanah

Berdasarkan nilai frekuensi dominan pada tabel 5-3, dan merujuk pada tabel 2-2 klasifikasi tanah konversi Kanai & Tanaka dengan Omote-Nakajima (Pitilakis & Kakderi, 2011), maka dapat dibuat pembagian jenis dan klasifikasi tanah dititik survey. Data klasifikasi tanah pada lokasi survey di Kawasan Acah Besar adalah sebagai berikut:

Tabel 4-4 Spesifikasi/Jenis Tanah berdasarkan Kanai & Tanaka di Lokasi Pengukuran Lamteuba

Klasifikasi Tanah	Range Frekuensi Dominan (Hz)	No	Titik Ukur	f_0	Jenis Tanah
Jenis I	6,7 – 20	1	AA01	7.81429	Batuan Tersier (padat/keras)
		2	AA19	6.94645	
		3	AA22	7.41756	
Jenis II	4,0 – 6,7	1	AA12	5.59816	Batu Alluvial (Lempung Keras)
		2	AA16	4.01131	
		3	AA20	4.98067	
		4	AA23	5.73773	
		5	AA26	4.81681	
Jenis III	2,5 – 4,0	1	AA01	2.71131	Tanah Alluvial (<i>buff formation</i>)
		2	AA05	2.74690	
		3	AA06	3.03922	
		4	AA07	2.93518	
		5	AA09	2.85782	
		6	AA11	2.68332	
		7	AA13	2.56927	
		8	AA17	3.81298	
		9	AB18	2.53231	
		10	AA21	2.97729	
		11	AA25	2.54047	
Jenis IV	1,4 – 2,5	1	AA04	2.48118	Batuan Sedimen (endapan/lumpur)
		2	AA08	2.30441	
		3	AA10	1.31374	
		4	AA14	0.800504	
		5	AA15	2.19988	

Klasifikasi tanah berdasarkan nilai frekwensi dominan tabel 5-4 di atas bahwa pada Kawasan Aceh Besar (lokasi pengukuran) terdapat 16 titik batuan lunak/sedimen/badrock yang terdiri atas 5 titik batuan sedimen (endapan/lumpur)

dan 11 titik tanah alluvial (tanah keras). Sementara untuk 8 titik lainnya terdiri atas batuan Alluvial dan Batuan Tersier yang merupakan batuan keras.

4.5 Kecepatan Geser Vs30 inversi aplikasi geopsy

Dengan menggunakan aplikasi geopsy, data HVSR dapat menentukan besaran nilai kecepatan geser gelombang S (Vs). Data kecepatan Vs disetiap titik pada kedalaman 30 m ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4-5 Data Nilai Kecepatan Geser (Vs) Rata-rata pada Kedalaman 30 m

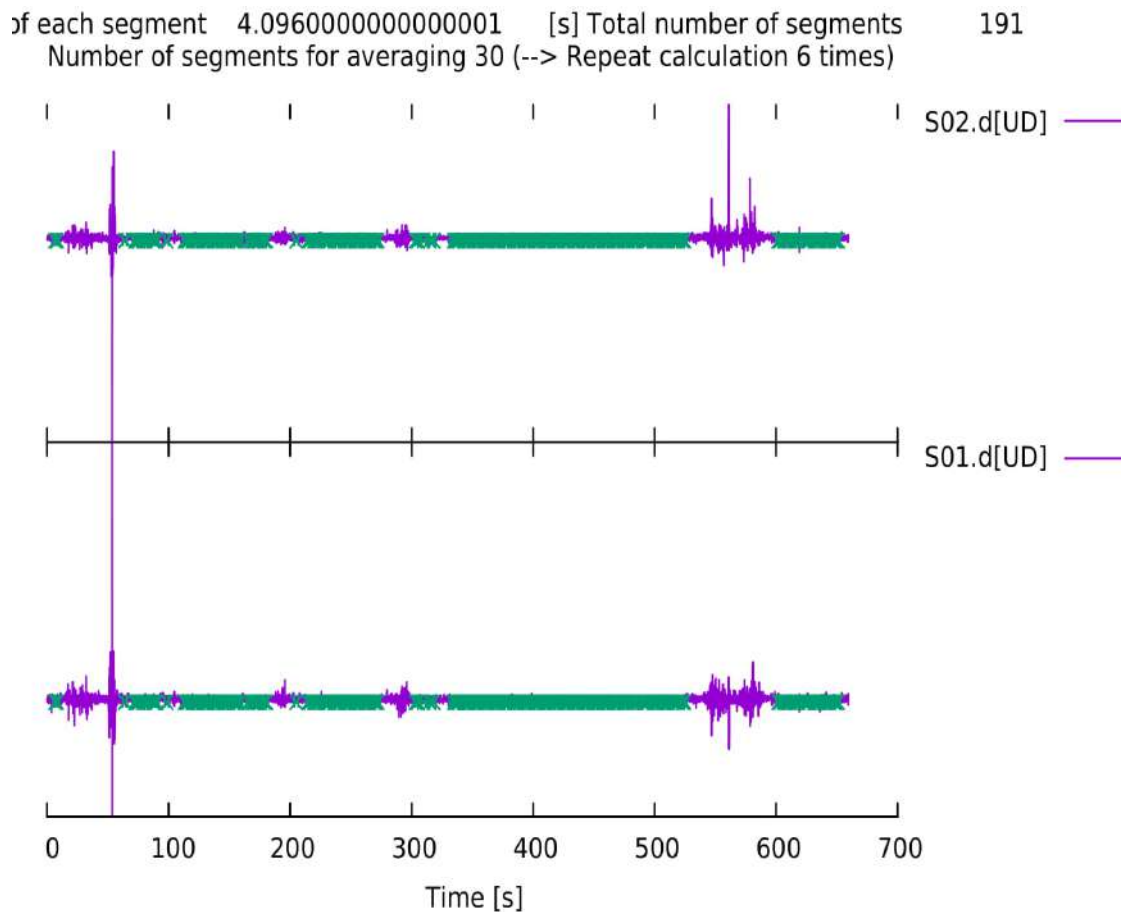
No	Titik	Longitude	Latitude	F ₀	A ₀	Vs30 (m/s)
1	AA01	95.239662	5.483069	2.71131	3.88649	329.4469478679
2	AA04	95.352588	5.5351	2.48118	1.03867	371.4736653703
3	AA05	95.393639	5.545723	2.7469	7.23156	350.9873970429
4	AA06	95.428567	5.55445	3.03922	1.68237	336.5593451425
5	AA07	95.493155	5.598203	2.93518	1.60391	338.5390720492
6	AA08	95.517319	5.586484	2.30441	1.73804	322.6977097671
7	AA09	95.564097	5.602946	2.85782	3.35485	332.8897482588
8	AA10	95.242819	5.427174	1.31374	1.19244	293.8105873938
9	AA11	95.340989	5.468878	2.68332	5.88089	266.3253370817
10	AA12	95.367209	5.477651	5.59816	0.95852	375.84388965
11	AA13	95.403269	5.499698	2.56927	2.88374	283.778352756
12	AA14	95.440313	5.505964	0.800504	1.03464	382.8953184638
13	AA15	95.474835	5.513287	2.19988	1.22638	308.7220051714
14	AA16	95.514863	5.540604	4.01131	1.54332	325.1730221499
15	AA17	95.542639	5.545636	3.81298	4.02166	325.2268813325

16	AA19	95.63759	5.595472	6.94645	2.68965	315.0414888047
17	AA20	95.245881	5.352278	4.98067	6.11112	345.059236124
18	AA21	95.383789	5.413772	2.97729	1.19535	329.8493863819
19	AA22	95.433465	5.438638	7.41756	6.32608	322.0580620922
20	AA23	95.467029	5.452954	5.73773	2.26043	331.0372388128
21	AA25	95.570488	5.508096	2.54047	7.59113	314.5288890044
22	AA26	95.599676	5.511004	4.81681	3.48147	321.2737999304
23	AB04	95.27898	5.52206	7.81429	0.252352	150.6009006002
24	AB18	95.32777	5.52613	2.53231	0.857269	220.5312471648

4.6 Analisis Kecepatan Rata-Rata Gelombang Geser (AVs)

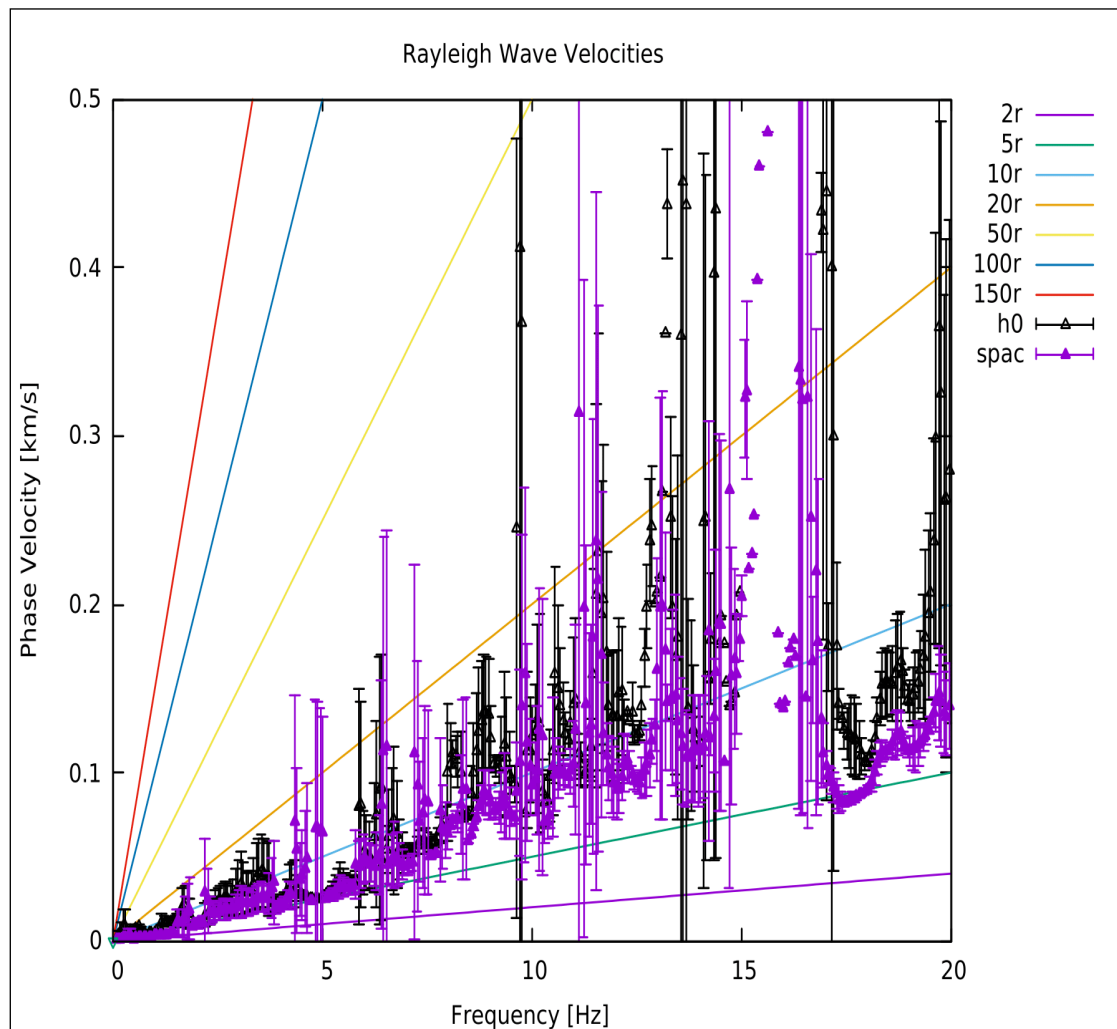
Tahapan dalam metode SPAC diawali dengan melakukan akuisisi data di 23 titik pengukuran. Akuisisi data lapangan dilakukan selama 15 menit di setiap pengukuran. Data yang didapatkan berupa gelombang permukaan, yang kemudian dilakukan pemisahan gelombang mikrotremor. Setelah itu maka di setiap titik pengukuran akan didapatkan sejumlah segmen data. Besar segmen data adalah 4 detik, supaya data yang didapatkan lebih banyak. Gambar 4-2 merupakan hasil pemisahan gelombang mikrotremor dengan sejumlah gelombang yang memiliki amplitudo besar yang bisa jadi bersumber dari kendaraan yang lewat pada saat pengukuran atau sumber spesifik lainnya.

Pada titik AA01 diperoleh 191 bagian (segmen) gelombang. Terlihat pada kurva bahwa di beberapa bagian waktu terdapat noise yang cukup besar. Noise tersebut bisa berasal dari aktivitas yang dekat dengan tempat pengukuran data seperti kendaraan yang lewat.



Gambar 4-2 Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA01

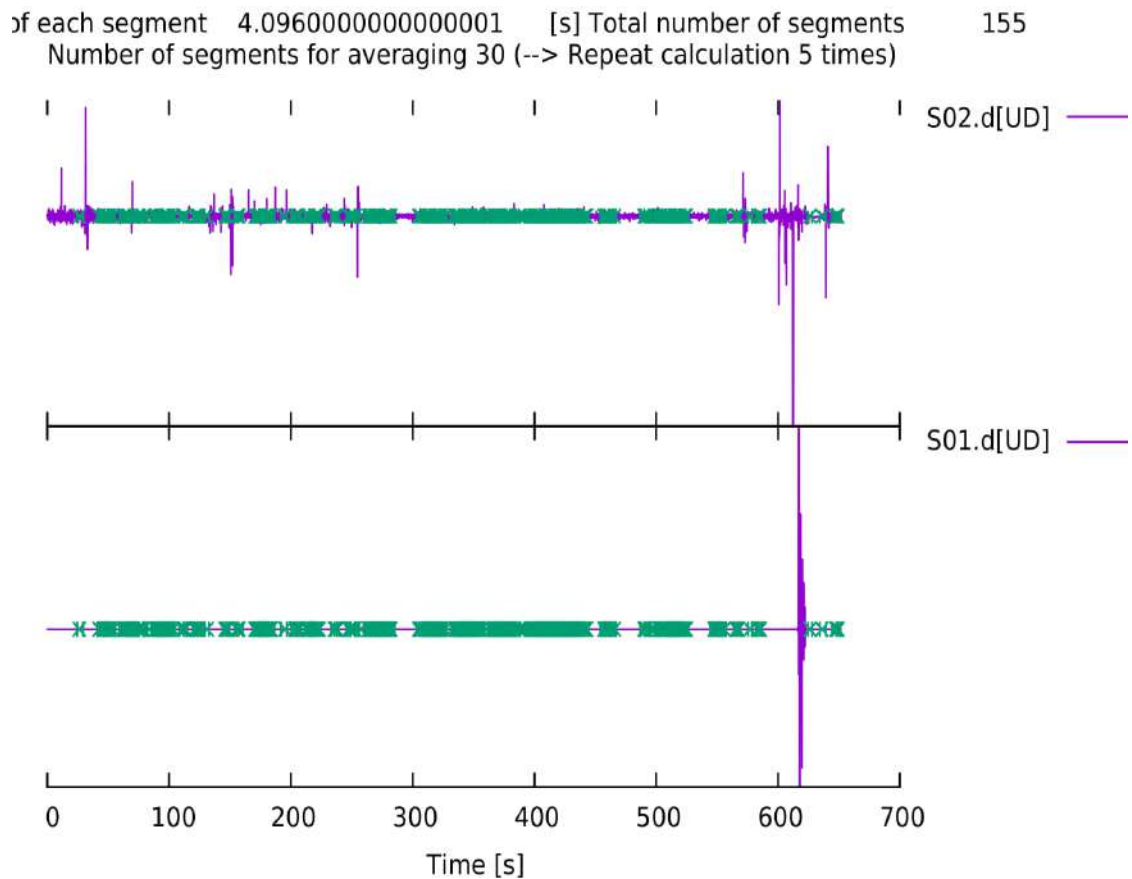
Rekaman data yang diperoleh pada saat pengukuran dan setelah pemisahan dengan *noise* masih berupa sinyal dalam domain waktu (time domain). Data domain waktu tersebut selanjutnya ditransformasikan menjadi sinyal dalam domain frekuensi dengan menggunakan transformasi fourier dan dilanjutkan ke tahap inversi. Hasil dari proses inversi tersebut akan diperoleh garis radius yang diartikan sebagai kedalaman dalam bentuk kurva dispersi yang merupakan hubungan perbandingan kecepatan fase dengan frekuensi penjalaran gelombang. Gambar 4-3 merupakan kurva dispersi di titik AA01. Hasil tersebut menunjukkan hubungan antara frekuensi dengan kecepatan fase gelombang Vs, proses selanjutnya adalah menentukan nilai kecepatan rata-rata gelombang geser berdasarkan garis radius.



Gambar 4-3 Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA01

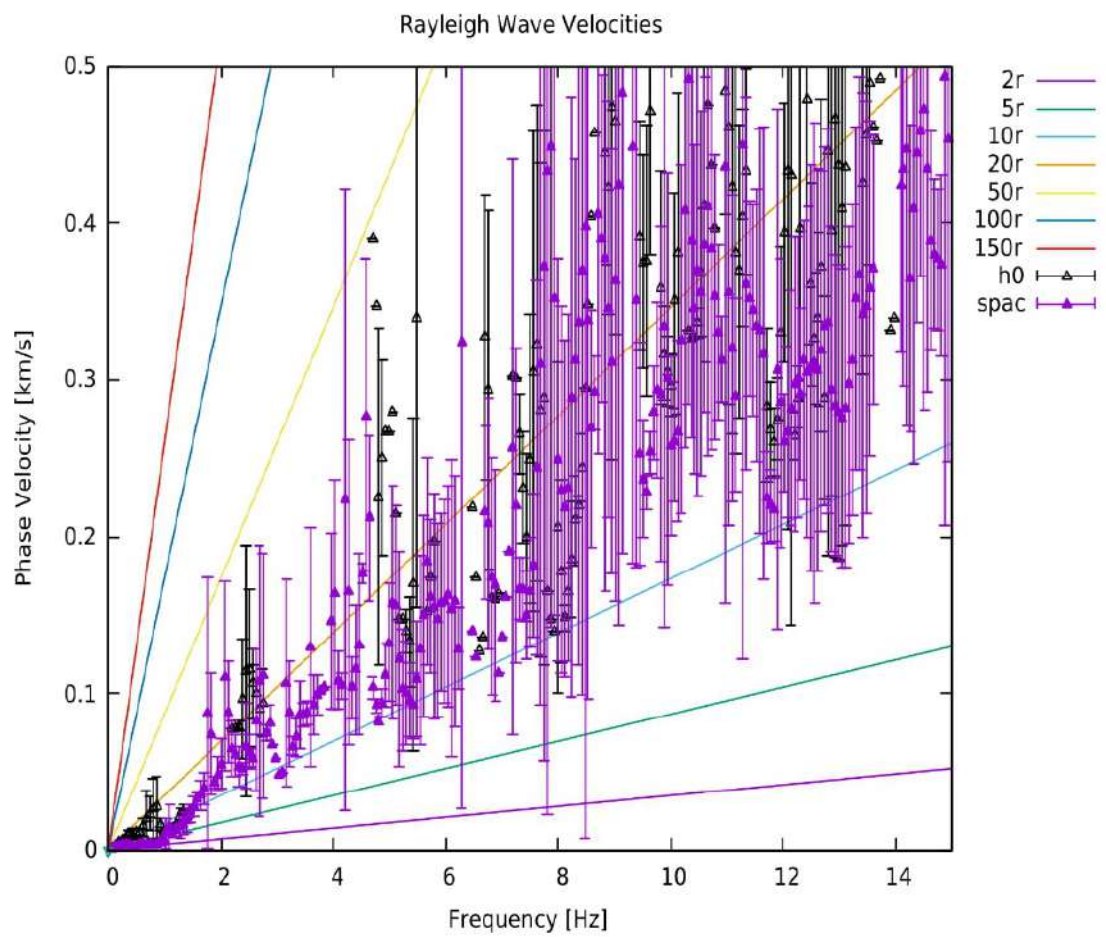
Terdapat beberapa garis radius, mulai dari garis 5r, 10r, 20r sampai dengan garis radius 150r (Gambar 2) Penentuan besar nilai kecepatan rata-rata gelombang Vs dilakukan dengan cara mengambil satu titik pada garis radius yang berpotongan dengan kecepatan gelombang pada frekuensi tertentu. Kurva disperse menunjukkan radius dalam pengukuran mikrotremor metode SPAC adalah 1,73 meter, jadi 5r, 10r dan 20r diartikan dengan kedalam ~9 meter, ~18 meter, ~35 meter. Hasil untuk titik AA01 adalah 120 m/s kecepatan gelombang Vs pada kedalaman ~9 meter, 160

m/s pada kedalaman ~18 meter dan di kedalaman ~35 meter kecepatan gelombang Vs sebesar 220 m/s.

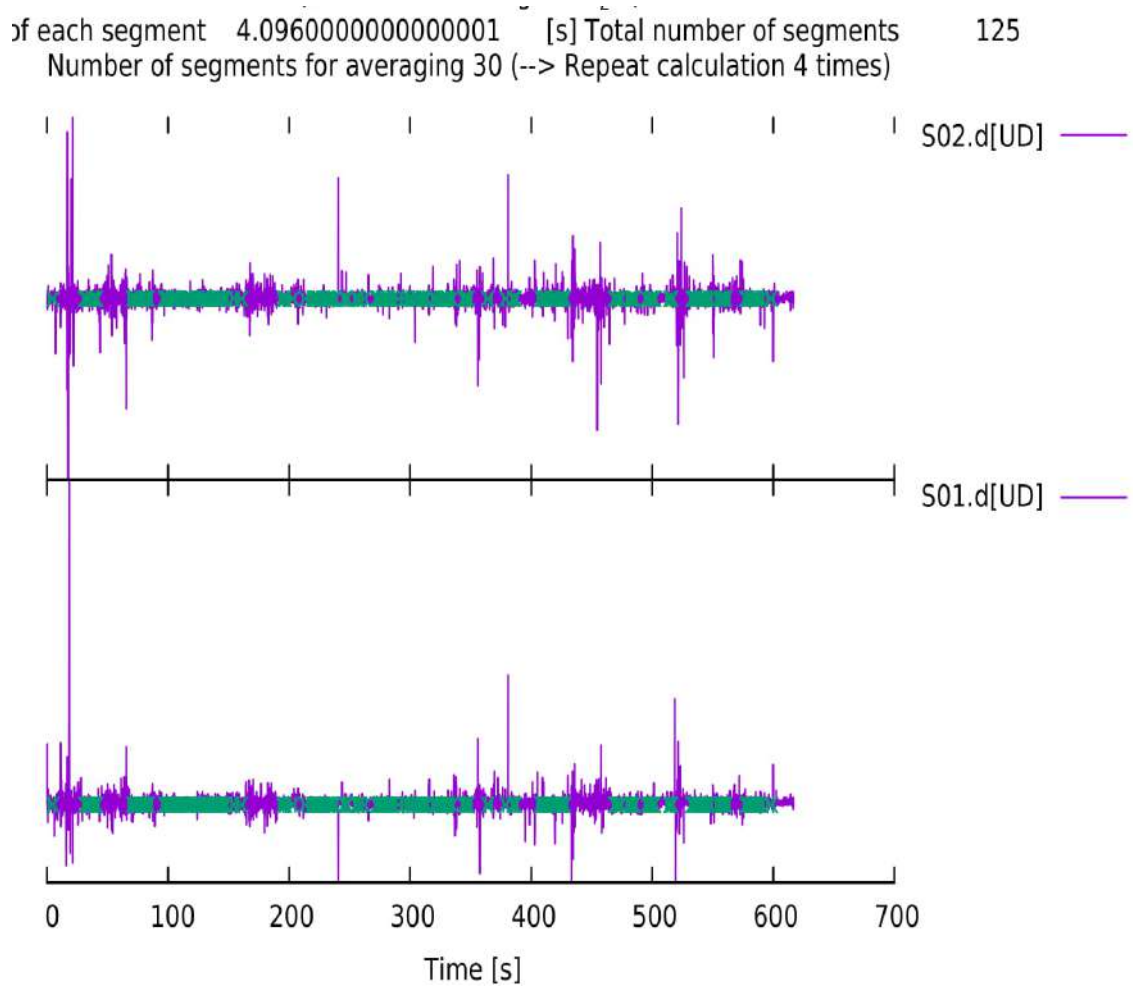


Gambar 4-4 Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA05

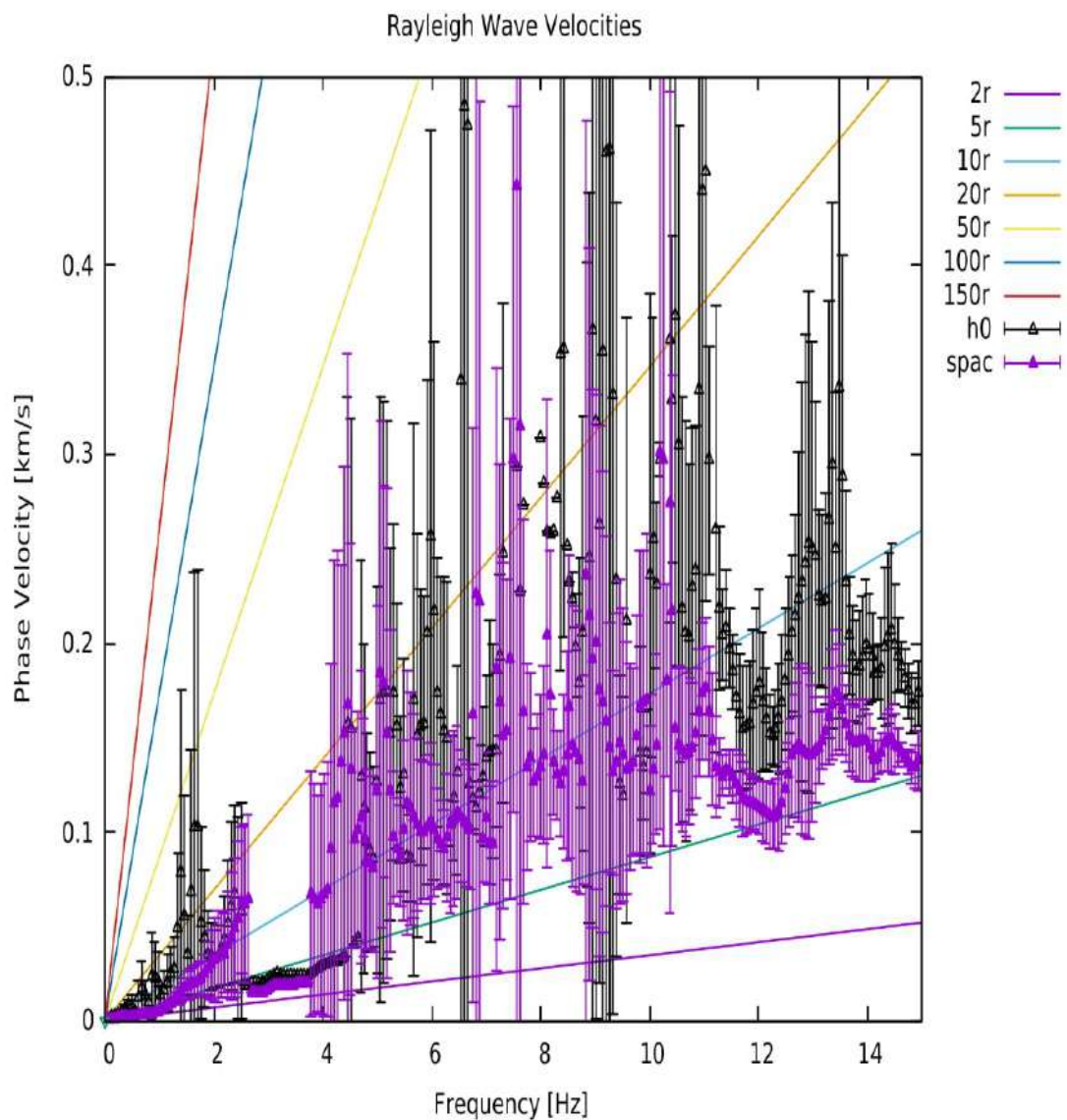
Jumlah segmen hasil emisahan gelombang di titik AA05 sebanyak 155 segmen. Pada Gambar 4-4. Terlihat lebih sedikit noise yang terekam pada alat. Untuk hasil kecepatan gelombang Vs di titik AA05 bisa dilihat pada Gambar 4-5. Pada kedalaman ~9 ~18 dan ~36 meter berturut turut besar kecepatan gelombang Vs adalah 100m/s, 160m/s dan 240m/s.



Gambar 4-5. Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA05



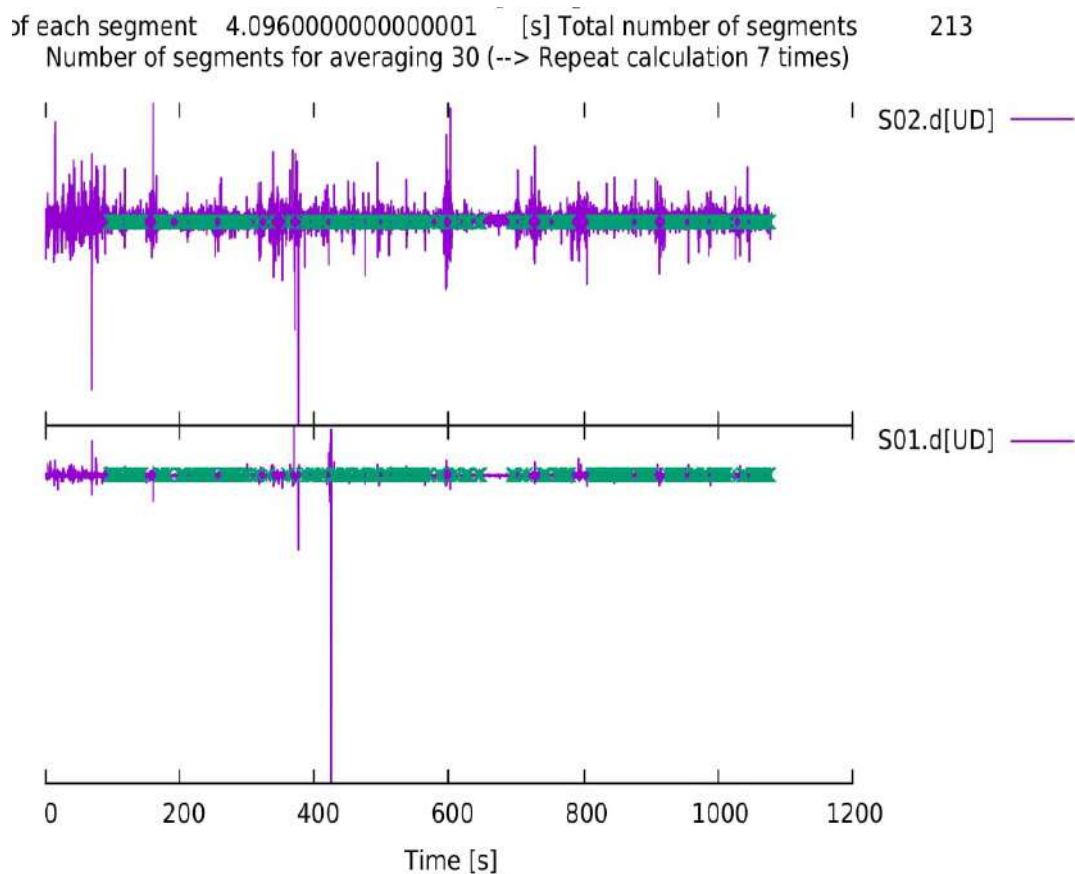
Gambar 4-6. Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA06



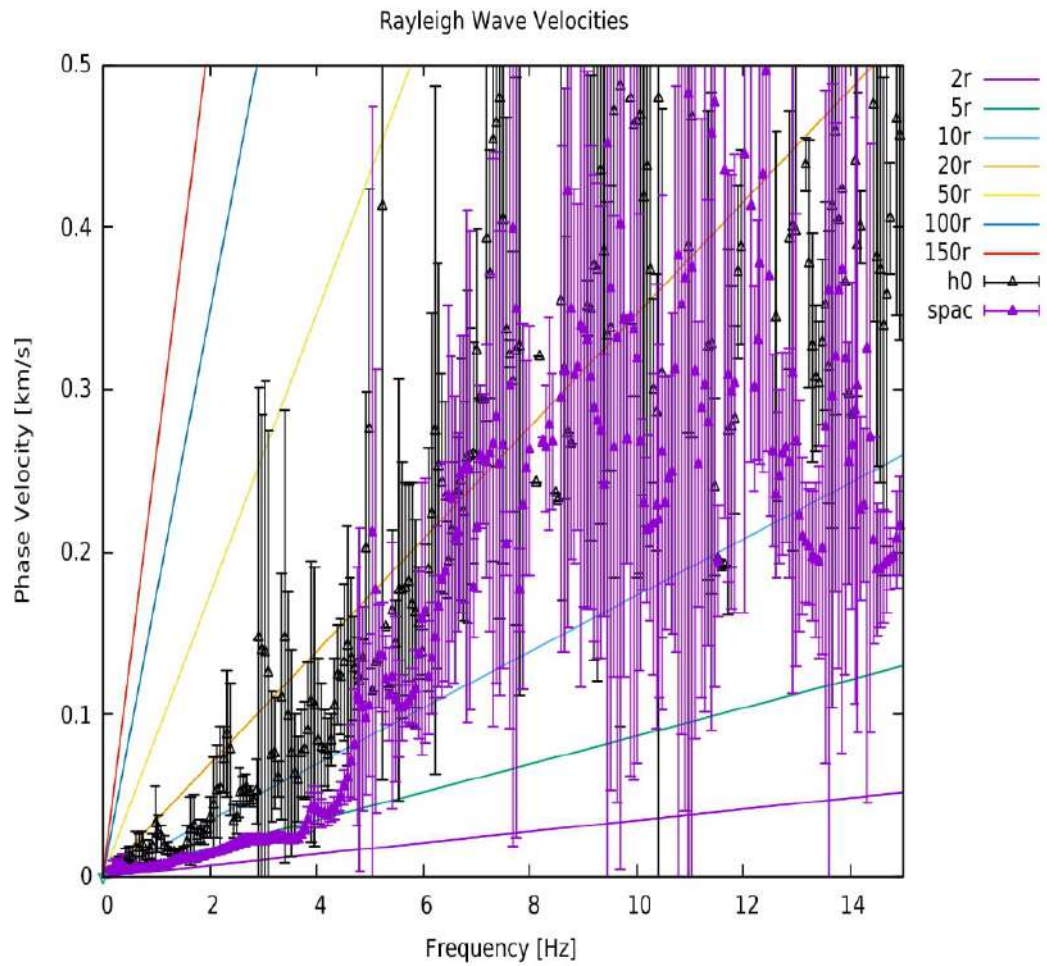
Gambar 4-7. Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA06

Titik AA06 yang berkoordinat di 95.42857 dan 5.55445 jumlah segmen data yang diperoleh adalah sebanyak 125 segmen. Jumlah noise yang terekam lebih bervariasi di selang waktu tertentu. Noise disebabkan oleh angin yang cukup kencang pada saat pengukuran dilakukan. Kecepatan gelombang Vs di titik AA06 90 m/s, 140 m/s dan 200m/s yang bias dilihat pada Gambar 4-7.

jumlah segmen yang didapat di titik AA07 lebih banyak dibandingkan AA0 yaitu sebanyak 225 segmen. Jumlah segmen yang lebih banyak ini didapatkan karena waktu pengukuran di titik AA07 lebih lama jika dibandingkan dengan AA05 (Gambar 7). Jumlah waktu yang dilebihkan karena pada saat pengukuran noise pada daerah titik AA07 lebih banyak dan memiliki frekuensi yang besar yang terlihat jelas pada Gambar 4-8. Hasil akhir di Titik AA07 didapatkan nilai kecepatan gelombang Vs adalah sebesar 120 m/s 180m/s dan 260 m/s pada setiap kedalaman yang berbeda.

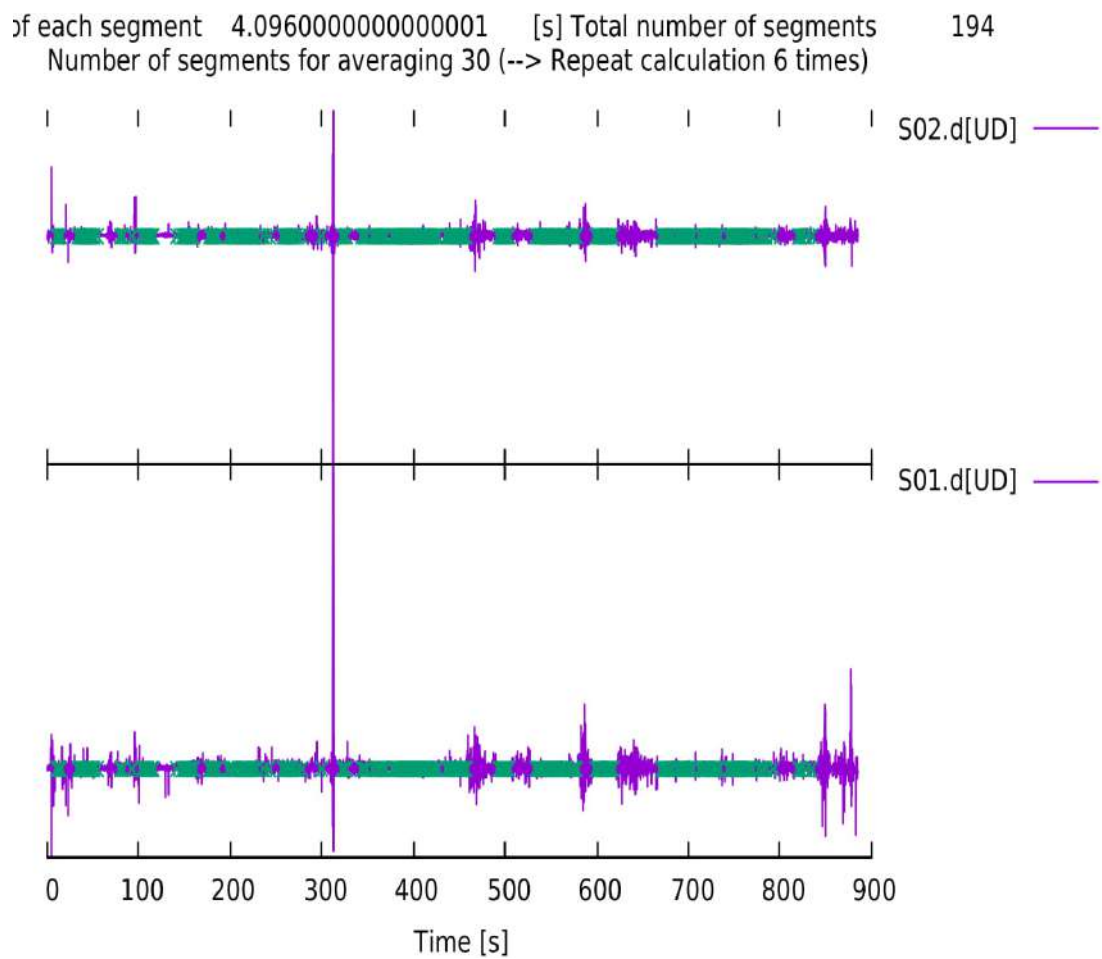


Gambar 4-8. Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA07

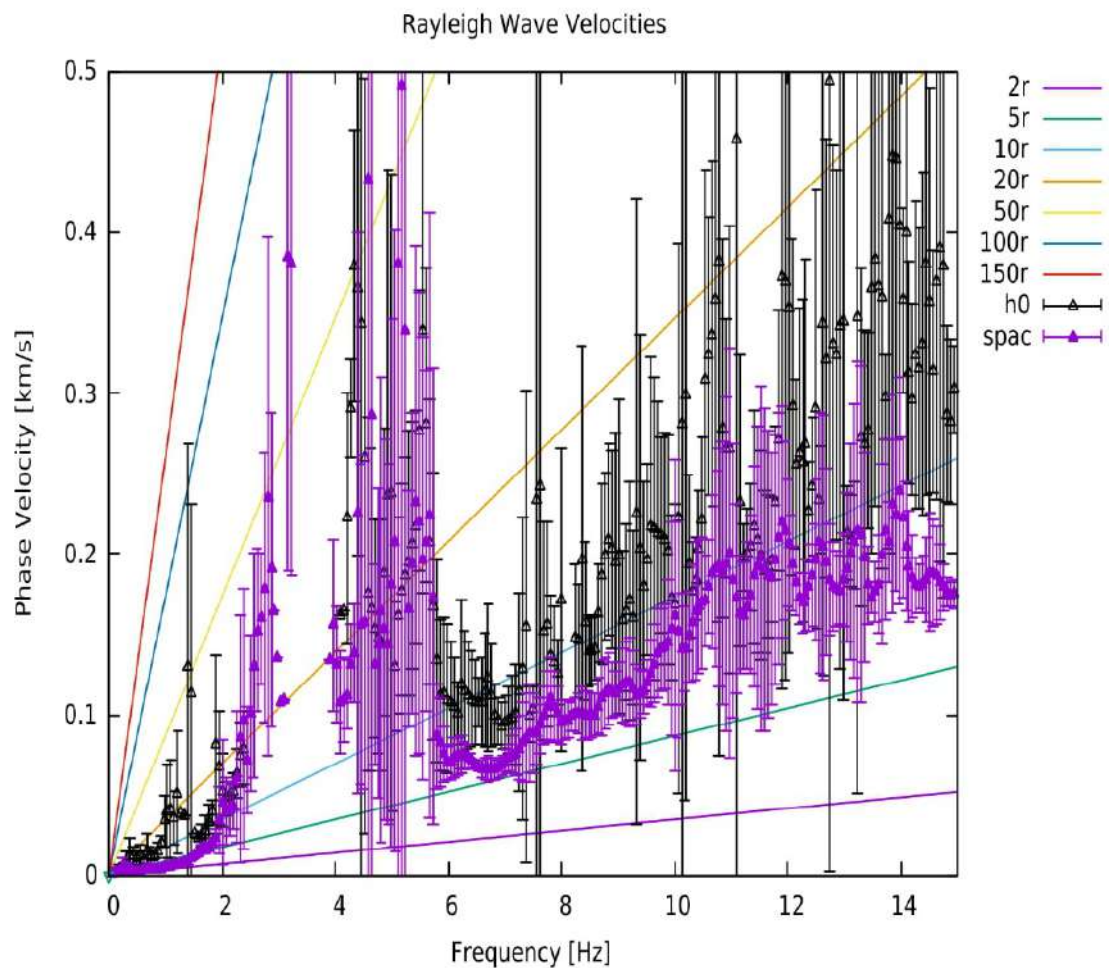


Gambar 4-9. Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA07

Jumlah total segmen sebanyak 194 segmen dengan hasil akhir kecepatan gelombang Vs pada kedalaman ~9 meter adalah 90m/s. Pada kedalaman ~18 meter 140m/s dan 180m/s pada kedalaman ~36m/s

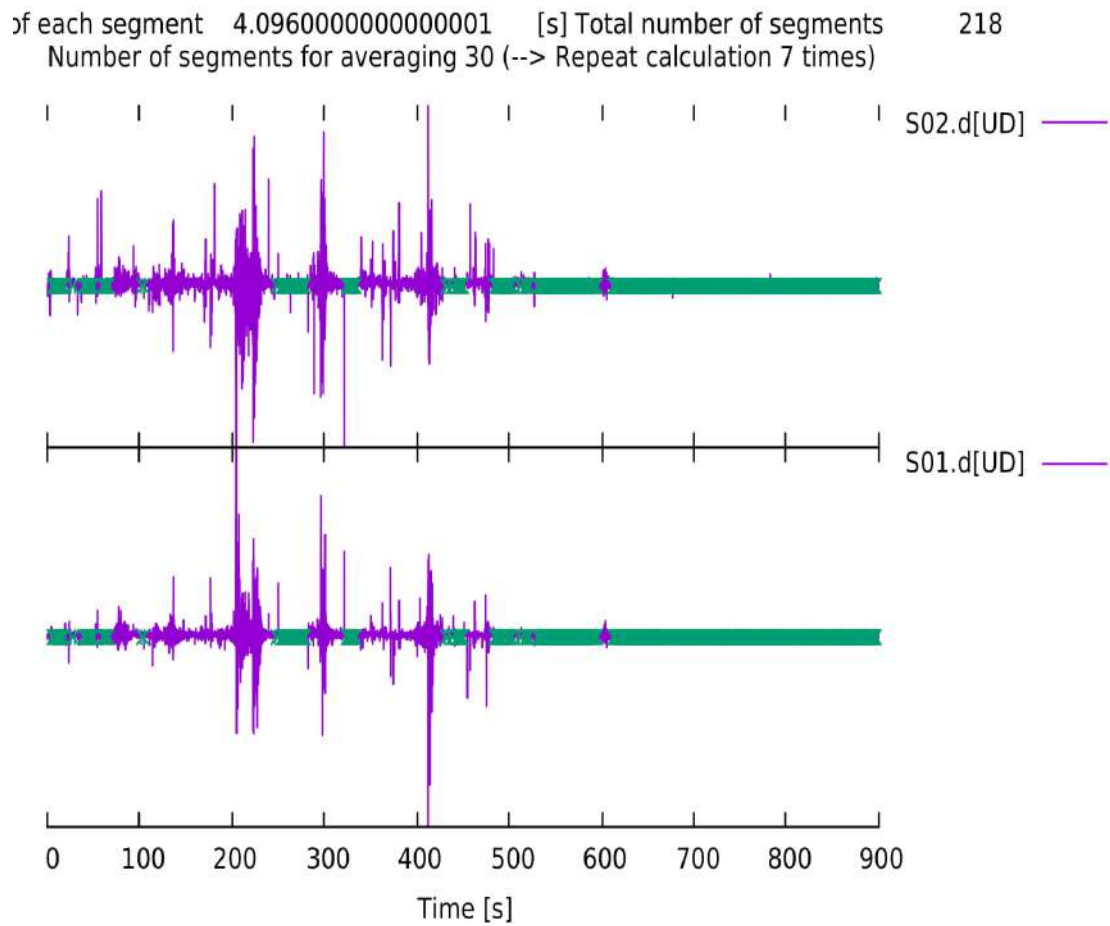


Gambar 4-10. Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA16

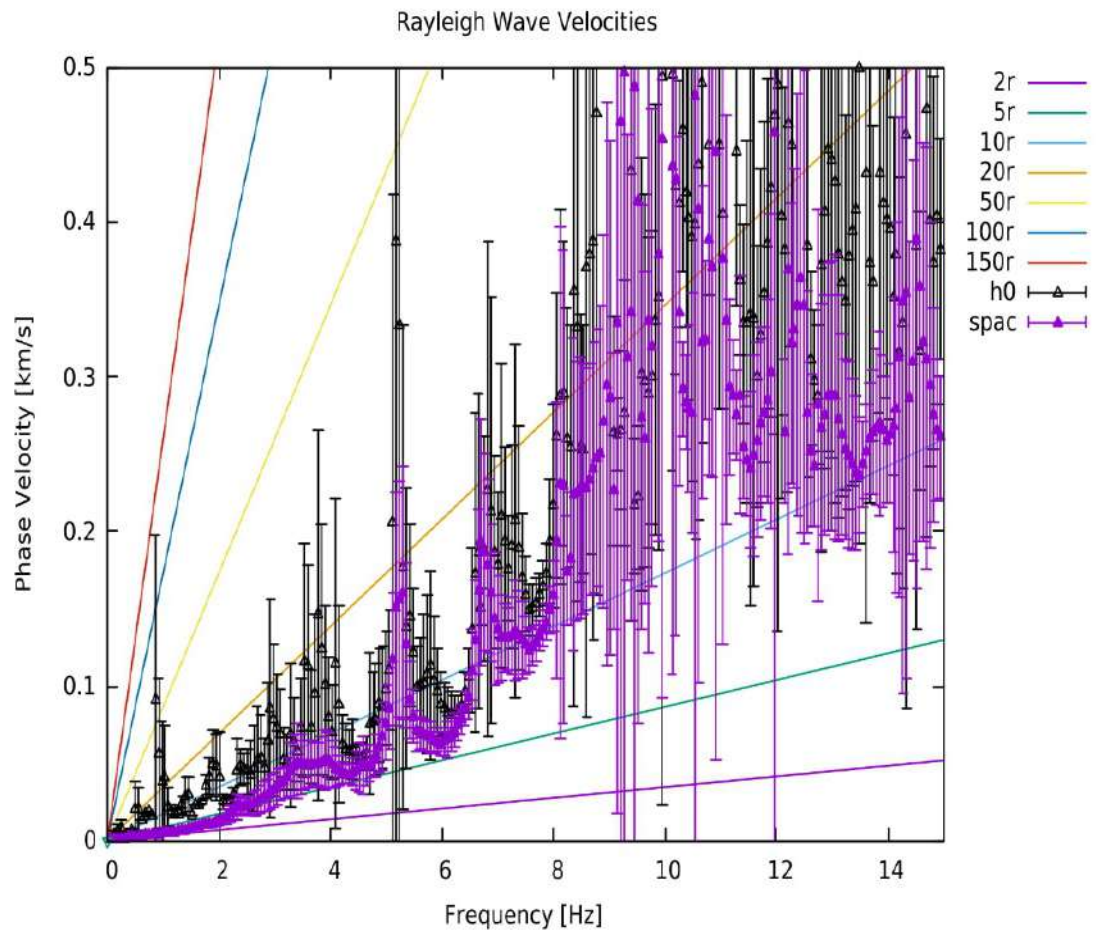


Gambar 4-11. Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA16

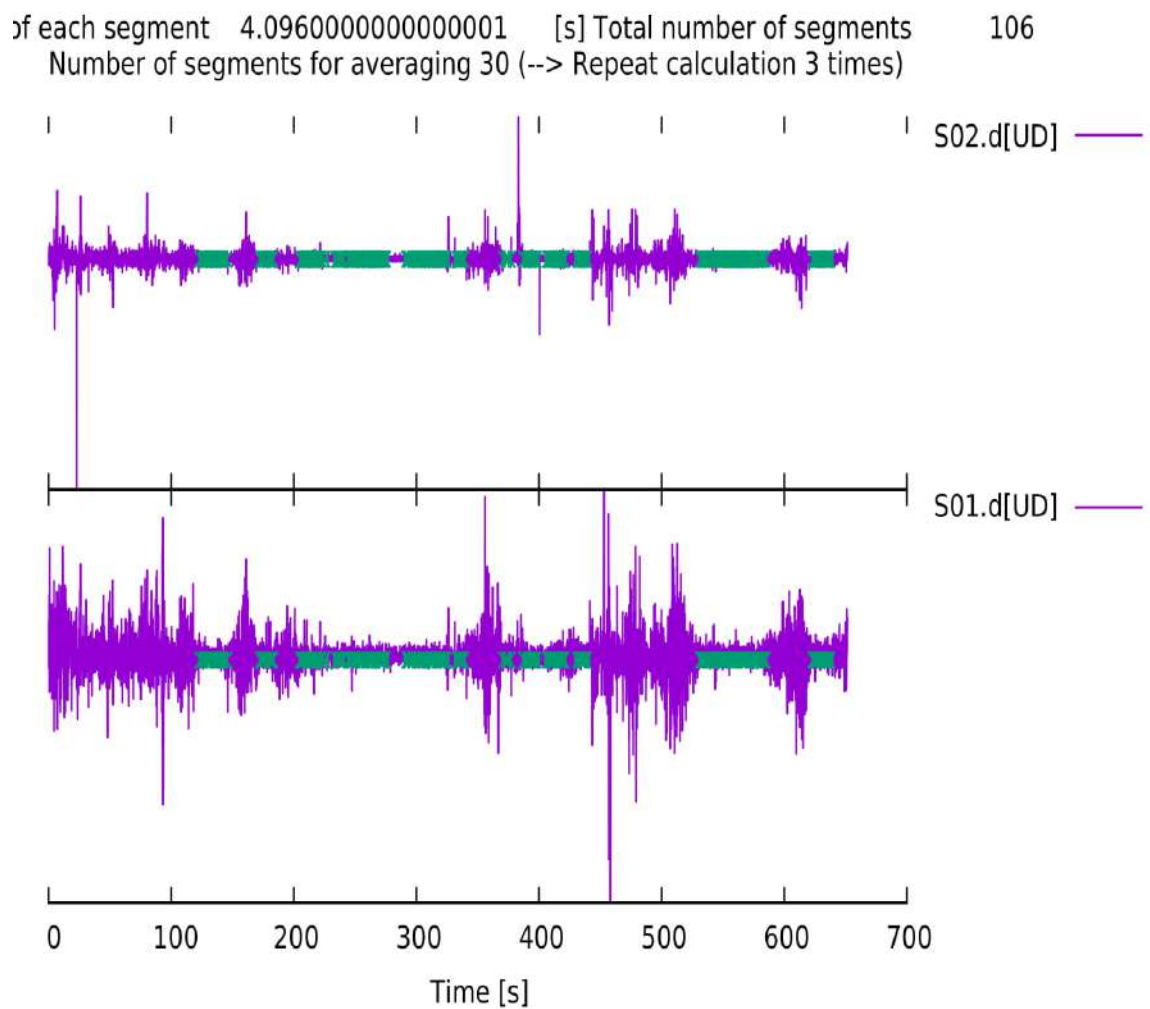
Pada awal waktu pengukuran terjadi beberapa noise yang frekuensi nya tinggi dan berulang. Total segmen yang diperoleh sebanyak 218 segmen (Gambar 11). Kecepatan gelombang Vs di titik AA22 adalah sebesar 90 m/s, 120 m/s dan 200m/s berturut turut pada kedalaman ~9m, ~16m dan ~36m.



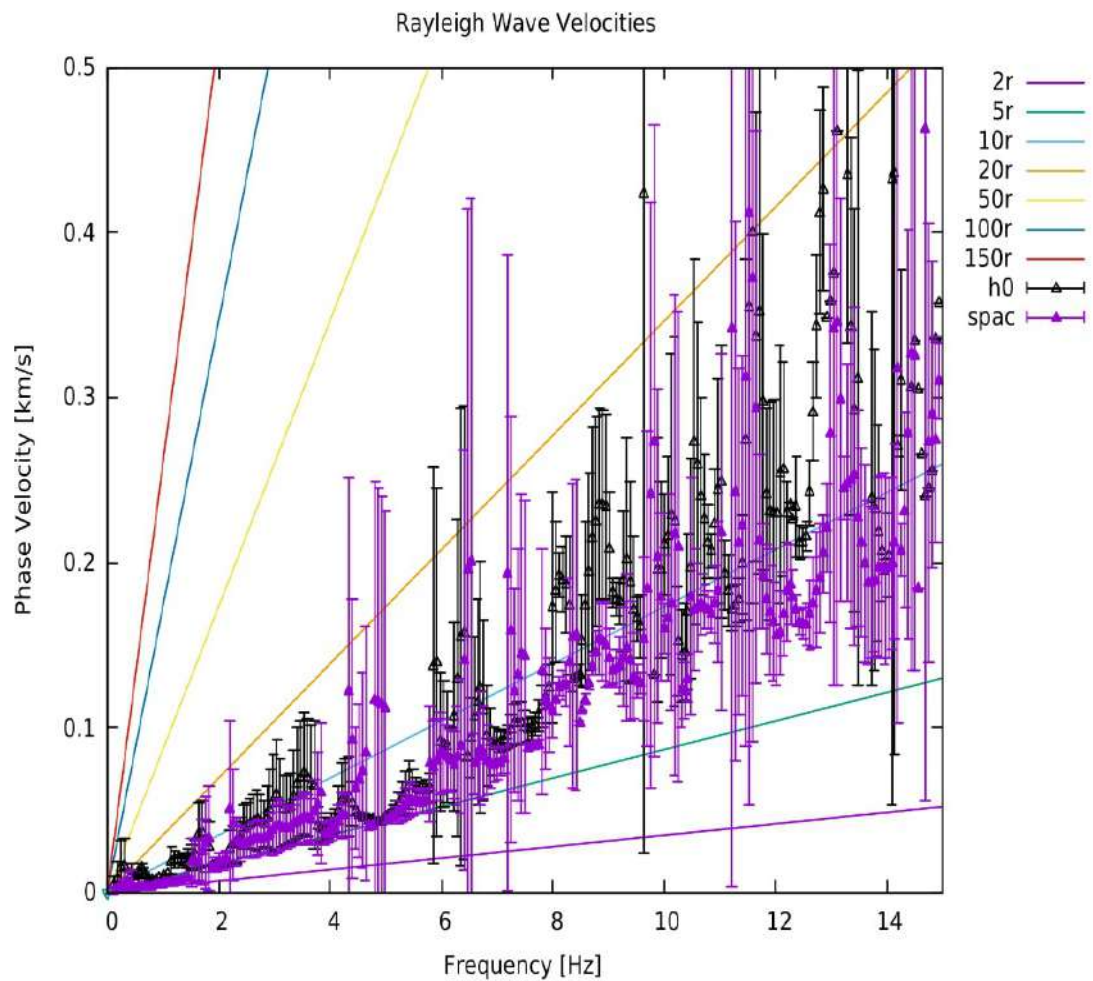
Gambar 4-12. Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA22



Gambar 12. Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA22

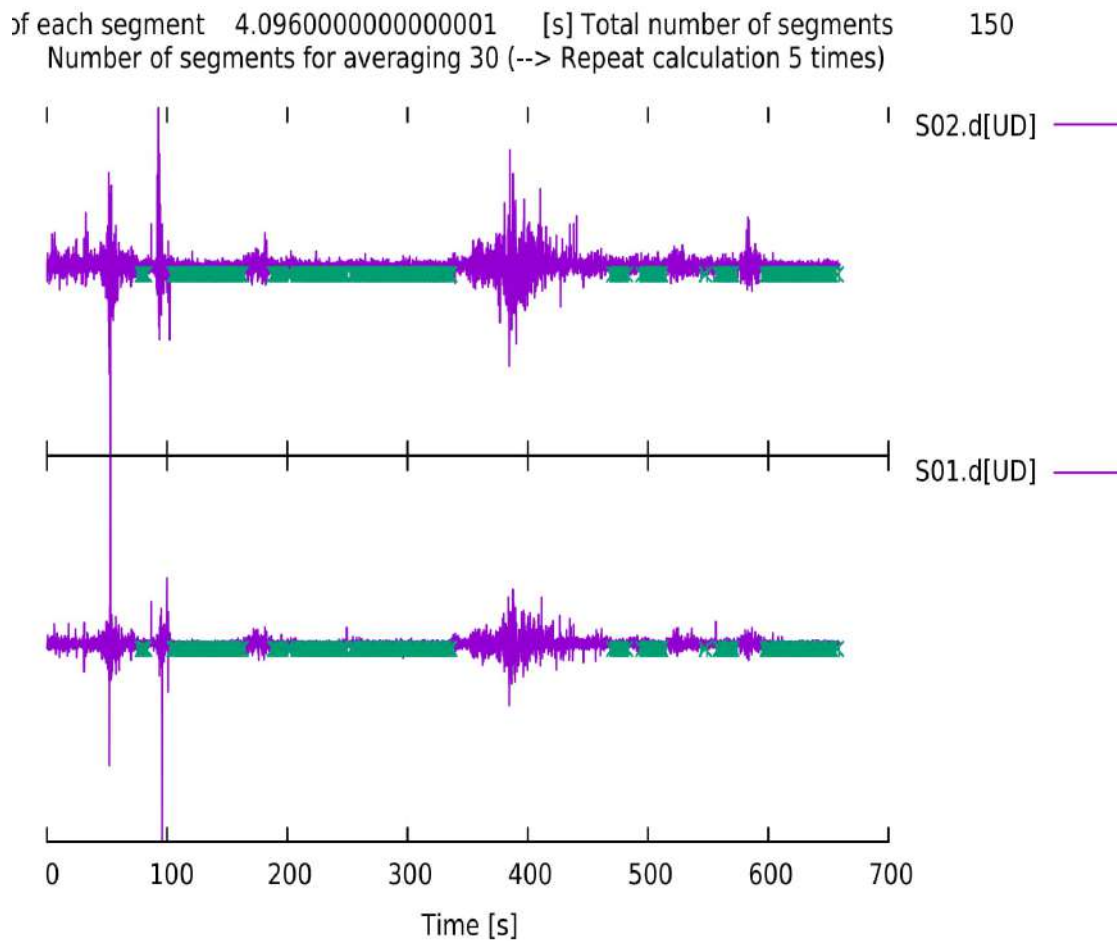


Gambar 4-14. Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA23



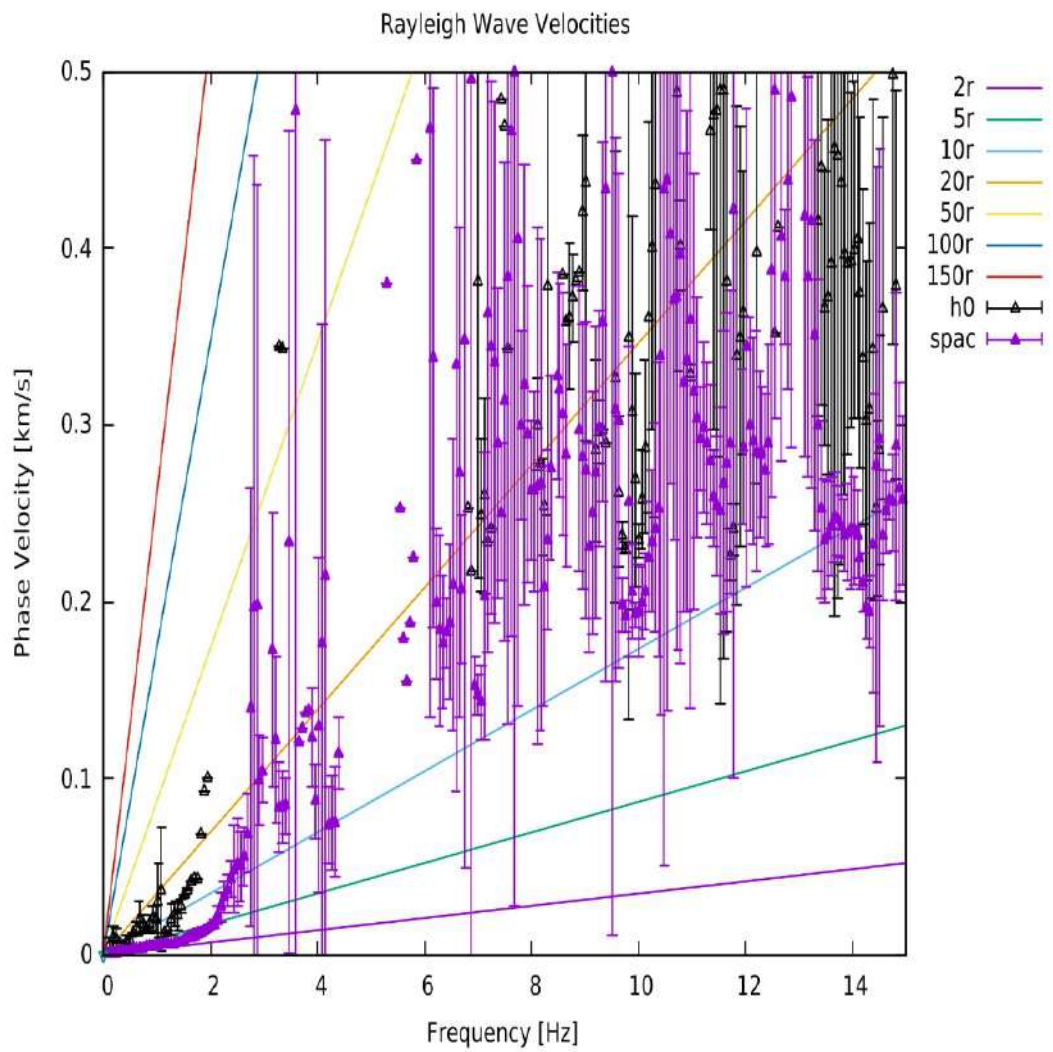
Gambar 4-15. Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA23

Pada titik AA23 jumlah total segmen sebanyak 106 segmen dengan noise yang banyak. Dengan total segmen ini didapat hasil kecepatan gelombang Vs pada kedalaman ~9 meter sebesar 90m/s. Pada kedalaman ~18 meter besar kecepatan gelombang Vs adalah 140m/s dan 180m/s dikedalaman ~36 meter.

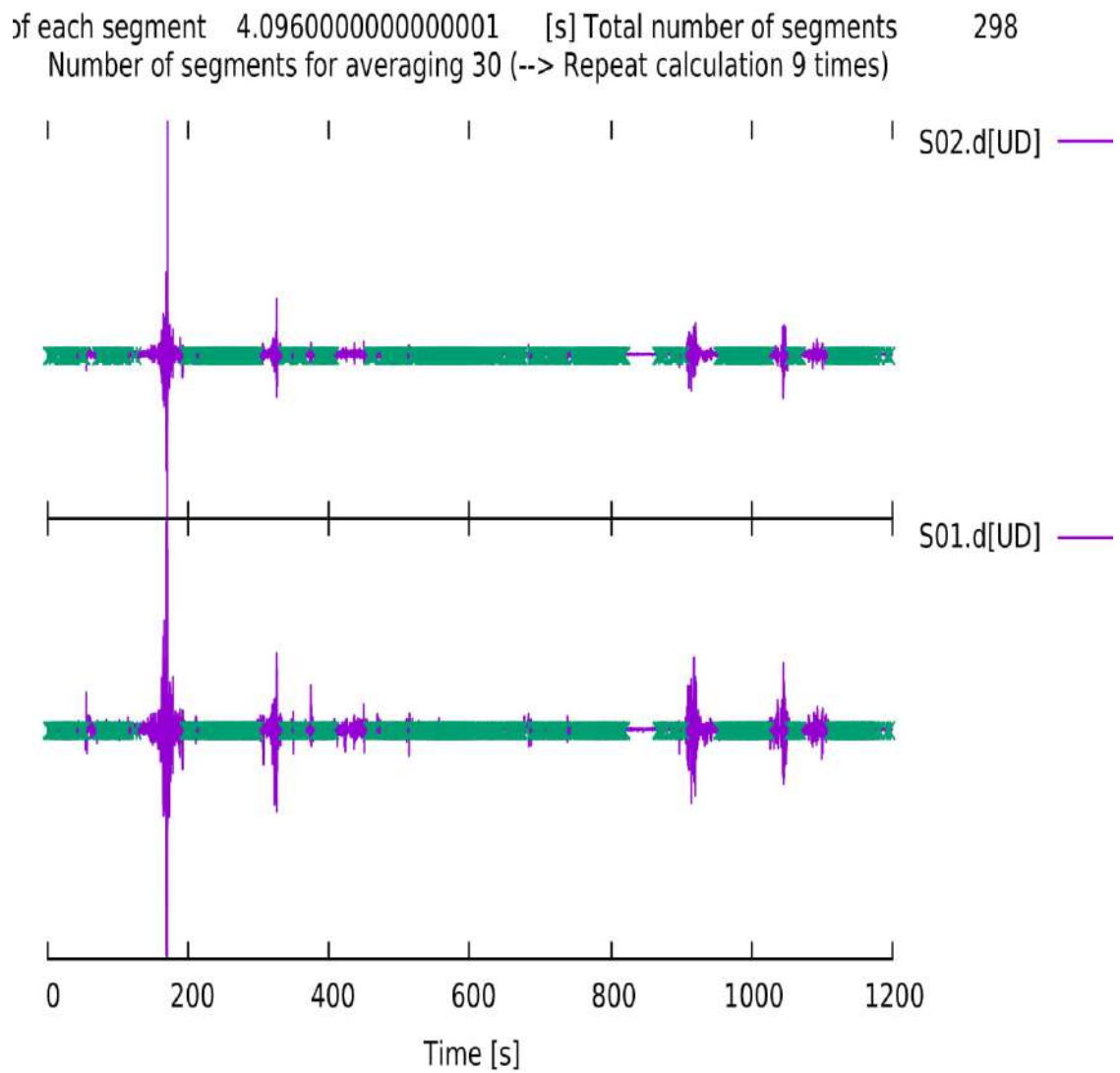


Gambar 4-16. Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA25

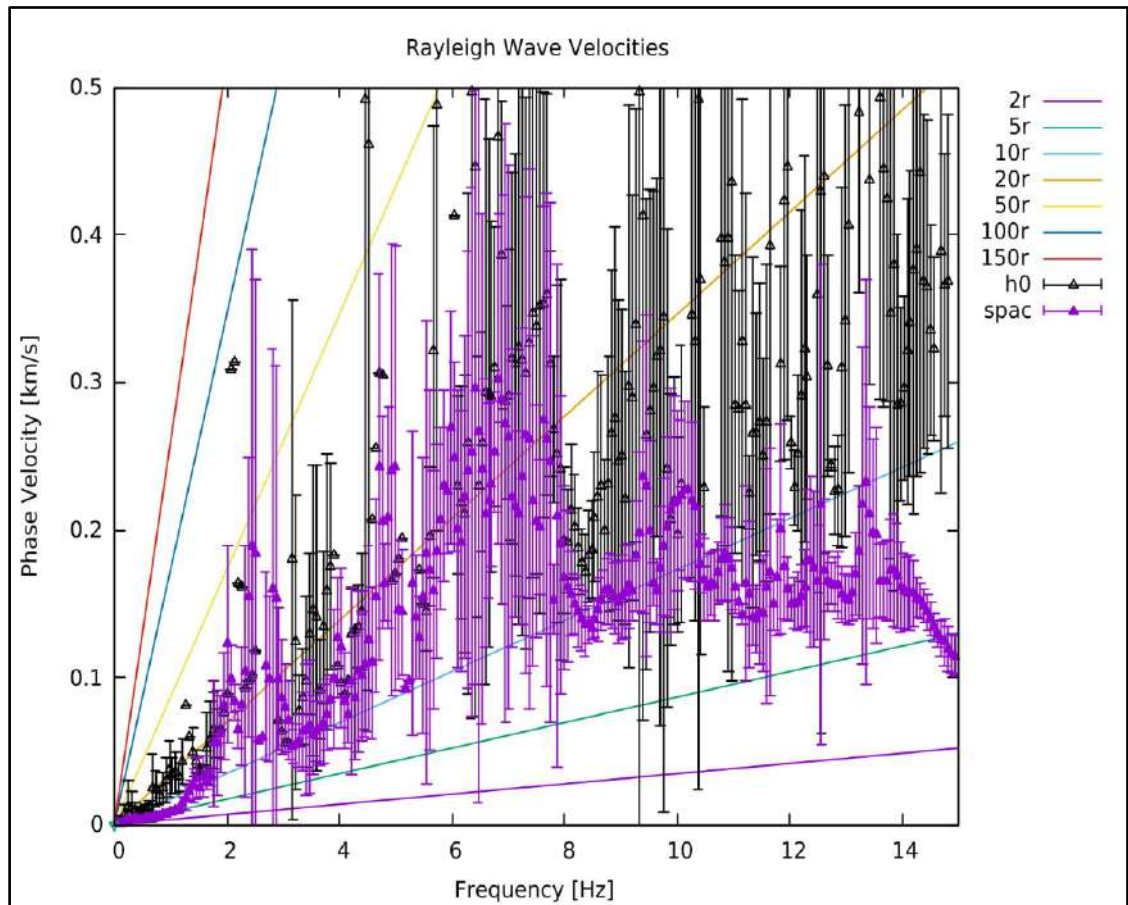
Gambar 4-16 menunjukkan terdapat 1 noise yang memiliki frekuensi besar dan berlangsung cukup lama. Noise berasal dari kendaraan yang lewat pada saat pengukuran dilakukan. Total segmen 105 segmen dan kecepatan gelombang Vs sebesar 100m/s pada kedalaman ~9 meter, 150 m/s pada kedalaman ~16m dan pada kedalaman ~36m kecepatan gelombang Vs sebesar 240m/s.



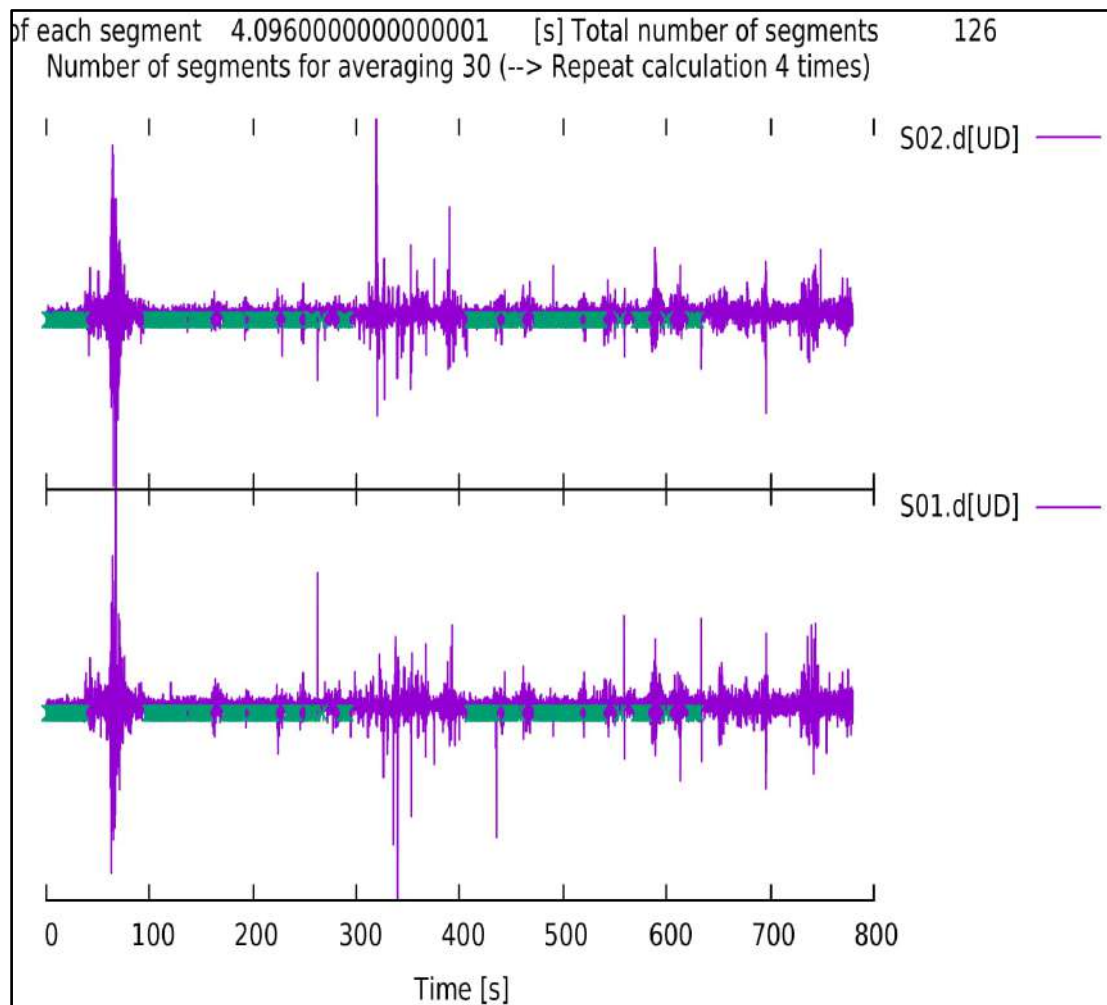
Gambar 4-17. Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA25



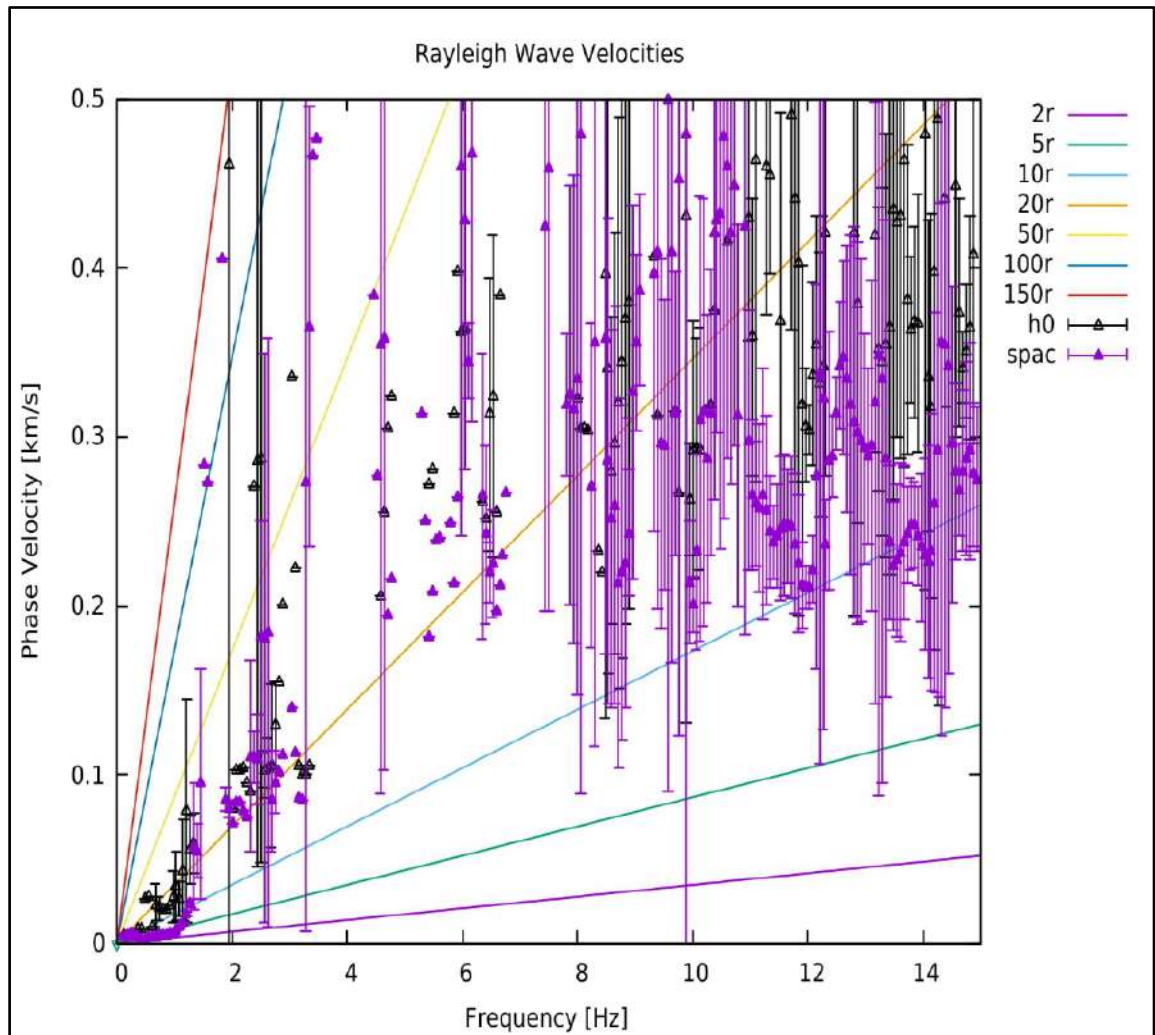
Gambar 4-18. Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AB18



Gambar 4-19. Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AB18



Gambar 4-20. Hasil pemilihan Spektrum Gelombang mikrotremor Hasil pengukuran di titik AA26



Gambar 4-21 Kurva Dispersi Berdasarkan data Mikrotremor metode SPAC di titik AA26

Gambar 4-20 dan Gambar 4-21 menunjukkan total segmen yang diperoleh di titik AB18 dan AA26. Titik AB18 memiliki segmen yang jauh lebih banyak daripada AA26 yaitu sebanyak 226 segmen. Terlihat jelas dari kedua titik bahwa titik AB18 noise yang terekam jumlahnya lebih sedikit. Hasil akhir kecepatan gelombang Vs terdapat perbedaan di kedalaman ~9m di titik AB18 sebesar 100m/s sedangkan titik AA26 120m/s. Kedalaman ~16m dan kedalaman ~36 meter kedua titik ini memiliki kecepatan gelombang Vs yang sama. Secara keseluruhan dari 23 titik pengukuran nilai kecepatan gelombang Vs bisa dilihat pada Tabel 4-6.

Tabel 0-1 Nilai Rata-rata Kecepatan Geser Gelombang Seismik pada kedalaman 10 m dan 20 m

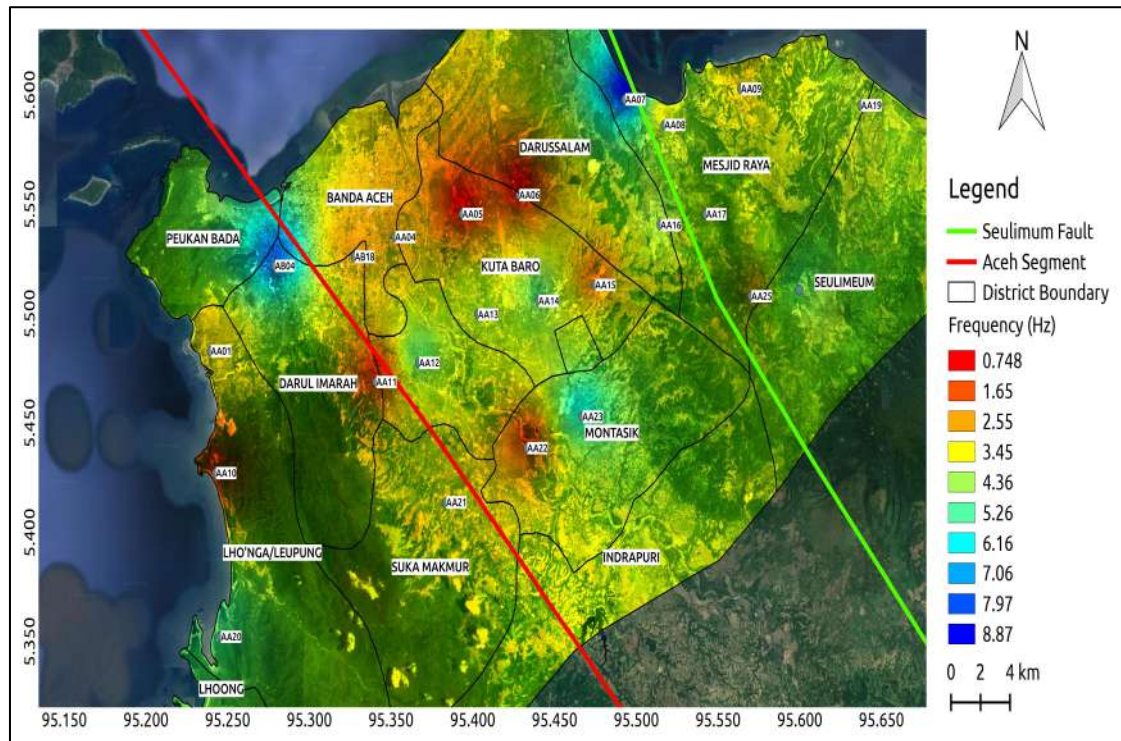
No.	TITIK	Longitude	Latitude	Avs 10 (m/s)	Avs 20 (m/s)
1	AA01	95,23966	5,483069	120	160
2	AA04	95,352588	5,5351	120	160
3	AA05	95,39364	5,545723	100	160
4	AA06	95,42857	5,55445	90	140
5	AA07	95,49316	5,598203	120	180
6	AA08	95,51732	5,586484	120	160
7	AA09	95,5641	5,602946	120	160
8	AA10	95,24282	5,427174	120	150
9	AA11	95,34099	5,468878	140	160
10	AA12	95,36721	5,477651	90	140
11	AA13	95,40327	5,499698	90	130
12	AA14	95,44031	5,505964	100	140
13	AA15	95,47484	5,513287	100	140
14	AA16	95,51486	5,540604	90	140
15	AA17	95,54264	5,545636	120	160
16	AA19	95,63759	5,595472	140	160
17	AA20	95,24588	5,352278	120	180
18	AA21	95,38379	5,413772	110	160
19	AA22	95,43347	5,438638	90	120
20	AA23	95,46703	5,452954	90	140
21	AA25	95,57049	5,508096	100	150
22	AA26	95,59968	5,511004	120	160
23	AB04	95,27898	5,52206	90	140
24	AB18	95,32777	5,52613	100	160

4.7 Peta Geologi Metode HVSR

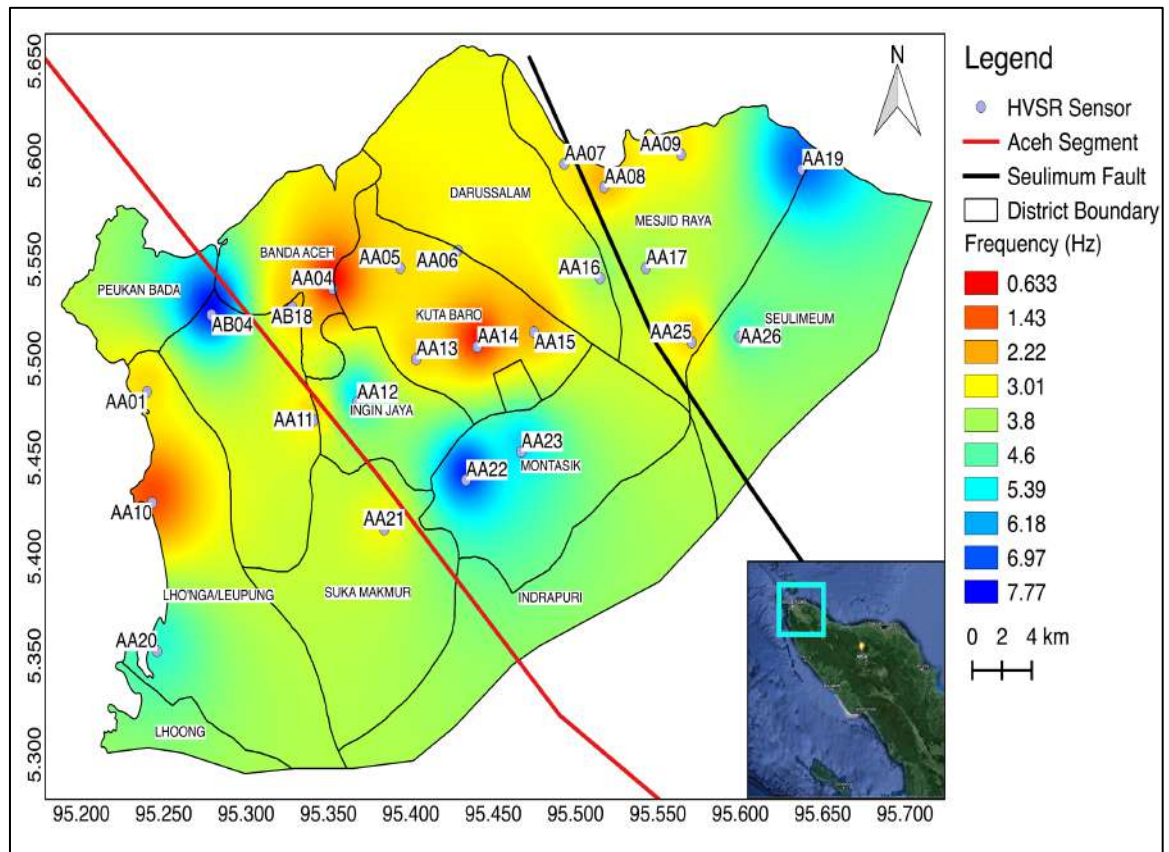
Berdasarkan data yang diperoleh dengan aplikasi geopsy di atas, selanjutnya selanjutnya diinterpolasi menjadi peta yaitu: (1) peta frekwensi dominan pada Kawasan segmen Seulimeum dan Segmen Aceh, (2) peta amplifikasi di Kawasan segmen Seulimeum dan Segmen Aceh, dan (3) peta kerentanan seismik pada Kawasan segmen Seulimeum dan Segmen Aceh.

4.7.1 Peta Frekwensi Dominan

Berdasarkan data pada tabel 4-6, dapat dibuat peta kondisi geologi local Kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai frekwensi dominan. Untuk memudahkan dalam pembacaan peta, berikut ini akan disajikan peta dengan topografi dan tanpa topografi:



Gambar 4-22 Peta Kondisi Geologi Kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai frekwensi dominan (dengan topografi)

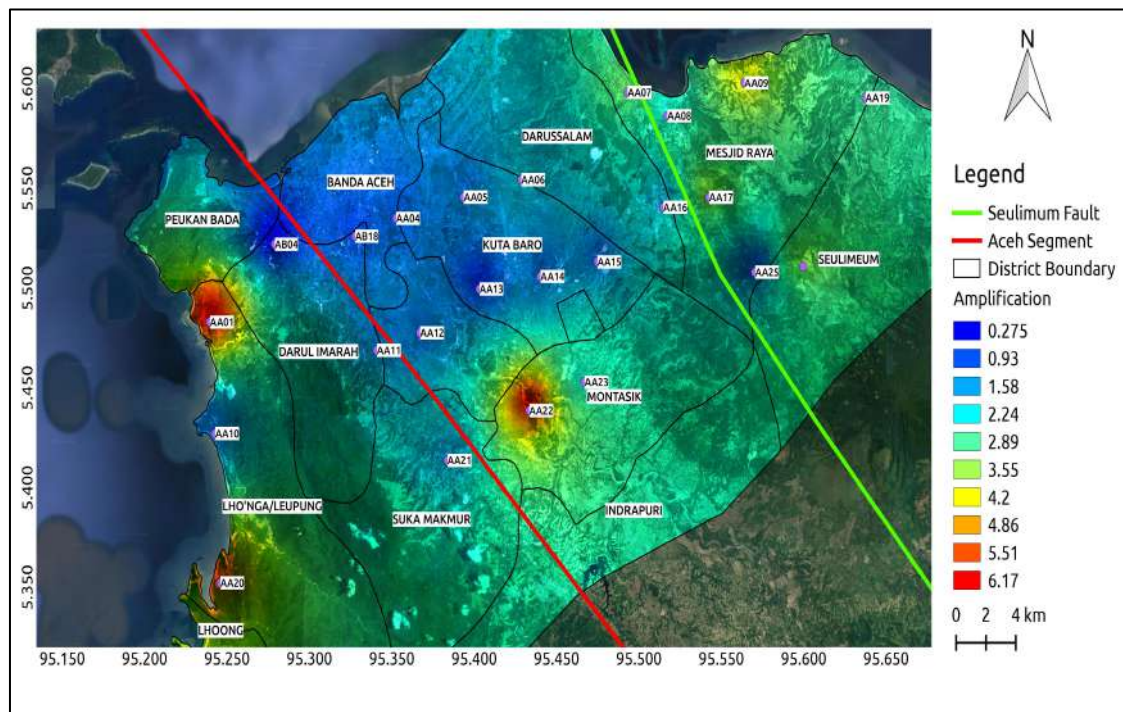


Gambar 4-23 Peta kondisi geologi Kawasan Aceh Besar berdasarkan Nilai Frekwensi Dominan (tanpa topografi)

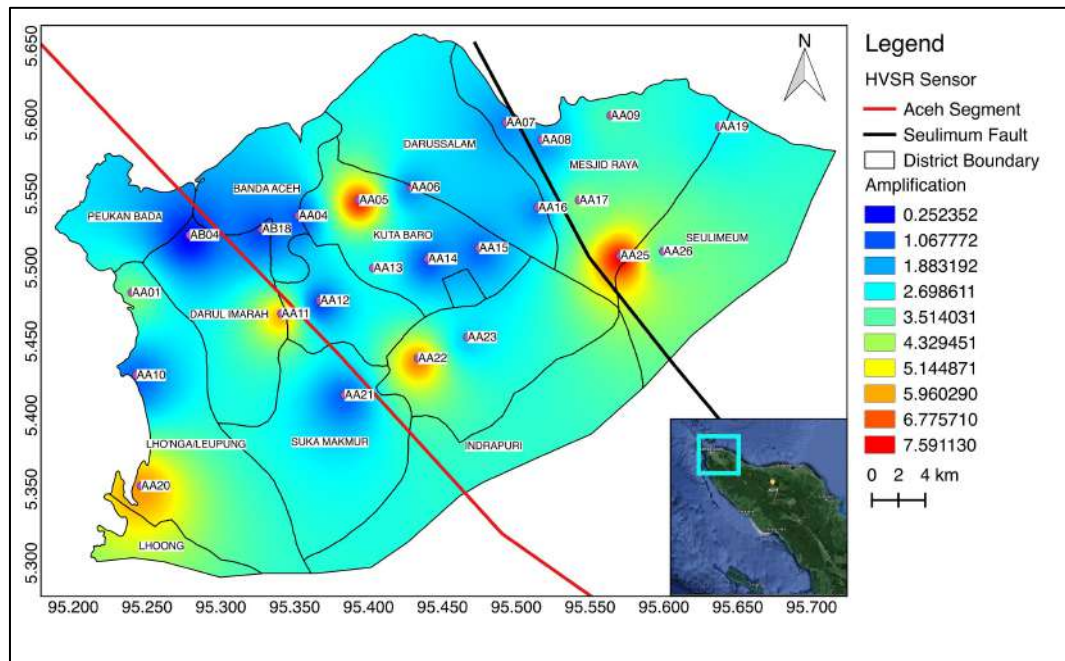
Berdasarkan peta pada gambar 4-22 dan gambar 4-23, menunjukkan bahwa berdasarkan hasil pengukuran nilai frekwensi dominan (f_0) kurang dari 2,5 ada pada sebagian besar Kawasan Leupung, Darul Imarah, Banda Aceh, dan sebagian Kuta Baro maka Kawasan ini didominasi oleh struktur tanah sedimen/endapan. Sementara Kawasan kecamatan Mesjid Raya, Sukamakmur, Darussalam, dan Baitussalam merupakan Kawasan yang didominasi oleh tanah alluvial yang tergolong lunak. Sedangkan pada Kawasan Montasik, Ingin Jaya, Indrapuri, Seulimeum dan Lhoong berdasarkan nilai frekwensi dominan, Kawasan tersebut termasuk kedalam Kawasan yang didominasi oleh batuan keras yaitu batu tersier dan batu alluvial.

4.7.2 Peta Nilai Amplifikasi

Berdasarkan data pada tabel 5-3, dapat dibuat peta kondisi geologi lokal Kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai Amplifikasi tanah (A_0). Untuk memudahkan dalam pembacaan peta, berikut ini akan disajikan peta dengan topografi dan tanpa topografi:



Gambar 4-24 Peta kondisi batuan kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai amplifikasi tanah (dengan topografi)

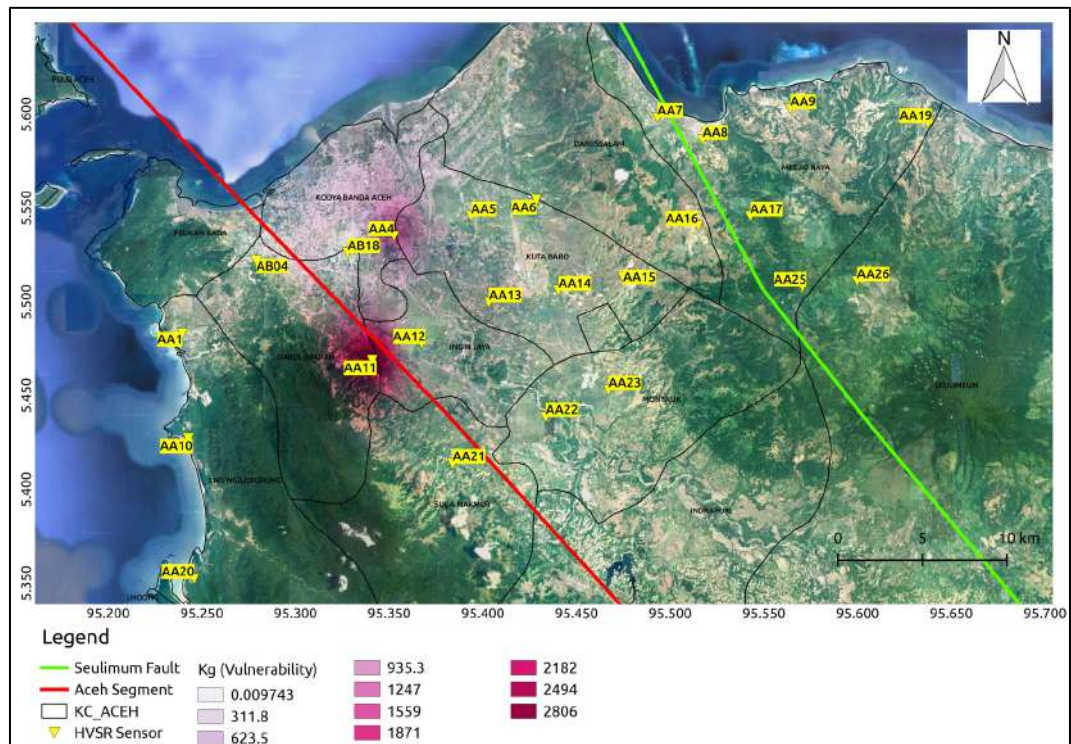


Gambar 4-25 Peta kondisi geologi Kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai Amplifikasi tanah (tanpa topografi)

Berdasarkan data nilai amplifikasi tanah kawasan Aceh Besar (gambar 4-24 dan gambar 4-25) di atas menunjukkan bahwa nilai amplifikasi tinggi (>5) ada pada kawasan titik pengukuran Seulimeum, Kuta Baro, Montasik dan Lhoong serta sebagian di Darul Imarah. Dengan nilai amplifikasi >5 menunjukkan bahwa Kawasan ini terdiri atas batuan dengan tingkat kepadatan yang tinggi. Sedangkan sisanya mempunyai nilai amplifikasi tanah yang rendah, dengan demikian pada Kawasan ini akan memiliki tingkat kepadatan batuan yang rendah atau terdiri atas sedimen/tanah lunak/badrock dan rentan terhadap guncangan gempa (Marco Mucciarelli & Gallipoli, 2004).

4.7.3 Peta Kerentanan Seismik (K_g)

Berdasarkan data pada tabel 5-3, dapat dibuat peta kerentanan seismik berdasarkan metode HVSR (K_g) pada Kawasan Aceh Besar, dengan menggunakan nilai frekwensi dominan (f_0) dan nilai Amplifikasi tanah (A_0). Peta tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 4-26 Peta Kerentanan Seismik (Kg) Kawasan Aceh Besar

Berdasarkan peta pada gambar 4-26, menunjukkan bahwa tingkat kerentanan seismik pada Kawasan Aceh Besar 54 % memiliki tingkat kerentanan sesimik yang rendah. Sementara 46 % wilayah lainnya yaitu pada titik AA01, AB04, AA05, AA06, AA13, AA14, dan AA15 adalah Kawasan dengan tingkat kerentanan sedang. Dan pada titik AB18, AA04, AA11 dan AA12 adalah Kawasan dengan tingkat kerentanan tinggi dan Kawasan banda Aceh dan sekitarnya serta merupakan pemukiman padat penduduk.

4.8 Kecepatan Gelombang Gesar S (Vs)

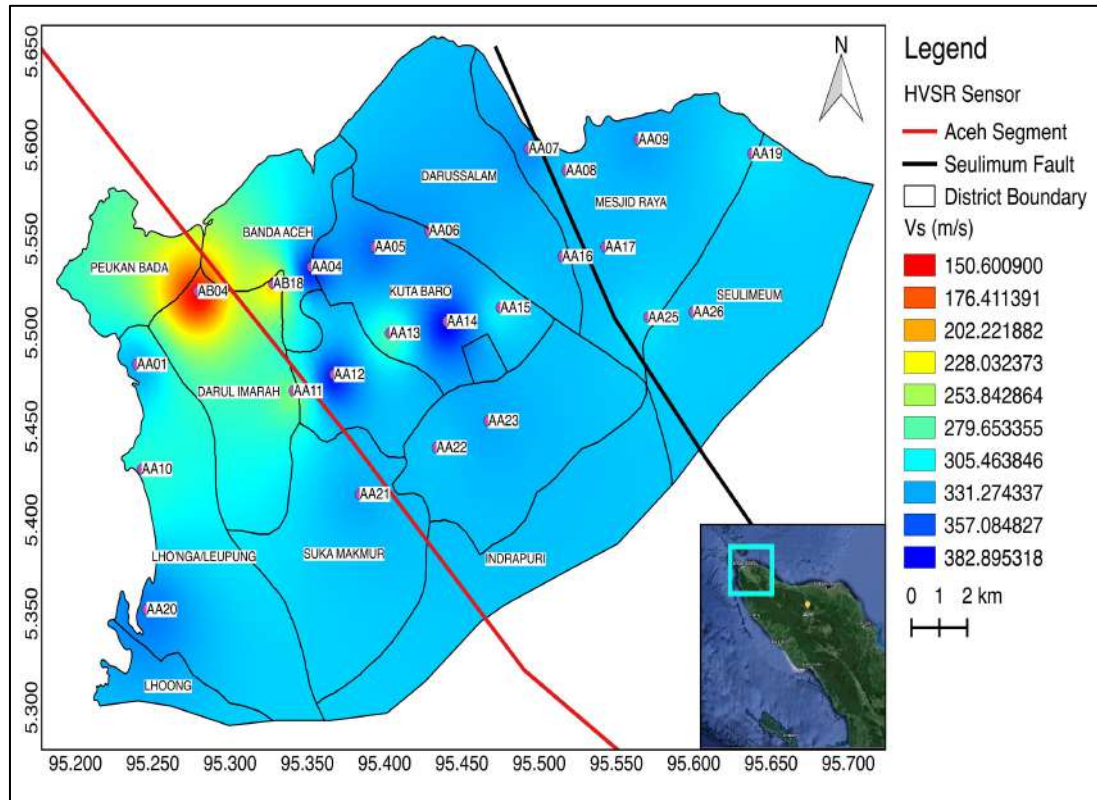
4.8.1 Vs Data HVSr

Berdasarkan tabel 4-7, dapat dilakukan klasifikasi situs tanah merujuk pada tabel **SNI 1726-2012**, data tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 0-2 Klasifikasi Tanah/Batuan berdasarkan nilai Kecepatan Geser Gelombang Rata-rata pada Kedalaman 30 m (Vs30)

Klasifikasi Situs	Deskripsi Umum	V_s (m/dt)	Kedalaman 30m
SA	Batuan Keras	$V_s \geq 1500$	-
SB	Batuan	$750 < V_s \leq 1500$	-
SC	Tanah sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$	-
SD	Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$	Semua titik kecuali titik AA20
SE	Tanah Lunak	$V_s < 175$	AB04

Secara visual dapat ditunjukkan pada gambar peta berikut:



Gambar 4-27 Peta Klasifikasi Batuan Berdasarkan Data Kecepatan Vs30

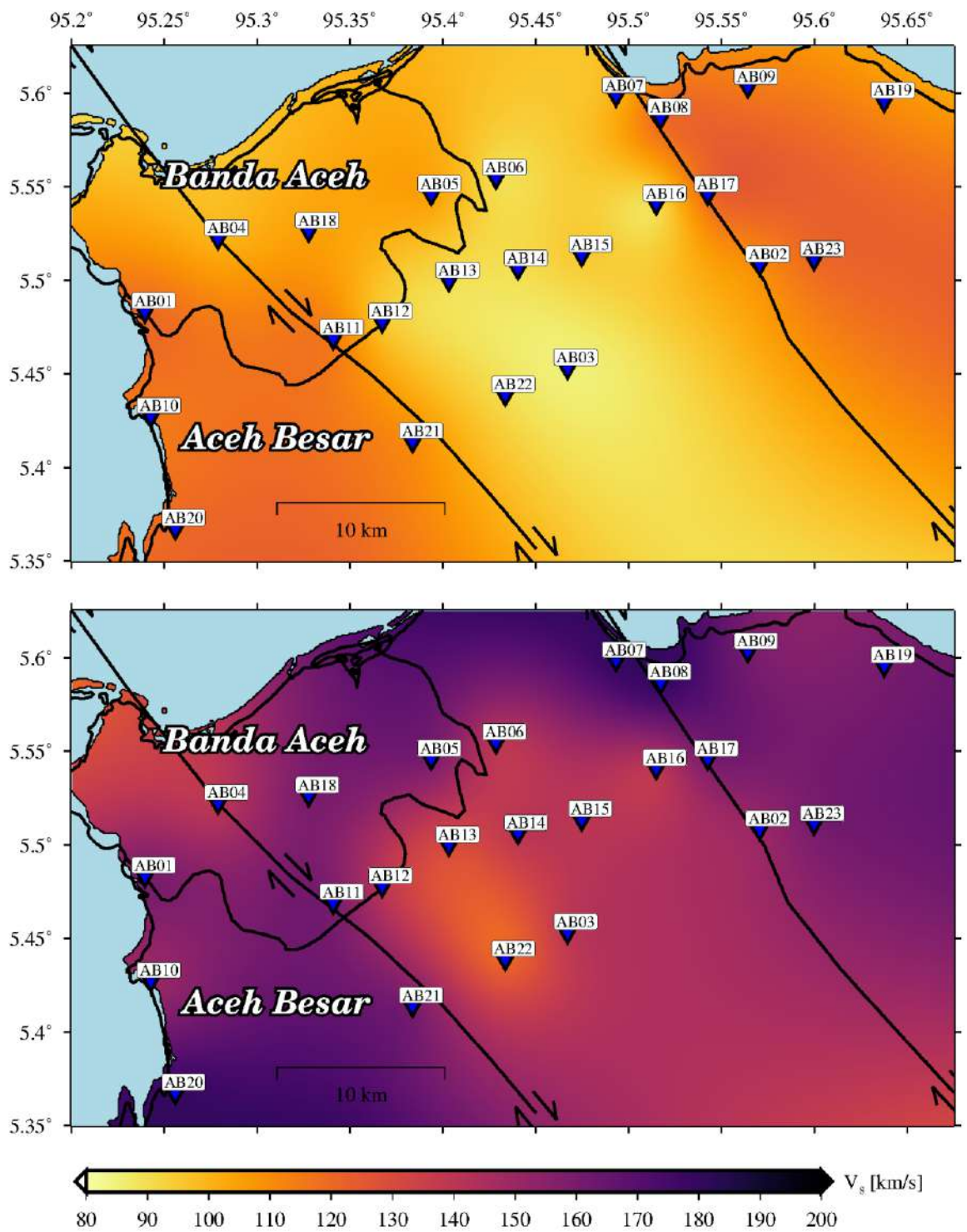
4.8.2 Tingkat Kerentanan dan Peta Data SPAC

Berdasarkan tabel 5-6, dapat dilakukan klasifikasi tanah pada lokasi pengukuran data SPAC dengan merujuk pada tabel **SNI 1726-2012**, data klasifikasi tersebut adalah:

Tabel 4-8 Data Klasifikasi Batuan/tanah Berdasarkan Nilai Kecepatan Geser Gelombang S (V_s) pada Kedalaman 10 m dan 20 m

Klasifikasi Situs	Deskripsi Umum	V_s (m/dt)	Kedalaman 10m	Kedalaman 20m
SA	Batuan Keras	$V_s \geq 1500$	-	-
SB	Batuan	$750 < V_s \leq 1500$	-	-
SC	Tanah sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < V_s \leq 750$	-	-
SD	Tanah Sedang	$175 < V_s \leq 350$	-	AA07, AA08 & AA20
SE	Tanah Lunak	$V_s < 175$	Semua titik	Semua titik, kecuali AA07, AA08 & AA20
SF	Tanah Khusus	-		

Berdasarkan data klasifikasi pada tabel 4-8 di atas maka dapat dibuat peta kondisi batuan/tanah pada Kawasan Aceh Besar (titik survey), sebagai berikut:



Gambar 4-28 Peta Klasifikasi Batuan/tanah Berdasarkan Kecepatan V_s (10 m dan 20 m)

Berdasarkan hukum rambatan gelombang dalam suatu medium tertentu, maka kerapatan/kepadatan suatu medium dapat mempengaruhi kecepatan rambat gelombang tersebut. Oleh karena itu pada gambar 4-28 ditunjukkan bahwa pada kedalaman 0-10 km sebagian besar wilayah titik pengukuran terdiri atas batuan lunak atau tanah sedimen dengan tingkat kerentanan tinggi. Sedangkan pada peta kedua (kedalaman 10-20 km), titik pengukuran AA07 & AA08 yaitu pada Kawasan Krueng Raya dan AA20 (Lhoong) mempunyai terdiri atas tanah sedang atau mempunyai tingkat kerentanan sedang. Sementara sisanya umumnya merupakan Kawasan yang terdiri atas tanah lunak dengan tingkat kerentanan tinggi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Sebanyak 46 % titik pengukuran (berdasarkan data metode HVSR) menunjukkan bahwa Kawasan tersebut memiliki tingkat kerentanan seismic sedang dan tinggi.
2. Sebanyak 22 titik (91,67%) kecuali titik AA07 (Krueng Raya) dan AA20 (Leupung) berdasarkan data Vs30 Metode SPAC, lokasi pengukuran/survey tersebut memiliki lapisan bantuan yang terdiri dari tanah sedang dan lunak. Dengan demikian maka semuanya memiliki tingkat kerentanan yang sedang dan tinggi pada lapisan batuan di kedalaman 20-30 m.
3. Peta tingkat kerentanan seismic pada Segmen Seulimeum dan Segmen Aceh di Kawasan Aceh Besar, berdasarkan data metode HVSR dan metode SPAC, menunjukkan sebagian besar (>50%) wilayah (survey) terdiri atas lapisan batuan dengan kepadatan lunak untuk kedalaman 0-20 m dan batuan dengan kepadatan sedang. Sedangkan kondisi batuan pada Kawasan titik pengukuran di kedalaman 20-30 m, sebanyak 8 titik (33,3%) lokasi pengukuran merupakan lapisan batuan lunak dan 14 titik (58,3%) merupakan lapisan batuan sedang.
4. Dengan demikian sebanyak 91,6% wilayah pada Kawasan Sesar Sumatra merupakan kawasan rentan terhadap Gempa atau memiliki Kerentanan Seismik yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiyoso, W., & Kanegae, H. (2013). Effectiveness of disaster-based school program on students' earthquake-preparedness. *Journal of Disaster Research*, 8(5), 1009–1017.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). (2018). Jumlah Kejadian Bencana Provinsi Aceh Tahun 2004-2018, 2018.
- Bard, P., Duval, A., Koehler, A., & Rao, S. (2004). Guidelines for the Implementation of the H / V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements , Processing and Interpretation. *SESAME European Research Project WP12 – Deliverable D23.12*, (December), 1–62. <https://doi.org/DOI.10.1111/j.1365-246X.2006.03282.x>
- BMKG. (2018). Katalog Gempa Bumi Signifikan dan Merusak di Indonesia Tahun 1821-2017. Jakarta: Pusat Gempa Bumi dan Tsunami, BMKG.
- Burton, P. W., & Hall, T. R. (2014). Segmentation of the Sumatran fault. *Geophysical Research Letters*, 41(12), 4149–4158. <https://doi.org/10.1002/2014GL060242>.Received
- Chávez-García, F. J., Rodríguez, M., & Stephenson, W. R. (2005). An alternative approach to the SPAC analysis of microtremors: Exploiting stationarity of noise. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(1), 277–293. <https://doi.org/10.1785/0120030179>
- Chávez-García, F. J., Rodríguez, M., & Stephenson, W. R. (2006). Subsoil structure using SPAC measurements along a line. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(2), 729–736. <https://doi.org/10.1785/0120050141>
- Cho, I., Tada, T., & Shinozaki, Y. (2008). Assessing the applicability of the spatial autocorrelation method: A theoretical approach. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(6), 1–19. <https://doi.org/10.1029/2007JB005245>
- Diurnal, K., Telford, M., Normal, K., Geomagnetik, I., Field, R., & Oceanic, N. (2015). Koreksi-Koreksi pada Pengolahan Data Geofisika (Part II : Metode Magnetik), 1–6.
- Elnashai, A. S., & Di Sarno, L. (1996). *Fundamentals of Earthquake Engineering. Chemical Communications*. <https://doi.org/10.1039/cc9960000427>
- Genrich, J. F., Bock, Y., McCaffrey, R., Prawirodirdjo, L., & Stevens, C. W. (2000). Distribution of slip at the northern Sumatran fault system. *Journal of Geophysical Research*, 105(B12), 28327–28341.

<https://doi.org/10.1029/2000JB900158>

- H. Hisham, M. Nordiana, R. Saad, M. Syukri, S. Nabila, M. Umi, S. R. I. (2015). Applying Gravity Method for Mapping Seulimeum Fault System in Krueng Raya , Aceh Besar (Indonesia). *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20, 4059–4066.
- Haney, M. M., Mikesell, T. D., van Wijk, K., & Nakahara, H. (2012). Extension of the spatial autocorrelation (SPAC) method to mixed-component correlations of surface waves. *Geophysical Journal International*, 191(1), 189–206. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05597.x>
- Haulle, E. (2012). Evaluating earthquake disaster risk management in schools in Rungwe Volcanic Province in Tanzania. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies*, 1(4), 7. <https://doi.org/10.4102/jamba.v4i1.44>
- Herak, M. (2008). ModelHVSRA Matlab®tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise. *Computers and Geosciences*, 34(11), 1514–1526. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.07.009>
- Hurukawa, N., Wulandari, B. R., & Kasahara, M. (2014). Earthquake history of the Sumatran fault, Indonesia, since 1892, derived from relocation of large earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 104(4), 1750–1762. <https://doi.org/10.1785/0120130201>
- Irsyam, M., Asrurifak, M., Mikail, R., Sabaruddin, A., & Faisal, L. (2017). Pemutakhiran Peta, dan Gempa Indonesia.
- Irsyam, M. et al. (2010). Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010, 1–43.
- McCaughey, J. W., Mundir, I., Daly, P., Mahdi, S., & Patt, A. (2017). Trust and distrust of tsunami vertical evacuation buildings: Extending protection motivation theory to examine choices under social influence. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24(June), 462–473. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2017.06.016>
- Michellier, C., Pigeon, P., Kervyn, F., & Wolff, E. (2016). Contextualizing vulnerability assessment: a support to geo-risk management in central Africa. *Natural Hazards*, 82(March), 27–42. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2295-z>
- Mucciarelli, M., & Gallipoli, M. R. (2001). A critical review of 10 years of microtremor HVSRA technique. *Bollettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata*, 42(3–4), 255–266.

- Mucciarelli, Marco, & Gallipoli, M. R. (2004). the Hvsr Technique From Microtremor To Strong Motion : Empirical and Statistical Considerations, (45).
- Muksin, U., Bauer, K., Muzli, M., Ryberg, T., Nurdin, I., Masturiyono, M., & Weber, M. (2019). AcehSeis project provides insights into the detailed seismicity distribution and relation to fault structures in Central Aceh, Northern Sumatra. *Journal of Asian Earth Sciences*, 171(September 2018), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.11.002>
- Nakahara, H. (2012). Formulation of the spatial autocorrelation (SPAC) method in dissipative media. *Geophysical Journal International*, 190(3), 1777–1783. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05591.x>
- Nakamura, Y. (1997). Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. *World Congress on Railway Research*, 16–19.
- Nakamura, Y. (2000). Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura ' S. *Spectrum*, 2656. Retrieved from http://www.sdr.co.jp/papers/n_tech_and_application.pdf
- Nakamura, Y. (2008). On the H/V spectrum. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 1–10. Retrieved from http://117.120.50.114/papers/14wcee/14wcee_hv.pdf
- Natawidjaja, D. H., Bradley, K., Daryono, M. R., Aribowo, S., & Herrin, J. (2017). Late Quaternary eruption of the Ranau Caldera and new geological slip rates of the Sumatran Fault Zone in Southern Sumatra, Indonesia. *Geoscience Letters*, 4(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40562-017-0087-2>
- Natawidjaja, D. H., Sieh, K., Galetzka, J., Suwargadi, B. W., Cheng, H., Edwards, R. L., & Chlieh, M. (2007). Interseismic deformation above the Sunda Megathrust recorded in coral microatolls of the Mentawai islands , West Sumatra, 112, 1–27. <https://doi.org/10.1029/2006JB004450>
- Omang, A., Cummins, P., Robinson, D., & Hidayati, S. (2016). Sensitivity analysis for probabilistic seismic hazard analysis (PSHA) in the Aceh Fault Segment, Indonesia. *Geological Society, London, Special Publications*, 441(June), SP441.5. <https://doi.org/10.1144/SP441.5>
- Partono, Windu; Irsyam, Mansyur; Prabandiyani, Sri RW; Maarif, S. (2013). Aplikasi Metode HVSR pada Perhitungan Faktor Amplifikasi Tanah di Kota Semarang. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil*, 19(No.3), 125–134.

- Pitilakis, K. D., & Kakderi, K. G. (2011). SEISMIC RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT OF LIFELINES ,. In *5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering* (pp. 1–53).
- Qiu, Q., Hill, E. M., Barbot, S., Hubbard, J., Feng, W., Lindsey, E. O., ... Tapponnier, P. (2016). The mechanism of partial rupture of a locked megathrust: The role of fault morphology. *Geology*, 44(10). <https://doi.org/10.1130/G38178.1>
- Rivera, L., Sieh, K., Helmberger, D., & Natawidjaja, D. (2002). A Comparative Study of the Sumatran Subduction-Zone Earthquakes of 1935 and 1984, 92(5), 1721–1736.
- Setiawan, B., & Kusuma, W. B. (2013). Banda Aceh-Indonesia Ground Response Analysis During the 2004 Indian Ocean Mega Earthquake. *International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, 5, 1–7. Retrieved from <https://scholarsmine.mst.edu/icchge/7icchge/session04/5>
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12), 28295–28326. <https://doi.org/10.1029/2000JB900120>
- Simanjuntak, A. V. H., Muksin, U., & Rahmayani, F. (2018). Microtremor survey to investigate seismic vulnerability around the Seulimum Fault, Aceh Besar-Indonesia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 352(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/352/1/012046>
- Telford, L. P. G. and R. E. S. (1990). *Applied Geophysics, second edition*. Cambridge University Press.
- Tsai, V. C., & Moschetti, M. P. (2010). An explicit relationship between time-domain noise correlation and spatial autocorrelation (SPAC) results. *Geophysical Journal International*, 182(1), 454–460. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2010.04633.x>
- Twigg, J. (2004). Mitigation and preparedness in development and emergency programming HPN Humanitarian Practice Network Britain's leading independent think-tank on international development and humanitarian issues Good Practice Review Disaster risk reduction Humanitarian, 44(0). Retrieved from www.odihpn.org.
- Wang, J. J. (2016). Study on the context of school-based disaster management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.08.005>

Zakaria, M. T., Nordiana, M. M., Saad, R., Azwin, I. N., & Yunus, N. K. A. (2016). The identification of Seulimeum fault system in Iejue, Aceh Besar (Indonesia) by using magnetic method. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 21(2), 533–541. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/62/1/012015>