



TUGAS AKHIR - RF184838

**PERBANDINGAN SEISMIK INTERFEROMETRI KORELASI
SILANG DAN DEKONVOLUSI PADA DATA SEISMIK PASIF
UNTUK PERHITUNGAN KECEPATAN GELOMBANG P**

Ramaditio Bagus Pradana
NRP. 03411640000031

Dosen Pembimbing
Wien Lestari S.T., M.T.
NIP 19811002 201212 2 003
Nita Ariyanti, S.T, M.Eng.
NIP. 370181001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020



TUGAS AKHIR - RF184838

**PERBANDINGAN SEISMIK INTERFEROMETRI KORELASI
SILANG DAN DEKONVOLUSI PADA DATA SEISMIK PASIF
UNTUK PERHITUNGAN KECEPATAN GELOMBANG P**

Ramaditio Bagus Pradana
NRP. 03411640000031

Dosen Pembimbing
Wien Lestari S.T., M.T.
NIP 19811002 201212 2 003
Nita Ariyanti, S.T, M.Eng.
NIP. 370181001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan



UNDERGRADUATED THESES - RF 184838

**COMPARISON OF CROSS CORRELATION AND
DECONVOLUTION SEISMIC INTERFEROMETRY ON PASSIVE
SEISMIC DATA TO CALCULATE P-WAVE VELOCITY**

RAMADITIO BAGUS PRADANA
03411640000031

Advisor :
Wien Lestari S.T, MT
NIP 19811002 201212 2 003
Nita Ariyanti, S.T, M.Eng.
NIP. 370181001

Department of Geophysi Engineering
Faculty of Civil Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh

Nama : Ramaditio Bagus Pradana
NRP : 0341164000031
Departemen : Teknik Geofisika
Judul Tugas Akhir : Perbandingan Seismik Interferometri
Korelasi Silang Dan Dekonvolusi Pada
Data Seismik Pasif Untuk Perhitungan
Kecepatan Gelombang P

Telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2020

1.

Wien Lestari, S.T, M.T.

(Pembimbing I)

NIP. 19811002 201212 2 003

2.

Nita Ariyanti, S.T, M. Eng.

(Pembimbing II)

NIP. 370181001

3.

M Singgih Purwanto, S. Si, M.T

(Penguji I)

NIP. 19800916 200912 1 002

4.

Dr. Dwa Desa Warnana, S. Si, M. S.

(Penguji II)

NIP. 19760123 200003 1 001

Menyetujui,
Kepala Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Dr. Dwa Desa Warnana

NIP. 19760123 200003 1 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Seismik Interferometri Korelasi Silang Dan Dekonvolusi Pada Data Seismik Pasif Untuk Perhitungan Kecepatan Gelombang P” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juni 2020



Ramaditio Bagus Pradana
NRP. 03411640000031

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERBANDINGAN SEISMIK INTERFEROMETRI KORELASI SILANG DAN DEKONVOLUSI PADA DATA SEISMIK PASIF UNTUK PERHITUNGAN KECEPATAN GELOMBANG P

Nama : RAMADITIO BAGUS PRADANA
NRP : 0341164000031
Dosen Pembimbing : Wien Lestari S.T, MT
Nita Ariyanti, S.T, M.Eng.

ABSTRAK

Eksplorasi seismik berdasarkan sumbernya dibedakan menjadi seismik aktif dan seismik pasif. Seismik interferometri merupakan metode seismik yang termasuk dalam seismik pasif yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi lapisan bawah permukaan tanah. Seismik interferometri memanfaatkan *ambient noise* pada bawah permukaan yang kemudian di proses untuk mendapatkan *virtual source*. Pada penelitian ini akan dijelaskan tahapan pembuatan *virtual source* pada data seismik komponen Z menggunakan metode seismik interferometri *cross correlation* dan *deconvolution* serta mengetahui perbedaan hasil dan proses pembuatan *virtual source* pada metode seismik interferometri *cross-coherence* dan *deconvolution*. Data yang digunakan memiliki panjang rekaman selama 8 hari dengan sampel frekuensi sebesar 100 Hz. Data yang digunakan sebanyak 8 buah data pada tugas akhir ini. Akuisisi data dilakukan dengan alat Australian National University Seismic Recorder (ANUSR). Lokasi akuisisi data dilakukan di Surabaya, Jawa Timur. Data yang akan diolah digabungkan untuk meningkatkan resolusi *trace*. Penelitian dilakukan dengan melakukan akuisisi data, kemudian dilakukan *pre-processing* yang meliputi penghilangan trend linear dan polinomial, normalisasi amplitudo, filter *empirical mode decomposition* dan *bandpass*. kemudian dilakukan perhitungan korelasi silang dan dekonvolusi sehingga didapatkan *Virtual source*. Tras seismik kemudian di *picking* sehingga didapatkan nilai waktu tempuh antar stasiun dan kemudian dibuat pemodelan kecepatan gelombang dengan *seismic refraction tomography*. Dari hasil perbandingan kedua metode pembuatan *virtual source* didapatkan bahwa korelasi silang menghasilkan *virtual source* yang memiliki amplitudo yang lebih tinggi dibanding dekonvolusi, memiliki noise yang lebih kecil, dan menghasilkan *virtual source* yang kemenerusannya lebih baik. Sedangkan Dekonvolusi memiliki bandwidth frekuensi yang lebih lebar dan pembuatan *virtual source* dekonvolusi lebih cepat dibandingkan dengan korelasi silang.

Kata Kunci : Dekonvolusi, Korelasi silang, Seismik interferometri

Halaman ini sengaja dikosongkan

COMPARISON OF CROSS CORRELATION AND DECONVOLUTION SEISMIC INTERFEROMETRY ON PASSIVE SEISMIC DATA TO CALCULATE P-WAVE VELOCITY

Name : RAMADITIO BAGUS PRADANA
NRP : 0341164000031
Advisor : Wien Lestari S.T, MT
Nita Ariyanti, S.T, M.Eng.

ABSTRACT

Seismic data acquisition is divided into two variations based on the source, namely active seismic and passive seismic. Seismic data is useful for knowing subsurface characters with fairly high accuracy. Seismic interferometry is introduced as a method that utilizes the recording of ambient noise data that propagates beneath the surface. Passive seismic recording compared to active seismic is much more cheaper. To do interferometry processing, it requires creating the virtual source first. Virtual source creation has been done by using cross correlation method. In this study, a comparison is made between cross-correlation and deconvolution method for creating the virtual source. The study was conducted by acquiring the data first, then pre-processing for the data is conducted, which includes removing linear and polynomial trends, mean and amplitude normalization, empirical mode decomposition and bandpass filters. then cross-correlation and deconvolution calculations are performed to obtain the Virtual source. The seismic trace is then picked so that the travel time between stations is obtained and then wave velocity modeling was made with seismic refraction tomography. From the comparison result of the two methods of making virtual source, it was found that cross correlation produces a virtual source that has a higher amplitude than deconvolution so that it is more visible and has less noise. While deconvolution has a wider frequency bandwidth, so it can create a virtual source that cannot be formed on the cross correlation method.

Keywords: Cross Correlation, Deconvolution, Seismic interferometry

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena dengan rahmat dan ridhoNya proposal tugas akhir dengan judul “PERBANDINGAN SEISMIK INTERFEROMETRI KORELASI SILANG DAN DEKONVOLUSI PADA DATA SEISMIK PASIF UNTUK PERHITUNGAN KECEPATAN GELOMBANG P” dapat terselesaikan.

Penyelesaian ini tentunya juga melibatkan berbagai pihak selain penulis. Dalam penulisan maupun proses pelaksanaan tidak terlepas dari bimbingan, saran dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih pada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kesehatan ilmu dan berkah yang luar biasa kepada semua hamba-Nya.
2. Orang tua penulis yang senantiasa memberikan dukungan material maupun moril pada pelaksanaan perkuliahan hingga tugas akhir ini
3. Wien Lestari S.T, MT., selaku pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan saran dan bimbingan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
4. Nita Ariyanti, S.T, M.Eng., selaku pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan saran dan bimbingan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
5. Firman Syaifuddin, S.T, M.T., selaku pembimbing tugas akhir yang senantiasa memberikan saran dan bimbingan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini.
6. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa membimbing dan mendidik penulis selama masa perkuliahan.
7. Jajaran Civitas Akademika Departemen Teknik Geofisika ITS yang senantiasa memberikan bimbingan dan izin melakukan berbagai kegiatan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
8. Teman-teman TG05 dan Warkuy TG Family yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan pada pelaksanaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa pengembangan keilmuan tidak berhenti pada suatu hasil. Kritik, saran maupun diskusi diperlukan agar kebermanfaatannya laporan tugas akhir ini semakin dirasakan pembaca maupun pribadi penulis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	1
ABSTRACT	3
KATA PENGANTAR	5
DAFTAR ISI	7
DAFTAR TABEL	11
1.1. Latar Belakang	13
1.2. Rumusan Masalah	13
1.3. Batasan Masalah	13
1.4. Tujuan	14
1.5. Manfaat	14
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	15
2.1. Dasar Teori	15
2.1.1. Geologi Regional Surabaya	15
2.1.1.1. Fisiografi Regional	15
2.1.1.2. Stratigrafi Regional	15
2.1.2. Gelombang Seismik	17
2.1.3. Seismik Pasif	19
2.1.4. Seismik Interferometri	21
2.1.5. Seismik Interferometri Gelombang Langsung	22
2.1.6. <i>Virtual Source</i>	26
2.1.7. Sumber Gelombang Digunakan (Berasal dari Noise)	27
2.2. Penelitian Terdahulu	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Data	33
3.2. Perangkat Lunak	35
3.3. Diagram Alir Penelitian	36
3.4. Prosedur Penelitian	37
3.4.1. Akuisisi data	37
3.4.2. Persiapan dan Pengondisian Data	37
3.4.2.1. Data linear detrending	37
3.4.2.2. Data polinomial detrending	38
3.4.2.3. Normalisasi amplitudo	38
3.4.2.4. Empirical Mode Decomposition	39
3.4.2.5. Filter Bandpass	40
3.4.3. Pembuatan <i>Virtual Source</i>	40
3.4.4. <i>Stacking dan Shifting</i>	41
3.4.5. <i>Refraction tomography</i>	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	44

4.1. Analisis hasil pengolahan.....	45
4.1.1. Pengondisian data.....	45
4.1.1.1. Raw Data.....	45
4.1.1.2. Menghilangkan trend pada data.....	46
4.1.1.3. Normalisasi Amplitudo	47
4.1.1.4. Empirical Mode Decomposition.....	48
4.1.1.5. Bandpass Filter	50
4.1.2. Pembuatan <i>Virtual source</i>	52
4.1.2.1. Cross Correlation.....	52
4.1.2.2. Deconvolution	53
4.1.2.3. Stacking	54
4.1.2.4. Shifting	56
4.1.3. <i>Refraction Tomography</i>	56
4.2. Pembahasan.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1. Kesimpulan.....	69
5.2. Saran	
DAFTAR PUSTAKA	71
BIOGRAFI PENULIS	74

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Fisiografi Zona Kendeng (Van Bemmelen, 1949)	15
Gambar 2. 2 Peta Geologi Surabaya modifikasi (Sukardi, 1992)	16
Gambar 2. 3 Gelombang Primer (Kramer, 1996)	17
Gambar 2. 4 Gelombang Sekunder (Kramer, 1996)	18
Gambar 2. 5 Gelombang Rayleigh (Kramer, 1996)	19
Gambar 2. 6 Gelombang Love (Kramer, 1996)	19
Gambar 2. 8 Ilustrasi penjalaran gelombang 1-D (a) gelombang menjarar kearah kanan dari sumber Xs (b) waktu tempuh dari sumber Xs menuju receiver Xb (c) waktu tempuh dari sumber Xs menuju receiver Xc (d) respon korelasi silang antara receiver Xa dan Xb	22
Gambar 2. 9 Dengan sumber dari kanan ke kiri, cross-correlation d) diintepretaskan sebagai time reversed Green's function (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)	24
Gambar 2. 10 Ilustrasi jika sumber berasal dari kiri dan kanan penerima (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)	24
Gambar 2. 11 seperti pada Gambar 2.8 tetapi ambient noise dilakukan secara bersamaan dari kanan dan kiri (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)	26
Gambar 2.12 Ilustrasi dari pembuatan <i>Virtual source</i> . (a) receiver A dan B berperan sebagai receiver dengan adanya sumber sumber aktif disekitarnya. (b) receiver A berperan sebagai <i>Virtual source</i> terhadap receiver B dari hasil proses <i>cross-correlation</i> antara keduanya(Behura dan Snieder, 2013).	27
Gambar 2.13 Ilustrasi <i>Virtual source</i> (a) <i>ray tracing</i> sumber tidak diketahui (b) <i>ray tracing</i> setelah <i>cross-correlation</i> tiap <i>trace</i> .(Wielandt, 2013).	28
Gambar 2.14 Penampang V_p (aktif) - Forensik ITS (interferometri)-Taman Alumni ITS (interferometri) Hasil Regresi Log(Muhammad, 2017).	29
Gambar 2.15 <i>Picking phase velocity</i> (kiri) dan hasil inversi MASW dari <i>Virtual source</i> (kanan)(Nakata dkk., 2011).	30
Gambar 2.16 <i>Power spectral</i> tiap <i>geophone</i> yang terletak diatas rongga bawah tanah(Schuster dkk., 2003).	30
Gambar 2.17 (a) Model (b) Hasil <i>cross correlation</i> .	31
Gambar 3.1 Stasiun Pengamatan Data Seismik Pasif	33
Gambar 3.2 Histrogram Jarak antar Stasiun Pengamatan	34
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 3. 4 Menghilangkan Trend linear, biru merupakan data awal, merah muda merupakan data setelah linear detrending (Mathworks.com).	37
Gambar 3. 5 Menghilangkan trend polinomial, biru merupakan data Gawal dan oranye merupakan setelah proses detrending polinomial (mathworks.com).	38
Gambar 3. 6 Data sebelum(kiri) dan setelah normalisasi (kanan) amplitudo. ..	39
Gambar 4. 1 Data mentah pengukuran	45

Gambar 4. 2 <i>Linear Trend Removal</i>	46
Gambar 4. 3 Menghilangkan tren polinomial	47
Gambar 4. 4 Normalisasi Amplitudo	48
Gambar 4. 5 IMF 1 sampai 8	49
Gambar 4. 6 <i>Detrending</i> dengan EMD	49
Gambar 4. 7 <i>Window Bandpass</i> filter	50
Gambar 4. 8 Sebelum dan sesudah filter <i>bandpass</i> (Domain Waktu)	51
Gambar 4. 9 Sebelum dan sesudah filter <i>bandpass</i> (Domain Frekuensi)	52
Gambar 4. 10 Korelasi silang SBA 1 dan SBA 2	53
Gambar 4. 11 Hasil <i>Virtual source</i> korelasi silang	53
Gambar 4. 12 Dekonvolusi SBA 1 dan SBA 2	54
Gambar 4. 13 <i>Virtual source</i> dekonvolusi	54
Gambar 4. 14 Stacking virtual source 1 dan 2	55
Gambar 4. 15 <i>Virtual source</i> setelah stacking	56
Gambar 4. 16 Proses <i>picking</i> pada MATLAB	57
Gambar 4. 17 Input waktu tempu hasil <i>picking</i> pada ZondST2D.	57
Gambar 4. 18 Penampang 2D V_p	58
Gambar 4. 19 <i>Virtual source</i> stasiun 1 (paling kiri) Korelasi silang.	59
Gambar 4. 20 <i>Virtual source</i> stasiun 1 (paling kiri) Dekonvolusi	59
Gambar 4. 21 Stack VS8 receiver 6	60
Gambar 4. 22 Stack VS8 receiver 1	60
Gambar 4. 23 Stack VS8 receiver 8	61
Gambar 4. 24 <i>Virtual source</i> sort jarak korelasi silang.	62
Gambar 4. 25 <i>Virtual source</i> sort jarak dekonvolusi	62
Gambar 4. 26 Gelombang dalam domain frekuensi	63
Gambar 4. 27 <i>Trace</i> berdasarkan urutan jarak (dekonvolusi).	64
Gambar 4. 28 <i>Trace</i> berdasarkan urutan jarak (korelasi silang)	64
Gambar 4. 29 Waktu tempuh dari <i>Virtual source</i> ke receiver.	65
Gambar 4. 30 Plot waktu tempuh <i>Virtual source</i> ke receiver.	65
Gambar 4. 31 Penampang V_p dekonvolusi	66
Gambar 4. 32 Penampang V_p korelasi silang	66

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Sumber-sumber mikrotremor berdasarkan frekuensinya (Gutenberg, 1958) dan (Asten, 1978)	20
Tabel 3.1 Daftar Nama dan Lokasi Stasiun Pengamatan.....	34
Tabel 3. 2 Perangkat Lunak yang digunakan dalam penelitian	35
Tabel 4. 1 Perbandingan <i>virtual source</i> dekonvolusi dan korelasi silang	68

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seismik pasif merupakan metoda seismik yang menggunakan data hasil pengukuran *traffic noise* (sumber berasal dari aktifitas makhluk hidup) atau *ambient noise* (sumber berasal dari gelombang yang terperangkap di bawah permukaan). Data *ambient noise* yang direkam dapat digunakan untuk melakukan analisis kondisi litologi di bawah permukaan tanah salah satunya dengan metode seismik interferometri. Seismik interferometri merupakan metode seismik pasif yang menggunakan korelasi antara *trace* data seismik, korelasi ini mengacu pada interferensi antara pasangan sinyal untuk mendapatkan informasi dari keduanya. (Curtis dkk., 2006). Metode tersebut mengubah *ambient noise* sebagai sinyal. Sedangkan pada umumnya *noise* di eliminasi pada metoda seismik aktif.

Data yang berasal dari gelombang pasif dapat dianalisis lebih lanjut menggunakan pendekatan metode interferometri untuk mendapatkan *Virtual source*. Salah satu cara pembuatan *Virtual source* adalah dengan menggunakan korelasi silang data antar stasiun (Wapenaar, Draganov, dkk., 2010). Namun terdapat metode lain dalam pembuatan *Virtual source* yang dapat dilakukan salah satunya adalah dekonvolusi. Pada penelitian ini akan di bandingkan hasil *Virtual source* dari hasil korelasi silang dan dekonvolusi antar tras seismik. Sebelum dibentuk *Virtual source*, agar didapatkan hasil yang lebih baik, terlebih dahulu dilakukan *Pre-conditioning* yang meliputi *Detrending*, Normalisasi, *Empirical mode* dan yang terakhir filter *Bandpass*.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana tahapan pembuatan *Virtual source* pada data seismik pasif menggunakan metode seismik interferometri *cross correlation* dan *deconvolution*.
2. Bagaimana perbedaan hasil *Virtual source* dengan *korelasi silang* dan *dekonvolusi*.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Data yang digunakan merupakan data seismik komponen vertikal.
2. Pengolahan data menggunakan metode seismik interferometri korelasi silang dan dekonvolusi.

3. Rekaman data yang digunakan adalah sebanyak 100 data setiap detik selama 8 hari pengukuran di 8 stasiun.

1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengetahui tahapan pembuatan *Virtual source* pada data seismik pasif menggunakan metode seismik interferometri *cross correlation* dan *deconvolution* .
2. Mengetahui perbedaan hasil *Virtual source* dengan korelasi silang dan dekonvolusi.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah penelitian ini dapat digunakan sebagai rujukan untuk penelitian terkait pengolahan data seismik pasif.

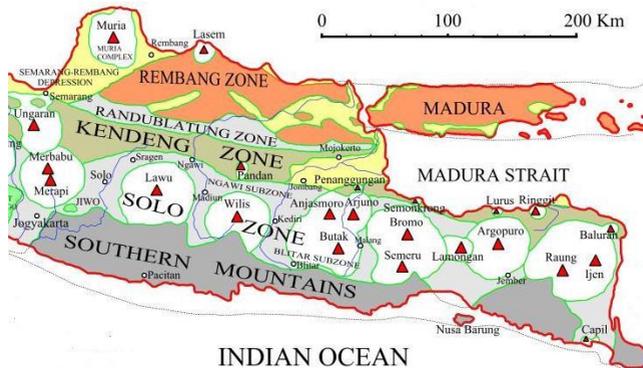
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dasar Teori

2.1.1. Geologi Regional Surabaya

2.1.1.1. Fisiografi Regional

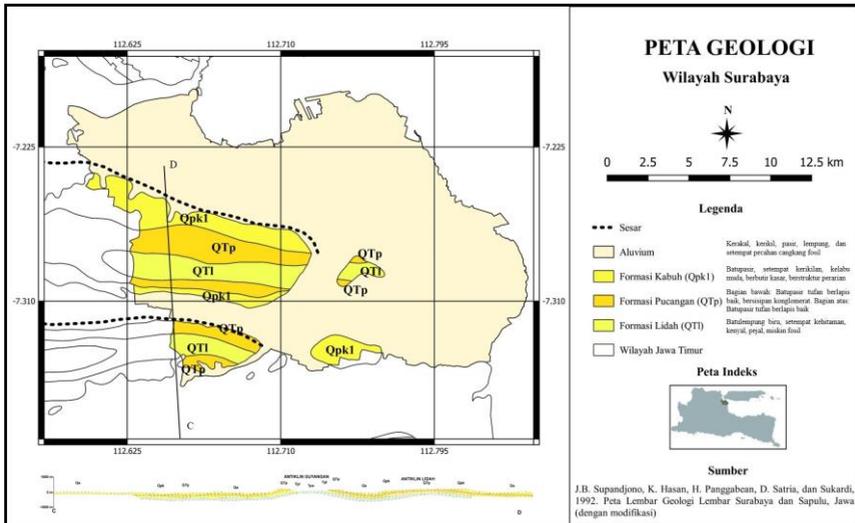
Zona Kendeng menurut (Van Bemmelen, 1949) terbagi menjadi 3 subzona yang meliputi Kendeng Barat, Kendeng Tengah dan Kendeng Timur. Deformasi pada Zona Kendeng semakin besar dari Kendeng Timur sampai ke Barat. Zona kendeng memiliki ciri morfologi perbukitan rendah yang bergelombang yang memiliki ketinggian berkisar di 50 sampai 200 meter. Rangkaian perbukitan yang memiliki arah dari barat ke timur mencirikan terdapatnya lipatan dan sesar naik yang juga memiliki arah dari barat ke timur. Pada bagian barat, intensitas lipatan dan anjakan cenderung lebih kuat di bandingkan di bagian timur. Akibat dari terdapatnya lipatan dan anjakan yang di sebabkan oleh gaya kompresi tersebut, maka terbentuk retakan, sesan dan juga zona lemah lainnya pada arah tenggara-barat laut, barat daya-timur laut dan juga utara selatan.



Gambar 2. 1 Fisiografi Zona Kendeng (Van Bemmelen, 1949)

2.1.1.2. Stratigrafi Regional

Zona kendeng disusun dengan stratigrafi endapan laut dalam pada bagian bawah, kemudian di atasnya terdapat endapan laut dangkal dan selanjutnya merupakan endapan non laut, Sedangkan Surabaya memiliki stratigrafi yang terdiri dari formasi Kabuh, formasi Pucangan, formasi Lidah dan juga endapan Alluvium yang ditunjukkan pada gambar 2.2. (Pringgoprawiro, 1983).



Gambar 2. 2 Peta Geologi Surabaya modifikasi (Sukardi, 1992)

1. Formasi Kabuh (Qpk)

Formasi kabuh terdiri dari batupasir dengan material non vulkanik seperti kuarsa, memiliki tekstur silang siur dengan sisipan konglomerat. Pada formasi ini juga terdapat moluska air tawar dan fosil-fosil vertebrata. Umur formasi ini diperkirakan berada pada Plistosen Tengah dengan ditemukannya fosil *Pithecanthropus Erectus*. Formasi ini diperkirakan memiliki ketebalan mencapai 45-200 m.

2. Formasi Pacangan (Qtp)

Formasi ini tersusun oleh batupasir yang memiliki butir kasar hingga konglomeratan, batupasir tufan berbutir halus hingga kasar dan juga batupasir tufan mengandung lempung dengan sisipan breksi tufan, batu kerikil, batupasir tufan napalan, mengandung molusca laut. Fosil pada formasi ini menunjukkan bahwa formasi ini memiliki umur Pliosen Atas-Pleistosen (N21-N22). Pada formasi ini ditemukan juga *Pithecanthropus*. Pada bagian Kendeng Timur formasi ini diendapkan pada lingkungan marine dan terletak selaras diatas Formasi Lidah. Formasi ini menindih tak selaras Formasi Kalibeng

3. Formasi Lidah (Qtl)

Formasi ini terdiri dari urutan lempung yang umumnya tidak berlapis dan tidak mengandung pasir sama sekali, namun secara setempat berselingan dengan batupasir kuarsa.. Formasi ini memiliki umur di Pliosen Atas hingga Pleistosen (N21-N22) yang kemudian diendapkan pada lautan yang agak

terlindung untuk bagian bawah dan berangsur-angsur menjadi dangkal kearah atas.

4. Endapan Aluvium (Qa)

Endapan Aluvium merupakan endapan permukaan yang terdiri dari kerakal, kerikil, pasir, lempung dan setempat pecahan cangkang fosil.

2.1.2. Gelombang Seismik

Perambatan energi yang mampu memindahkan partikel ke tempat lain sesuai dengan arah perambatannya disebut dengan Gelombang. Gelombang seismik merupakan gelombang mekanik yang merambat di dalam bumi. Sehingga pada penjarannya gelombang seismik memerlukan medium untuk merambat

Gelombang seismik disebabkan oleh adanya deformasi struktur di bawah bumi akibat tekanan ataupun tarikan karena sifat keelastisitasan kerak bumi. Proses tersebut biasanya berupa aktivitas vulkanik, ledakan buatan maupun gempa bumi. Gelombang seismik membawa energi yang dapat menjaral ke segala arah di seluruh bagian bumi, sehingga mampu dicatat oleh seismograf. Gelombang seismik dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*) (Muhtar, 2016).

1. Gelombang Badan (*Body Wave*)

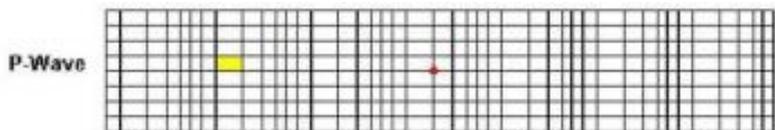
Gelombang yang menjaral ke segala arah di dalam dan di permukaan bumi. Gelombang badan ini terdiri dari gelombang primer (gelombang P) dan gelombang sekunder (gelombang S).

a. Gelombang Primer

Gelombang longitudinal dengan gerakan partikelnya searah dengan arah perambatannya dan dapat menjaral dalam segala medium. Kecepatan penjaralan gelombang P ditulis dengan persamaan sebagai berikut (Kayal, 2008):

$$V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

dimana V_p adalah kecepatan gelombang P (m/s), k adalah modulus bulk (Pa), μ adalah modulus geser (N/m^2), dan ρ adalah densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang (kg/m^3).



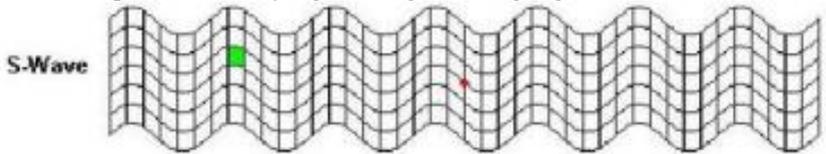
Gambar 2. 3 Gelombang Primer (Kramer, 1996)

b. Gelombang Sekunder

Gelombang transversal atau gelombang geser (*shear wave*) dengan arah gerakan partikelnya tegak lurus dengan rambatannya (Muhtar, 2016). Gelombang ini menjalar lebih lambat dibandingkan dengan gelombang primer, tetapi memancarkan energi lebih banyak. Gelombang S hanya dapat merambat pada medium padat. Persamaan penjalaran gelombang S ditulis dengan persamaan:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2)$$

dimana μ adalah rigiditas atau modulus geser (N/m^2), dan ρ adalah densitas atau kerapatan material yang dilalui gelombang (kg/m^3).



Gambar 2. 4 Gelombang Sekunder (Kramer, 1996)

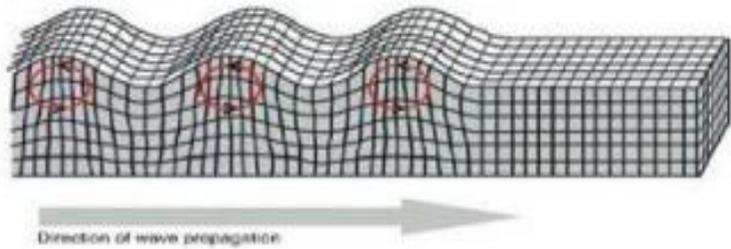
2. Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang yang penjalarnya hanya melalui permukaan bumi. Gelombang ini menjalar lebih lambat daripada gelombang badan, namun mengakibatkan kerusakan yang lebih besar. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua yaitu gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*.

a. Gelombang *Rayleigh*

Gelombang permukaan yang gerakan partikelnya merupakan kombinasi gerakan partikel gelombang P dan S, yaitu berbentuk *ellips*. Gelombang *Rayleigh* memiliki kecepatan antara 2,0 – 4,2 km/s di dalam bumi, dengan besar amplitudonya menurun secara eksponensial sebagai fungsi kedalaman (Muhtar, 2016).

Rayleigh wave

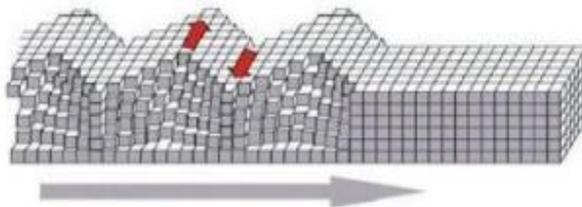


Gambar 2. 5 Gelombang Rayleigh (Kramer, 1996).

b. Gelombang *Love*

Gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal. Gerakan partikel gelombang *love* mirip dengan gelombang S. Gelombang ini terpolarisasi secara horisontal dan tidak menghasilkan perpindahan vertikal .(Muhtar, 2016)

Love wave



Gambar 2. 6 Gelombang Love(Kramer, 1996).

2.1.3. Seismik Pasif

Seismik pasif atau Mikrotremor adalah getaran yang terjadi terus menerus pada permukaan bumi dan bersifat konstan dengan amplitudo yang sangat kecil, yaitu 10^{-4} - 10^{-2} mm(Okada dan Suto, 2003). Menurut Nakamura, mikrotremor yang merupakan getaran lingkungan (*ambient vibration*) berasal dari dua sumber utama, yaitu aktivitas manusia dan alam. Aktivitas manusia yang menjadi sumber mikrotremor ini berupa getaran akibat orang berjalan, lalu lintas, mesin-mesin pabrik, dan industri. Sedangkan sumber yang berasal dari aktivitas alam diantaranya adalah aliran air sungai, variasi tekanan atmosfer, dan gelombang laut(Musson, 2012) sumber mikrotremor yang berasal dari alam (gelombang laut, kondisi meteorologi dengan skala luas) memiliki frekuensi rendah (dibawah 1 Hz). Pada frekuensi sedang (1-5 Hz) . sumber mikrotremor

berasal dari alam (kondisi meteorologi lokal) maupun aktifitas manusia (kepadatan penduduk), sedangkan pada frekuensi tinggi (diatas 5 Hz) sumber utamanya adalah aktivitas manusia. Tabel 2.1 berikut merupakan daftar perbedaan jenis sumber microtremor berdasarkan nilai frekuensinya menurut Gutenberg dan Asten.

Tabel 2.1 Sumber-sumber mikrotremor berdasarkan frekuensinya (Gutenberg, 1958)

Sumber Mikrotremor	Gutenberg
Gelombang laut yang menerjang sepanjang bibir pantai	0,05 – 0,1 Hz
Termor vulkanik	2 – 10 Hz
Kepadatan penduduk	1 – 100 Hz
Gangguan meteorologi skala besar (Monsom)	0,1 – 0,25 Hz

Sinyal mikrotremor terdiri dari tiga komponen yaitu dua komponen horizontal yaitu spektrum E (Barat-Timur), dan spektrum N (Utara-Selatan) juga satu komponen vertikal yaitu spektrum Z. Sinyal mikrotremor mempunyai amplitudo antara 0,1 μm sampai 1 μm dengan rentang periodenya 0,05 sampai 2 detik. Berdasarkan rentang periodenya, mikrotremor diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu periode pendek dan periode panjang. Mikrotremor periode pendek berada pada periode kurang dari 1 detik. Periode ini hanya terkait dengan struktur bawah permukaan yang dangkal. Sementara itu, mikrotremor periode panjang berada pada periode lebih dari 1 detik dan terkait dengan struktur yang lebih dalam menuju ke dasar batuan keras (Utami, Zahroh; Wibowo, Nugroho Budi ; Darmawan, 2017)

Survei mikrotremor merupakan survei pasif yang menggunakan gelombang alami yang terdapat di bumi dan dapat dimanfaatkan untuk untuk mengetahui karakteristik lapisan tanah di bawah permukaan terkait kondisi geologi pada suatu titik pengukuran (Aki, 1957). Metode survei mikrotremor yang banyak digunakan saat ini antara lain metode HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) dan SPAC (*Spatial Auto Correlation*). Pengukuran mikrotremor telah menjadi suatu metode yang populer karena mudah, praktis, dan hemat biaya (Bonney-Claudet dkk., 2006). Hal ini juga tidak terlepas dari dari keunggulan lainnya yang tidak mengganggu lingkungan (khususnya pada wilayah permukiman) jika dibandingkan dengan metode yang memanfaatkan gelombang seismik aktif yang menggunakan bahan peledak, dinamit atau pembangkit gelombang buatan (vibroseis).

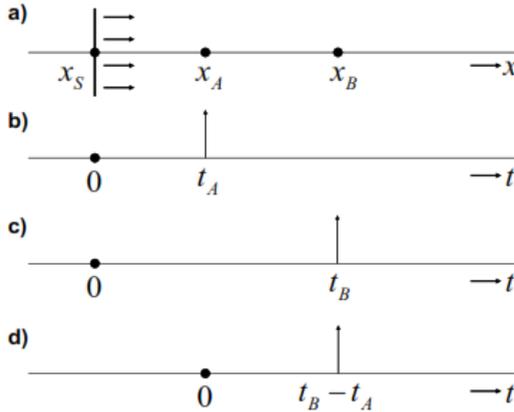
2.1.4. Seismik Interferometri

Fenomena suatu gelombang yang meng-interferensi gelombang lainnya untuk di dapatkan informasi dari perbedaan diantara pasangan gelombang tersebut merupakan fenomena yang menggambarkan secara umum kata dari interferometri. Seismik interferometri sendiri adalah studi yang mempelajari mengenai interferensi antar pasangan gelombang seismik. Studi mengenai seismik interferometri merupakan memanfaatkan gelombang seismik dari sumber gelombang pasif untuk membuat gelombang seismik baru (*Virtual source*). Pembuatan gelombang seismik baru dilakukan menggunakan operasi korelasi silang pada stasiun pengukuran yang berbeda-beda (Wapenaar, Draganov, dkk., 2010). Pada umumnya, respon hasil korelasi silang antara dua *receiver* dapat diinterpretasikan sebagai respon yang diukur pada salah satu *receiver* seolah-olah sebagai sumbernya dan ditangkap responnya oleh *receiver* yang lain. Karena respon tersebut sama dengan fungsi Green yang dikonvolusikan dengan *wavelet*, maka interferometri seismik dapat disebut juga dengan pemulihan fungsi Green (*Green's function retrieval*).

Seismik interferometri juga diartikan sebagai teknik untuk membangun impuls atau fungsi green dengan melakukan korelasi silang pada gelombang datang yang merambat diantara dua receiver. Teknik ini membuat salah satu *receiver* dapat dianggap sebagai sumber meskipun pada kenyataannya tidak terdapatnya sumber aktif, maka dapat disebut juga sebagai *Virtual source* (Bakulin dan Calvert, 2006). Seismik interferometri dapat menggunakan hasil pengukuran sumber seismik alami dengan frekuensi rendah (*passive seismic*) yang dianggap lebih tidak memakan biaya dibanding metode konvensional yang mengharuskan penggunaan sumber seismik aktif. Seismik pasif sendiri merupakan getaran tanah dengan amplitudo mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam ataupun buatan, seperti angin, gelombang laut atau getaran kendaraan yang bisa menggambarkan kondisi geologi suatu wilayah dekat permukaan.

2.1.5. Seismik Interferometri Gelombang Langsung

Seismik Interferometri Gelombang Langsung Seismik interferometri melibatkan korelasi silang antara respon yang diterima oleh minimal dua *receiver*. Tinjau penjalaran gelombang langsung 1-D pada ilustrasi berikut:



Gambar 2. 7 Ilustrasi penjalaran gelombang 1-D (a) gelombang menjaral kearah kanan dari sumber x_S (b) waktu tempuh dari sumber x_S menuju *receiver* x_B (c) waktu tempuh dari sumber x_S menuju *receiver* x_C (d) respon korelasi silang antara *receiver* x_A dan x_B

Untuk memudahkan dalam pemahaman tentang seismik interferometri digunakan ilustrasi Gambar 2.7 dengan asumsi cepat rambat gelombang c dalam keadaan konstan.

Dimana *Green's function* didefinisikan sebagai dua fungsi delta berikut,

$$G(x_A, x_S, t) = \delta(t - t_A) \text{ respon pada } x_A \quad (3)$$

$$G(x_B, x_S, t) = \delta(t - t_B) \text{ respon pada } x_B \quad (4)$$

Dengan t_A dan t_B adalah waktu tiba gelombang,

$$t_A = \frac{x_A - x_S}{c} \quad (5)$$

$$t_B = \frac{x_B - x_S}{c} \quad (6)$$

Kemudian *cross-correlation* x_A dengan x_B didapatkan pada $t_B - t_A$. Respon tersebut dapat diinterpretasikan sebagai respon pada x_B dari sumber yang terletak pada x_A .

$$G(x_B, x_A, t) = \delta(t_B - t_A) \quad (7)$$

Oleh karena itu letak sumber x_S (di kiri penerima) tidak perlu diketahui dengan pasti.

Selanjutnya akan dibahas lebih mendetail tentang *cross-correlation* lebih mendetail berdasarkan (Wapenaar, Draganov, Snieder, Campman, & Verdel)

Respon *cross-correlation* pada x_A dan x_B ,

$$G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) \quad (8)$$

tanda * merupakan operator *convolution*. Tetapi dikarenakan pembalikan pada waktu pada *Green function* kedua mengubah menjadi operator *correlation*,

$$G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) = \int G(x_B, x_S, t + t')G(x_A, x_S, t')dt' \quad (9)$$

Substitusi fungsi delta pada sisi kanan,

$$\int \delta(t + t' - t_B)\delta(t' - t_A)dt' = \delta(t - (t_B - t_A)) = \delta\left(t - \frac{(x_B - x_A)}{c}\right) \quad (10)$$

Persamaan 2.6 telah membuktikan bahwa korelasi dari x_A dan x_B memenuhi persamaan berikut,

$$G(x_B, x_A, t) = G(x_B, x_S, t) * G(x_A, x_S, -t) \quad (11)$$

Jika impuls sumber berbentuk *wavelet* $s(t)$,

$$u(x_A, x_S, t) = G(x_A, x_S, t) * s(t) \quad (12)$$

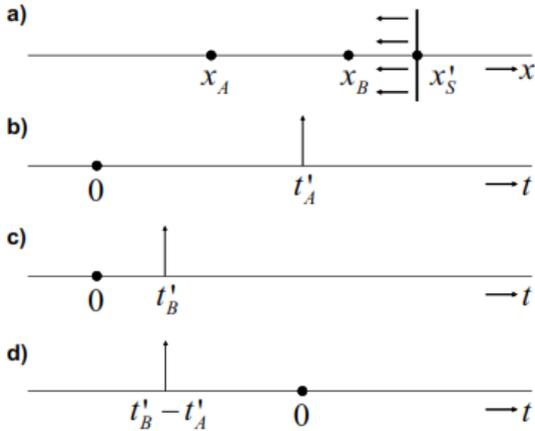
$$u(x_B, x_S, t) = G(x_B, x_S, t) * s(t) \quad (13)$$

Maka,

$$G(x_B, x_A, t) * S_S(t) = u(x_B, x_S, t) * u(x_A, x_S, -t) \quad (14)$$

Dengan,

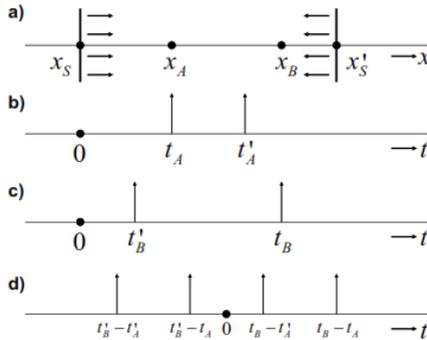
$$S_S(t) = s(t) * s(-t) \quad \text{auto correlation dari wavelet} \quad (15)$$



Gambar 2. 8 Dengan sumber dari kanan ke kiri, cross-correlation d) diinterpretasikan sebagai time reversed Green's function (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)

Dengan posisi sumber seperti pada Gambar 2.8, maka persamaan menjadi

$$G(x_B, x_A, -t) = G(x_B, x'_S, t) * G(x_A, x'_S, -t) \quad (16)$$



Gambar 2. 9 Ilustrasi jika sumber berasal dari kiri dan kanan penerima (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)

Kemudian persamaan 2.9 dan 2.14 digabungkan,

$$G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t) = \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_S^{(i)}, t) * G(x_A, x_S^{(i)}, -t) \quad (17)$$

Dimana $x_S^{(i)}$ $i = 1,2$ untuk x_S dan x'_S .

Persamaan dengan sumber *wavelet*,

$$\{G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t)\} * S_s(t) = \sum_{i=1}^2 u(x_B, x_s^{(i)}, t) * u(x_A, x_s^{(i)}, -t) \quad (18)$$

Pada persamaan 2.16 *cross-correlation* dilakukan terpisah kemudian baru dijumlahkan.

Jika sumber diganti dengan impuls beserta *ambient noise* maka respon pada x_A dan x_B ,

$$u(x_A, t) = \sum_{i=1}^2 G(x_A, x_s^{(i)}, t) * N_i(t) \quad (19)$$

$$u(x_B, t) = \sum_{j=1}^2 G(x_B, x_s^{(j)}, t) * N_j(t) \quad (20)$$

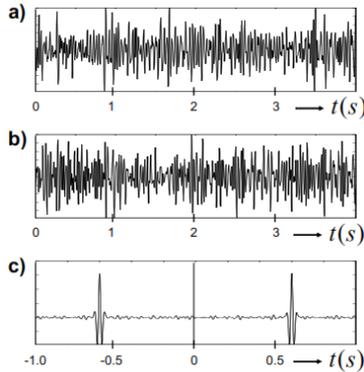
Apabila dilakukan *cross-correlation* antara x_A dan x_B ,

$$\begin{aligned} &\langle u(x_B, t) * u(x_A, -t) \rangle \\ &= \left\langle \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_s^{(j)}, t) * N_j(t) * G(x_A, x_s^{(i)}, -t) * N_i(-t) \right\rangle \\ &= \sum_{i=1}^2 G(x_B, x_s^{(i)}, t) * G(x_A, x_s^{(i)}, -t) * S_N(t) \end{aligned} \quad (21)$$

Dengan menggabungkan persamaan 2.15 dengan 2.18

$$\{G(x_B, x_A, t) + G(x_B, x_A, -t)\} * S_N(t) = \langle u(x_B, t) * u(x_A, -t) \rangle \quad (22)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa *cross-correlation* dari kedua sumber yang telah terkorelasikan dengan *autocorrelation ambient noise* dan tersuperposisi menghasilkan *Green's function* beserta *time reversed* (Rochman M, 2017).



Gambar 2. 10 seperti pada Gambar 2.8 tetapi ambient noise dilakukan secara bersamaan dari kanan dan kiri (Wapenaar, Slob, dkk., 2010)

Secara garis besar metoda dekonvolusi dapat dibagi menjadi dua, yaitu deterministik dan statistik. Dekonvolusi deterministik adalah dekonvolusi menggunakan operator filter yang sudah diketahui atau didesain untuk menampilkan suatu bentuk tertentu. Contoh dekonvolusi deterministik adalah spiking deconvolution. Sementara jika disain filter tidak kita ketahui, kita dapat memperolehnya secara statistik dari data itu sendiri. Metoda ini disebut dekonvolusi statistik. Contoh dekonvolusi statistik adalah dekonvolusi prediktif

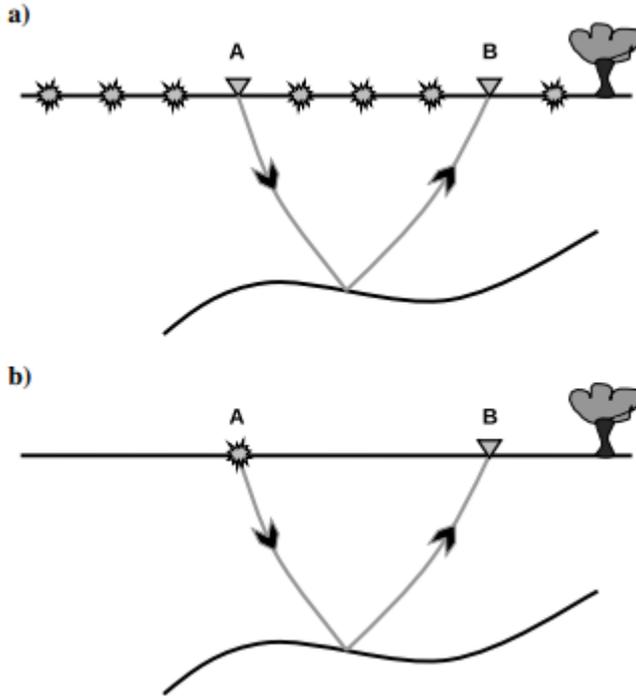
Seismik interferometri dengan menggunakan pendekatan dekonvolusi diperkenalkan oleh (Snieder dkk., 2006). Dijelaskan bahwa dalam domain frekuensi, dekonvolusi bisa didapatkan dari hasil pembagian antara sinyal pertama dan pasangan sinyalnya. Operator sinyal yang sudah diketahui membuat oprasi ini dapat digolongkan sebagai dekonvolusi deterministik. Perhitungan dekonvolusi dapat dilakukan melalui persamaan 23.

$$D(s) = \frac{U(X_{a,s})}{U(X_{b,s})} = \frac{G(X_{a,s})}{G(X_{b,s})} = \frac{G(X_{a,s})G^*(X_{b,s})}{|G(X_{b,s})|^2} \quad (23)$$

2.1.6. Virtual Source

Virtual source adalah *source* yang dihasilkan dari proses *cross-correlation* antara *reciver* dengan *receiver* lainnya. Pembuatan *Virtual source* mengekstrak dari *Green's function* yang menjelaskan mengenai perambatan gelombang diantara *receiver* dengan membuat kombinasi dari kecocokan gelombang yang diterima oleh *receiver* tersebut. Gelombang yang terekam dapat dihasilkan dari superposisi sumber aktif. *Virtual source* berguna karena dapat

menghilangkan kebutuhan adanya sumber aktif yang terkontrol dan digantikan dengan *receiver* pada lokasi yang diinginkan (Curtis dkk., 2006).

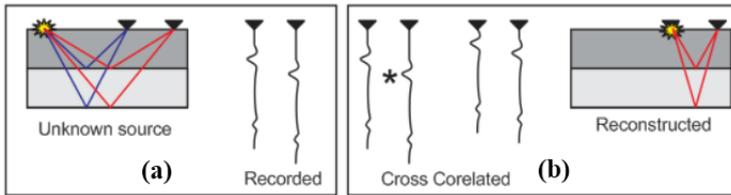


Gambar 2.11 Ilustrasi dari pembuatan *Virtual source*. (a) *receiver* A dan B berperan sebagai *receiver* dengan adanya sumber sumber aktif disekitarnya. (b) *receiver* A berperan sebagai *Virtual source* terhadap *receiver* B dari hasil proses *cross-correlation* antara keduanya (Behura dan Snieder, 2013).

2.1.7. Sumber Gelombang Digunakan (Berasal dari Noise)

Noise yang muncul meskipun tanpa generasi dari *source* disebut *random ambient noise*. *Noise* tersebut dapat dipicu dari aktivitas lalu lintas, hewan, tumbuhan, dan manusia. (Milsom dan Eriksen, 2011). Jenis *noise* darat terdapat dua macam yaitu *long-period noise* dan *short-period noise*. *Long-period noise* ditimbulkan oleh fluktuasi tekanan atmosfer (Wielandt, 2013). *Short-period noise* dapat ditimbulkan oleh alam (gerakan pohon karena angin, tumbukan angin dengan kontur permukaan tanah, dan riak air). Umumnya *noise* tersebut memiliki rentang frekwensi 0.5 Hz hingga 15 Hz atau bahkan hingga 60 Hz (Young dkk., 1996). *Noise* yang memiliki frekwensi tinggi biasanya diakibatkan aktifitas

manusia (*power plants*, pabrik, putaran mesin, pada jalan raya dan jalur kereta api). *Noise* tersebut cenderung menggenerasi gelombang permukaan tetapi dapat menggenerasikan gelombang *body* (V_p , dan V_s) (Wielandt, 2013).



Gambar 2.12 Ilustrasi *Virtual source* (a) ray tracing sumber tidak diketahui (b) ray tracing setelah *cross-correlation* tiap trace. (Wielandt, 2013)

Gambar 2.12 menjelaskan konsep sederhana rekonstruksi *Green's function* dengan metoda *cross-correlation*. Sumber yang tidak diketahui letaknya dapat didapatkan respon *zero offset* pada *geophone* pertama (terdekat dengan sumber).

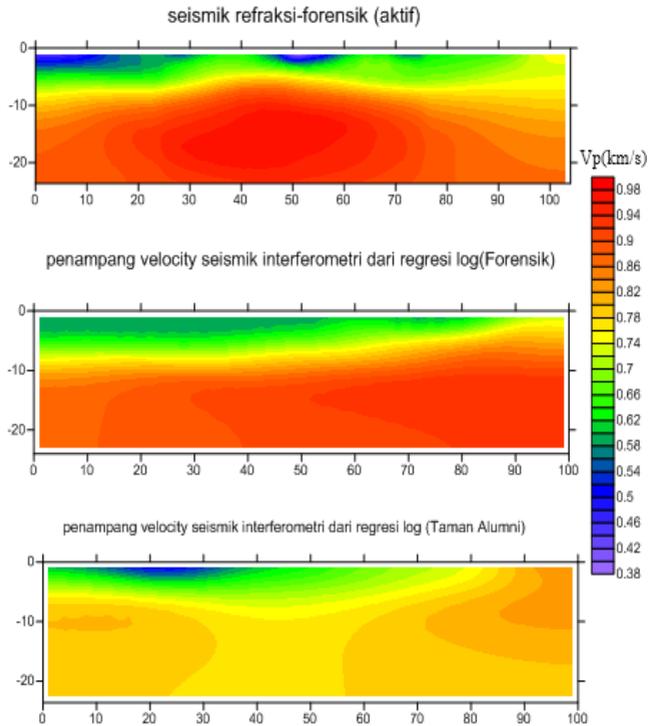
2.2. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Bland dan Stewart, 1996) pada data 3-komponen dapat diasumsikan arah gelombang dengan membandingkan 2 komponen horisontal. Data 3-komponen umumnya memiliki error orientasi minimal 10 derajat. Error ini didapatkan dengan membandingkan antara desain akuisisi dan hasil komputasi komponen horisontal. Komponen horisontal pada data dapat membantu untuk mengetahui lokasi *geophone*, orientasi *geophone*, dan lokasi *source*.

$$G + Ge + d \begin{bmatrix} \text{Sin}(\phi + \phi e) & -\text{Cos}(\phi + \phi) \\ \text{Cos}(\phi + \phi e) & \text{Sin}(\phi + \phi) \end{bmatrix} = S + Se \tag{24}$$

Dari persamaan diatas, G menunjukkan lokasi *geophone*, S menunjukkan lokasi *source*, d menunjukkan offset dan ϕ menunjukkan orientasi. Persamaan 12 merupakan perhitungan geometri secara otomatis untuk mengetahui lokasi dari *geophone* terhadap *source* yang diterimanya dengan membandingkan antara desain akuisisi dengan hasil komputasi.

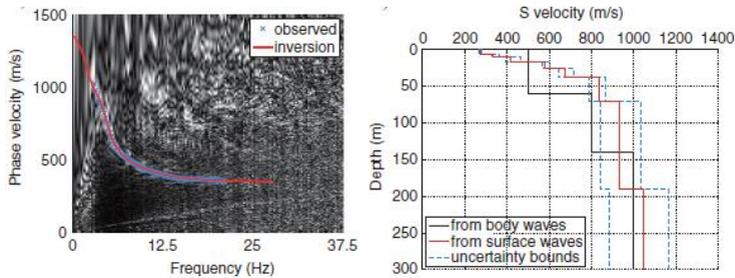
Salah satu penelitian dengan metode interferometri yang telah dilakukan sebelumnya dilakukan oleh Nur Rochman pada tahun 2017 yang berlokasi di Taman Alumni ITS dan Forensik ITS, dengan tujuan untuk Mendapatkan penampang *Virtual source* baik dari data sintetik maupun data lapangan, dan pengolahan seismik refleksi dan tomografi data seismik interferometri sintetik beserta uji coba pada data lapangan.



Gambar 2.13 Penampang V_p (aktif) - Forensik ITS (interferometri)-Taman Alumni ITS (interferometri) Hasil Regresi Log(Muhammad, 2017).

Pada gambar 2.13 merupakan hasil *velocity modeling* yang terbagi atas 3 yaitu V_p rendah, V_p sedang dan V_p tinggi yang diasumsikan merupakan Alluvial yang didominasi oleh *clay*.

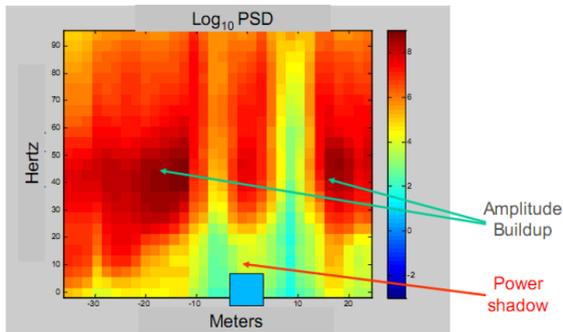
Inisiasi studi lainnya dilakukan oleh Nakata yaitu menggambarkan V_s bawah permukaan dengan menggunakan teknik seismik interferometri dengan cara merekam *noise* yang diaktifkan oleh kereta api. Beliau membuat *Virtual source* untuk merekonstruksi pola gelombang permukaan kemudian dilakukan inversi MASW untuk mendapatkan profil V_s terhadap kedalaman.



Gambar 2.14 *Picking phase velocity*(kiri) dan hasil inversi MASW dari *Virtual source* (kanan)(Nakata dkk., 2011).

Energi untuk membangkitkan *surface wave* cukup besar dikarenakan sumber yang digunakan adalah *noise* dari kereta api yang melintas sehingga mudah dalam analisis *picking phase velocity*.

Yang Zhao pada desertasinya di tahun 2013 mencoba mendeteksi letak rongga di bawah permukaan dengan memanfaatkan perekaman *ambient noise* dengan membentangkan beberapa *geophone* diatas permukaan tanah. Hal tersebut dilakukan karena metoda aktif tidak dapat menunjukkan pola refleksi letak rongga tersebut.

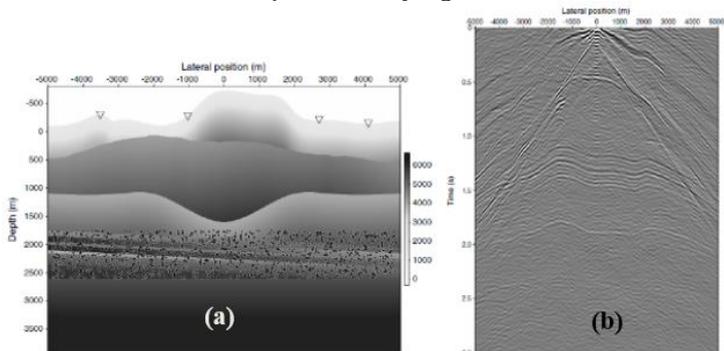


Gambar 2.15 *Power spectral* tiap *geophone* yang terletak diatas rongga bawah tanah(Schuster dkk., 2003).

Beliau menggunakan *power spectral* tiap *geophone* yang telah dibentang. Secara lateral letak rongga tersebut ditandai dengan tanda (■) berhasil teridentifikasi tetapi untuk letak vertikal masih belum teridentifikasi (dikarenakan domain frekwensi). Posisi rongga ditandai dengan pelemahan *power* pada frekwensi tertentu (*power shadow*). Hal ini menandakan teknik seismik interferometri dapat digunakan pada kasus eksplorasi maupun geoteknik. Metoda ini juga

masih memiliki peluang untuk dikembangkan dari segi metoda dan kegunaannya.

Thorbecke dan Draganov membuat sebuah program simulasi numerik untuk seismik interferometri. Program ini menggunakan teori *finite difference* dari penjalaran gelombang pada medium. Dibawah ini adalah hasil dari *cross-correlation* dari semua sumber pada model yang telah dibuat,



Gambar 2.16 (a) Model (b) Hasil *cross correlation*.

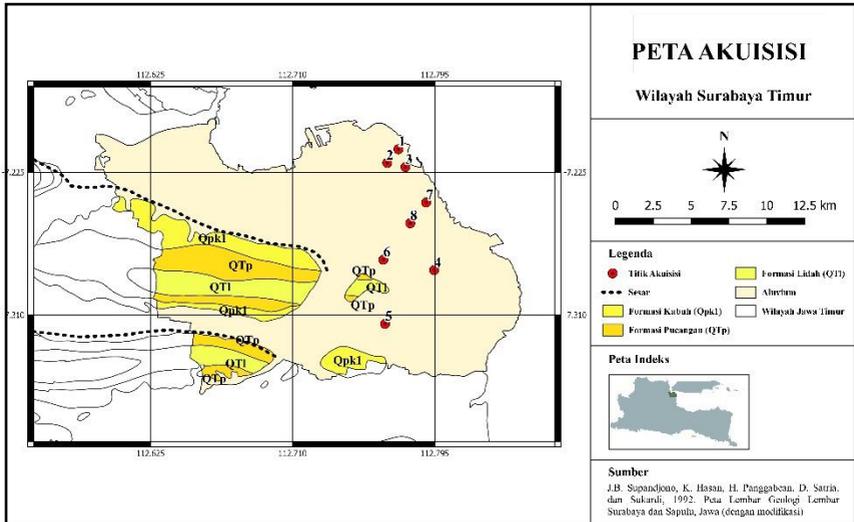
Gambar 2.16((a)) menjelaskan model sintetik beserta distribusi *noise* kemudian dilakukan pembuatan *Virtual source* dengan teknik *cross-correlation* ((b)) Thorbecke dan Draganov, 2011.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data

Data yang digunakan pada tugas akhir ini merupakan data primer. Data berupa rekaman seismik pasif multikomponen dengan jumlah komponen sebanyak 3 yaitu 2 komponen horisontal dan 1 komponen vertikal. Data yang digunakan diakuisisi ini hanya komponen vertikal. Rekaman dilakukan di lapangan “KUY” dengan jumlah stasiun akuisisi sebanyak 8 stasiun yang tersebar di daerah tersebut.



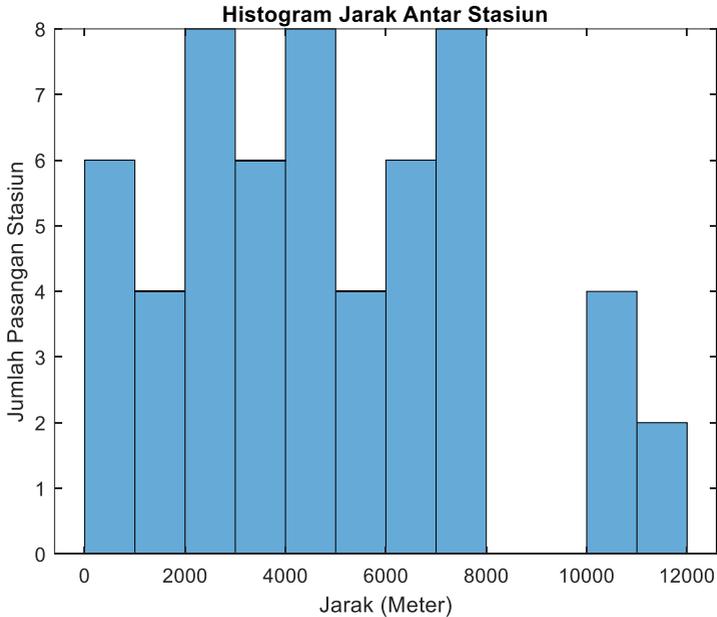
Gambar 3.1 Stasiun Pengamatan Data Seismik Pasif

Gambar 3.1 menunjukkan lokasi stasiun pengamatan. Stasiun pengamatan memiliki pola yang tersebar secara merata. Jarak antara stasiun mempengaruhi kualitas dari hasil penelitian, karena digunakan untuk identifikasi waktu tempuh gelombang nantinya. Waktu tempuh gelombang seharusnya relatif sama pada jarak yang sama.

Data memiliki waktu rekaman yang bersamaan di seluruh stasiun. Data memiliki panjang rekaman selama 1 hari dan memiliki frekuensi sampel sebesar 100 Hz. Pada tugas akhir ini digunakan hari pengukuran. Data yang telah diolah nantinya akan digabungkan untuk meningkatkan kualitas *trace* hasil akhir.

Tabel 3.1 Daftar Nama dan Lokasi Stasiun Pengamatan

No	Koordinat-X	Koordinat-Y	Nama Tempat	Kota/Kabupaten
1	7°12'40.44"S	112°46'23.92"E	Tambak Wedi	Surabaya
2	7°13'9.95"S	112°45'59.77"E	SMPN 31	Surabaya
3	7°13'18.62"S	112°46'39.03"E	SMAN 19	Surabaya
4	7°16'59.63"S	112°47'40.76"E	Petro	Surabaya
5	7°18'54.59"S	112°45'55.11"E	SMAN 14	Surabaya
6	7°16'37.23"S	112°45'51.37"E	Sukodami 1	Surabaya
7	7°14'34.69"S	112°47'23.58"E	SMPN 18	Surabaya
8	7°15'19.05"S	112°46'49.26"E	Kalijudan Vi	Surabaya



Gambar 3.2 Histogram Jarak antar Stasiun Pengamatan

Jarak antar stasiun pengamatan dapat dilihat pada (Gambar 3.2). Pada histogram di atas, sumbu x mewakili jarak dalam meter, dan sumbu y mewakili jumlah jarak antar stasiun. Jarak antar stasiun dapat di lihat berkisar di 0 sampai 12 kilometer. Jarak antar stasiun dan variasinya kemungkinan mempengaruhi hasil *virtual source*.

3.2. Perangkat Lunak

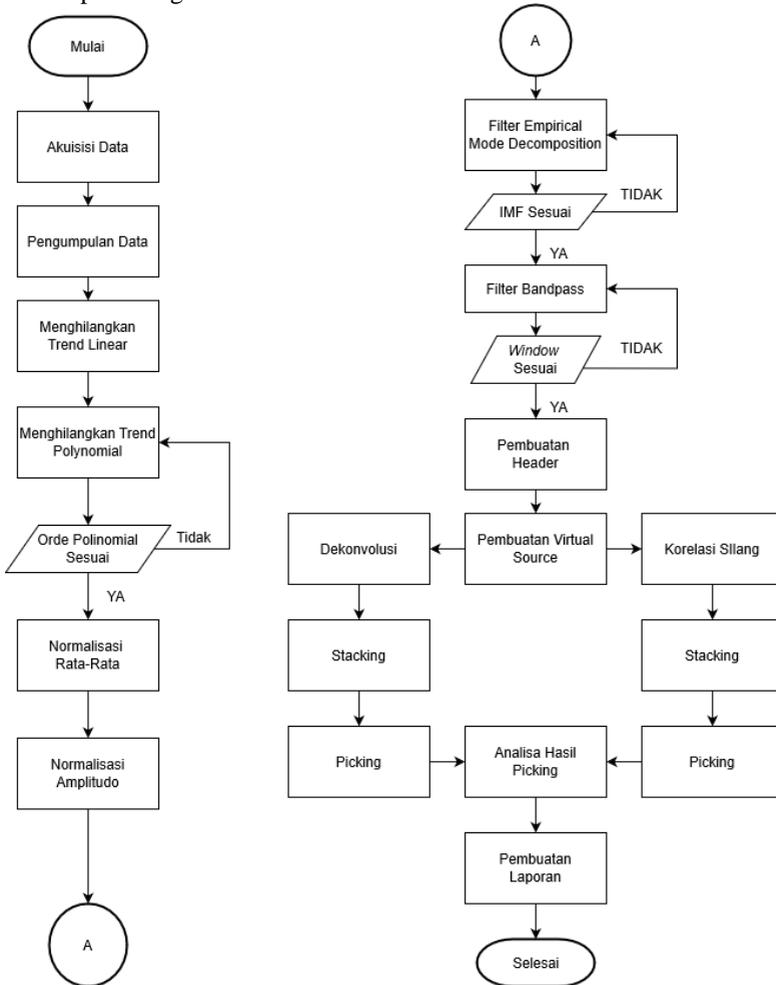
Penelitian ini menggunakan perangkat lunak untuk membantu pengolahan data. Perangkat lunak yang digunakan dijelaskan pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Perangkat Lunak yang digunakan dalam penelitian

Ms. Word 2016	Program pengolahan kata
Ms. Excel 2016	Program manajemen data numerik
Matlab	Program pengolah numerik
ZondST2D	Program tomografi seismik

3.3. Diagram Alir Penelitian

Tugas akhir ini dikerjakan sebagaimana dengan alur pengerjaan yang tertera pada diagram dibawah



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Akuisisi data

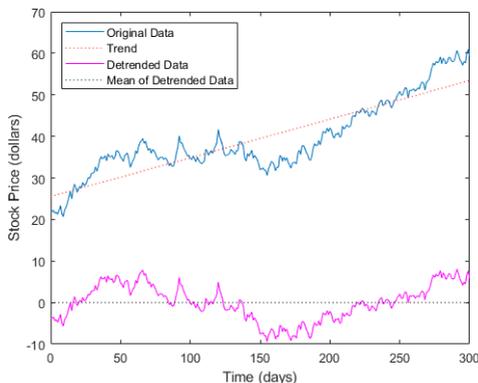
Data awal yang ada memiliki format berupa format alat .EHE(*Easting*, EHN(*Northing*), EHZ(*Vertikal*), Namun yang digunakan hanya komponen vertikalnya saja. Data kemudian di ekstrak dengan mengubah dari format seed menjadi matriks pada perangkat lunak MATLAB.

3.4.2. Persiapan dan Pengondisian Data

Tahapan pertama yang dilakukan adalah pengondisian data. Data yang di dapatkan dari hasil pengukuran merupakan data yang di ambil dengan kondisi atau faktor-faktor yang berbeda satu sama lain. Kondisi yang berbeda tersebut dapat mempengaruhi data yang terukur pada alat. Contohnya seperti terdapat trend yang berbeda pada setiap pengukuran, amplitudo yang jauh berbeda satu sama lain, sampai terdapatnya sumber-sumber gelombang yang tidak diinginkan Dalam pembentukan *Virtual source*, kondisi-kondisi tersebut harus disamakan untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Pada penelitian kali ini, akan dilakukan beberapa pengondisian data meliputi linear dan polinomial detrending, normalisasi amplitud, *empirical mode decomposition* dan yang terakhir filter *Bandpass*.

3.4.2.1 Data linear detrending

Data yang terukur tidak sepenuhnya memiliki kecenderungan yang linear di nol, seringkali dijumpai data yang mengarah ke amplitudo positif atau negatif. Kecenderungan yang tidak sama antar setiap stasiun akan membuat nilai korelasi jadi tidak beraturan. Pada tahap ini, data akan di buat memiliki kecenderungan yang linear di posisi nol seperti gambar 3.4.

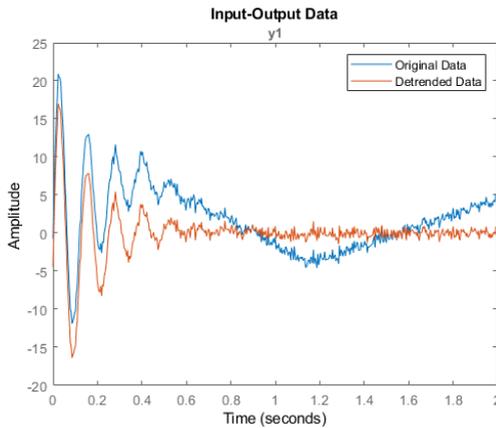


Gambar 3. 4 Menghilangkan Trend linear, biru merupakan data awal, merah muda merupakan data setelah linear detrending (Mathworks.com).

Proses menghilangkan kecenderungan linear ini dilakukan dengan mencari regresi dari setiap data, kemudian mengurangi data dengan regresi linear tersebut sehingga di dapatkan data yang memiliki trend linear di 0.

3.4.2.2. Data polinomial detrending

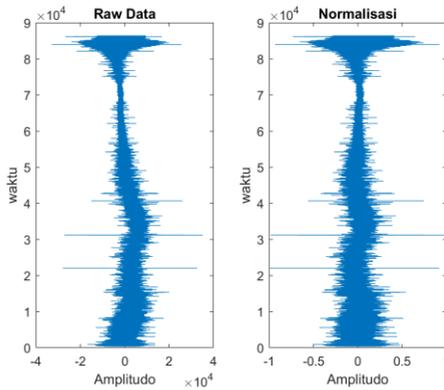
Data yang terukur tidak hanya memiliki kecenderungan yang linear, namun juga memiliki kecenderungan tidak beraturan, sama halnya dengan kecenderungan linear, hal ini juga dapat mengganggu proses pembuatan virtual source, maka kecenderungan polinomial ini juga harus di hilangkan. Proses ini dilakukan dengan mendekati ketidakteraturan pada data dengan orde polinomial tertentu, kemudian mengurangi data dengan polinomial tersebut seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Menghilangkan *trend polinomial*, biru merupakan data awal dan oranye merupakan setelah proses detrending polinomial (mathworks.com).

3.4.2.3. Normalisasi amplitudo

Stasiun satu dan yang lainnya memiliki hasil pengukuran yang berbeda-beda. Selain kecenderungan yang berbeda, amplitudo yang di rekam setiap stasiun berbeda-beda. Ketimpangan nilai amplitudo pada setiap stasiun akan mengurangi korelasi antar gelombang yang seharusnya sama. Untuk mengurangi hal tersebut data dilakukan normalisasi dengan membuat amplitudo gelombang berada di 1 dan -1. Dengan ini bisa di dapatkan data setiap stasiun yang memiliki amplitudo yang seragam.

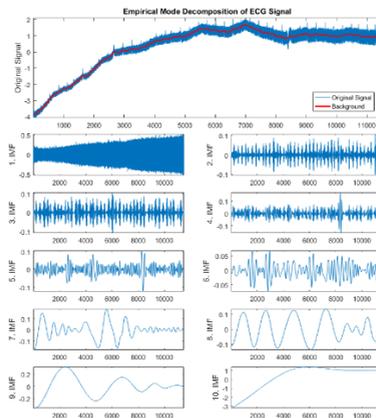


Gambar 3. 6 Data sebelum(kiri) dan setelah normalisasi (kanan) amplitudo.

Pada gambar 3.6 dapat dilihat perbedaannya. Data yang belum dilakukan normalisasi memiliki amplitudo yang mencapai 4 dan -4, setelah normalisasi amplitudo berada pada 1 dan -1. Proses ini dilakukan pada setiap stasiun.

3.4.2.4. Empirical Mode Decomposition

Filter yang diaplikasikan pada data menggunakan filter EMD (*Empirical Mode Decomposition*). Filter EMD mendekomposisi sinyal dengan cara mengurangi amplitudo sinyal dengan rata-rata envelope sinyal awal. Hasil dari dekomposisi ada 2 bagian yaitu *Intinsic Mode Function* (IMF) dan komponen sisa (residu).

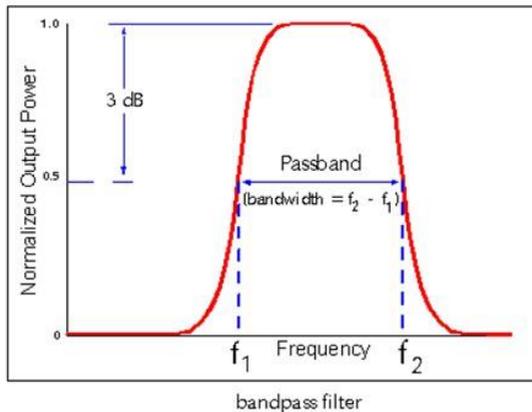


Gambar 3. 7 IMF Pada EMD

Pada gambar 3.7 dapat dilihat hasil dekomposisi dengan menggunakan EMD untuk setiap IMF-nya. Pada penelitian ini, EMD digunakan untuk mengeliminasi trend pada data. Filter ini bekerja secara iteratif, dan frekuensi pada data akan berkurang di setiap imf nya. Data frekuensi rendah yang di dapatkan pada IMF tertentu dapat di dimanfaatkan untuk mengeliminasi trend pada data dengan melakukan pengurangan data awal dengan IMF yang dianggap representatif dari trend data.

3.4.2.5. Filter Bandpass

Pembentukan *Virtual source* dilakukan menggunakan data *ambient noise*. *Ambient noise* sendiri memiliki rentang frekuensi tertentu yang relatif kecil dari keseluruhan pengukuran data. Untuk membatasi spektrum frekuensi pada data, bandpass filter dapat digunakan. Pada penelitian ini, *window filter* digunakan seragam pada setiap datanya agar didapatkan spektrum frekuensi yang sama pada setiap stasiunnya.



Gambar 3. 8 Bandpass Filter

3.4.3. Pembuatan Virtual Source

Cross Correlation merupakan proses korelasi antara dua sinyal untuk melihat derajat kesamaan diantara keduanya. Proses ini dilakukan pada MATLAB untuk mempermudah *looping process*. Korelasi silang dilakukan antara *master trace* dan *trace* lainnya perhitungan hingga semua lag diselesaikan. Sama halnya dengan *cross correlation*, Dekonvolusi juga dilakukan dengan cara yang sama, hanya saja berbeda pada hitungan matematis antar data.

Dalam proses pembuatan virtual source dengan korelasi silang, data dalam domain waktu di konversi terlebih dahulu kedalam domain frekuensi

dengan menggunakan *Fast fourier transform* (FFT). Kemudian dalam domain frekuensi, sinyal di oprasikan dengan menggunakan persamaan

$$G(x_B, x_A, t) * S_s(t) = u(x_B, x_S, t) * u(x_A, x_S, -t) \quad (25)$$

Dengan G merupakan *green function*, S adalah wavelet dan u adalah sinyal dalam domain frekuensi. Setelah oprasi matematis dilakukan, sinyal di transformasikan kembali kedalam domain waktu dengan *inverse fast fourier transform* (IFFT). *Green function* pada persamaan diatas, dikonvolusikan dengan *Wavelet* Sehingga didapatkan hasil respon gelombang/*virtual source* korelasi silang

Pembuatan *Virtual source* dengan dekonvolusi juga di lakukan dalam domain frekuensi. Maka, sebelum dilakukan oprasi dekonvolusi, terlebih dahulu data di transformasikan ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan *FFT*. Setelah sinyal sudah dalam domain frekuensi, oprasi matematis dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$D(s) = \frac{U(x_{a,s})}{U(x_{b,s})} \quad (26)$$

Dengan D merupakan hasil *virtual source* dengan dekonvolusi, U merupakan rekaman gelombang. Sinyal domain frekuensi yang di dapatkan, kemudian di transformasikan kembali ke dalam domain waktu dengan menggunakan (*IFFT*).

3.4.4. *Stacking dan Shifting*

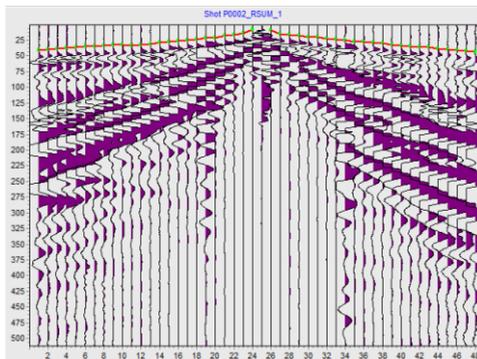
Data hasil korelasi silang dan dekonvolusi telah menjadi *Virtual source*. Hasil *Virtual source* pada setiap hari-nya memiliki kualitas yang berbeda. *Virtual source* yang dibuat dapat menghasilkan tren yang jelas, namun terkadang juga di dapatkan hasil yang kurang maksimal. Untuk meningkatkan kualitas pada data, dilakukan *stacking* hasil pembentukan *Virtual source* untuk setiap harinya. Proses *stacking* juga diikuti dengan bobot yang menyesuaikan kualitas data. Jika data memiliki kualitas yang baik, maka akan di bobotkan lebih besar dan begitu juga sebaliknya. untuk melakukan *picking* dan *tomografi* pada perangkat lunak pembantu ZondST2D, tras seismik yang sudah dimiliki harus di berikan header agar bisa terbaca pada perangkat lunak.

Pengolahan *tomografi* pada penelitian ini dilakukan hingga didapatkan hasil berupa penampang 2 dimensi. Namun titik pengukuran tidak berada di satu garis lurus. Perbedaan jarak antar stasiun di titik sebenarnya dan titik pada garis lurus tentunya menghasilkan waktu tempuh yang berbeda, maka dilakukan *shifting* waktu tempuh berdasarkan jarak antara titik sebenarnya dan titik pada

garis imajiner. *Virtual source* yang telah di shifting dapat dilakukan tomografi dengan memberi header terlebih dahulu.

3.4.5. *Refraction tomography*

Virtual source yang telah dibentuk, menghasilkan tras seismik yang dapat di lakukan tomografi dengan bantuan perangkat lunak ZondST2D. Picking tras dilakukan dengan memilih titik pada waktu tertentu dalam sebuah tras yang di anggap merupakan hasil dari pembentukan *Virtual source*. Proses *picking trace* menghasilkan waktu tempuh gelombang antar stasiun pengukuran. Setelah diketahui waktu tempuh dan juga dimiliki jarak antar stasiun pengukuran, data tersebut diolah dengan *software* pendukung untuk melakukan tomografi refraksi, sehingga di dapatkan nilai kecepatan dalam domain kedalaman.



Gambar 3.9 *Picking First Break*

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	Lrms
1	40	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
2	45	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
3	50	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
4	55	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
5	60	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
6	65	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
7	70	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
8	75	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
9	80	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
10	85	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
11	90	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
12	95	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
13	100	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
14	105	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
15	110	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
16	115	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
17	120	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
18	125	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
19	130	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
20	135	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
21	140	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
22	145	0	1	<input type="checkbox"/>	*	
23	150	0	1	<input type="checkbox"/>	*	

Gambar 3. 10 Tabel masukan data ZondST2D

Picking pada *refraction tomography* sama halnya seperti pada seismik refraksi, yaitu memilih *first arrival* pada sinyal. Seperti pada gambar 3.9. Waktu yang di dapatkan dari hasil *picking* pada perangkat lunak MATLAB, menjadi masukan pada perangkat lunak ZondST2D. Selain waktu hasil *picking*, lokasi titik *virtual source* dan *receiver* juga diperlukan sebagai masukan untuk melakukan *tomography*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis hasil pengolahan

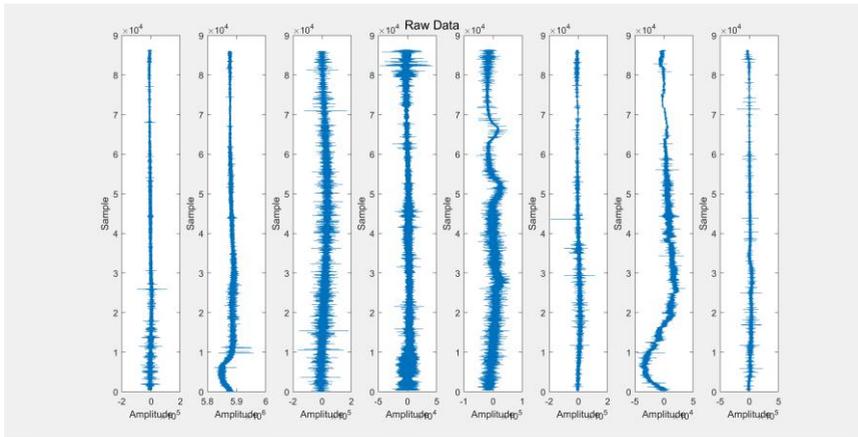
Pengolahan pada penelitian ini dibagi menjadi 3 tahapan, meliputi pengondisian data, pembuatan *Virtual source* dan *refraction tomography*.

4.1.1. Pengondisian data

Data yang di dapatkan dari hasil pengukuran tidak semua memiliki kualitas yang maksimal. Kondisi tersebut bisa disebabkan karena alat maupun lokasi tempat pengambilan data. Untuk menghilangkan data-data yang tidak diinginkan dilakukan pengondisian data yang secara garis besar terdiri atas detrending, normalisasi dan filtrasi.

4.1.1.1. Raw Data

Data yang terukur merupakan data seismik pasif 3 komponen dengan frekuensi pengukuran 100 Hz. Pengukuran dilakukan selama 10 hari di 8 lokasi yang berbeda. Namun data yang dipakai pada proses pengolahan hanya 1 komponen yaitu komponen vertikal, dan hanya dipakai 8 hari karena hanya 8 hari yang semua stasiun merekam 1 hari penuh.



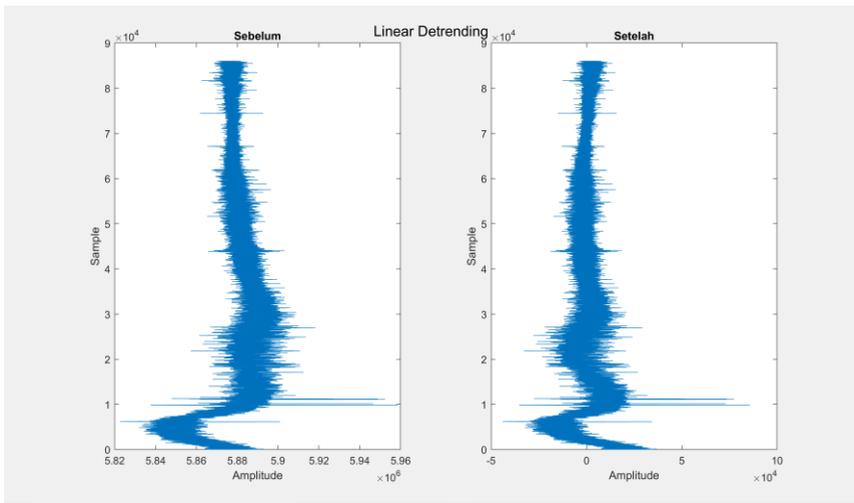
Gambar 4. 1 Data mentah pengukuran

Gambar diatas merupakan contoh data mentah hasil pengukuran. Data tersebut merupakan data 1 hari pada 8 stasiun yang di ukur pada tanggal 23 November 2019. Sumbu y pada gambar merupakan waktu (sekon) pengukuran yang, sedangkan sumbu x merupakan simpangan dari gelombang yang terukur. Pada sumbu y dapat dilihat waktu berada di 0 sekon sampai hampir 90000 sekon. Data yang di dapat pada setiap stasiun dimulai di waktu yang berbeda beda.

Perbedaan waktu ini akan sangat berpengaruh terhadap waktu tempuh yang akan dihasilkan, maka dari itu data harus di *shifting* sehingga berada di waktu mulai dan berhenti yang sama Pada gambar 4.1 tras seismik terlihat memiliki tren yang berbeda-beda di setiap stasiunnya. Hal ini tentu dapat mengganggu proses pembentukan *Virtual source* pada penelitian ini. Oleh karena itu *detrending* data diperlukan sehingga didapatkan hasil yang lebih maksimal.

4.1.1.2. Menghilangkan trend pada data

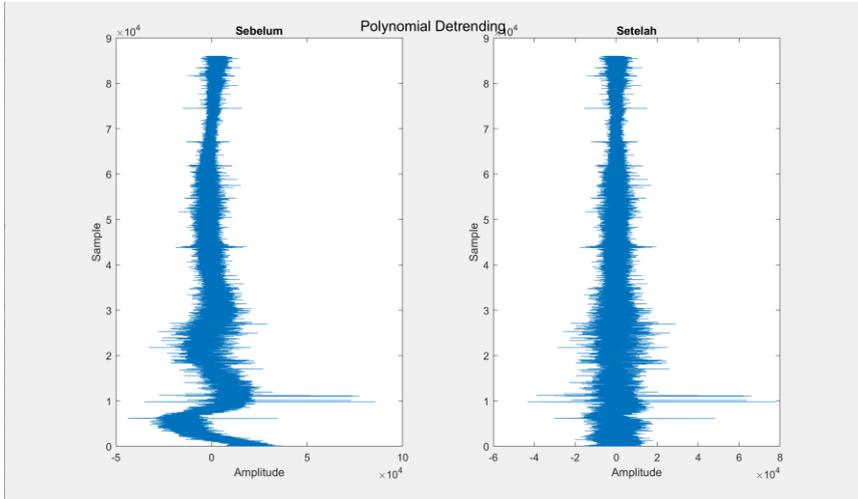
Kecenderungan atau *trend* yang di buat pada tras seismik sangat berpengaruh terhadap tingkat kecocokan antar stasiun saat melakukan pembentukan *Virtual source*, oleh karna itu kecenderungan data pada setiap stasiunnya harus di hilangkan. Menghilangkan tren pada data dapat dilakukan dengan mendekati tren tersebut dengan garis linear maupun polinomial. Pada penelitian ini digunakan kedua pendekatan untuk mengeliminasi tren tersebut. Pendekatan yang pertama dilakukan dengan pendekatan linear. Pendekatan ini dilakukan dengan mencari garis regresi pada data, yang kemudian data akan dikurangi dengan regresi tersebut.



Gambar 4. 2 *Linear Trend Removal*

Gambar 4.2 merupakan sebelum dan setelah proses menghilangkan tren linear. Perbedaan yang signifikan dari proses ini dapat dilihat pada distribusi amplitudo pada sumbu x. Data yang telah di hilangkan tren linearnya memiliki titik tengah yang berpusat di 0, sedangkan pada data mentah berada di angka

yang tidak beraturan. Namun dapat dilihat pada gambar, tidak semua data dapat dihilangkan tren-nya. Pada waktu 0 sampai 100000 detik terlihat terdapat trend yang membentuk suatu kurva polinomial, untuk menghilangkan hal tersebut, data didekati oleh suatu kurva polinomial yang memiliki orde yang mendekati data. Sama halnya seperti proses menghilangkan tren linear, tren polinomial juga dihilangkan dengan mengurangi data hasil pendekatan polinomial.



Gambar 4.3 Menghilangkan tren polinomial

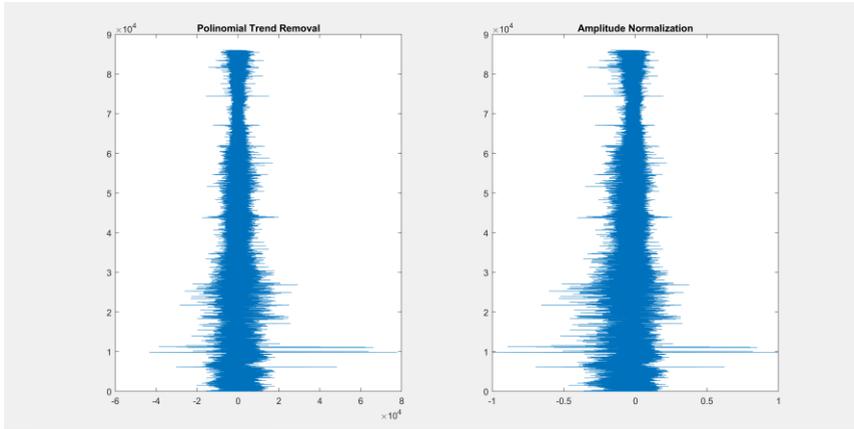
Tren polinomial yang tadinya terlihat jelas pada detik ke 0 sampai 10000, dapat dilihat pada gambar 4.3 tren tersebut dapat di hilangkan. Dengan melakukan *trial and error* pada setiap orde, didapatkan hasil paling baik pendekatan tren polinomial menggunakan orde 20, orde ini digunakan pada setiap stasiun.

4.1.1.3. Normalisasi Amplitudo

Data yang telah diambil memiliki amplitudo dan simpangan yang berbeda-beda pada setiap stasiunnya. Ketika membuat *Virtual source* dengan korelasi silang, diperhitungkan kesamaan pada masing masing pasangan stasiun. Ketika setiap stasiun memiliki simpangan yang berbeda maka akan mengurangi kesamaan antar pasangan stasiun.

Proses normalisasi amplitudo dilakukan untuk membuat setiap stasiun memiliki simpangan terjauh yang sama untuk setiap stasiunnya, sehingga tidak mengganggu pembentukan *Virtual source*. Proses ini dilakukan dengan

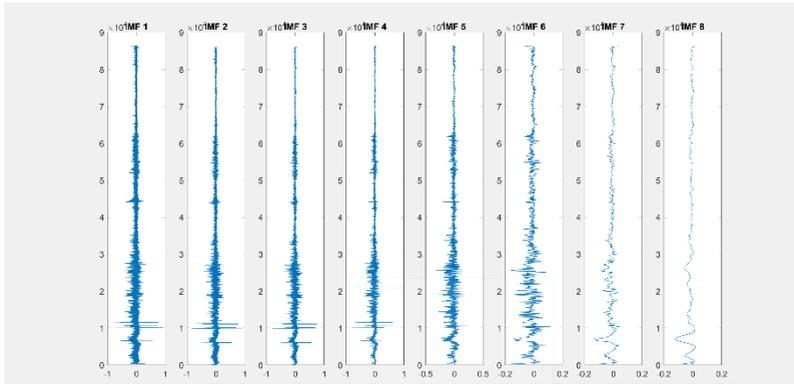
melakukan perhitungan perbandingan sederhana sehingga membawa amplitudo tertinggi dalam setiap tras seismik ke angka 1 dan yang terendah ke -1.



Gambar 4. 4 Normalisasi Amplitudo

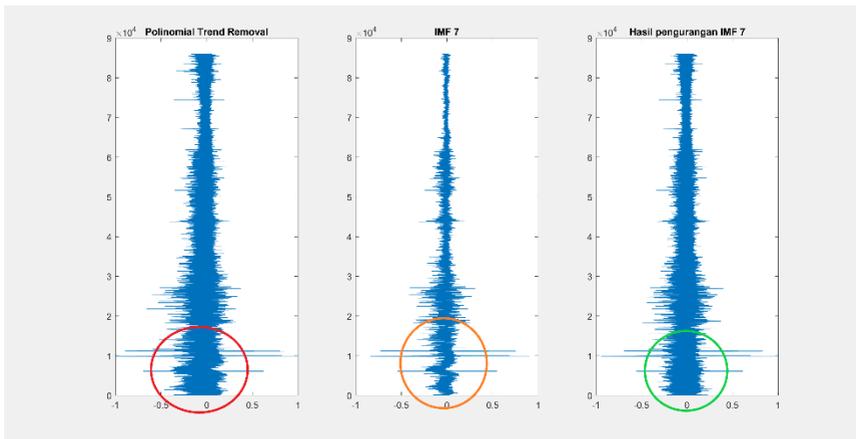
4.1.1.4. Empirical Mode Decomposition

Dekomposisi ini merupakan dekomposisi yang mampu membuat data memiliki frekuensi yang lebih kecil. Setiap bertambahnya iterasi maka data akan terus terdekomposisi sampai mencapai suatu garis lurus. Data yang telah di normalisasi dan di hilangkan trendnya secara linear maupun polinomial masih memiliki tren yang cenderung kecil. EMD pada iterasi yang tepat akan membentuk suatu garis yang menyerupai trend pada data. Data pada iterasi tersebut akan dimanfaatkan sebagai pengurang sehingga di dapatkan hasil yang hampir tidak memiliki tren.



Gambar 4. 5 IMF 1 sampai 8

Pada gambar 4.5 terlihat bahwa setiap iterasi akan membuat data menjadi semakin berfrekuensi rendah. Dekomposisi tersebut membuat pada iterasi tertentu akan mengikuti tren dari data.



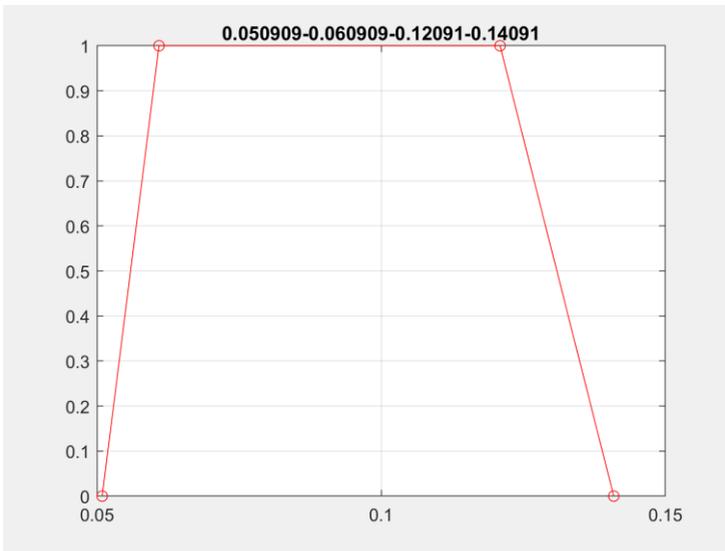
Gambar 4. 6 *Detrending* dengan EMD

Pada gambar sebelum dilakukan *detrending* terlihat pada daerah yang dilingkari merah, masih memiliki sedikit tren yang tidak beraturan. Tren tersebut kemudian di dekomposisi dengan EMD menghasilkan tras yang berfrekuensi lebih rendah, tras tersebut yang kemudian digunakan sebagai pengurang. Pada penelitian ini, IMF yang di gunakan yaitu IMF7 karena memiliki kemiripan dengan tren data paling baik. Tren pada IMF 7 dapat dilihat pada gambar 4.6 yang di tandai dengan warna oranye. Kemudian IMF 7 dijadikan sebagai

pengurang sehingga di dapatkan hasil seperti yang ditandai dengan warna hijau. Tren dari keseluruhan data menjadi jauh lebih berkurang. Data yang di olah memiliki frekuensi perekaman 100 Hz, sehingga proses pengolahan menjadi lambat. Pada proses ini, data di *resampling* dari 100 Hz menjadi 10 Hz. Pada penelitian ini didapatkan bahwa EMD dapat dijadikan pembantu untuk melakukan *detrending* data.

4.1.1.5. Bandpass Filter

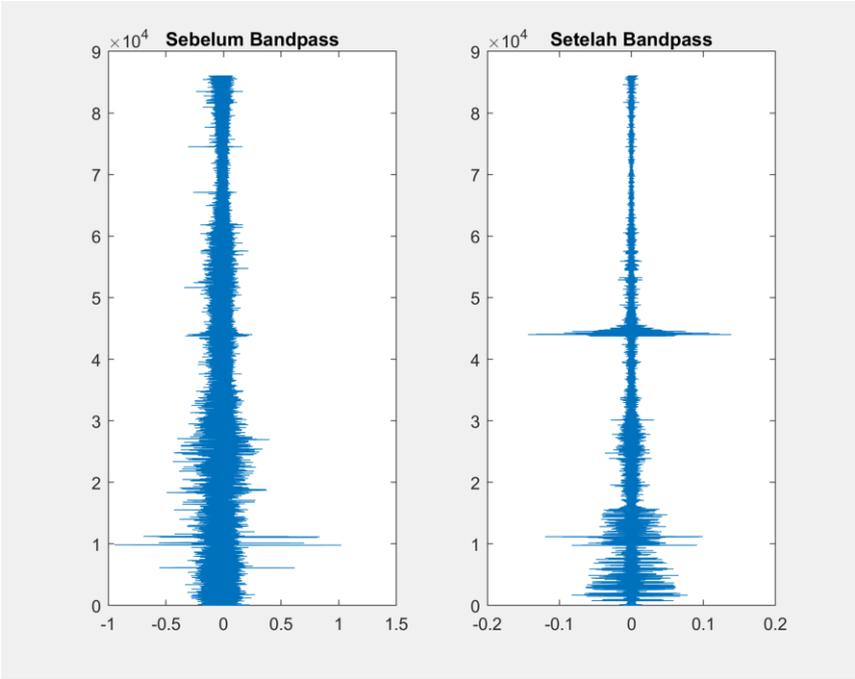
Pembentukan *Virtual source* dalam seismik interferometri memanfaatkan sumber dengan frekuensi cenderung rendah yang merupakan salah satu ciri dari *ambient noise*. Filter bandpass merupakan filter yang cukup baik untuk membatasi frekuensi pada suatu data. Pada penelitian ini filter menggunakan window pada titik tengah di frekuensi 0.09 Hz.



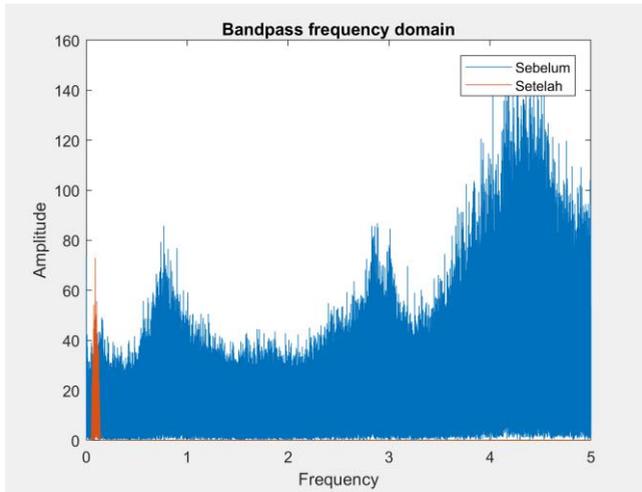
Gambar 4.7 Window Bandpass filter

Angka pada window bandpass, di ambil berdasarkan ciri dari ambient noise sendiri yang mana memiliki frekuensi yang relatif rendah, dan beberapa *trial and error* untuk mendapatkan hasil yang paling maksimal. Setelah dilakukan bandpass filter didapat hasil seperti pada gambar 4.8 dan 4.9. Pada gambar 4.9 terlihat spektrum frekuensi sebelum dilakukan bandpass filter berada

di 0 sampai dengan 5 Hz, sedangkan setelah dilakukan bandpass filter, spektrum frekuensi berada di rentang 0.05 sampai dengan 0.14 Hz



Gambar 4. 8 Sebelum dan sesudah filter *bandpass* (Domain Waktu)

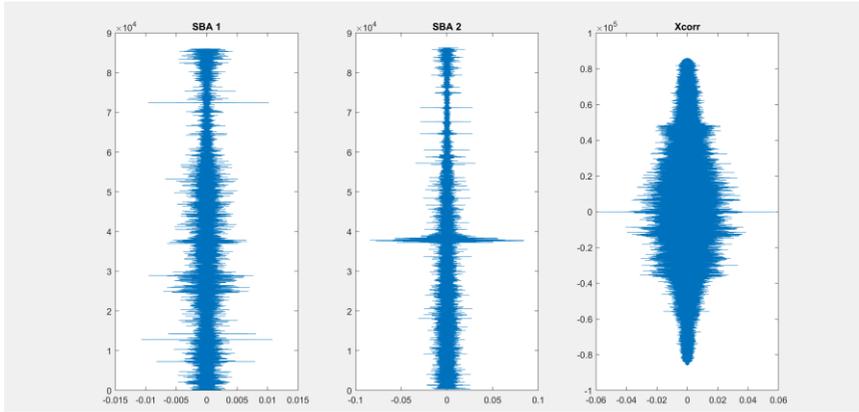


Gambar 4. 9 Sebelum dan sesudah filter *bandpass* (Domain Frekuensi)

4.1.2. Pembuatan *Virtual source*

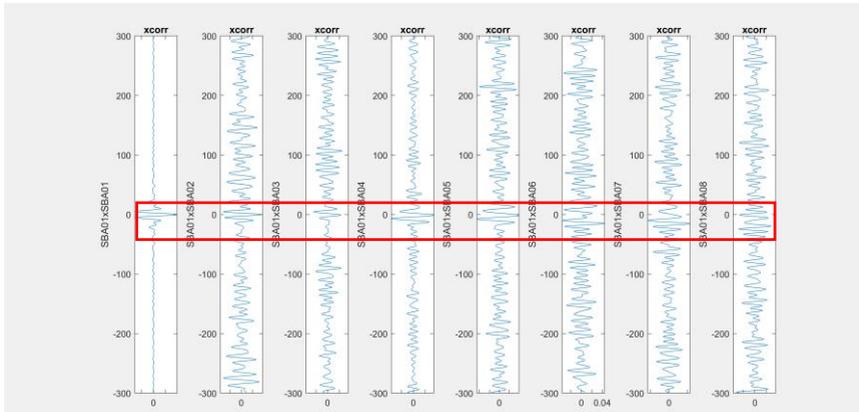
4.1.2.1. *Cross Correlation*

Pembuatan *Virtual source* yang pertama di lakukan dengan melakukan korelasi silang antar stasiun. Proses korelasi silang dilakukan pada seluruh tanggal pengambilan data. Korelasi silang di proses pada setiap 1 hari perekaman data. Perhitungan di mulai dengan melakukan *autokorelasi* pada data perekaman di satu stasiun sebagai *Virtual source*, kemudian korelasi silang dilakukan pada tras selanjutnya, sehingga didapatkan delay pada setiap hasil korelasi silang. Hasil dari korelasi silang merupakan koefisien korelasi antar pasangan gelombang. Ketika koefisien korelasi didapatkan nilai yang tertinggi, maka titik tersebut dianggap sebagai gelombang yang sama pada kedua stasiun tersebut.



Gambar 4. 10 Korelasi silang SBA 1 dan SBA 2

Berikut merupakan salah satu contoh hasil korelasi silang pada data SBA 1 dan SBA 2, untuk lebih jelasnya pada gambar 4.10, akan terlihat hasil korelasi silang pada semua stasiunnya dengan sumbu x dibatasi di 300 detik lag positif dan negatif.

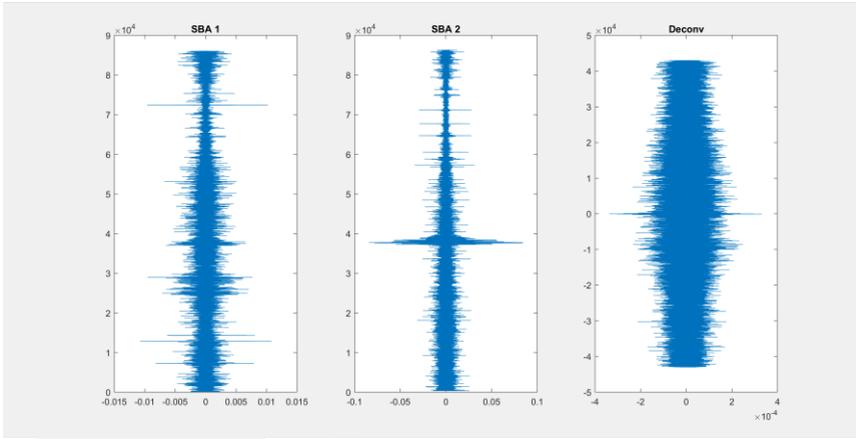


Gambar 4. 11 Hasil *Virtual source* korelasi silang

4.1.2.2. *Deconvolution*

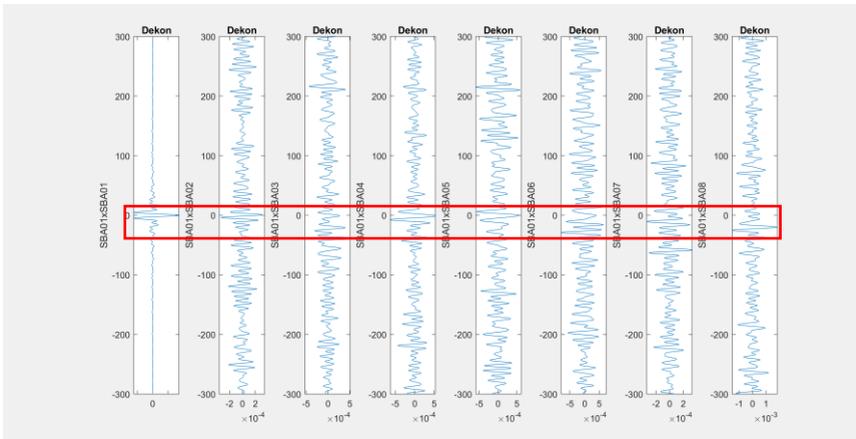
Virtual source selain dapat di bentuk dengan korelasi silang, dapat juga di bentuk dengan dekonvolusi. Sama dengan korelasi silang, dekonvolusi juga dilakukan pada setiap trace terhadap trace lainnya dan terhadap tras itu sendiri (autokorelasi). Hasil dari proses dekonvolusi juga membuat sebuah tren. Titik-

titik tertinggi pada setiap stasiunnya mengalami *delay time*. seperti pada gambar 4.11



Gambar 4. 12 Dekonvolusi SBA 1 dan SBA 2

Dekonvolusi dilakukan pada setiap stasiun ke stasiun lainnya, hingga dihasilkan *Virtual source* seperti gambar 4.12

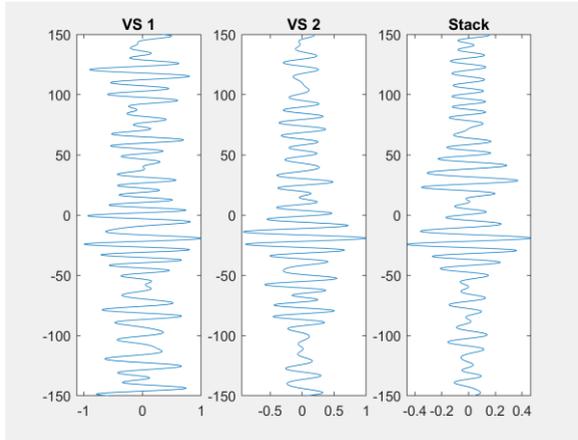


Gambar 4. 13 *Virtual source* dekonvolusi

4.1.2.3. Stacking

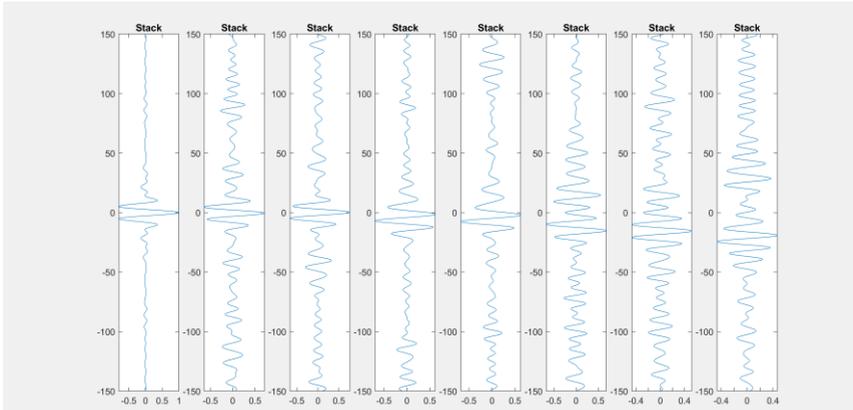
Tidak semua hasil pembentukan *Virtual source* di dapatkan hasil yang bagus, terkadang tidak terlihat terdapat *event*, atau data yang bernilai tinggi,

ataupun terdapat amplitudo tinggi yang tidak pada tempat yang seharusnya. Untuk memperkuat sinyal yang diinginkan dan mengeliminasi *noise*, *Virtual source* yang didapat untuk setiap harinya, di *stack* dengan hari lainnya. *Stacking* dilakukan dengan menjumlahkan seluruh data dengan pembobotan yang tergantung dari kualitas masing masing data. Data yang memiliki kualitas yang baik akan diberi bobot yang lebih tinggi dibanding yang kualitasnya buruk.



Gambar 4. 14 Stacking virtual source 1 dan 2

Pada gambar 4.13 dapat dilihat *event* yang terlihat lebih tajam dibanding sebelum dilakukan *stacking*. Pada penelitian ini, *stacking* dilakukan dengan sebanyak 8 virtual source pada 8 stasiun. Hasil pembentukan seluruh *Virtual source*, akan membuat *event* lebih terlihat jelas seperti pada gambar 4.14.



Gambar 4. 15 *Virtual source* setelah stacking

Setelah dilakukan stacking, terlihat jelas *Virtual source* yang telah di bentuk.

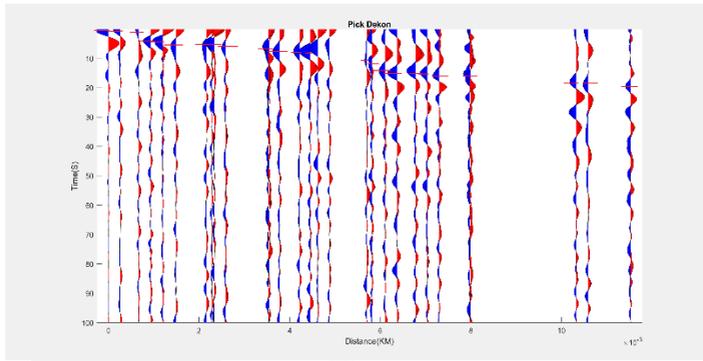
4.1.2.4. *Shifting*

Pengolahan tomografi pada penelitian ini dilakukan hingga didapatkan hasil berupa penampang 2 dimensi. Namun titik pengukuran tidak berada di satu garis lurus. Perbedaan jarak antar stasiun di titik sebenarnya dan titik pada garis lurus tentunya menghasilkan waktu tempuh yang berbeda, maka dilakukan shifting waktu tempuh berdasarkan jarak antara titik sebenarnya dan titik pada garis imajiner. *Virtual source* yang telah di shifting dapat dilakukan tomografi dengan memberi header terlebih dahulu.

4.1.3. *Refraction Tomography*

Virtual source yang telah terbentuk kemudian dilakukan refraction tomografi pada perangkat lunak ZondST2D. Pada perangkat lunak ini, dapat diperoleh penampang cepat rambat pada wilayah pengukuran. Proses picking tidak dilakukan pada perangkat lunak ini, namun dapat dipermudah dengan mencari nilai maximum pada tras menggunakan MATLAB, sehingga terlebih dahulu dapat dilakukan *quality control*. Data waktu tempuh tersebut kemudian dimasukan ke perangkat ZondST2D sehingga dapat dilakukan tomografi.

Proses *picking* padaa virtual source dilakukan pada software MATLAB dengan fungsi *ginput*. *Picking* dilakukan pada amplitudo positif (biru) yang di tandai dengan garis berwarna merah. *Picking* pada tras dekonvolusi dapat dilihat pada gambar 3.9.



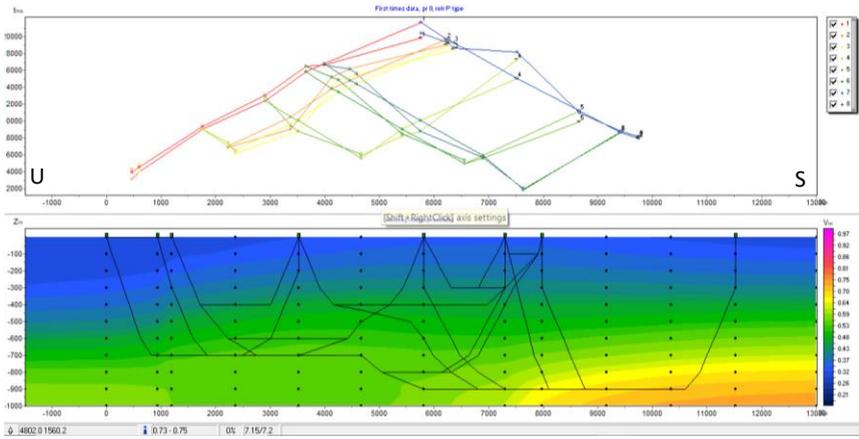
Gambar 4. 16 Proses *picking* pada MATLAB.

Waktu tempuh yang di dapatkan dari hasil *Picking* pada perangkat lunak MATLAB kemudian di konversi menjadi dalam satuan milisekon menyesuaikan dengan format pemasukan data pada ZondST2D. Data waktu tempuh yang telah di konversi kemudian dimasukan ke perangkat lunak ZondST2D untuk dilakukan pengolahan tomografi.

N	V	Rx	Rz	Gain	Dead	t,ms
1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0	0.2	<input type="checkbox"/>	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	935.30	0	0.2	<input type="checkbox"/>	3893.3
3	<input checked="" type="checkbox"/>	1195.4	0	0.2	<input type="checkbox"/>	4558.1
4	<input checked="" type="checkbox"/>	3527.5	0	0.2	<input type="checkbox"/>	7438.7
5	<input checked="" type="checkbox"/>	5814.6	0	0.2	<input type="checkbox"/>	11501.
6	<input checked="" type="checkbox"/>	7303.7	0	0.2	<input type="checkbox"/>	16425.
7	<input checked="" type="checkbox"/>	7975.7	0	0.2	<input type="checkbox"/>	16597.
8	<input checked="" type="checkbox"/>	11524.	0	0.2	<input type="checkbox"/>	19798.

Gambar 4. 17 Masukan waktu tempo hasil *picking* pada ZondST2D.

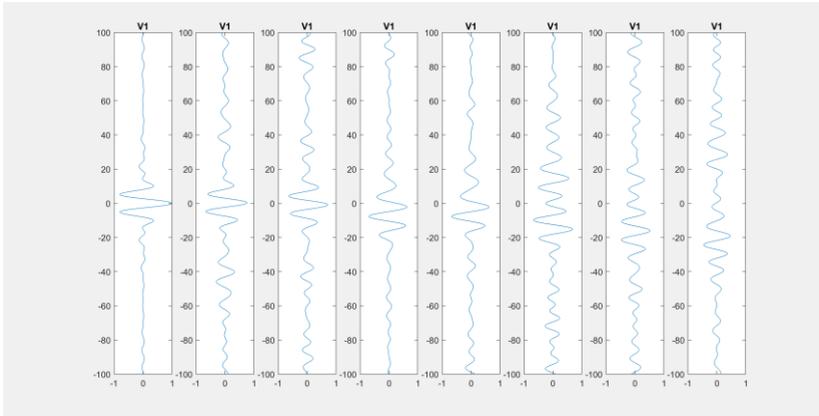
Parameter inversi dan model inisal yang tepat diperlukan untuk menghasilkan hasil inversi. Setelah dirasa telah dimasukan parameter yang di minta, maka inversi dapat dilakukan hingga dihasilkan penampang seperti gambar



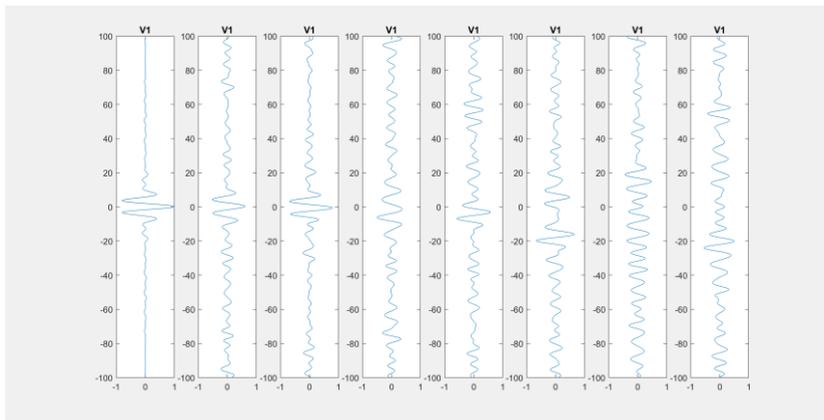
Gambar 4. 18 Penampang 2D Vp

4.2. Pembahasan

Kualitas *Virtual source* antara yang dibentuk dengan proses korelasi silang ataupun dengan proses dekonvolusi, dapat kita bandingkan dengan melihat hasil pembentukan *Virtual sourcenya*. Secara umum, jika dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16 dapat terlihat dengan jelas dimana tren amplitudo tinggi yang akan kita *pick* untuk kepentingan tomografi, namun kedua *virtual source* tetap memiliki kelemahan yang akan di bahas kali ini.

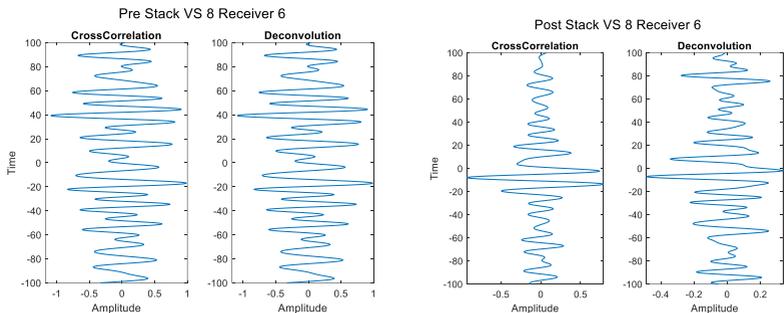


Gambar 4. 19 *Virtual source* stasiun 1 (paling kiri) Korelasi silang.

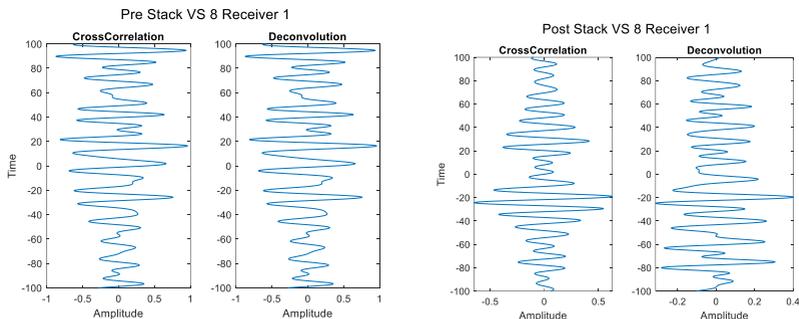


Gambar 4. 20 *Virtual source* stasiun 1 (paling kiri) Dekonvolusi

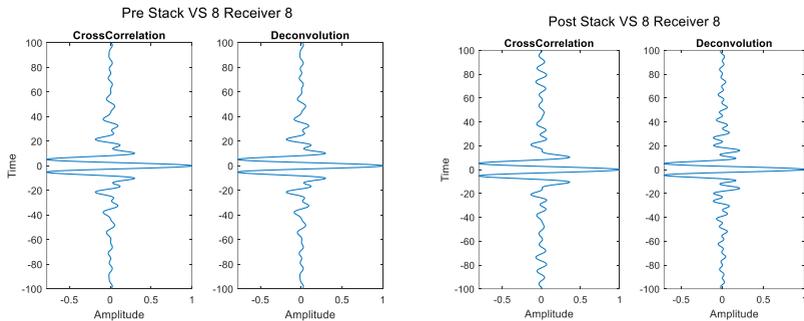
Virtual source yang ditunjukkan pada gambar 4.19 merupakan hasil dari proses korelasi silang, sedangkan pada gambar 4.120 merupakan hasil dari dekonvolusi. Kedua *virtual source* di visualisasikan pada skala amplitudo -1 sampai 1 dan *time window* dari -100 sampai dengan 100 detik. Hasil yang ditunjukkan hanya memiliki sedikit perbedaan, yang terlihat cukup jelas adalah panjang gelombangnya. Dekonvolusi menunjukkan panjang gelombang yang lebih pendek dibandingkan dengan korelasi silang atau frekuensi yang lebih tinggi. Hal ini membuat tras terlihat lebih jelas titik yang harus di *pick*.



Gambar 4. 21 Stack VS8 receiver 6

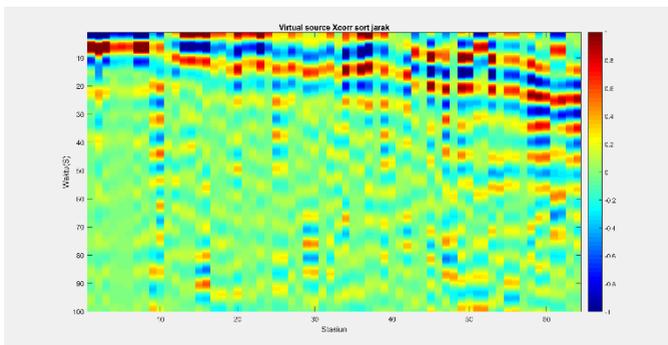


Gambar 4. 22 Stack VS8 receiver 1

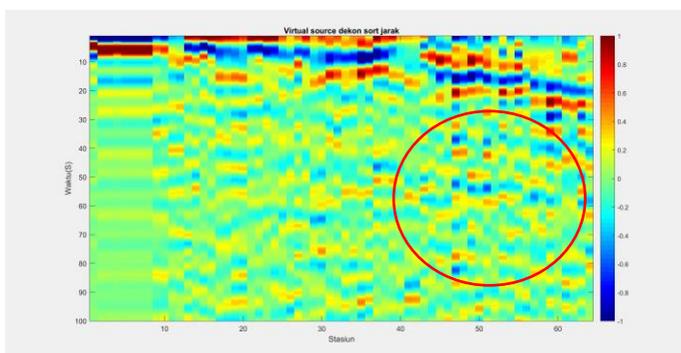


Gambar 4. 23 Stack VS8 receiver 8

Sinyal yang telah di *stack* diharapkan memiliki kualitas yang lebih baik dibanding sebelumnya. Gambar 2.1, 2.2 dan 2.3 menunjukkan hasil sebelum dan sesudah dilakukannya proses *stacking*. Terlihat jelas di gambar 4.21, sinyal yang didapat setelah dilakukan *stacking* memiliki kualitas yang lebih baik. Hal ini ditunjukkan dengan *noise* yang terdapat pada gambar setelah *stack* lebih minim dibandingkan yang setelah *stack* begitu juga pada gambar 4.22. Pada gambar 4.23 *stacking* dilakukan pada *virtual source* 8 di receiver 8 yang berarti proses pembentukan *virtual source* dilakukan dengan autokorelasi dan dekonvolusi dengan sinyalnya sendiri. Dalam hal ini, terlihat hasil setelah *stack* terdapat sedikit *noise* dibandingkan dengan sebelum. Hal ini terjadi dikarenakan pada proses autokorelasi sinyal cenderung memiliki kualitas yang sudah maksimal sehingga tidak mempengaruhi pada sinyal yang diinginkan. Sementara, *noise* yang dimiliki seluruh tanggal pengukuran dijumlahkan, sehingga menghasilkan gabungan antar *noise* dari sinyal sebelum dilakukan *stacking*.

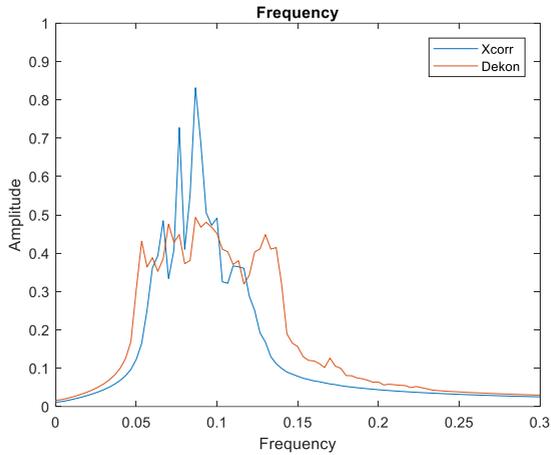


Gambar 4. 24 *Virtual source* sort jarak korelasi silang.



Gambar 4. 25 *Virtual source* sort jarak dekonvolusi

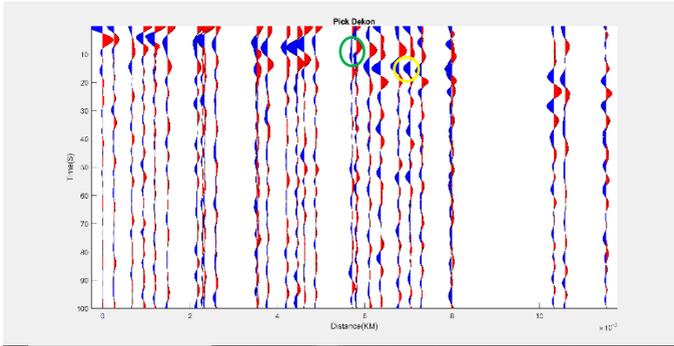
Virtual source yang di buat di sort berdasarkan jarak, tren yang di timbulkan dapat dilihat seperti gambar 4.24 untuk korelasi silang dan gambar 4.25 untuk dekonvolusi. *Virtual source* yang dihasilkan pada dekonvolusi terlihat lebih memiliki banyak *noise* dibandingkan korelasi silang. Hal tersebut juga dapat di analisis secara kuantitatif dengan melihat gelombang dalam domain frekuensi berikut



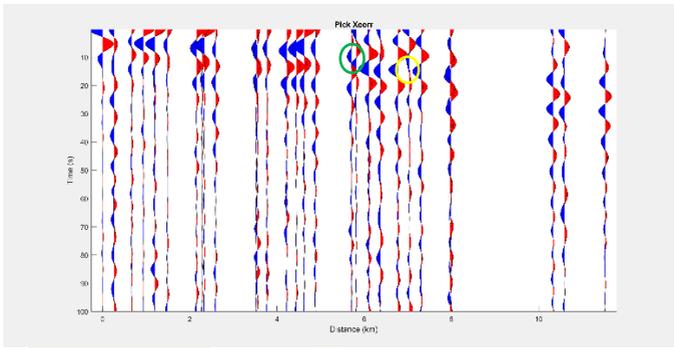
Gambar 4. 26 *Virtual souce* dalam domain frekuensi.

Secara kuantitatif, dekonvolusi memiliki *bandwidth* frekuensi yang lebih lebar. *Bandwidth* yang lebar tersebut menunjukkan bahwa rentang frekuensi yang terdapat pada virtual source dekonvolusi memiliki nilai frekuensi yang lebih beragam dibandingkan korelasi silang, sehingga memiliki resiko terdapatnya gelombang-gelombang yang tidak diinginkan.

Selain *bandwidth* frekuensi, dari gambar gelombang dalam domainn frekuensi juga dapat di analisis spektrum amplitudo pada setiap frekuensi di kedua *virtual source*. Korelasi silang memiliki memiliki spektrum amplitudo yang lebih tinggi dibanding dekonvolusi. Secara kualitatif, hal ini juga dapat dilihat pada gambar 4.19 dan 4.20. Pada kedua gambar tersebut terlihat bahwa gelombang yang dihasilkan oleh korelasi silang memiliki amplitudo yang lebih tegas dibandingkan dekonvolusi.



Gambar 4. 27 Trace berdasarkan urutan jarak (dekonvolusi).



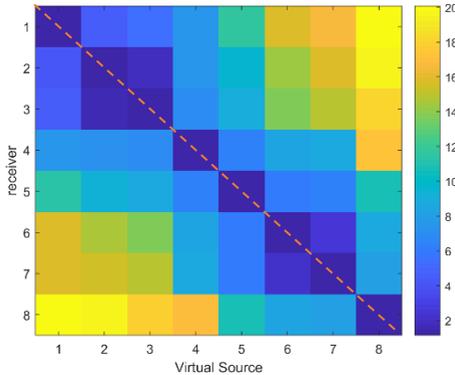
Gambar 4. 28 Trace berdasarkan urutan jarak (korelasi silang).

Pada Gambar 4.27 dan 4.28 dapat dilihat virtual source dari hasil korelasi silang dan juga dekonvolusi. Sekilas kedua virtual source terlihat hampir sama, namun kedua virtual source tersebut memiliki perbedaan satu sama lain. Telah disebutkan sebelumnya, bahwa *virtual source* yang dihasilkan oleh korelasi silang memiliki spektrum amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan dekonvolusi, hal tersebut dapat terlihat pada tanda lingkaran berwarna hijau, amplitudo yang ditunjukkan dekonvolusi terlihat sangat kecil hampir tak terlihat sedangkan terlihat cukup baik pada korelasi silang. Selain itu, pada tanda lingkaran berwarna kuning, terlihat gelombang yang di hasilkan korelasi silang sama sekali tidak terlihat, namun dapat terlihat jelas pada dekonvolusi. *Bandwidth* lebih lebar yang dimiliki dekonvolusi kemungkinan sebagai penyebab gelombang tersebut dapat terlihat jelas pada dekonvolusi.

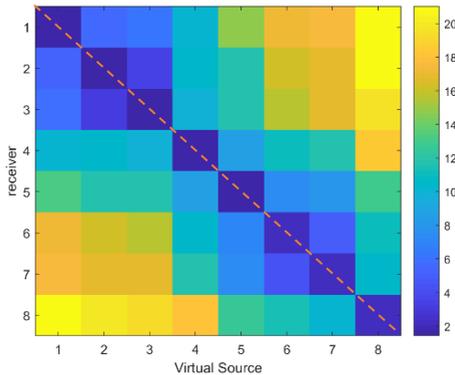
Dari keseluruhan analisis diatas ditemukan bahwasannya kedua metode pembentukan *virtual source* memiliki masing-masing kelebihan dan kekurangan.

Korelasi silang menghasilkan *virtual source* yang memiliki amplitudo yang lebih tinggi dibanding dekonvolusi dan memiliki noise yang lebih kecil. Sedangkan dekonvolusi memiliki *bandwidth* frekuensi yang lebih lebar, sehingga dapat membuat *virtual source* yang tidak dapat terbentuk pada metode korelasi silang.

Virtual source yang dihasilkan kedua metode dilakukan *picking* waktu. Waktu yang telah di *pick* pada kedua *virtual source*, di visualisasikan seperti pada gambar 4.29 dan 4.30.



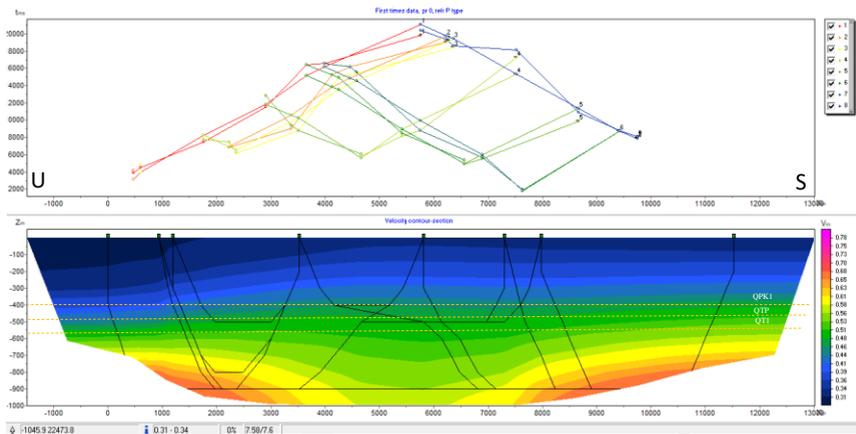
Gambar 4. 29 Waktu tempuh dari *Virtual source* ke *receiver* korelasi silang.



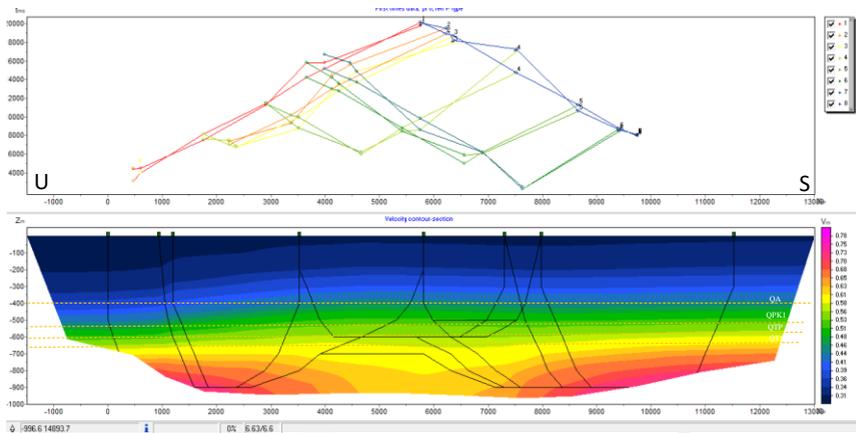
Gambar 4. 30 Plot waktu tempuh *Virtual source* ke *receiver* dekonvolusi.

Virtual source yang di bentuk seharusnya memiliki nilai waktu tempuh yang *mirror* dengan pasangannya. Semisal pada *Virtual source* 1 waktu yang

ditangkap receiver 2 bernilai x, maka *Virtual source* pada stasiun 2 seharusnya juga memiliki nilai x pada receiver di stasiun 1. Untuk melihat korelasi tersebut, di buat plot antara virtual souce dan receiver seperti pada gambar 4.29 dan 4.30. Hasil *picking travel time* pada keduanya terlihat cukup baik karena memiliki kesamaan antara keduanya.



Gambar 4. 31 Penampang V_p dekonvolusi



Gambar 4. 32 Penampang V_p korelasi silang

Gambar 4.31 dan gambar 4.32 menunjukkan hasil tomografi pada *virtual source cross correlation* dan *deconvolution*. Hasil picking pada kedua virtual source memiliki bentuk penampang dan rentang cepat rambat gelombang p yang

hampir sama. Pada metode seismik interferometri, frekuensi gelombang yang digunakan merupakan frekuensi gelombang yang cukup rendah. Hal ini mempengaruhi resolusi dari hasil olahan data tersebut. Jika dibandingkan hasil kedua penampang, terlihat jelas aluvium pada hasil penampang dekonvolusi tidak terlihat.

Surabaya terdiri atas empat formasi penyusun, dari Endapan Aluvium, Formasi Kabuh, Formasi Pucangan dan Formasi lidah. Jika dilihat pada kedua penampang, terjadi penurunan di utara. Penurunan tersebut kemungkinan karena bagian utara lokasi penelitian merupakan laut. Sedimen yang mengalami transportasi, kemudian akan di endapkan ketika sungai mengalir badan air yang diam, dalam hal ini adalah laut. Adapun endapan aluvium pada kedua penampang memiliki cepat rambat gelombang p yang sangat rendah berkisar di 310 m/s, rendahnya cepat rambat pada lapisan ini kemungkinan disebabkan terjadinya pelapukan. Pada penampang korelasi silang, terlihat formasi kabuh berada pada kedalaman 50 hingga 200 meter. Kemudian dilanjutkan dengan formasi pucangan pada kedalaman 200 hingga 250 meter dan formasi lidah pada kedalaman 250 meter hingga 300 meter. Sementara hasil penampang pada dekonvolusi, formasi kabuh berada di kedalaman hingga 70 meter. Kemudian formasi pucangan berada tepat di bawah formasi kabuh hingga kedalaman 160 meter, dan formasi lidah pada kedalaman 160 hingga 250 meter. Sebaran nilai cepat rambat pada penampang hasil tomografi terlihat sangat rendah. Hal ini dapat disebabkan oleh proses shifting yang kurang optimal dan ketidakseragaman jarak antar stasiun pengukuran.

Waktu yang diperlukan dalam proses pengolahan merupakan faktor yang juga harus di pertimbangkan. Dilakukan 5 kali percobaan perhitungan *virtual source* hingga didapatkan rata-rata waktu yang diperlukan untuk melakukan oprasi pembuatan *virtual source*. Korelasi silang membutuhkan waktu perhitungan rata-rata 7,2269508 detik, sedangkan dekonvolusi membutuhkan waktu perhitungan rata-rata 1,0896205 detik. Sehingga dalam proses perhitungannya dekonvolusi membutuhkan waktu yang lebih sedikit dibandingkan dengan korelasi silang. Dari keseluruhan perbandingan kedua metode pembentukan *virtual source*, dapat dirangkum seperti pada tabel 4.1

Tabel 4. 1 Perbandingan *virtual source* dekonvolusi dan korelasi silang

Faktor Pembeding	Dekonvolusi	Korelasi Silang
Amplitudo	Nilai Amplitudo cenderung lebih rendah	Nilai Amplitudo cenderung lebih tinggi
<i>Bandwidth</i> frekuensi	Memiliki <i>bandwidth</i> frekuensi yang lebih luas tetapi memiliki sebaran nilai amplitudo yang lebih rendah	memiliki <i>bandwidth</i> frekuensi yang lebih kecil tetapi memiliki sebaran nilai amplitudo yang lebih tinggi
Karakteristik Noise	<i>Noise</i> pada dekonvolusi lebih terlihat	<i>Noise</i> pada korelasi silang lebih sedikit
Kemenerusan	Dekonvolusi terlihat memiliki kemenerusan yang kurang konsisten	Kemenerusan korelasi silang lebih stabil
Waktu perhitungan	7,226950 Detik	1,0896205 Detik

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Hasil dari tugas akhir yang telah dilakukan ini memiliki beberapa kesimpulan sebagai berikut

1. Tahapan pembuatan virtual source adalah sebagai berikut:
 - A. Persiapan data yaitu normalisasi, detrending, pemfilteran data.
 - B. Proses korelasi dengan melakukan cross-correlation dan deconvolution antara master trace dengan trace yang lainnya, menghasilkan virtual source gather trace.
 - C. *Stacking trace* berdasarkan waktu yang sama untuk mengurangi efek *noise* dan meningkatkan pengaruh dari ambient noise.
 - D. *Shifting* waktu pada trace untuk membuat tomografi 2D pada sebaran titik pengukuran yang tidak berada pada satu garis lurus.
 - E. *Picking trace* yaitu interpretasi waktu tempuh dari trace virtual source gather guna memvalidasi ketepatan virtual source dengan trace lainnya.
 - F. *Tomography* sehingga di dapatkan penampang 2D dari hasil picking pada virtual source.

2. Korelasi silang menghasilkan virtual source yang memiliki amplitudo yang lebih tinggi dibanding dekonvolusi, memiliki noise yang lebih kecil, dan menghasilkan *virtual source* yang kemenerusannya lebih baik. Sedangkan Dkonvolusi memiliki bandwidth frekuensi yang lebih lebar dan pembuatan *virtual source* dekonvolusi lebih cepat dibandingkan dengan kodelasi silang.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan penulis menyarankan pada penelitian selanjutnya diberikan beberapa tambahan sebagai berikut:

1. Hasil penampang cepat rambat gelombang P hanya di dapat dari pembentukan *virtual source* dengan pengukuran di 8 titik stasiun. Hasil tersebut akan lebih akurat jika pengukuran dilakukan dengan jumlah titik yang lebih banyak.
2. Lokasi titik pengukuran pada penelitian ini memiliki variasi jarak yang jauh berbeda satu sama lain. Titik pengukuran yang seragam akan di dapatkan hasil yang lebih baik.
3. Tomografi dilakukan secara 3 dimensi, sehingga tidak diperlukan proses shifting yang dapat menimbulkan hasil yang kurang optimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, B.K. (1957), *Space and Time Spectra of Stationary Waves, with Special Reference to Microtremors*.
- Bakulin, A. dan Calvert, R. (2006), "The virtual source method: Theory and case study", *Geophysics*, Vol.71, No.4. <http://doi.org/10.1190/1.2216190>.
- Behura, J. dan Snieder, R. (2013), "Virtual real source: Source signature estimation using seismic interferometry", *Geophysics*, Vol.78, No.5. <http://doi.org/10.1190/GEO2013-0069.1>.
- Van Bemmelen, R.W. (1949), "The Geology of Indonesia. General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes" *Government Printing Office, The Hague*. <http://doi.org/10.1109/VR.2018.8447558>.
- Bland, H.C. dan Stewart, R.R. (1996), *Geophone orientation, location, and polarity checking for 3-C seismic surveys*, Vol.8, hal. 1–5. Diambil dari <https://nut.geo.ucalgary.ca/ForOurSponsors/ResearchReports/1996/1996-03.pdf>.
- Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F. dan Bard, P.Y. (2006), "The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies. A literature review", *Earth-Science Reviews*, Vol.79, No.3–4, hal. 205–227. <http://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.07.004>.
- Curtis, A., Gerstoft, P., Sato, H., Snieder, R. dan Wapenaar, K. (2006), "Seismic interferometry - Turning noise into signal", *Leading Edge (Tulsa, OK)*, Vol.25, No.9, hal. 1082–1092. <http://doi.org/10.1190/1.2349814>.
- Gutenberg (1958), *Two type of microseisms*, hal. 595–597. <http://doi.org/http://doi.org/10.1029/JZ063i003p00595>.
- Kramer, S. (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering.*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- Milsom, J. dan Eriksen, A. (2011), *Field Geophysics*. <http://doi.org/10.1002/9780470972311>.
- Muhammad, N.R. (2017), *Aplikasi dan pemodelan seismik interferometri.*
- Muhtar, A.A. (2016), *IDENTIFIKASI PATAHAN DAN PEMETAAN DAERAH RAWAN BENCANA GEMPA BUMI BERDASARKAN DATA PENGUKURAN MIKROTREMOR DI KOTA SOLOK*, UNIVERSITAS GADJAH MADA.

- Musson, R. (2012), "Intensity and Intensity Scales", *New manual of seismological observatory practice* 2, No. January, hal. 1–41.
<http://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2>.
- Nakata, N., Snieder, R., Lerner, K., Tsuji, T. dan Matsuoka, T. (2011), "Shear-wave imaging from traffic noise using seismic interferometry by cross-coherence", *Society of Exploration Geophysicists International Exposition and 81st Annual Meeting 2011, SEG 2011*, Vol.76, No.6, hal. 1580–1585.
- Okada, H. dan Suto, K. (2003), *The Microtremor Survey Method*.
<http://doi.org/10.1190/1.9781560801740>.
- Pringgoprawiro (1983), *Cekungan jawa timur utara 16-17*, hal. 1–31.
- Rochman M, N. (2017), *Aplikasi Dan Pemodelan Seismik Interferometri*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schuster, G.T., Followill, F., Katz, L.J., Yu, J. dan Liu, Z. (2003), "Autocorrelogram migration: Theory", *Geophysics*, Vol.68, No.5, hal. 1685–1694. <http://doi.org/10.1190/1.1620642>.
- Snieder, R., Sheiman, J. dan Calvert, R. (2006), "Equivalence of the virtual-source method and wave-field deconvolution in seismic interferometry", *Physical Review E - Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, Vol.73, No.6. <http://doi.org/10.1103/PhysRevE.73.066620>.
- Utami, Zahroh; Wibowo, Nugroho Budi ; Darmawan, D. (2017), "Analisis Indeks Kerentanan Seismik Berdasarkan Pengukuran Sinyal Mikrotremor Di Kecamatan Prambanan Dan Kecamatan Gantiwarno Kabupaten Klaten", *Jurnal Fisika Edisi November Tahun 2017*, hal. 29–36.
- Waluyo (1996), *Seismologi*, Yogyakarta.
- Wapenaar, K., Draganov, D., Snieder, R., Campman, X. dan Verdel, A. (2010), "Tutorial on seismic interferometry: Part 1 - Basic principles and applications", *Geophysics*, Vol.75, No.5.
<http://doi.org/10.1190/1.3457445>.
- Wapenaar, K., Slob, E., Snieder, R. dan Curtis, A. (2010), "Tutorial on seismic interferometry: Part 2 — Underlying theory and new advances", *Geophysics*, Vol.75, No.5, hal. 75A211-75A227.
<http://doi.org/10.1190/1.3463440>.

- Wielandt, B. (2013), "Intensity and Intensity Scales", *Seismic Signal and Noise*, No.June, hal. 1–41. <http://doi.org/10.2312/GFZ.NMSOP-2>.
- Young, C.J., Chael, E.P., Withers, M.M. dan Aster, R.C. (1996), "A comparison of the high-frequency (>1 Hz) surface and subsurface noise environment at three sites in the United States", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.86, No.5, hal. 1516–1528.

BIOGRAFI PENULIS



Ramaditio Bagus Pradana lahir pada hari senin tanggal 26 januari 1998 di Jakarta. Penulis menempuh riwayat pendidikan wajib 12 tahun di Tangerang dan Bekasi, menjalani pendidikan dasar di SD Islam Cikal Harapan BSD, menengah di SMP Pembangunan jaya Bintaro, dan dilanjutkan di SMA Global Prestasi. Penulis melanjutkan ke pendidikan sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) pada tahun 2016 di Kota Surabaya. Penulis berkuliah di Departemen Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan.

Penulis berpartisipasi di berbagai organisasi yaitu HMTG ITS sebagai staff hubungan luar periode 2017/2018 dan Kepala Departemen 2018/2019. Penulis juga berpartisipasi sebagai staff di ITS EXPO 2017. Selain itu penulis juga pernah menjabat sebagai Wakil Ketua Geoscience Atmosphere 2019. Di bidang sumber daya manusia, penulis pernah menjabat sebagai koordinator steering committee kaderisasi mahasiswa baru 2018.

Penulis juga memiliki ketertarikan pada bidang keilmuan pengembangan program pengolahan data berbasis *coding*, metode geofisika seismik. Penulis juga mengerjakan pengembangan program pengolahan data rekaman seismik pasif pada Tugas Akhir. Bagi pembaca dapat berkomunikasi dan berdiskusi dengan penulis melalui email : Ramaditio@gmail.com