

**ANALISIS LAPISAN BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN
METODE *SPATIAL AUTOCORRELATION (SPAC)* DAERAH
PALEMBAYAN, KABUPATEN AGAM, SUMATERA BARAT**

(Skripsi)

Oleh

**Langnanda Ekakurnia Putri Sopan
NPM 2015051033**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**ANALISIS LAPISAN BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN
METODE *SPATIAL AUTOCORRELATION* (SPAC) DAERAH
PALEMBAYAN, KABUPATEN AGAM, SUMATERA BARAT**

**Oleh
Langnanda Ekakurnia Putri Sopan**

**Skripsi
Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

**Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS LAPISAN BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN METODE *SPATIAL AUTOCORRELATION* (SPAC) DAERAH PALEMBAYAN, KABUPATEN AGAM, SUMATERA BARAT

Oleh

LANGNANDA EKAKURNIA PUTRI SOPAN

Pada zaman sekarang ini telah banyak dilakukan pencitraan seismik menggunakan kebisingan sekitar (*ambient noise*). Salah satunya yaitu Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC) menggunakan *ambient noise* yang direkam oleh sensor dari susunan *array* seismik. Penelitian ini memanfaatkan gelombang *Rayleigh* yang merambat pada permukaan bumi. Terdapat tiga langkah dalam menganalisis gelombang *Rayleigh*, yaitu akuisisi data seismik, melakukan perhitungan koefisien SPAC, menentukan kurva dispersi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang S (V_s) yang digunakan untuk interpretasi pada lapisan bawah permukaan. Pengukuran dilakukan secara bersamaan dengan meletakkan 48 *geophone* secara memanjang (*along linear array*) dan jarak antar *geophone* yaitu 10 m. Hasil penelitian pada *ring* 1 radius 8.6 – 99.87 m, diketahui lapisan pertama memiliki nilai $V_s = 80$ m/s berada pada kedalaman 1.02 m. Lapisan kedua didapatkan nilai $V_s = 360$ m/s berada pada kedalaman 2.1 m. Lapisan ketiga memiliki nilai $V_s = 924$ m/s pada kedalaman 2.7 – ∞ m. *Ring* 2 radius 100.43 – 199.73 m, diketahui lapisan pertama memiliki nilai $V_s = 120$ m/s berada pada kedalaman 1.8 m. Lapisan kedua didapatkan nilai $V_s = 480$ m/s pada kedalaman 2.19 m. Lapisan ketiga memiliki nilai $V_s = 960$ m/s pada kedalaman 2.3 – ∞ m. *Ring* 3 radius 200.55 m – 389.55 m, diketahui lapisan pertama memiliki nilai $V_s = 167$ m/s berada pada kedalaman 2 m. Lapisan kedua didapatkan nilai $V_s = 396$ m/s berada pada kedalaman 2.18 m. Lapisan ketiga memiliki nilai $V_s = 1026$ m/s pada kedalaman 2.9 m – ∞ m.

Kata Kunci : *Passive Seismic*, Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC), *Along Linear Array*, Parameter Seismik, Profil Kecepatan Gelombang S (V_s).

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE SUBSURFACE LAYER BASED ON THE SPATIAL AUTOCORRELATION (SPAC) METHOD IN PALEMBAYAN AREA, AGAM REGENCY, WEST SUMATERA

By

LANGNANDA EKAKURNIA PUTRI SOPAN

Nowadays, many seismic imaging using ambient noise has been done. One of them is the Spatial Autocorrelation Method (SPAC) using ambient noise recorded by sensors from a seismic array. This study utilizes Rayleigh waves propagating on the earth's surface. There are three steps in analyzing Rayleigh waves, namely seismic data acquisition, calculating the SPAC coefficient, determining the dispersion curve to obtain the S wave velocity profile (V_s) used for interpretation in the subsurface layer. Measurements were carried out simultaneously by placing 48 geophones lengthwise (along linear array) and the distance between geophones was 10 m. The results of ring 1 radius 8.6 - 99.87 m, it's known that the first layer has a $V_s = 80$ m/s at 1.02 m. The second layer has a $V_s = 360$ m/s at 2.1 m. The third layer has a $V_s = 924$ m/s at 2.7 - ∞ m. Ring 2 radius 100.43 – 199.73 m, it's known that the first layer has a $V_s = 120$ m/s at 1.8 m. The second layer has a $V_s = 480$ m/s at 2.19 m. The third layer has a $V_s = 960$ m/s at 2.3 – ∞ m. Ring 3 radius 200.55 m – 389.55 m, it's known that the first layer has a $V_s = 167$ m/s at 2 m. The second layer has a $V_s = 396$ m/s at 2.18 m. The third layer has a $V_s = 1026$ m/s at 2.9 m – ∞ m.

Keywords : Passive Seismic, Spatial Autocorrelation Method (SPAC), Along Linear Array, Seismic Parameters, S-Wave Velocity Profile.

Judul Skripsi : **ANALISIS LAPISAN BAWAH PERMUKAAN
BERDASARKAN METODE *SPATIAL
AUTOCORRELATION* (SPAC) DAERAH
PALEMBAYAN, KABUPATEN AGAM,
SUMATERA BARAT**

Nama Mahasiswa : **Langnanda Ekakurnia Putri Sopan**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2015051033**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

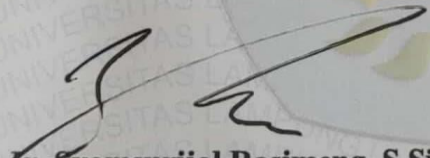
Fakultas : **Teknik**

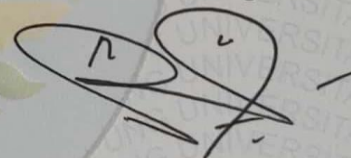
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

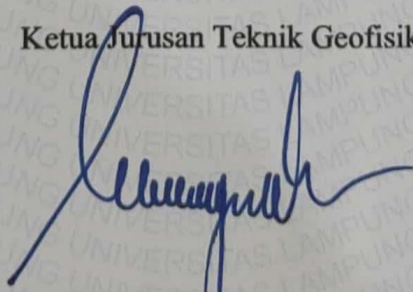
Pembimbing 1

Pembimbing 2


Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., IPM.
NIP. 197307162000121002


Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si
NIP. 196612221996031001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Dr. Karyanto, S.Si., M.T.
NIP. 196912301998021001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., IPM

Sekretaris : Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.

Anggota : Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M. Si., IPM.

2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }
NIP. 197509282001121002

Tanggal Ujian Skripsi : 26 Juli 2024

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini bukan merupakan karya dari orang lain melainkan berdasarkan pemikiran saya sendiri, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapun kutipan tertentu dalam penulisan skripsi ini terdapat karya atau pendapat orang lain yang ditulis menurut sumbernya sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 Agustus 2024



Langnanda Ekakuenia Putri Sopan

NPM. 2015051033

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Langnanda Ekakurnia Putri Sopan. Lahir di Batam, 22 September 2002, merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Sopan Subagiyo dan Mama Alinar. Sedari kecil penulis dirawat oleh Kakek Asruddin dan Amak Nurmalis serta wali yang bernama Ibu Yuliya Astuti. Riwayat pendidikan formal penulis di mulai dari Taman Kanak-Kanak (TK), yakni TK Pertiwi III Kec. Nanggalo Kota Padang pada tahun 2007 hingga 2008. Kemudian, dilanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar (SD) pada tahun 2008 hingga 2014 di SD Negeri 08 Surau Gadang Kec. Nanggalo, Kota Padang. Lalu melanjutkan pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Padang pada tahun 2014 hingga 2017, dan kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 2 Padang pada tahun 2017 hingga 2020. Pada tahun 2020, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan organisasi baik secara internal pada lingkungan jurusan, fakultas dan universitas maupun secara organisasi eksternal, antara lain: sebagai anggota dari Divisi Eksternal Bidang Sosial Budaya dan Masyarakat (SBM) Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana (Hima TG Bhuwana) periode 2021/2022, kemudian dipercaya sebagai Sekretaris Bidang Sosial Budaya dan Masyarakat (SBM) Hima TG Bhuwana periode 2023. Di tahun 2022 penulis menjadi Panitia Khusus Pemilihan Raya (PEMIRA) BEM FT sebagai Koordinator Acara. Kemudian masih pada tahun yang sama penulis menjadi Staff Divisi Manajemen Sumber Daya Manusia di

Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia (HMGI) Pusat. Dalam HMGI Pusat aktif sebagai Sekretaris Pelaksana Dies Natalis HMGI ke-29 yang diadakan secara *offline* di Kaliurang, Yogyakarta. Kemudian menjadi Ketua Pelaksana Sahabat Bidang (SABID), proker yang bertujuan untuk mengawasi, mengoptimalkan potensi dan kontribusi semua staff HMGI Pusat di masing-masing divisi dalam mencapai tujuan organisasi secara efektif dan efisien.

Dalam bidang keilmuan dan akademik penulis aktif dalam hal spesifikasi keilmuan seperti terlibat dalam Kuliah Lapangan Teknik Geofisika 2023 sebagai peserta, lalu menjadi Koordinator asisten praktikum Geomagnetik dan asisten dari beberapa mata kuliah seperti Perpetaan, Geolistrik dan Gayaberat. Serta menjadi tim dalam proyek penelitian maupun pengabdian masyarakat yang dilakukan oleh kampus sesuai dengan keilmuan Teknik Geofisika.

Pada tahun 2023 penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) oleh Universitas Lampung. Hal ini dilakukan untuk menerapkan salah satu Tri Dharma Perguruan Tinggi yaitu Pengabdian Kepada Masyarakat dengan mengadakan program yang bermanfaat bagi masyarakat di Desa Way Tawar, Kecamatan Pakuan Ratu, Kabupaten Way Kanan, Provinsi Lampung.

Dalam penerapan ilmu keprofesian, penulis telah melaksanakan kegiatan Kerja Praktik (KP) di PT. Geoscan Eksplorasi Utama pada daerah pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) dengan judul penelitian **“Identifikasi Sebaran Batuan Basalt Menggunakan Metode Geolistrik Resistivity Konfigurasi Wenner-Alpha Daerah Kuaru, Paser, Kalimantan Timur”** pada tahun 2023. Kemudian, Pada tahun 2024 penulis juga melakukan kegiatan penelitian Tugas Akhir dengan judul penelitian **“Analisis Lapisan Bawah Permukaan Berdasarkan Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC) Daerah Palembayan, Kabupaten Agam, Sumatera Barat”**.

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan pada Allah SWT atas terselesaikannya skripsi ini dengan baik dan lancar. Skripsi ini saya persembahkan untuk:

BAPAK, MAMA DAN IBU TERCINTA

Yang tiada hentinya memberikan kasih sayang, doa, dukungan, motivasi, semangat dan segala dukungan lainnya yang tidak terhingga.

ADIK, SEPUPU DAN KELUARGA TERCINTA

Terimakasih atas segala doa, semangat, *support*, sponsor dan dukungannya.

KELUARGA TG'20 (PATAKIS)

Terimakasih sudah menjadi rumah untuk penulis di tanah rantau ini.

PATAKIS? Apa Aja Kita Takis!

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

MOTTO HIDUP

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan selalu ada kemudahan”.

(QS. Al-Insyirah: 5)

“If you hate your life, maybe your life will hate you too. But if you love your life, your life will love you back too.” – Kim Namjoon, BTS.

“Don’t be afraid of any rejection, it’s part of our life” – Jeon Jungkook, BTS.

“Tidak ada yang lebih bodoh mementingkan lelaki di atas pendidikan. Ilmu tidak akan selingkuh, putus, kembali ke masa lalu. Ilmu tidak akan mencari orang lain karena ia setia. Jika kamu berilmu dan berpendidikan, maka ia (ilmu) akan selalu mengikuti mu. *Brains before a man*” – Langnanda E. P. S.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “**Analisis Lapisan Bawah Permukaan Berdasarkan Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC) Daerah Palembang, Kabupaten Agam, Sumatera Barat**”. Adapun maksud dan tujuan dari penulisan Skripsi ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama penulisan Skripsi ini banyak sekali terdapat hambatan yang dialami. Namun berkat adanya bantuan, serta bimbingan dari berbagai pihak, hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa tidak tertutup kemungkinan di dalam Skripsi ini terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan Skripsi ini. Semoga Skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya, serta bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 06 Agustus 2024

Penulis



Langnanda Ekakurnia Putri Sopan

NPM. 2015051033

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena berkat rahmat dan karunianya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Tak lupa shalawat seta salam penulis selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam yang menjadi suri tauladan bagi kita semua.

Skripsi ini berjudul **“ANALISIS LAPISAN BAWAH PERMUKAAN BERDASARKAN METODE *SPATIAL AUTOCORRELATION (SPAC)* DAERAH PALEMBAYAN, KABUPATEN AGAM, SUMATERA BARAT”** merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Adapun dalam proses pelaksanaan hingga penyusunan Skripsi ini penulis sangat menyadari bahwa banyak sekali pihak yang terlibat, untuk itu dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada :

1. Allah SWT, yang selalu memberikan karunia dan anugerah-Nya baik berupa kesehatan dan kemudahan dalam setiap langkah serta jalan yang dilalui oleh penulis.
2. Cinta pertama dan panutan hidup penulis, Bapak Sopan Subagiyo yang selalu mendidik, mendo'akan, memberikan semangat dan motivasi tiada henti hingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Terimakasih bapak sudah selalu mengusahakan apapun itu untuk kami berdua, *you're the greatest father in the world.*
3. Mama Alinar, Ibu Yuliya Astuti, Amak Nurmalis, Kakek Asruddin, Bunda Eni, Om Noo, Mami Wati, Bunda Linda, Om Ezi, Om Adek dan keluarga penulis lainnya yang tidak dapat diucapkan satu-persatu selalu memberikan dukungan, mencintai dan menyayangi penulis dengan sepenuh hati.

4. Adik kandung (Syahrul Kurniahardiansyah Sopan) beserta sepupu penulis (Fillia Ramadani, Bintang Pamungkas dan Fathan Al Fatih) yang senantiasa menjadi penyemangat penulis dalam mencapai cita-cita. Terimakasih sudah memberikan waktunya untuk kegiatan *healing-healing* yang sering dilakukan satu tahun terakhir ini untuk menghibur dan menghilangkan *stress* penulis yang menumpuk pada Tahun 2023. Kita harus melanjutkan *trip* kesekian kalinya bersama-sama.
5. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., IPM. selaku dosen Pembimbing 1 Skripsi yang telah membimbing, membantu, memotivasi, menyediakan tempat dan lingkungan yang nyaman untuk penulis selama proses pengolahan dan penulisan Skripsi ini. Terimakasih atas ilmu yang Bapak berikan, semoga menjadi amal jariyah sebagai pemberat amal kebaikan di akhirat.
6. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing 2 Skripsi yang telah memberikan masukan, arahan, saran dan motivasi selama penulisan Skripsi ini.
7. Bapak Dr. Ir. Nandi Haerudin, S.Si., M. Si., IPM. selaku penguji yang telah meluangkan waktunya dan senantiasa memberikan masukan, kritik dan saran agar penulisan Skripsi ini menjadi lebih baik.
8. Bapak Rudy Zefrianto Sinambela, S.T., M.T. selaku mentor saya dalam Kerja Praktik dan Skripsi yang selalu memberi arahan, *sharing* ilmu, dan tak pernah lelah menjawab pertanyaan yang tiada hentinya dari penulis. Terimakasih Bapak sudah meluangkan banyak waktunya selama proses pemahaman konsep, pengolahan dan lain halnya. Semoga menjadi amal jariyah sebagai pemberat amal kebaikan di akhirat.
9. Bapak Dr. Alimuddin Muchtar. S.Si., M.Si. selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan arahan dalam pengambilan keputusan selama perkuliahan. Terimakasih sudah memberikan nasehat, teguran apabila IPK penulis turun, terlalu menikmati liburan, tidak semangat mengerjakan skripsi dan menganggap penulis anak hingga dapat menyelesaikan pendidikan di Teknik Geofisika ini dengan lulus tepat waktu.

10. Bapak Pujono, S.T. yang selalu memberikan motivasi, arahan dan *support printer* untuk penulis selama satu tahun terakhir ini.
11. Ibu Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T. selaku dosen pembimbing selama penulis mengikuti perlombaan di perkuliahan yang telah memberikan pengarahan dengan penuh kesabaran dan kebaikan hati dalam membimbing serta memberikan kritik, masukan dan motivasi.
12. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati, telah mengajarkan banyak ilmu dan wawasan dan civitas akademik Jurusan Teknik Geofisika.
13. Bang Febriyan Ananda, S.T. selaku tempat penulis sering berkeluh kesah dari Kerja Praktik hingga Skripsi ini. Bang Andiko Pratama, S.T. selaku orang yang penulis anggap sebagai abang *kanduang* yang selalu ada. Terimakasih bang sudah meluangkan banyak waktunya untuk penulis hingga begadang bersama, selalu memberikan *support* dan selalu membantu adeknya dalam hal apapun itu.
14. *Thug Life* (Rahmadini Hamdi Putri, Salsabila Vanessa, Hadiya Sani Ashilla, Teja Amelia Aryon, Ribka Davianti, Dinda Lofina) & Teman Kecil (Nur Ilma Khairani, Nadia Effita, Natasya Dwi Ovalingga, Muthia Ramadhani) sahabat terbaik yang selalu menemani, membantu, menjadi tempat keluh kesah dan memberikan motivasi untuk penulis dalam semua lika-liku hidup hingga sekarang ini. Terimakasih sudah selalu kebersamai dan merayakan apapun itu di kehidupan penulis.
15. Warga laboratorium PPDG (Bang Nanda, Bang Tectu, Abang *Kanduang*, Bang Ikram, Bang Eet, Bang Taufiq, Bang Joy, Bang Arsy, Bang Julpan, Bang Cuyung, Bang Billy, Kak Ledia, Lopia, Ermana, Rezky, Raihan, Aldi, Rayya, Fiko, Dikadiks; Harsya, Yusron, Edu, Helga) yang telah menemani, menjadi tempat aman dan nyaman penulis *survive* selama satu tahun terakhir yang sangat berat ini. Terimakasih atas segala rasa kekeluargaan dan bantuan yang diberikan, kita semua pasti sukses kaya raya hingga dapat berkumpul kembali di PPDG tempat yang penuh dengan kenangan atau dimanapun itu.
16. DARA (ratu Dinda ramadanti, nadyA melinda ayu handoko, noRaniza putri irawan dan intAn demasi) yang selalu menemani, saling memberikan

- motivasi, bantuan, tempat dan teman ternyaman selama satu tahun terakhir. Terimakasih sudah menerima dan *stay by my side*. Semoga kita tidak hanya sampai disini dan dapat berkumpul kembali di ruangan pak ijal/dimanapun.
17. Rani Salsa dan Angelica Sandra, terimakasih sudah menemani, membantu, menjadi pendengar keluh kesah penulis selama satu tahun terakhir ini di Kos A1. Apapun yang terjadi kalian harus tetap semangat dan segera menyelesaikan perkuliahan.
 18. Kakak Desta Amanda Nuraini TG'14 sebagai mentor dan teman *sharing* yang tidak disengaja karena sama-sama menggunakan metode SPAC di Skripsi dan Thesis beliau. Terimakasih sudah saling membantu dan ikhlas direpotkan hingga tengah malam hari dalam memperjuangkan Skripsi ini.
 19. Lutpi, Nadira Rahmayani, S.Pi., Pandu Wijaya, S.Pi., M. Rafi Adzaky, S.M. kawan seperjuangan dalam mendapatkan gelar sarjana. Terimakasih selalu merayakan pencapaian masing-masing, saling *support* dan membantu hingga sekarang ini. Kita harus selalu bersama dan berkumpul dimana/kapanpun itu.
 20. Keluarga Besar Teknik Geofisika 2020 (PATAKIS) yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih banyak karena telah menjadi motivasi dan memberikan semangat serta doa selama 4 tahun ini. Terimakasih sudah menyambut, menerima dan menjadi keluarga yang baik untuk penulis di tanah rantau ini. Terimakasih untuk semua pengalaman, pelajaran hidup, suka dan duka yang telah kita lalui bersama.
 21. HIMA TG BHUWANA dan HMGI Pusat, selaku tempat dan wadah yang membentuk penulis menjadi pribadi seperti sekarang ini.
 22. Kakak-kakak dan Adik-adik Teknik Geofisika, khususnya TG'14, TGANAS (TG'16), T-Gasak (TG'18), Granit (TG'22) dan Breksi (TG'21) yang telah banyak memberikan motivasi dan saling membantu selama hidup di TG ini.
 23. BTS (*Bangtan Sonyeondan*); Kim Namjoon, Kim Seok Jin, Min Yoongi, Jung Hoseok, Park Jimin, Kim Taehyung, Jeon Jungkook selaku *role models* yang menjadi salah satu alasan penulis untuk selalu *love my self*. Yang selalu memberikan semangat kepada penulis lewat sikap, sifat dan mahakarya-nya. Terimakasih telah hadir dan menemukan penulis melalui karya-karya yang

diciptakan serta menemani penulis dari 2013 hingga sekarang, dan akan terus bersama sampai kapanpun itu.

24. Jeon Jungkook, Leonardo Edwin, Farhan, Jay Park sebagai *support system* penulis selama hidup hingga sekarang ini. Terimakasih sudah berkarya dan menjadi standar lelaki setelah Bapak Sopan. Semoga kita lekas dipertemukan.
25. One Direction, Lany, Lauv, The 1975, Taylor Swift yang sudah menemani penulis melalui karya-karya yang diciptakan-nya. Terimakasih sudah memotivasi penulis untuk tetap terus berjuang, semoga secepatnya diberikan kesempatan untuk mengikuti konser kalian.
26. Kepada diri saya sendiri karena tidak menyerah dan tetap berjuang dalam hal apapun itu. Mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar kontrol dan tidak menyerah sesulit apapun dalam proses pengolahan SPAC untuk mendapatkan hasil dari penelitian dan penulisan Skripsi ini. Terimakasih telah berusaha keras sekuat tenaga dan tetap sabar dalam menghadapi banyaknya rintangan dan cobaan. *You made it to the finish line*, Na!
27. Semua pihak yang terlibat selama pelaksanaan kegiatan Tugas Akhir ini dimana telah memberikan kesempatan, bantuan dan pengalaman yang sangat luar biasa, sekali lagi penulis ucapkan terimakasih banyak.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan dengan cara sebaik-baiknya. Sebagai penutup, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, terutama pembaca yang tertarik pada ilmu Teknik Geofisika dalam bidang geoteknik.

Bandar Lampung, 06 Agustus 2024

Penulis



Langnanda Ekakurnia Putri Sopan

NPM. 2015051033

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
PERSETUJUAN.....	v
PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL	xxii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Daerah Penelitian	4
2.2 Geologi dan Stratigrafi Daerah Penelitian	6
2.3 Penelitian Terdahulu	8
III. TEORI DASAR.....	11
3.1 Tegangan (<i>Stress</i>).....	11

3.2 Regangan (<i>Strain</i>)	12
3.3 Elastisitas Batuan	13
3.4 Gelombang Seismik	15
3.4.1 Gelombang Badan (<i>Body Wave</i>)	15
3.4.2 Gelombang Permukaan (<i>Surface Wave</i>)	17
3.5 Hukum <i>Snellius</i>	18
3.6 Prinsip Huygens	19
3.7 Prinsip Fermat	20
3.8 <i>Spatial Autocorrelation (SPAC)</i>	21
3.9 Konfigurasi Array	23
3.10 <i>Weathering Layer</i>	25
3.11 <i>Hidden-layer Problem</i>	25
3.12 Interpretasi SPAC	25
IV. METODOLOGI PENELITIAN	28
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	28
4.2 Alat dan Bahan	28
4.3 Prosedur Penelitian	29
4.4 Diagram Alir	34
4.5 <i>Time Schedule</i>	35
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	36
5.1 Data Penelitian	36
5.2 <i>Merge Data</i>	38
5.3 <i>Killing Trace</i>	41
5.4 Definisi <i>Ring</i>	43
5.5 <i>Parameters Setting</i>	45
5.5.1 Kurva <i>Autocorrelation</i>	45
5.5.2 <i>Input Parameter</i>	47
5.6 Inversi	49
5.7 Profil kecepatan gelombang S (<i>Vs</i>)	51
5.7.1 <i>Ring 1</i>	51
5.7.2 <i>Ring 2</i>	53
5.7.3 <i>Ring 3</i>	54

VI. KESIMPULAN DAN SARAN	56
6.1 Kesimpulan	56
6.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta administrasi Agam, Sumatera Barat.....	5
2. Peta geologi lembar Padang.....	6
3. Stratigrafi lembar Padang.....	8
4. Komponen <i>stress</i>	12
5. Simulasi gerakan gelombang P dan S.	17
6. a) Penjalaran gelombang <i>Reyleigh</i> dan b) gelombang <i>Love</i>	18
7. Hukum Huygens.	20
8. Prinsip Fermat.	21
9. Konfigurasi <i>array</i> : (a) lingkaran, (b) segitiga bersarang, (c) L, (d) segitiga bersarang jarang, (e) segitiga yang jarang dengan alas yang sama (ukuran bertambah x3)	23
10. Konfigurasi <i>array</i> berbentuk <i>along linear</i>	24
11. Desain survei lokasi penelitian.....	30
12. Diagram Alir	34
13. Data penelitian	37
14. Sebelum dilakukan <i>merge data</i>	39
15. Setelah dilakukan <i>merge data</i>	40
16. <i>Killing trace</i>	42
17. <i>Ring</i> Penelitian	44
18. Kurva <i>autocorrelation</i> pada <i>ring</i> 1, 2 dan 3.....	46
19. <i>Parameters setting</i>	48
20. Kurva persebaran <i>Vp</i> dan <i>Vs</i> terhadap kedalaman pada <i>ring</i> 1, 2, 3.....	50
21. Profil kecepatan gelombang S (<i>Vs</i>) pada <i>ring</i> 1.....	51
22. Rekonstruksi penampang pada <i>ring</i> 1	52
23. Profil kecepatan gelombang S (<i>Vs</i>) pada <i>ring</i> 2.....	53
24. Rekonstruksi penampang pada <i>ring</i> 2	54
25. Profil kecepatan gelombang S (<i>Vs</i>) pada <i>ring</i> 3.....	54
26. Rekonstruksi penampang pada <i>ring</i> 3	55

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai V_p dan V_s pada medium rambatnya.....	26
2. Klasifikasi tanah.....	27
3. <i>Time schedule</i> penelitian.....	35
4. Persebaran nilai V_s pada <i>ring</i> 1.....	51
5. Persebaran nilai V_s pada <i>ring</i> 2.....	53
6. Persebaran nilai V_s pada <i>ring</i> 3.....	55

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Survei geofisika merupakan bidang terapan geofisika yang menggunakan metode fisik (*seismic*, geolistrik, *magnetic*, *gravity*, elektromagnetik, dan lain-lain) untuk mempelajari bumi dan menentukan kondisi pada bawah permukaan yang diukur menggunakan parameter fisik batuan di dalam bumi. Dari pengukuran inilah dapat diambil kesimpulan mengenai kondisi bawah permukaan baik secara vertikal maupun horizontal. Tujuan utama dari kegiatan eksplorasi geofisika adalah untuk membuat model bawah permukaan, mengidentifikasi litologi dan kedalaman lapisan, pencitraan lapisan bawah permukaan dan lain-lain (BPSDM, 2019).

Saat ini, para peneliti banyak menggunakan parameter - parameter fisis bawah permukaan untuk memodelkan struktur bawah permukaan bumi, seperti resistivitas, kecepatan gelombang primer, suseptibilitas, densitas dan kecepatan gelombang S (V_s) (Arifin, 2016). Pencitraan seismik menggunakan kebisingan sekitar (*ambient*) telah banyak digunakan untuk menggambarkan lapisan bawah permukaan. Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC) menggunakan kebisingan sekitar yang direkam oleh sensor dari susunan *array* seismik dapat menggambarkan struktur kecepatan bawah permukaan pada berbagai skala yang diinginkan (Wang dkk., 2022). Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC) merupakan salah satu jenis metode *array* mikrotremor yang digunakan untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang S (V_s) bawah permukaan dengan memanfaatkan perambatan gelombang *rayleigh* di permukaan bumi. Metode ini sangat efektif untuk menentukan struktur geologi di bawah permukaan bumi (Okada, 2003).

Nilai kecepatan gelombang S (V_s) merupakan representasi dari tingkat kekakuan dan karakterisasi lapisan bawah permukaan. Nilai V_s dapat diestimasi dengan menggunakan metode seismik non-invasif, yaitu pengukuran gelombang seismik tanpa “merusak” atau mengganggu medium pengukuran, yang dapat dilakukan dengan cara estimasi model V_s berdasarkan pengukuran gelombang seismik di permukaan. Terdapat dua tipe pengukuran, yakni aktif (memakai sumber getaran) dan pasif (dengan memanfaatkan sumber alam). Investigasi kecepatan gelombang S (V_s) dilakukan dengan menganalisis kurva dispersi gelombang Rayleigh (Arifin, 2016).

Terdapat tiga langkah dalam menganalisa kurva dispersi gelombang *Rayleigh* dengan menggunakan metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC), yaitu akuisisi data seismik, melakukan perhitungan koefisien SPAC, menentukan kurva dispersi untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang S (V_s) yang digunakan untuk interpretasi pada lapisan bawah permukaan (Pokharel, 2018). Penelitian ini menggunakan konfigurasi *array* berbentuk *along linear*, diketahui bahwa konfigurasi ini sangat membantu dalam mendeteksi, mengkarakterisasi ketebalan serta kedalaman lapisan dan menyediakan model kecepatan yang akurat untuk konversi waktu ke kedalaman. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan analisis lapisan bawah permukaan dan kedalaman pada daerah Palembayan, Kabupaten Agam, Sumatera Barat berdasarkan profil kecepatan gelombang S (V_s) dengan menggunakan metode *spatial autocorrelation* (SPAC).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi litologi lapisan bawah permukaan berdasarkan profil kecepatan gelombang S (V_s) pada daerah Palembayan, Kabupaten Agam, Sumatera Barat.
2. Mengidentifikasi kedalaman berdasarkan profil kecepatan gelombang S (V_s) pada daerah Palembayan, Kabupaten Agam, Sumatera Barat.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah pengolahan dan mengidentifikasi sinyal gelombang *passive seismic* menggunakan metode *spatial autocorrelation* (SPAC) untuk menganalisis lapisan bawah permukaan dan kedalaman pada daerah Palembayan, Kabupaten Agam, Sumatera Barat.

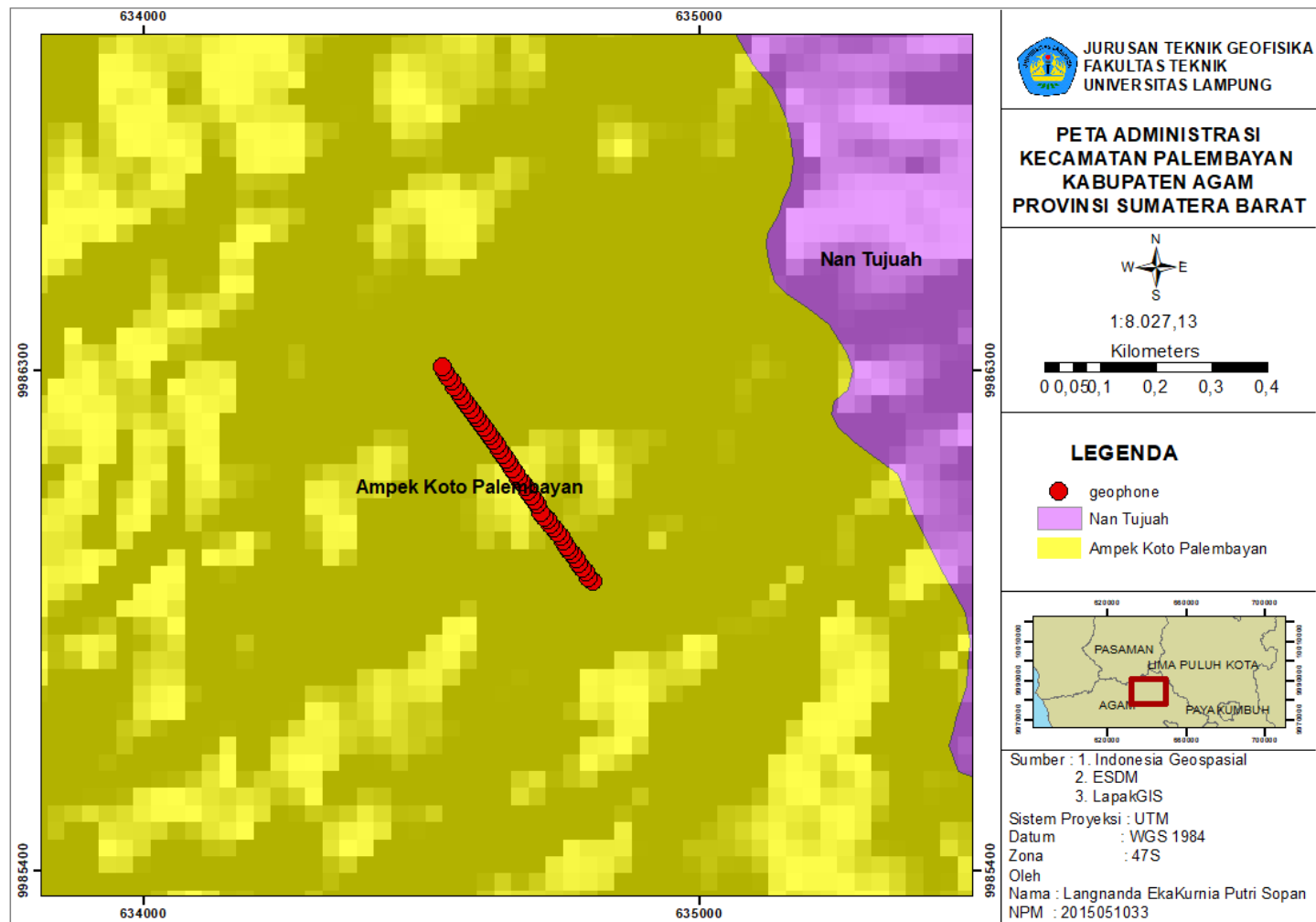
1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu memberikan informasi mengenai lapisan bawah permukaan dan kedalaman berdasarkan profil kecepatan gelombang S (V_s) pada daerah Palembayan, Kabupaten Agam, Sumatera Barat baik kepada perusahaan maupun referensi untuk penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

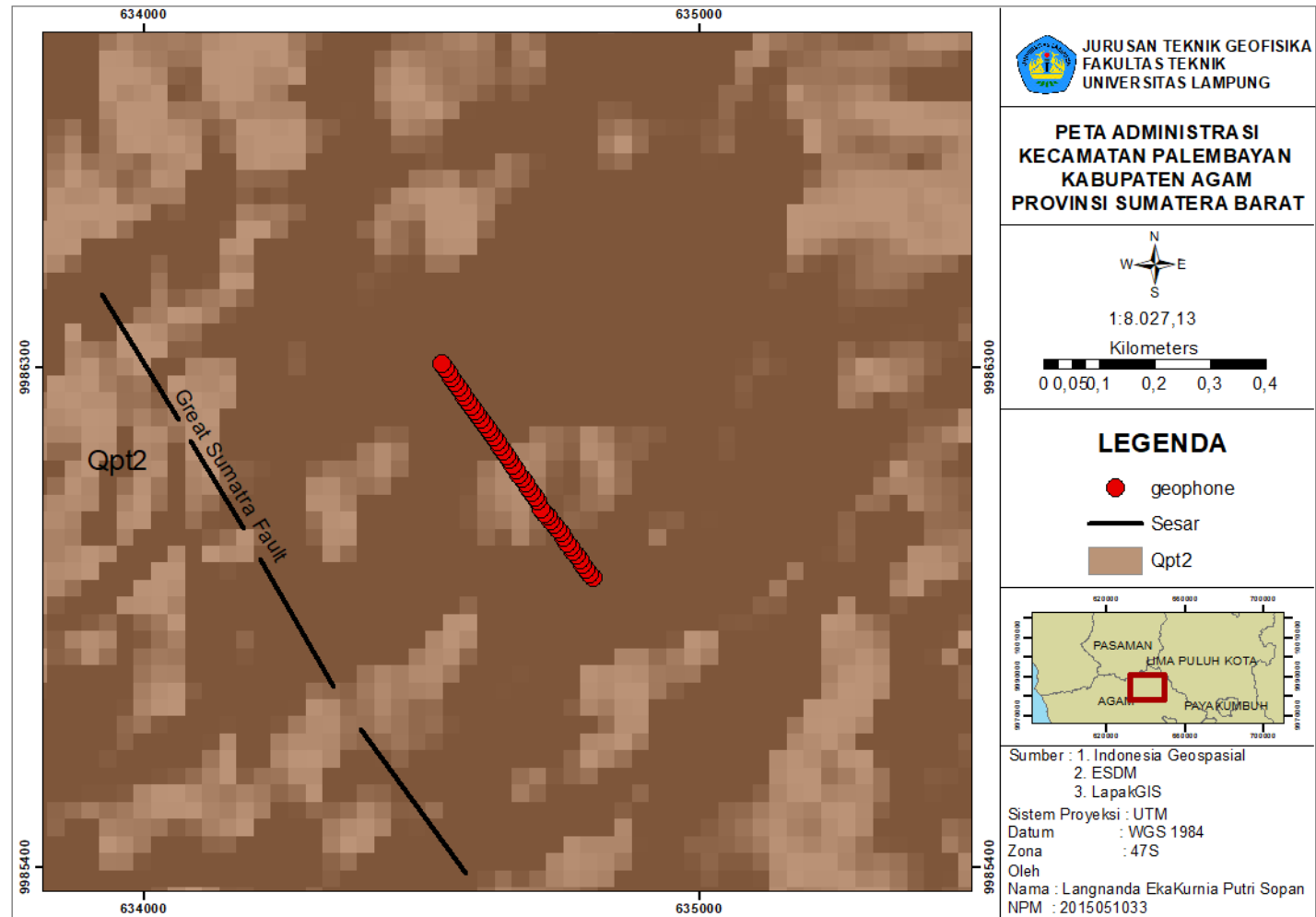
2.1 Daerah Penelitian

Lokasi penelitian terletak di daerah Kecamatan Palembayan, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis daerah penelitian berada pada koordinat $00^{\circ}01'34''$ – $00^{\circ}28'43''$ Lintang Selatan dan $98^{\circ}46'39''$ – $102^{\circ}32'50''$ Bujur Timur. Wilayah pegunungan vulkanik membujur pada bagian tengah Provinsi Sumatera Barat terdapat pegunungan vulkanik, untuk bagian tengah wilayah pegunungan vulkanik tersebut terdapat *Great Fault Sumatera*. Sedangkan dibagian timur merupakan wilayah perbukitan tersier. Kabupaten Agam memiliki ketinggian yang bervariasi, yaitu antara 0 m – 2.891 m di atas permukaan laut dengan Gunung Marapi sebagai titik tertinggi. Lokasi penelitian ini ditandai dengan kotak yang berwarna merah dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Peta administrasi Agam, Sumatera Barat (Indonesia Geospasial, 2024).

2.2 Geologi dan Stratigrafi Daerah Penelitian



Gambar 2. Peta geologi lembar Padang (dimodifikasi dari Kastowo dkk., 1996).

Berdasarkan peta geologi pada **Gambar 2** diketahui bahwa geologi penyusun daerah penelitian terdiri atas tuff batu apung dan andesit jenis *ultrabasic* yang berasal dari letusan gunung api strato komposit yang berkembang di zona tektonik Sesar Semangko. Daerah penelitian ini termasuk dalam batuan gunungapi/beku merupakan jenis batuan yang terbentuk dari magma yang mendingin dan mengeras, dengan atau tanpa proses kristalisasi, baik di bawah permukaan sebagai batuan intrusif (plutonik) maupun di atas permukaan sebagai batuan ekstrusif (vulkanik). Batuan ekstrusi terdiri atas semua material yang dikeluarkan dari dalam bumi ke permukaan baik di daratan maupun di bawah permukaan laut. Batuan ekstrusi selalu berkaitan dengan jalur gunungapi yang masih aktif maupun sudah mati. Sedangkan batuan intrusi adalah batuan yang terbentuk jauh di bawah permukaan bumi yang berasal dari cairan magma dengan proses pembekuannya berjalan lambat dan perlahan sehingga menghasilkan butiran kristal berukuran kasar.

Formasi batuan penyusun daerah penelitian ini adalah tufa batuapung dan andesit (Qpt): tufa batuapung umumnya terdiri dari serabut – serabut gelas dan 5 – 80% fragmen – fragmen batuapung putih (hampir tidak mengandung mineral – mineral mafik), berukuran 1 – 20 cm berukuran agak kompak. Pada daerah setempat terdapat lapisan – lapisan pasir yang kaya akan kuarsa, juga lapisan-lapisan kerikil yang terdiri dari mineral kuarsa, batuan gunungapi dan batugamping. Setempat bongkah – bongkah obsidian dan *pitchstone* berwarna kelabu kemerahan sampai kecoklatan baik yang masih segar maupun yang sudah lapuk. Endapan tufa ini mungkin berasal dari erupsi terakhir kaldera Maninjau atau erupsi celah yang ada hubungannya dengan jalur sesar besar Sumatera. Kumpulan batuan bersusunan andesit terdiri dari aliran-aliran yang tak teruraikan, lahar, fanglomerat dan endapan koluvium berasal dari gunungapi strato yang berbentuk kerucut dan kurang mengalami pengikisan, yang berumur Plistosen Holosen. Biasanya berwarna kelabu gelap dengan tekstur halus hingga kasar pada zona plagioklas yang berkomposisi An_{57-85} (Kastowo dkk, 1996). Adapun stratigrafi daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Arah struktur geologi pada daerah penelitian berorientasi baratlaut – tenggara. Patahan utama pada daerah ini merupakan bagian dari *Great Sumatera*



Dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa referensi dari penelitian sebelumnya yang sudah melakukan penelitian di daerah ini maupun daerah lain dan juga memiliki substansi hampir sama. Penelitian ini digunakan sebagai refensi untuk membantu dalam pengaplikasian teori yang telah ada untuk daerah penelitian baru, serta untuk membantu dalam menganalisis data seperti yang terlihat di bawah ini.

Nurdimansyah dkk (2013) melakukan penelitian yang berjudul “Kestabilan Lubang Bukaan Terowongan Berdasarkan Analisis Tegangan dan *Rock Mass Rating* (RMR) di Kototinggi, Kabupaten Agam, Sumatera Barat” yang bertujuan untuk menganalisis tegangan yang terjadi di sekitar perencanaan saluran air PLTA yang berupa terowongan dan hubungannya dengan klasifikasi massa batuan untuk mengetahui kestabilan terowongan tersebut. Hasil yang didapatkan dari pengkelasan massa batuan, pembangunan saluran air berada pada massa batuan di kedalaman 69.00 – 87.45 m dengan litologi berupa serpentinite, yang mana pembangunan saluran air akan dimulai di kedalaman 70.00m dari permukaan (titik pusat terowongan pada kedalaman 75.00m) dengan RMR_t 49 (*fair rock*), diameter lubang bukaan 10m yang memiliki *stand-up time* selama 38 jam serta memiliki nilai tinggi runtuh 5.1 m dengan beban runtuh sebesar 11.2761 ton/m³. Penyanggaan permanen harus segera dilakukan karena waktu runtuh untuk bertahan kurang lebih 38 jam. Dikarenakan terowongan ini diperuntukkan untuk saluran air, maka diperlukan penyanggaan permanen pada sekeliling dindingnya sehingga mengurangi terjadinya erosi pada permukaan dinding terowongan akibat air.

Rahman dkk (2023) melakukan penelitian mengenai parameter kerentanan seismik dalam pembangunan suatu wilayah yang berkaitan dengan estimasi guncangan tanah saat terjadi gempa bumi menggunakan metode *spatial autocorrelation* yang berjudul “Identifikasi Ketebalan Sedimen di Kota Bengkulu Menggunakan Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC)”. Penelitian ini menggunakan metode SPAC dikarenakan memiliki rentang frekuensi yang lebar dan sumber yang digunakan adalah getaran pasif dengan frekuensi yang bervariasi sehingga penetrasi gelombang yang dapat dijangkau menjadi dalam dan dapat menduga kedalaman *engineering bedrock* yang umumnya berada di kedalaman lebih dari 30 meter. Hasil analisis yang didapatkan yaitu menunjukkan bahwa kedalaman batuan dasar atau ketebalan lapisan sedimen berkisar antara 114 - 252 m dari permukaan dengan ketebalan lapisan sedimen paling dangkal terletak di Kecamatan Kampung Melayu dan ketebalan lapisan sedimen paling dalam terletak di Kecamatan Selebar.

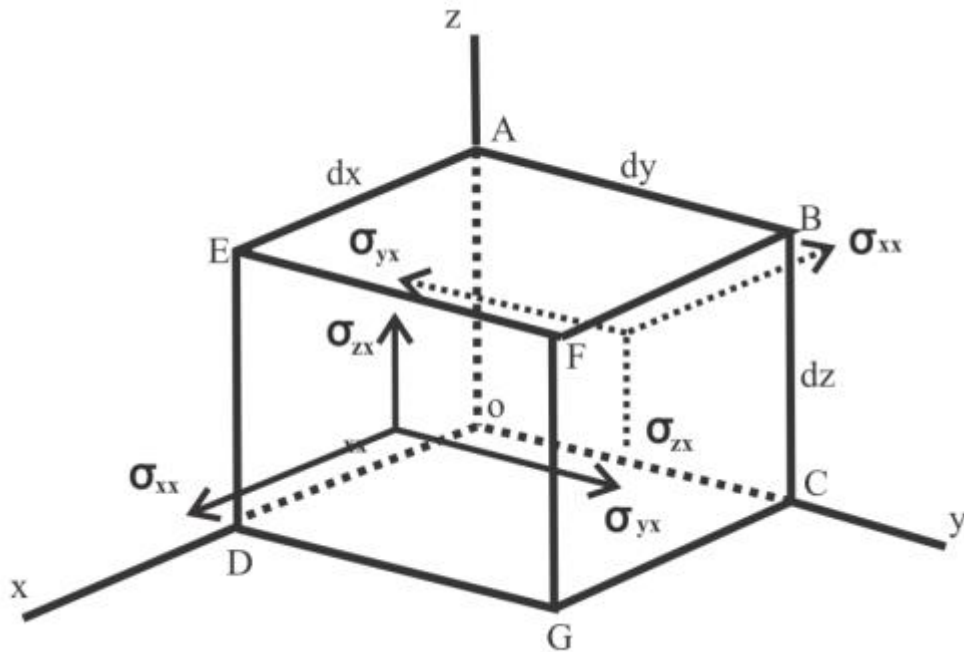
Pokharel (2018) melakukan penelitian dua metode analisis susunan mikrotremor, yaitu *Spatial Autocorrelation* (SPAC) dan *Centerless Circular Array* (CCA) digunakan untuk memperkirakan struktur kecepatan gelombang S (V_s) di bawah permukaan. Komponen vertikal rekaman mikrotremor yang didominasi oleh gelombang Rayleigh digunakan untuk estimasi nilai V_s . Hasil yang didapatkan yaitu kedalaman 25 m dari kedua metode diketahui memiliki struktur dua lapis. Dengan lapisan bawah permukaan bernilai $V_s = 145 - 195$ m/s yang tebalnya bisa mencapai 13 m, dan lapisan kedua sebagai *basement* $V_s = 227 - 237$ m/s. Dapat disimpulkan bahwa metode CCA lebih efektif di daerah perkotaan karena memberikan kedalaman eksplorasi yang serupa dengan radius susunan yang jauh lebih pendek.

III. TEORI DASAR

3.1 Tegangan (*Stress*)

Tegangan diperoleh dari gaya per unit area ketika gaya dikenakan pada suatu bahan. Jika gaya bervariasi dari titik ke titik, *stress* juga bervariasi, dan nilainya pada suatu titik diperoleh dengan mengambil *element infinitesimal* kecil dari area pada titik itu dan membagi gaya total yang mengenai area ini dengan besarnya area. Jika gaya tegak lurus dengan luasan, maka dianggap sebagai *stress normal*. Ketika gayanya tangensial terhadap elemen luasan disebut *stress geser*. Ketika gayanya tidak parallel dan tidak tegak lurus dengan elemen luasan, dapat diselesaikan menjadi komponen yang parallel dan komponen yang tegak lurus. Oleh karena itu, beberapa *stress* dapat diselesaikan menjadi komponen normal dan komponen geser (Hamimu dkk., 2017).

Dianggap bahwa elemen kecil dari volume di dalam medium yang dikenai *stress* akan bekerja pada setiap enam sisi dari elemen dapat ditetapkan menjadi komponen-komponennya, yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. *Stress* bekerja terhadap satuan luas (*Force/Area*). *Stress* terdiri dari dua komponen, yang pertama yaitu *right angle to surface* (normal atau *dilatation stress*) dan yang kedua yaitu pada bidang *surface* (*shear stress*).



Gambar 4. Komponen *stress* (Hamimu dkk., 2017).

Secara matematis konsep tegangan (*stress*) dituliskan dalam **persamaan 1** sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dengan:

- σ = Tegangan (*stress*) (N/m^2)
- F = Gaya tekan/tarik (Newton)
- A = Luas penampang (m^2)

3.2 Regangan (*Strain*)

Strain merupakan hasil deformasi akibat gaya *stress* tersebut yang ditunjukkan sebagai perubahan panjang atau volume. Ketika medium elastik dikenai *stress*, perubahan bentuk dan dimensi terjadi. Perubahan ini disebut *strain*. *Strain* didefinisikan sebagai perubahan relatif yakni perubahan fraksi pada dimensional atau bentuk medium. Kuantitas $\frac{\partial u}{\partial x}$ dan $\frac{\partial v}{\partial x}$ merupakan panjang pada arah sumbu x dan y disebut sebagai *strain normal*. Kuantitas $\frac{\partial v}{\partial x}$ dan $\frac{\partial u}{\partial x}$ adalah sudut kanan bidang xy yang direduksi ketika dikenai *stress*. Oleh karena itu, *strain*

geser merupakan pengukuran besarnya perubahan dalam medium dan disimbolkan Σ_{xy} (Hamimu dkk., 2017).

3.3 Elastisitas Batuan

Terdeformasinya atau berubahnya bentuk suatu batuan diakibatkan oleh adanya gaya yang bekerja pada batuan itu sendiri. Hal ini dikontrol oleh sifat elastisitas batuan. Elastisitas batuan berhubungan dengan tekanan (*stress*) dan regangan (*strain*) yang terjadi pada batuan tersebut. *Stress* merupakan gaya per satuan luas, sedangkan *strain* merupakan jumlah deformasi material per satuan luas. Kombinasi dari kedua parameter tersebut dikenal dengan modulus elastisitas, yang terdiri atas:

- **Modulus Young (E)**

Ketika suatu *longitudinal stress* mengenai suatu material, maka akan terjadi perubahan panjang (*longitudinal strain*), hal ini dikenal dengan Modulus *Young* yang dinyatakan dalam **persamaan 2**.

$$\sigma_l = E \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

dengan:

σ = *Longitudinal strain*

$\frac{\Delta L}{L}$ = Perubahan panjang relatif

E = Modulus *Young*

- **Modulus Shear (Rigiditas)**

Modulus *Shear* merupakan hubungan antara *shear strain* dan *shear stress*. Dirumuskan sebagai berikut pada **persamaan 3**.

$$\sigma_\theta = \mu \frac{\Delta Y}{X} \quad (3)$$

dengan:

σ = *Stress* yang bekerja pada benda

ΔY = Besarnya pergeseran benda

X = Tinggi benda

θ = Sudut pergeseran benda terhadap bentuk semula

- **Modulus Bulk (Inkompresibilitas)**

Modulus *Bulk* mengukur resistansi suatu material terhadap *stress volumetric*. *Stress volumetric* merupakan resistansi suatu gaya homogen yang bekerja pada semua arah (tekanan hidrostatik). Dapat dirumuskan dalam **persamaan 4**.

$$P = K \frac{\Delta V}{V} \quad (4)$$

dengan:

P = Tekanan hidrostatik

$\frac{\Delta V}{V}$ = Perubahan volume relatif

K = Modulus Bulk (N/m^2)

- **Poisson's Ratio**

Poisson's ratio merupakan suatu konstanta elastik dengan regangan yang terjadi pada suatu benda berupa kontraksi *transversal* dan regangan *longitudinal*. Nilai *poisson's ratio* dapat digunakan dalam penentuan kandungan fluida dalam batuan, seperti air, minyak, maupun gas. *Poisson's ratio* dapat dirumuskan dalam **persamaan 5**.

$$\sigma = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} \quad (5)$$

- **Konstanta Lamé**

Konstanta *Lamé* menggambarkan sifat inkompresibilitas suatu batuan. Modulus ini tidak dapat ditentukan dengan pengukuran di laboratorium, melainkan dapat ditentukan berdasarkan modulus elastik lainnya, seperti yang tercantum pada **persamaan 6** di bawah ini.

$$K = \lambda + \frac{2}{3}\mu \quad (6)$$

dengan:

K = Modulus Bulk (N/m^2)

λ = Konstanta *Lamé*

μ = Modulus *Shear*

3.4 Gelombang Seismik

Gelombang seismik adalah gelombang elastik yang merambat dalam bumi bergantung pada sifat elastisitas batuan. Bumi sebagai medium gelombang yang terdiri dari beberapa lapisan batuan yang memiliki nilai elastisitas berbeda-beda. Ketidak-kontinuan sifat medium ini menyebabkan gelombang seismik merambatkan sebagian energinya kemudian dipantulkan serta sebagian energi lainnya akan diteruskan ke medium di bawahnya (Telford dkk., 1990). Perambatan gelombang seismik bergantung dari sifat elastisitas yang dimiliki oleh suatu batuan. Gelombang seismik yang merambat melalui dalam bumi disebut sebagai gelombang badan (*body wave*), sedangkan yang merambat melalui permukaan bumi disebut gelombang permukaan (*surface wave*) (Munadi, 2002).

3.4.1 Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan (*Body wave*) merupakan gelombang seismik yang merambat melalui interior hingga ke dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada penjalarannya, gelombang badan ini dibedakan atas gelombang P (*P-wave*) dan gelombang S (*S-wave*) yang dapat dilihat pada **Gambar 5**.

- a. Gelombang P (gelombang primer) adalah gelombang yang pertama kali tiba dan tercatat dalam seismometer. Hal ini disebabkan karena gelombang primer memiliki kecepatan yang lebih dibandingkan dengan gelombang seismik yang lainnya. Bentuk dari gelombang P adalah longitudinal, dimana arah gelombang sejajar dengan arah perambatannya. Gelombang primer bisa merambat pada medium yang padat ataupun medium fluida. Menurut Telford dkk., (1990) kecepatan gelombang P bergantung pada medium tempat gelombang menjalar yang dinyatakan dalam **persamaan 7**:

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (7)$$

dengan:

V_P = Kecepatan gelombang Primer (m/s)

λ = Konstanta *Lame* (m/s)

μ = *Rigiditas* (N/m²)

ρ = Densitas (massa jenis) batuan (kg/m³)

Rigiditas (Mu-Rho) didefinisikan sebagai ketahanan suatu batuan terhadap regangan (*strain*) yang menyebabkan adanya perubahan bentuk batuan tanpa merubah volume total batuan tersebut. Nilai rigiditas mendekati sama dengan nol merupakan nilai rigiditas dari fluida, dan maksimal nilai *poisson ratio* adalah 0.5 dimana $\sigma \approx 0.05$ untuk batuan *very hard*, ≈ 0.45 untuk batuan agak longgar, sedangkan untuk batuan sedimen *unconsolidated* rata-rata memiliki nilai ≈ 0.25 . Penentuan kecepatan gelombang primer atau yang biasa disebut dengan gelombang V_p .

- b. Gelombang S (gelombang sekunder) merupakan gelombang seismik yang hanya dapat merambat di permukaan. Gelombang ini termasuk kedalam jenis gelombang transversal yang memiliki arah gelombang yang tegak lurus dengan arah penjalarannya. Gelombang sekunder hanya dapat merambat melalui medium padat. Persamaan dari kecepatan Gelombang S (V_s) dinyatakan dalam **persamaan 8** sebagai berikut:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (8)$$

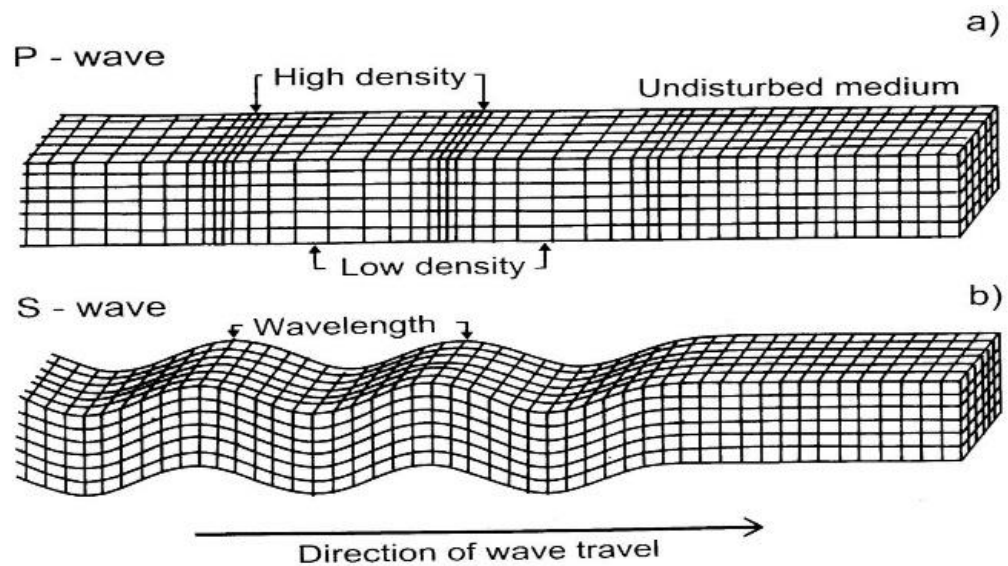
dengan:

V_s = Kecepatan gelombang Sekunder (m/s)

μ = *Rigiditas* (N/m^2)

ρ = Densitas (massa jenis) batuan (kg/m^3)

Gelombang badan menyebabkan adanya gerakan partikel–partikel media terhadap arah penjalaran gelombang. Apabila arah getaran gelombang S terpolarisir pada bidang vertikal, maka gelombang tipe ini disebut sebagai gelombang SV. Namun apabila arah getarannya terpolarisir pada bidang horizontal, maka gelombang ini tipe ini disebut sebagai gelombang SH.

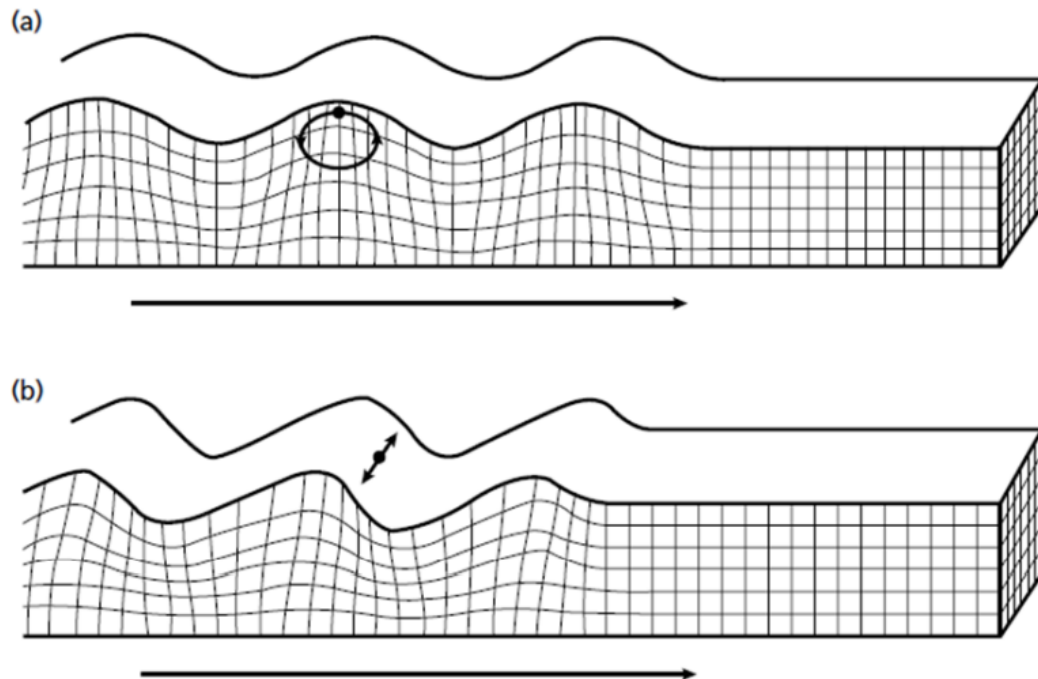


Gambar 5. Simulasi gerakan gelombang P dan S (Munadi, 2002).

3.4.2 Gelombang Permukaan (*Surface Wave*)

Gelombang permukaan merupakan jenis gelombang seismik yang hanya merambat di permukaan bumi. Amplitudo gelombang permukaan akan semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman penetrasi gelombang tersebut. Gelombang permukaan dibedakan menjadi dua jenis yang dapat dilihat pada **Gambar 6**.

- Gelombang *Rayleigh* merupakan getaran partikel batuan yang bergerak melingkar (*circular orbit*) berbentuk elips terhadap arah perambatan gelombang dan merambat melalui media homogen.
- Gelombang *love* merupakan getaran partikel dengan yang dihasilkan dari interaksi antara SH-waves dengan permukaan tanah lunak dan tidak memiliki komponen gerakan horizontal dari partikel.



Gambar 6. a) Penjalaran gelombang *Reyleigh* dan b) gelombang *Love* (Bolt dalam Kearey dkk., 2002).

3.5 Hukum *Snellius*

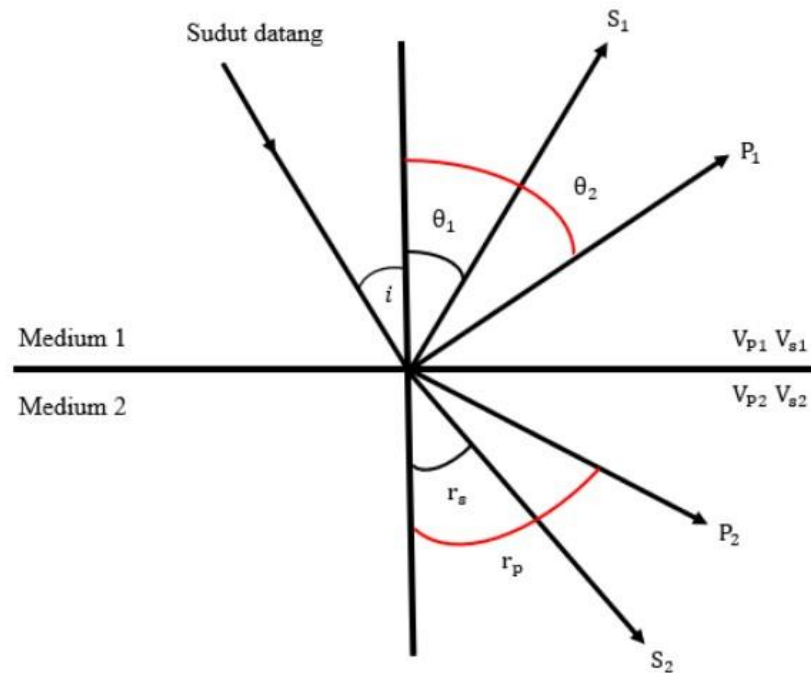
Hukum *Snellius* menyatakan bahwa ketika suatu gelombang menjalar ke permukaan, maka energinya dapat menjalar ke dua arah. Ketika energi memantul antarmuka dan tetap berada di medium pertama, maka energi tersebut dapat dikatakan energi yang dipantulkan. Berdeda dengan saat energi melewati antarmuka ke medium kedua, maka energi tersebut dapat dikatakan dibiaskan. Suatu gelombang yang datang pada suatu lapisan akan dibiaskan jika sudut datang lebih kecil atau sama dengan sudut kritisnya, dan gelombang akan dipantulkan jika sudut datang lebih besar dari sudut kritisnya. Hukum *Snellius* dinyatakan dalam **persamaan 9**.

$$\frac{\sin i}{V_{p1}} = \frac{\sin \theta_2}{V_{p1}} = \frac{\sin r_p}{V_{p2}} = \frac{\sin \theta_1}{V_{p1}} = \frac{\sin r_s}{V_{p2}} \quad (9)$$

dengan:

- i = Sudut datang gelombang
- θ_1 = Sudut pantul gelombang S
- θ_2 = Sudut pantul gelombang P

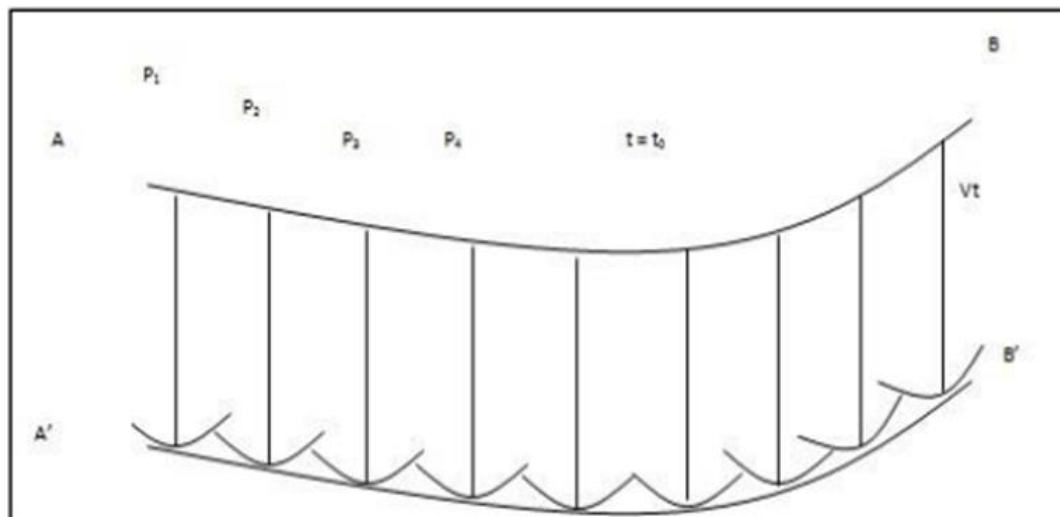
- r_p = Sudut bias gelombang P
 r_s = Sudut bias gelombang S
 V_{p1} = Kecepatan gelombang P pada medium pertama
 V_{p2} = Kecepatan gelombang P pada medium kedua
 V_{s1} = Kecepatan gelombang S pada medium pertama
 V_{s2} = Kecepatan gelombang S pada medium kedua



Gambar 7. Hukum snellius (Permana dkk., 2015)

3.6 Prinsip Huygens

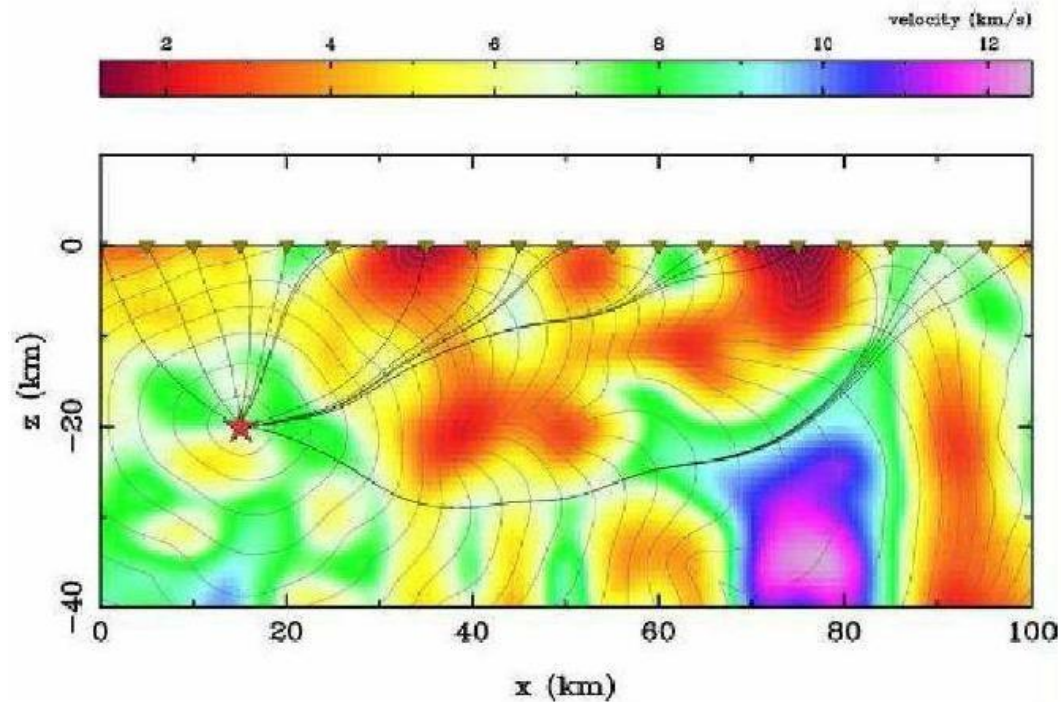
Prinsip Huygens menyatakan bahwa setiap titik-titik pengganggu yang berada di depan muka gelombang utama akan menjadi sumber bagi terbentuknya deretan gelombang yang baru (*wavelet*). Jumlah energi total deretan gelombang baru tersebut sama dengan energi utama. *Wavelet* bisa diumpamakan gelombang yang ditimbulkan oleh batu yang dijatuhkan ke dalam air. Prinsip Huygens bisa dipakai untuk menjelaskan mengenai terjadinya difraksi cahaya pada celah kecil seperti yang terlihat pada **Gambar 8**. Pada saat melewati celah kecil, muka gelombang akan menimbulkan *wavelet* baru yang jumlahnya tak terhingga sehingga gelombang tidak mengalir lurus saja, tetapi menyebar (Sheriff, 1995). Perumpamaan celah pada seismik yakni adanya patahan atau rekahan pada daerah bawah permukaan.



Gambar 8. Hukum Huygens (Sheriff dkk., 1995).

3.7 Prinsip Fermat

Pierre de Fermat (1601-1665) mengembangkan sebuah prinsip umum yang dapat digunakan untuk menentukan lintasan cahaya sewaktu merambat dari satu titik ke titik lain. Prinsip Fermat menyatakan bahwa ketika sinar cahaya merambat antara dua titik, lintasannya pastilah yang membutuhkan selang waktu terkecil. Akibat yang jelas dari prinsip ini adalah bahwa lintasan-lintasan dari sinar cahaya yang merambat dalam medium yang homogen adalah garis lurus, karena suatu garis lurus adalah jarak terpendek antara dua titik. Dengan kata lain, jika gelombang melewati sebuah medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang tersebut akan cenderung melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona - zona kecepatan rendah. Gelombang yang akan sampai terlebih dahulu adalah gelombang yang memiliki daya hantar yang baik. Prinsip Fermat dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Prinsip Fermat (Ubaidillah, 2009).

3.8 Spatial Autocorrelation (SPAC)

Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC) merupakan salah satu jenis metode *array* mikrotremor yang digunakan untuk mendapatkan profil kecepatan gelombang S bawah permukaan dengan memanfaatkan perambatan gelombang *rayleigh* di permukaan bumi, kemudian diaplikasikan untuk menentukan struktur geologi di bawah permukaan bumi. Dalam pengukurannya, metode SPAC membutuhkan sebuah *array* yang didalamnya terdapat sensor mikrotremor. Metode ini memerlukan minimal tiga stasiun atau empat stasiun dan dapat lebih banyak sesuai konfigurasi yang digunakan. Satu sensor diletakkan di pusat dan ketiga sensor lainnya ditempatkan di tiga sudut yang berbeda dengan jarak dari pusat (r) yang sama membentuk segitiga sama sisi, lingkaran, atau persegi. Ketika gelombang permukaan mendekati stasiun dalam tiga atau lebih arah yang berbeda, metode SPAC dapat mendeteksi panjang gelombang hingga 10 kali radius pengamatan dari pengamatan data mikrotremor sebenarnya, dan terdeteksi panjang gelombang seringkali tiga sampai empat kali radius pengamatan pusat (r). Untuk mendapatkan kedalaman yang diinginkan, pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan variasi jari-jari *array* yang berbeda. Oleh karena itu,

kedalaman *array* yang terdeteksi untuk SPAC bergantung pada radius (jari-jari) pengamatannya sendiri (Okada, 2003).

Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC) adalah salah satu cara paling efisien untuk mengekstraksi kecepatan fase gelombang permukaan dari kebisingan seismik sekitar. Dengan asumsi bahwa mikrotremor merupakan gelombang permukaan, Aki (1957) mengusulkan sebuah metode yaitu *Spatial Autocorrelation* (SPAC) dengan merepresentasikan gelombang harmonik frekuensi ω dari mikrotremor dengan bentuk kecepatan $u(0,0,\omega,f)$ dan $u(r,\theta,\omega,f)$ serta menentukan pusat *array* $C(0,0)$ dan $X(r,\theta)$ sebagai titik diluar pusat. Didapatkan fungsi dari *Spatial Autocorrelation* (SPAC) pada **persamaan 10**.

$$\phi = \overline{u(0,0,\omega,t) \cdot u(r,\theta,\omega,t)} \quad (10)$$

Dimana $\overline{u(t)}$ merupakan rata-rata kecepatan dari gelombang pada domain waktu. Kemudian dapat ditentukan koefisien *spatial autocorrelation* ρ dengan mengetahui fungsi rata-rata *autocorrelation* ϕ dalam segala arah pada lingkaran *array* yang dapat dilihat pada **persamaan 10**:

$$\rho(r,\omega) = \frac{1}{2\pi \cdot \phi(0,\omega)} \int_0^{2\pi} \phi(r,\theta,\omega) d\theta \quad (11)$$

dimana

$$\rho(r,\omega) = J_0\left(\frac{\omega r}{c(\omega)}\right) \quad (12)$$

dengan $J_0(x)$ merupakan fungsi *Bessel* suku pertama dari x dan $c(\omega)$ adalah kecepatan fasa pada frekuensi ω . Koefisien *spatial autocorrelation* $\rho(r,\omega)$ dari pengamatan mikrotremor dapat ditransformasikan menjadi domain frekuensi dengan menggunakan transformasi *fourier* sebagai berikut pada **persamaan 12**:

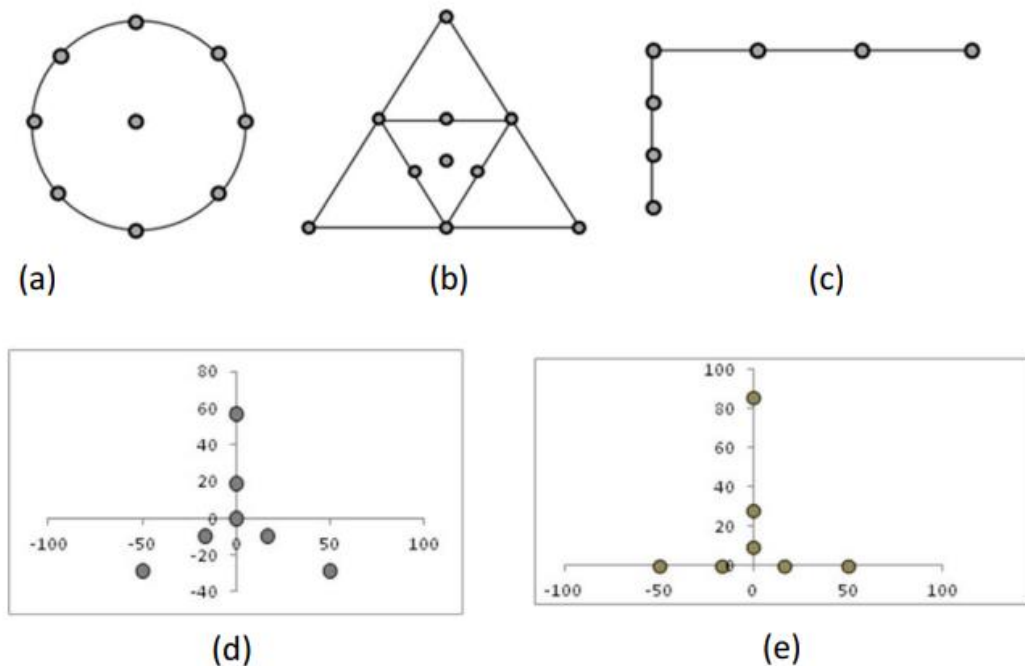
$$\rho(r,\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{Re[S_{CX}(\omega,r,\theta)]}{\sqrt{S_C(\omega) \cdot S_X(\omega,r,\theta)}} d\theta \quad (13)$$

dimana $S_C(\omega)$ dan $S_X(\omega,r,\theta)$ merupakan *power spectral* rapat massa dari gelombang mikrotremor pada masing-masing titik C dan X. Sedangkan $S_{CX}(\omega,r,\theta)$ merupakan *cross spectrum* diantara dua titik tersebut. Dari koefisien *spatial autocorrelation* $\rho(r,\omega)$, kecepatan fasa digunakan untuk setiap frekuensi

dapat ditentukan dari fungsi *Bessel* pada **persamaan 12**, sehingga dapat dilakukan proses inversi untuk mengetahui model kecepatan. SPAC terhadap frekuensi sudut ω umumnya tidak berbentuk fungsi *Bessel* karena kecepatan fase $C(\omega)$ merupakan fungsi frekuensi. Sebaliknya, SPAC terhadap pemisahan sensor r selalu berbentuk fungsi *Bessel* (Aki, 1957).

3.9 Konfigurasi Array

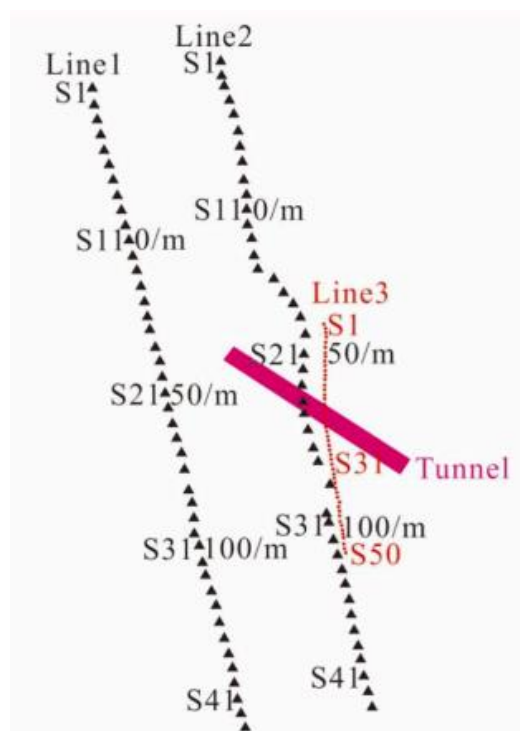
Spatial Autocorrelation (SPAC) menghitung korelasi silang atau koherensi kompleks antara setiap pasangan sensor dengan jarak (r) dan merata-ratakannya di sekitar *array*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa metode SPAC membutuhkan bentuk *array* yang sempurna seperti segita sama sisi, lingkaran dan persegi dengan minimal 3 atau 4 sensor. Ketika sumber energi gelombang permukaan mikrotremor terarah, proses perataan azimuth ditingkatkan dengan menggunakan jumlah ganjil sensor pada *array*, misalnya 5, 7 atau 9 sensor (Okada, 2006).



Gambar 10. Konfigurasi *array* : (a) lingkaran, (b) segitiga bersarang, (c) L, (d) segitiga bersarang jarang, (e) segitiga yang jarang dengan alas yang sama (ukuran bertambah x3) (Hayashi dkk., 2022).

Berdasarkan **Gambar 10**, konfigurasi yang sering digunakan yaitu larik isotropik seperti lingkaran dan segitiga, dan tidak boleh diterapkan pada susunan anisotropik (atau simetris). Sedangkan bentuk L dapat digunakan pemodelan 2D dengan arak maksimum lebih besar dari kedalaman investigasi yang diinginkan. Namun, apabila diasumsikan untuk lokasi tertentu bahwa mikrotremor datang dari semua arah secara merata pada penyebaran azimuth 180° . maka rata-rata arah pada **persamaan 12** dapat dihitung meskipun susunannya anisotropik (Capon, 1973).

Penelitian ini menggunakan konfigurasi *array* berbentuk *along linear*. Daerah penelitian ini tidak cocok menggunakan konfigurasi *array* sempurna seperti yang sudah dijelaskan di atas. Hal ini dikarenakan daerah penelitian memiliki lokasi yang curam dan terjal sehingga sulit untuk dilalui. Wang dkk (2022) melakukan modifikasi dalam konfigurasi *array* yaitu *along linear array*, diketahui bahwa konfigurasi ini sangat membantu dalam mendeteksi keberadaan terowongan, mengkarakterisasi ketebalan lapisan dan menyediakan model kecepatan yang akurat untuk konversi waktu ke kedalaman. Berikut merupakan bentuk konfigurasi *along linear array* dapat dilihat pada **Gambar 11**.



Gambar 11. Konfigurasi *array* berbentuk *along linear* (Wang dkk., 2022)

3.10 *Weathering Layer*

Weathering Layer atau biasa dikenal dengan lapisan lapuk. Dimana lapisan ini memiliki anomali seperti kecepatan yang rendah dan menunjukkan variasi yang cukup besar terhadap kecepatan gelombang seismik. Lapisan lapuk dapat memiliki ketebalan beberapa meter hingga beberapa ratus meter. Semakin tebal lapisan lapuknya maka nilai ekonomisnya semakin tinggi. Hal tersebut dikarenakan pengeboran untuk pemasangan sumber yang ditanam akan semakin dalam dan memakan waktu yang lebih lama. Perhitungan *delay-time* sangat dibutuhkan untuk mengetahui seberapa dalam ketebalan lapisan lapuk di daerah yang ditargetkan. Kesalahan dalam perhitungan dan analisis lapisan lapuk dapat menyebabkan kesalahan besar yang dapat menyebabkan hasil interpretasi yang kurang jelas dan kesalahan penentuan kedalaman lapisan lapuk tersebut (Reynolds, 1997).

3.11 *Hidden-layer Problem*

Hidden-layer problem atau biasa disebut *blind zone* dapat terjadi ketika lapisan tidak terdeteksi oleh seismik refraksi. Adapun empat masalah yang memungkinkan terjadinya hal tersebut, yaitu:

1. Inversi *velocity*
2. Adanya lapisan yang sangat tipis (*thin bed*)
3. Kurangnya kontras dari *velocity*
4. Ketidaktepatan dalam pemasangan jarak antar penerima (*receiver*).

3.12 Interpretasi SPAC

Metode *Spatial Autocorrelation* (SPAC) ini bergantung pada kecenderungan kecepatan akustik yang meningkat terhadap kedalaman yang membuatnya sensitif terhadap lapisan berkecepatan rendah di bawah permukaan. Survey seismik menimbulkan sinyal *first arrival* yang tercatat pertama kali pada seismogram dan diplot sebagai kurva *traveltime* (Adnywati, 2012). Interpretasi sinyal seismik digunakan untuk menentukan batas-batas kedalaman dan lapisan. Berikut merupakan nilai V_p dan V_s berdasarkan jenis batuan dan beberapa medium rambatnya dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai V_p dan V_s pada medium rambatnya (Telford dkk., 1990).

Material	V_p (m/s)	V_s (m/s)
<i>Air (Water)</i>	1400 – 1600	–
<i>Alluvium</i>	500 – 2000	–
<i>Andesit</i>	2240 – 3200	845 – 1600
<i>Anhydrite</i>	3500 – 5500	2200 – 3100
<i>Basalt</i>	5400 – 6400	2800 – 3400
Batuan Metamorf	3500 – 7000	1300 – 5300
Batupasir dan Serpilh (<i>Sand and Shale</i>)	2000 – 4500	–
Batupasir (<i>Sandstone</i>)	10 – 8000	1200 – 2800
Batu Gamping	5970 – 6030	2800 – 3000
<i>Dolomites</i>	2500 – 6500	1900 – 3600
<i>Gypsum</i>	2000 – 3500	800 – 2500
Granit (<i>Granite</i>)	4600 – 6200	2500 – 3300
Lapisan lapuk (<i>Weathered layered</i>)	300 – 900	–
Lempung (<i>Clay</i>)	1000 – 2500	200 – 8000
<i>Limestone (soft)</i>	1700 – 4200	800 – 3000
<i>Limestone (hard)</i>	2800 – 7000	2000 – 3300
Minyak bumi (<i>oil</i>)	1300 – 1400	–
Pasir jenuh (<i>Sand saturated</i>)	800 – 2200	320 – 880
Pasir tak jenuh (<i>Sand unsaturated</i>)	200 – 1000	78 – 400
Pasir dan gravel tak jenuh	400 – 500	200 – 250
Pasir dan gravel jenuh	500 – 1500	240 – 750
<i>Rock Salt</i>	4000 – 5500	2500 – 3100
<i>Sand and gravel (near surface)</i>	400 – 2300	180 – 1150

<i>Sand and gravel (at 2 Km depth)</i>	3000 – 3500	–
Serpilh (<i>Shale</i>)	2000 – 4100	–
Tanah (<i>Soil</i>)	250 – 600	125 – 300
Udara (<i>Air</i>)	331.5	165.75

Adapun faktor – faktor yang mempengaruhi cepat rambat gelombang seismik dalam batuan antara lain adalah litologi, densitas, porositas, kedalaman, tekanan, umur batuan dan temperature (Sheriff dkk., 1995). Jenis batuan yang berbeda akan menunjukkan *range* nilai kecepatan yang berbeda walaupun jenis batuan yang berbeda terkadang menunjukkan *overlap* nilai kecepatan gelombangnya. Setiap lapisan batuan memiliki tingkat kekerasan yang berbeda - beda. Hal ini menyebabkan perbedaan kemampuan suatu batuan untuk mengembalikan bentuk dan ukuran seperti semula ketika diberikan gaya padanya. Elastisitas batuan yang berbeda - beda menyebabkan gelombang merambat melalui lapisan batuan dengan kecepatan yang berbeda.

Adapun acuan klasifikasi tanah menurut NEHRP tahun 1998 dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi tanah (NEHRP, 1998)

<i>Soil Profile Name</i>	<i>Average Properties in Tip 100 feet Soil Shear</i>	
	<i>Wave Velocity</i>	
	<i>Feet/Second</i>	<i>Meters/Second</i>
<i>Hard Rock</i>	>5000	>1524
<i>Rock</i>	2000-3000	763-1524
<i>Very dense soil and soft rock</i>	1200-2500	366-762
<i>Stiff soil profile</i>	600-1200	183-366
<i>Soft soil profile</i>	<600	183

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama lima bulan pada:

Waktu : 05 Februari 2024 – 25 Juli 2024

Tempat : Laboratorium Pengolahan dan Pemodelan Data Geofisika (PPDG).
Lantai 3 - Jl. Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng, Rajabasa, Gedong
Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung.

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

No	Alat	Fungsi
1	Laptop	Untuk melakukan <i>processing</i> data dan penyusunan laporan.
2	<i>Software Geopsy</i>	Untuk menggabungkan data (<i>merge data</i>), geometri dan melakukan <i>Spatial Autocorrelation</i> (SPAC).
3	<i>Software ReflexW</i>	Untuk melakukan <i>killing trace</i> .
4	<i>Software ArcGIS</i>	Untuk pembuatan peta administrasi, peta geologi daerah dan desain survey penelitian.
5	<i>Software Google Earth</i>	Untuk membuat lintasan dan arak antar <i>geophone</i> .
6	<i>Microsoft Office</i>	Untuk penyusunan laporan.
No	Bahan	Fungsi
1	Data <i>passive seismic</i>	Untuk diolah dan analisis pada penelitian ini
2	Data DEM STRM	Digunakan untuk mendapatkan nilai elevasi daerah penelitian.

- | | | |
|---|--|---|
| 3 | Peta geologi regional
Lembar Padang | Digunakan sebagai data pendukung yang memberikan informasi lapisan batuan, formasi batuan, struktur, stratigrafi, jenis dan sifat batuan. |
|---|--|---|
-

4.3 Prosedur Penelitian

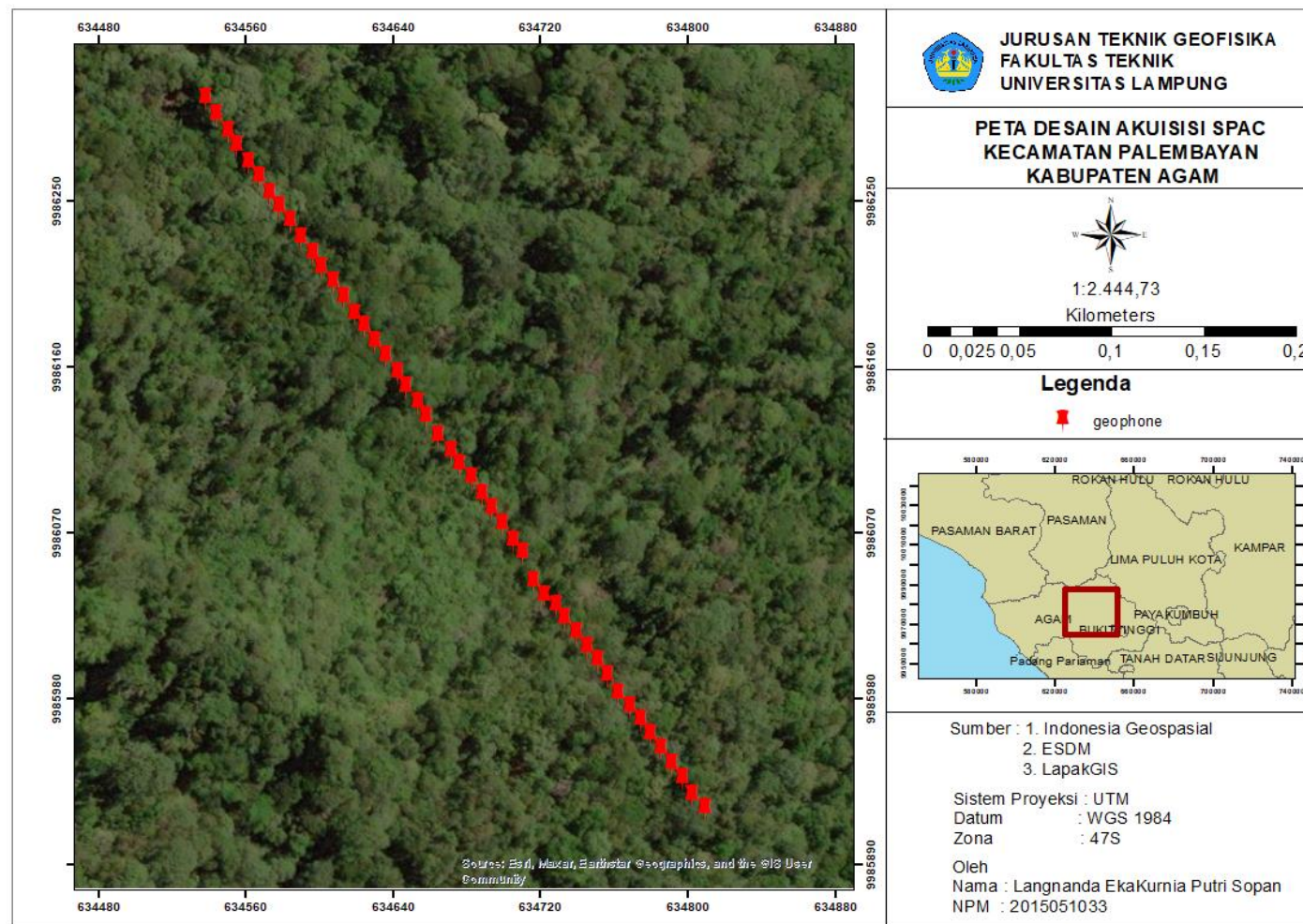
Adapun tahapan atau prosedur pada kerja praktik ini adalah sebagai berikut dan dapat dilihat pada **Gambar 12**.

1. Studi Literatur

Pada tahapan ini, dilakukan pengumpulan literatur mengenai konsep dasar metode *passive seismic*, hubungan *passive seismic* dengan lapisan bawah permukaan daerah penelitian serta proses pengolahan dan analisis profil kecepatan gelombang S (V_s) untuk mengidentifikasi lapisan bawah permukaan.

2. Pengumpulan Data

Dalam tahap ini, mempersiapkan dan mengumpulkan data *passive seismic* yang diperoleh dari hasil akuisisi dan data pendukung lainnya seperti peta geologi daerah penelitian serta topografinya. Data yang didapatkan yaitu data *passive seismic* Kecamatan Palembayan, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. Pengukuran ini menggunakan konfigurasi *array* memanjang (*along linear*). Kemudian dilakukan perekaman *passive seismic*. *Geophone* yang digunakan sebanyak 48 dengan jarak antar *geophone* yaitu 10 m. Adapun desain survei yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 12**.



Gambar 12. Desain survei lokasi penelitian

3. Pengolahan Data

a). *Input Data*

Dilakukan penginputan data kedalam *Software Geopsy* kemudian dilakukan pencocokan data, koordinat serta elevasi yang digunakan pada penelitian ini dengan *trace* yang sudah di *input*.

b). *Merge Data*

Sebelum melakukan pengolahan data, dilakukan penggabungan data (*merge data*) pada *Software Geopsy* sehingga *record length* yang dibutuhkan dalam pengukuran lengkap.

c). *Killing Trace*

Killing trace dilakukan pada *Software ReflexW* untuk menghilangkan *trace* data seismik dengan kualitas yang buruk atau rusak yang terjadi pada saat akuisisi data sehingga tidak digunakan dalam pengolahan selanjutnya.

d). *Ring*

Definisi *ring* (cincin) atau biasanya disebut dengan *co-array* dilakukan untuk menzonasikan daerah pengukuran dalam suatu cincin/jari-jari. *Co-array* merupakan kumpulan semua kemungkinan kombinasi dari beberapa sensor yang berada dalam suatu *ring*. Setiap *sub-array* (atau biasa dikenal dengan sebutan *ring*) terdiri dari beberapa pasangan sensor. Definisi *ring* ini dilakukan pada *Software Geopsy* di *SPAC toolbox*. *Co-array* digunakan untuk mendapatkan kedalaman yang diinginkan.

Setelah melakukan definisi *ring*, kemudian pilih batas waktu yang diinginkan. Pada opsi *time limits* pilih “*Freq. Dep.*” dengan panjang jendela 100 T. Kemudian pilih 2.0 dan 30 sebagai frekuensi pusat minimum dan maksimum. Pada bagian step pilih log. Centang kotak target *Dinver* dan berikan nama file *output*. Klik *start* kemudian dilakukanlah perhitungan koefisien SPAC. Koefisien *spatial autocorrelation* dihitung dan hasil dapat ditampilkan ataupun diedit dengan menggunakan *software geopsy* pada *SPAC toolbox*. Setelah mendapatkan file keluaran *.target* yang berisi statistik: rata-rata, standar deviasi, daftar cincin (*ring*) dan jumlah jendela yang diproses untuk setiap sampel *autocorrelation*. File ini diedit lebih lanjut dengan menggunakan *Dinver*.

e). *Parameters Setting*

Parameter setting merupakan salah satu kunci penting dari inversi untuk mendapatkan kurva dispersi gelombang *Rayleigh*. Langkah ini dilakukan dengan menggunakan *Dinver* dan informasi dari studi literatur mengenai struktur dasar daerah penelitian. Hal ini berguna untuk mengekstrak kurva *autocorrelation* menjadi kurva dispersi hingga didapatkan kedalaman serta nilai V_p dan V_s pada daerah penelitian.

Parameter setting dilakukan dengan cara klik *autocorrelation* lalu pada bagian *misfit weight* dan *min. misfit* isi dengan nilai *default*-nya masing-masing yaitu 1 dan 0. Klik *Set* untuk memuat kurva *autocorrelation*, *add ring* yang sudah didapatkan dari hasil perhitungan koefisien SPAC. Target kurva *autocorrelation* ditampilkan. Apabila kurva *autocorrelation* belum *smooth*, lakukan *editing* dengan klik edit dan atur kurva. Kemudian atur parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu *compression-wave velocity*, *shear-wave velocity*, *density* dan *poission ratio*. Setelah itu klik *save* dan lakukan inversi.

f). Inversi

Proses inversi adalah proses acak yang didasarkan pada *pseudo-random generator*. Tahap pengolahan yang dilakukan sedikit berbeda dari satu proses ke proses lainnya (menjaga semuanya tetap konstan), terutama pada *step parameter setting* dengan jumlah *ring* yang banyak. Untuk melakukan inversi klik *runs*, *add* pilih data yang akan di *running* lalu *start*. Hasil inversi dapat dilihat pada status. Hasil inversi dinyatakan benar apabila nilai *min. misfit* kurang dari 10.

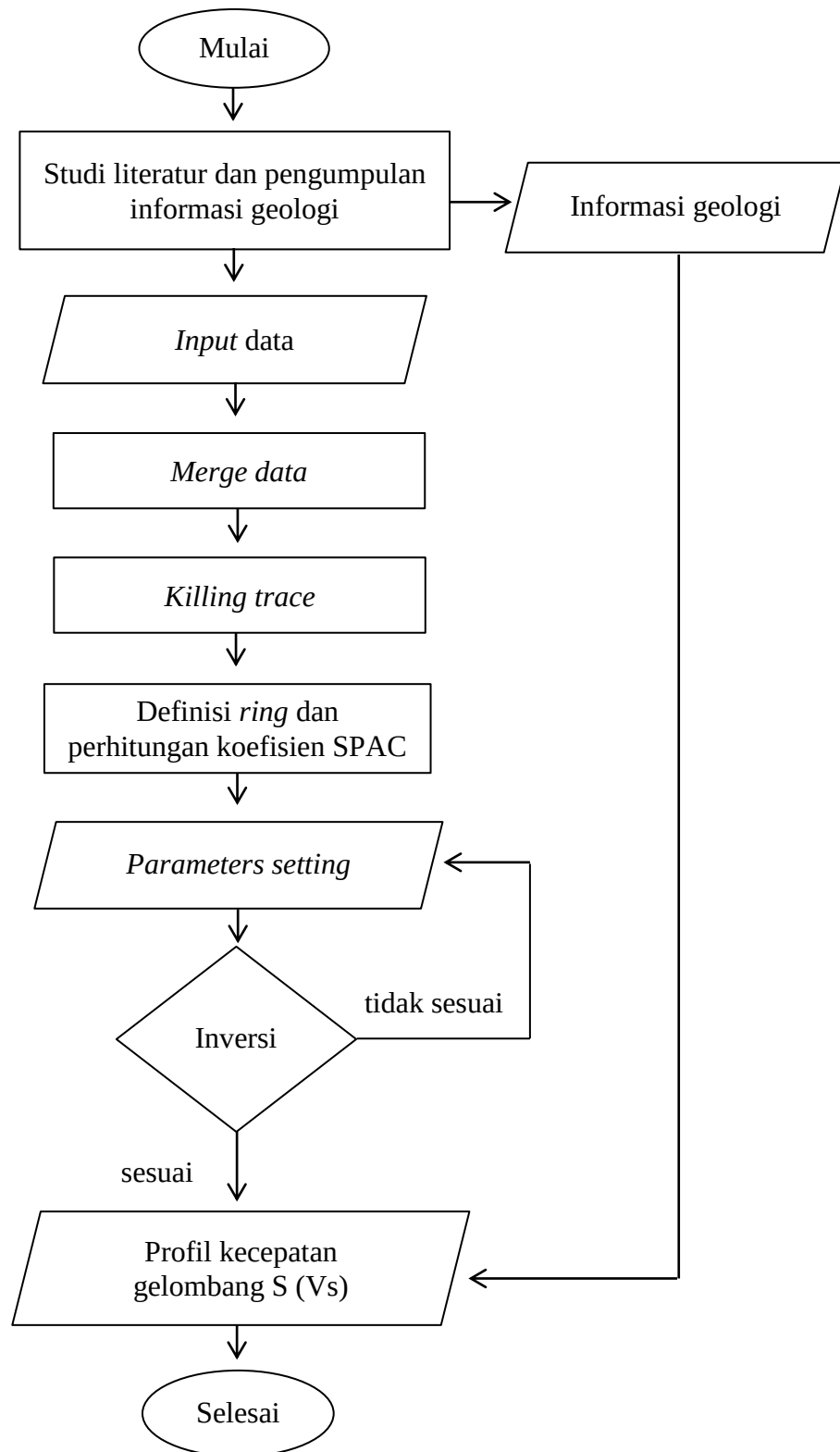
g). Profil kecepatan gelombang S (V_s)

Profil kecepatan gelombang S (V_s) memperlihatkan grafik persebaran kecepatan V_p dan V_s terhadap kedalaman permukaan. Profil kecepatan gelombang S (V_s) dapat dilihat dengan menggunakan *ground profile*. Klik *view* lalu *ground profile*. *Maximum number of profiles* harus diatur kedua untuk V_p dan V_s . Kemudian masukan nilai *misfit* yang dari hasil inversi yang sudah didapatkan, profil kecepatan gelombang V_p dan V_s ditampilkan. Hal ini dikontrol oleh ketidaksesuaian *max misfit*. Untuk mencari tahu

apakah pemodelan sudah benar atau tidak dapat dilihat jika model sebenarnya untuk V_p dan V_s ditempelkan di atas hasil inversi, maka dapat dilihat bahwa estimasi kecepatan gelombang S (V_s) terhadap kedalaman tidak tepat. Profil kecepatan gelombang S (V_s) digunakan untuk menganalisis lapisan bawah permukaan pada daerah penelitian.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 13. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan profil kecepatan gelombang S (V_s) yang sudah dilakukan pengolahan data *passive seismic* menggunakan metode *spatial autocorrelation* (SPAC) dan analisis data dari penelitian ini, diketahui bahwa:

1. *Ring 1* radius 8.6 – 99.87 m, diketahui lapisan pertama memiliki nilai $V_s = 80$ m/s berada pada kedalaman 1.02 m. Lapisan kedua didapatkan nilai $V_s = 360$ m/s berada pada kedalaman 2.1 m. Lapisan ketiga memiliki nilai $V_s = 924$ m/s pada kedalaman 2.7 – ∞ m.
2. *Ring 2* radius 100.43 – 199.73 m, diketahui lapisan pertama memiliki nilai $V_s = 120$ m/s berada pada kedalaman 1.8 m. Lapisan kedua didapatkan nilai $V_s = 480$ m/s pada kedalaman 2.19 m. Lapisan ketiga memiliki nilai $V_s = 960$ m/s pada kedalaman 2.3 – ∞ m.
3. *Ring 3* radius 200.55 m – 389.55 m, diketahui lapisan pertama memiliki nilai $V_s = 167$ m/s berada pada kedalaman 2 m. Lapisan kedua didapatkan nilai $V_s = 396$ m/s berada pada kedalaman 2.18 m. Lapisan ketiga memiliki nilai $V_s = 1026$ m/s pada kedalaman 2.9 m – ∞ m.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah disampaikan, penulis memberikan beberapa saran yang dapat membantu penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukannya ketelitian dalam mengoperasikan alat agar hasil *record* data yang didapatkan dapat menghasilkan model yang baik. Selain itu juga diperlukan data *core* untuk memvalidasi litologi bawah permukaan dan kandungan mineral pada batuan di daerah penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aki, K. (1957). Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors. *Earthquake Research Institute, Vol. 35*, 415–456.
- Arifin, A. D. (2016). Inversi Dispersi Gelombang *Rayleigh* yang *Robust* Berbasis Algoritma *Progressive-Progressive Particle Swarm Optimization* (PP-PSO). *Thesis*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Bettig, B., Bard, P. Y., Scherbaum, F., Riepl, J., Cotton, F., Cornou, C., & Hatzfeld, D. (2001). Analysis of dense array noise measurements using the modified spatial auto-correlation method (SPAC): application to the Grenoble area. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 42(3-4), 281-304.
- BPSDM, K. P. (2019). *Eksplorasi Geofisika Untuk Air Tanah*. Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi.
- Capon, J. (1973). *Signal Processing and Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis for a Large Aperture Seismic Array*. Academic Press, 13:1–59. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-460813-9.50007-2>.
- Gubbins, D. (2004). *Time Series Analysis and Inverse Theory for Geophysicists*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Haerudin, N., Alami, F., & Rustadi. (2019). *Mikroseismik, Mikrotremor dan Microearthquake dalam Ilmu Kebumihan*. Pusaka Media.

- Hamimu, L., Sahiddin, L. O., & Indrawati. (2017). *Buku Ajar Seismik Refraksi*. Universitas Halu Oleo: Kendari.
- Hayashi, K., Asten, M. W., Stephenson, W. J., Cornou, C., Hobiger, M., Pilz, M., & Yamanaka, H. (2022). Microtremor Array Method using Spatial Autocorrelation Analysis of Rayleigh-wave Data. *Journal of Seismology*, 26(4), 601-627. <https://doi.org/10.1007/s10950-021-10051-y>.
- Indonesia Geospasial. (2024). Download Kumpulan Shapefile (SHP) Terlengkap dan Terbaru Seluruh Indonesia. GIS Dan Penginderaan Jauh, Sumatera Barat.
- Kastowo., Leo, G, W., Gafoer, S., dan Amin, T, C. (1996). Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi: Bandung.
- Köhler, A., Ohrnberger, M., Scherbaum, F., Wathelet, M., & Cornou, C. (2007). Assessing the reliability of the modified three-component spatial autocorrelation technique. *Geophysical Journal International*, 168(2), 779-796. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03253.x>.
- Lay, T., dan Wallace, T. C. (1995). *Modern Global Seismology*. Academic Press: San Diego.
- Linda, F. N., Lepong, P., & Dyajus. (2019). Interpretasi Kecepatan Gelombang Seismik Refraksi Tomografi Dalam Penentuan Litologi Bawah Permukaan Di Desa Bhuana Jaya (Studi Kasus : Pt. Khotai Makmur Insan Abadi). *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 2(2).
- Lobkis, O. I., & Weaver, R. L. (2001). On the emergence of the Green's function in the correlations of a diffuse field. *Journal of the Acoustical Society of America*, 110(6), 3011-3017.
- Lontsi, A. M., Ohrnberger, M., & Krüger, F. (2016). Shear Wave Velocity Profile Estimation by Integrated Analysis of Active and Passive Seismic Data from Small Aperture Arrays. *Journal of Applied Geophysics*, 130, 37–52. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2016.03.034>.

- Lowrie, W., dan Fichtner, A. (2007). *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Munadi, S. (2002). *Pengolahan Data Seismik: Prinsip Dasar dan Metodologi*. Universitas Indonesia: Depok.
- NEHRP. (1998). *Site Classifications Taken from Table 1615 1.1 Site Class Definitions published in 2000 International Building code*. International Code Council, Inc. on page 350.
- Nemati, S. F., Hafezi Moghadas, N., Lashkaripour, G. R., dan Sadeghi, H. (2021). Identification of Hidden Faults using Determining Velocity Structure Profile by Spatial Autocorrelation Method in The West of Mashhad plain (Northeast of Iran). *Journal of Mountain Science*, 18(12), 3261–3274. <https://doi.org/10.1007/s11629-020-6511-7>.
- Nurdimansyah, A., Lesmana, T., Zakaria, Z., & Muslim, D. (2013). Kestabilan Lubang Bukaan Terowongan Berdasarkan Analisis Tegangan dan RMR Di Kototinggi, Kabupaten Agam, Sumatera Barat. *Proceeding Conferences Nasional Geomekanika II, Agustus*, 103–112.
- Ohrnberger, M., Schissele, E., Cornou, C., Wathelet, M., Savvaidis, A., Scherbaum, F., Jongmans, D., & Kind, F. (2004). Microtremor Array Measurements for Site Effect Investigations: Comparison of Analysis Methods for Field Data Crosschecked By Simulated Wavefields. *13 Th World Conference on Earthquake Engineering, 0940*, Paper no: 0940.
- Okada, H. (2003). The Microtremor Survey Method. *Journal Society of Exploration Geophysicists*. University States of Amerika.
- Poggi, V., Burjanek, J., & Fäh, D. (2017). Seismic Site-Response Characterization of High-Velocity Sites using Advanced Geophysical Techniques Application to The NAGRA-Net. *Geophysical Journal International*, 210, 2, 645–659, <https://doi.org/10.1093/gji/ggx192>.
- Pokharel, T. (2018). Estimation of Subsurface Shear Wave Velocity Structure in

Kathmandu Valley Using Microtremor Array Measurements. *Grips*. 1–6.

Rahman, A. S., Permana, D., Pramono, S., Rahmatullah, F. S., Sativa, O., Moehajirin, Santoso, E., Oktavia, N. H., Octantyo, A. Y., Wallansha, R., Kaluku, A., Pradita, J. S., Habibah, N. F., Dharma, Y., Persada, Sugianto, D., Silvia, U. N., Sugiharto, A., Muzli., Adi, S. P. (2023). *Identifikasi Ketebalan Sedimen Di Kota Bengkulu Menggunakan Metode SPAC*. 4(4), 1–7.

Setiawan, B., Jaksa, M. B., dan Griffith, M. C. (2016). *Analysis of Microtremor Array Measurement using the Spatial Autocorrelation (SPAC) Method Across the Adelaide City by School of Civil, Environmental, and Mining Engineering The University of Adelaide*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13590.65601>.

Sismanto. (1999). *Eksplorasi dengan Menggunakan Seismik Refraksi*. Gajah Mada University Press: Yogyakarta.

Shearer, P. M. (2009). *Introduction To Seismology*. Cambridge University Press: United Kingdom.

Sheriff, R.E. dan Geldart, L.P. (1995). *Exploration Seismology*. Cambridge University Press: USA.

Snieder, R. (2004). Extracting the Green's Function from The Correlation of Coda Waves: A Derivation Based on Stationary Phase. *Physical Review E*, 69(4), 46610. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.69.046610>.

Sungkono. (2011). *Inversi Terpisah dan Simultan disperse Gelombang Rayleigh dan Horizontal to Vertical Spectral Ratio menggunakan Algoritma Genetik*. Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.

Telford, W. M., Geldart, L. P., dan Sheriff, R. E. (1990). *Applied Geophysics Second Edition*. Cambridge University Press: Cambridge.

Ubaidillah, N. (2009). *Analisis Proses Pre-Stack Time Migration Dan Post-Stack Time Migration Di Lapangan X Di Daerah Sumatera Selatan*. Skripsi.

Universitas Indonesia: Depok.

- Wang, K., Qian, J., Zhang, H., Gao, J., Bi, D., dan Gu, N. (2022). Seismic Imaging of Mine Tunnels by Ambient Noise Along Linear Arrays. *Journal of Applied Geophysics*, 203, <https://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104718>.
- Yuliatmoko, R. S., Dairoh, Masykuri, A. F., Suryanto, W., & Rohadi, S. (2023). Site Analysis Using Microtremor Array for Disaster Mitigation of Landslide in the Cianjur Aquatic Resort. *Proceeding Conferences E3S*, 468, 1–8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346801005>.
- Yu, C., Ji, S., & Li, Q. (2016). Effects of Porosity on Seismic Velocities, Elastic Moduli and Poisson's Ratios of Solid Materials and Rocks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 8(1), 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.07.004>.