

**ANALISIS PENGARUH FREKUENSI DAN *PHASE WAVELET*
TERHADAP EFEKTIVITAS *STRATAL SLICING* DALAM
KARAKTERISASI *THIN SAND BODIES* PADA SISTEM
*INTERBEDDED SAND-SHALE***

(Skripsi)

Oleh

HAFIZAH

2215051079



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

**ANALISIS PENGARUH FREKUENSI DAN *PHASE WAVELET*
TERHADAP EFEKTIVITAS *STRATAL SLICING* DALAM
KARAKTERISASI *THIN SAND BODIES* PADA SISTEM *INTERBEDDED*
*SAND-SHALE***

Oleh
HAFIZAH

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2026

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH FREKUENSI DAN *PHASE WAVELET* TERHADAP EFEKTIVITAS *STRATAL SLICING* DALAM KARAKTERISASI *THIN SAND BODIES* PADA SISTEM *INTERBEDDED* *SAND-SHALE*

Oleh
Hafizah

Karakterisasi *thin sand bodies* pada sistem *interbedded sand-shale* merupakan tantangan dalam interpretasi seismik akibat keterbatasan resolusi vertikal, interferensi refleksi, dan efek *tuning* yang dapat mengaburkan respon masing-masing lapisan. Metode *stratal slicing* dikembangkan untuk mempertahankan kesetaraan waktu geologi secara lebih representatif dibandingkan atribut konvensional seperti *time slice* dan *horizon slice*. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh frekuensi dan fase *wavelet* terhadap efektivitas *stratal slicing*, serta mengkaji sensitivitas hasil interpretasi terhadap kondisi *thin bed* dan kesalahan *picking* (*mis-pick*). Metode yang digunakan berupa *stratal slicing* berbasis atribut amplitudo pada model seismik sintetik 3D dengan reflektor horizontal dalam kondisi ideal tanpa struktur dan *noise*, sehingga respon seismik yang diamati hanya dipengaruhi oleh karakter *wavelet* dan interferensi antar lapisan. Variasi fase *wavelet* dianalisis melalui perbandingan *wavelet zero-phase* dan *wavelet 90°-phase* pada beberapa rentang frekuensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *wavelet 90°-phase* dengan frekuensi 45 Hz memberikan respon paling optimal, ditandai dengan berkurangnya interferensi refleksi, meningkatnya resolusi lapisan tipis, serta geometri *sand body* yang lebih jelas dan konsisten pada hasil *stratal slicing*. Selain itu, sensitivitas terhadap *mis-pick* dipengaruhi oleh ketebalan lapisan, di mana lapisan tebal relatif stabil, sedangkan lapisan tipis lebih rentan mengalami distorsi amplitudo akibat interferensi refleksi yang berpotensi menimbulkan kesalahan interpretasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi parameter *wavelet* dan ketelitian *picking* merupakan faktor penting dalam meningkatkan resolusi stratigrafi dan keandalan interpretasi *stratal slicing* pada reservoir *thin bed*.

Kata Kunci: *Stratal slicing*, *wavelet*, *Phase*, frekuensi

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF WAVELET FREQUENCY AND PHASE ON THE EFFECTIVENESS OF STRATAL SLICING IN THE CHARACTERIZATION OF THIN SAND BODIES IN INTERBEDDED SAND–SHALE SYSTEM

By
Hafizah

Characterizing thin sand bodies in interbedded sand–shale systems remains a challenge in seismic interpretation due to limited vertical resolution, reflection interference, and tuning effects that may obscure the response of individual layers. Stratal slicing was developed to preserve geological time equivalence more representatively than conventional seismic attributes such as time slices and horizon slices. This study aims to evaluate the influence of wavelet frequency and phase on the effectiveness of stratal slicing, as well as to investigate the sensitivity of interpretation results to thin-bed conditions and picking errors (mis-picks). The method employed consists of amplitude-based stratal slicing applied to a 3D synthetic seismic model with horizontal reflectors under ideal conditions without structural complexity and noise, allowing the observed seismic response to be controlled solely by wavelet characteristics and interlayer interference. Wavelet phase variations were analyzed by comparing zero-phase and 90°-phase wavelets across several frequency ranges. The results indicate that a 90°-phase wavelet with a frequency of 45 Hz provides the most optimal response, characterized by reduced reflection interference, improved thin-bed resolution, and clearer as well as more consistent sand body geometry in the stratal slicing results. Furthermore, sensitivity to mis-picks is influenced by layer thickness, where thicker layers remain relatively stable, while thinner layers are more susceptible to amplitude distortion caused by reflection interference, potentially leading to interpretation errors. These findings demonstrate that wavelet parameter optimization and accurate picking are critical factors in improving stratigraphic resolution and the reliability of stratal slicing interpretation in thin-bed reservoirs.

Keyword: Stratal slicing, wavelet, Phase, frequency

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Frekuensi dan *Phase Wavelet*
Terhadap Efektivitas *Stratal Slicing* dalam
Karakterisasi *Thin Sand Bodies* pada Sistem
Interbedded Sand-Shale

Nama Mahasiswa : **Hafizah**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2215051079

Program Studi : Teknik Geofisika

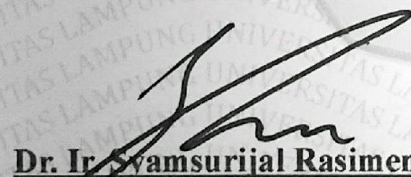
Fakultas : Teknik

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2


Dr. Ir. Syamsurrijal Rasimeng, S.Si.,
M.Si., C.EIA., IPM.


Isti Nur Kumasari, S.T., M.T.

NIP. 197307162000121002

NIP. 199707152022032027

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


Dr. Ir. Syamsurrijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM.

NIP. 197307162000121002

MENGESAHKAN

1. Tim penguji

Ketua :

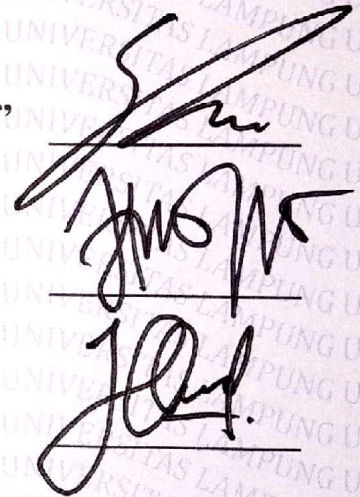
**Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si.,
M.Si., C.EIA., IPM.**

Sekretaris :

Isti Nur Kumalasari, S.T., M.T.

Anggota :

Ilham Dani, S.T., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP. 196910302000031001



Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **5 Juni 2026**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul “Analisis Pengaruh Frekuensi dan *Phase Wavelet* terhadap Efektivitas *Stratal Slicing* dalam Karakterisasi *Thin Sand Bodies* pada *Sistem Interbedded Sand–Shale*” merupakan hasil karya saya sendiri yang disusun berdasarkan data, analisis, dan pengetahuan yang saya peroleh selama proses penelitian. Skripsi ini tidak memuat karya yang pernah dipublikasikan sebelumnya oleh pihak lain, kecuali yang secara tertulis dicantumkan sebagai sumber rujukan sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah dan bukan merupakan hasil plagiarisme dalam bentuk apa pun.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang berlaku.

Bandar Lampung, 5 Juni 2026

Penulis



Hafizah

NPM 2215051079

RIWAYAT HIDUP



Hafizah lahir di Tanjung Ampalu pada 6 September 2002. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Mursyanif dan Ibu Depi Rosmaidarwati. Penulis mengawali pendidikan di TK Permata Bunda pada tahun 2008–2009, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD Negeri 08 Padang Laweh pada tahun 2009–2015. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan menengah pertama di MTsN 1 Sijunjung pada tahun 2015–2018 dan pendidikan menengah atas di MAN 1 Solok pada tahun 2018–2021. Pada tahun 2022, penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung, penulis aktif mengikuti berbagai kegiatan organisasi, akademik, dan penelitian. Dalam bidang organisasi, penulis aktif mengikuti beberapa kepanitiaan dan organisasi selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Penulis tergabung sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana” pada Bidang Sains dan Teknologi periode 2023–2024. Pada periode tersebut, penulis dipercaya sebagai bendahara pelaksana dalam program kerja *Bhuwana Siap Tarung*. Selanjutnya, pada periode 2024–2025, penulis diamanahkan sebagai Sekretaris Bidang Sains dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika “Bhuwana”. Selain itu, penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Ahli Geofisika Indonesia Student Chapter Universitas Lampung (HAGI

SC Unila) sebagai anggota Divisi *Professional Improvement* selama dua periode, yaitu tahun 2023–2025.

Selain aktif dalam organisasi, penulis juga memiliki pengalaman dalam bidang akademik dan penelitian. Penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Mata Kuliah Geologi Dasar pada September–Desember 2024, Asisten Praktikum Mata Kuliah Geologi Struktur pada Maret–Juni 2025, serta Asisten Praktikum Mata Kuliah Metode Seismik pada September–Desember 2025 di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung. Selain itu, penulis juga mengikuti program Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) Universitas Lampung pada tahun 2024 melalui kegiatan penelitian "Kajian *Geodiversity* dan *Geohazard* Kawasan Kandidat *Geopark* Kaldera Suoh untuk Pengembangan Geowisata di Provinsi Lampung".

Pada bulan Juni–Juli 2025, penulis melaksanakan kegiatan Kerja Praktik di Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral dengan judul "Pengolahan Data Seismik 2D *Marine* Menggunakan Dekonvolusi *Spiking* di Lapangan 'HF', Cekungan Nias". Selanjutnya, pada bulan Januari–Maret 2026, penulis melaksanakan Tugas Akhir di PT Pertamina Hulu Rokan – Zona Rokan dengan judul penelitian "Analisis Pengaruh Frekuensi dan *Phase Wavelet* terhadap Efektivitas *Stratal Slicing* dalam Karakterisasi *Thin Sand Bodies* pada *Sistem Interbedded Sand–Shale*".

PERSEMBAHAN

“Terima kasih karena sudah selalu percaya bahwa takdir Allah itu baik”
Bismillahirrahmanirrahim. Segala puji dan syukur kepadamu ya Allah untuk setiap rahmat dan kemudahan yang engkau berikan kepada penulis untuk menyelesaikan perkuliahan dan tugas akhir ini. Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Ayah dan Mama Tercinta

Bapak Mursyanif dan Ibu Depi Rosmaidarwati

Untuk kedua orang tua tercinta, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala pengorbanan, kasih sayang, doa, dan kerja keras yang telah diberikan demi kebahagiaan serta masa depan anak-anaknya. Terima kasih karena telah mendidik dan membesarkan penulis hingga mampu berada pada tahap ini. Meskipun Ayah dan Mama belum memiliki kesempatan menempuh pendidikan perguruan tinggi, Ayah dan Mama selalu memberikan dukungan dan berusaha sebaik mungkin agar penulis dapat meraih cita-cita yang diinginkan.

Penulis juga memohon maaf apabila masih banyak harapan Ayah dan Mama yang belum sepenuhnya dapat diwujudkan. Namun, setiap doa dan harapan yang diberikan akan selalu menjadi motivasi bagi penulis untuk terus berusaha menjadi pribadi yang lebih baik. Terima kasih banyak untuk selalu tersenyum dan berbahagia, meskipun penulis tahu, kehidupan yang Ayah dan Mama jalani tidak selalu cerah. Sekali lagi terima kasih banyak untuk Ayah dan Mama sudah menjadi tempat pulang dan rumah yang terbaik bagi penulis.

Abang dan Adek Tersayang

Hafzil Fajri dan Hanifah

Untuk kedua saudaraku teman bertumbuh dalam rumah dan cerita yang sama. Terima kasih karena selalu menunjukkan kepedulian melalui hal sederhana yang sering kali tidak disadari. Meski tidak banyak kata manis yang terucap dari hal-hal kecil hingga perjuangan besar, kehadiran kalian selalu menjadi bagian penting yang tidak akan pernah tergantikan.

Teknik Geofisika Universitas Lampung

Terutama kepada teman-teman Granit angkatan 2022, abang dan kakak tingkat, serta seluruh dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung atas segala dukungan, bantuan, kebersamaan, dan ilmu yang telah diberikan selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi ini. Terima kasih untuk setiap cerita dan kenangan pengisi masa perkuliahan penulis.

Kepada Hafizah

Terakhir persembahkan kepada diri sendiri yang terkadang melawan dunia dalam diam. Untuk kamu anak tengah yang sedikit merasa terabaikan. Terima kasih banyak karena sudah selalu bangga kepada diri sendiri dan percaya bahwa segala sesuatu pada akhirnya akan berjalan dengan baik. Selesainya skripsi ini menjadi bukti bahwa kamu mampu melewati setiap tantangan dengan baik. Namun, pencapaian ini bukanlah akhir, melainkan langkah awal untuk menghadapi perjalanan dan tahapan kehidupan berikutnya. Tetap semangat dan terus tersenyum “Aca”.

MOTTO

“Tetapi boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu”

QS. Al-Baqarah : 216

“Tuhanmu lebih mengetahui tentang kamu”

QS. Al-Isra' : 54

“Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah”

Q.S Ghafir : 44

“Kegagalan tidak memberimu alasan untuk menyerah, selama kau percaya pada dirimu sendiri”

Uzumaki Naruto

“Percayalah Allah Tidak Pernah Memberikan Sesuatu yang Buruk untuk Hambanya”

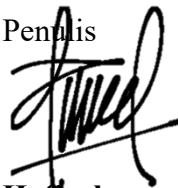
KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Frekuensi dan *Phase Wavelet* terhadap Efektivitas *Stratal Slicing* dalam Karakterisasi *Thin Sand Bodies* pada Sistem *Interbedded Sand–Shale*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan memiliki berbagai kekurangan. Oleh karena itu, kritik, saran, dan masukan yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 5 Juni 2026

Penulis



Hafizah

NPM 2215051079

SANWACANA

Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat, kebaikan dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Frekuensi dan *Phase Wavelet* terhadap Efektivitas *Stratal Slicing* dalam Karakterisasi *Thin Sand Bodies* pada Sistem *Interbedded Sand–Shale*”. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya hingga akhir zaman. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak pelajaran, pengalaman, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., C.EIA., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika, dosen pembimbing akademik, dan dosen pembimbing 1 tugas akhir penulis yang telah memberikan bimbingan, dukungan selama proses perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir. Terima kasih banyak atas waktu yang selalu diluangkan dan arahan yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan.
3. Ibu Isti Nur Kumalasari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir penulis yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, saran, dan dukungan selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Ilham Dani, S.T., M.T. selaku penguji tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan, masukan, serta evaluasi yang sangat bermanfaat bagi penulis dalam memperbaiki tugas akhir ini.
5. Bapak Moh Irfan Saputra Haris selaku pembimbing lapangan tugas akhir penulis di PT. Pertamina Hulu Rokan yang selalu sabar untuk membimbing,

- memberikan banyak pengalaman, motivasi, dan pembelajaran berharga kepada penulis selama pelaksanaan tugas akhir dan bekal dalam dunia kerja nanti.
6. Bapak Subarsyah, S.Si., M.T., selaku pembimbing lapangan Kerja Praktik penulis di Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan (BBSPGL) yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman, serta bimbingan yang sangat bermanfaat bagi penulis.
 7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Geofisika Univeristas Lampung atas segala ilmu, pengalaman, bimbingan, dan pembelajaran yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
 8. Kepada Ayah dan Mama tempat ternyaman Aca pulang. Terima kasih banyak karena senantiasa memberikan doa, dukungan, kasih sayang, dan semangat kepada penulis. Dan terima kasih atas setiap nasihat, kerja keras, dan cucuran keringat yang selalu diusahakan demi kebahagiaan dan masa depan kami. *Ayah Mama selalu tersenyum dan hidup bahagia selalu yaa.*
 9. Abang dan Adik, Hafzil Fajri dan Hanifah. Terima kasih sudah menjadi saudara yang baik, dan selalu memberikan cinta dengan caranya sendiri. Terima kasih telah menjadi bagian dari tempat pulang dan tumbuh bersama hingga saat ini. *Ayoo buat Ayah dan Mama selalu tersenyum!!!*
 10. Keluarga besar dari Kakek Abdul Muis dan Nenek Mariah, serta Kakek Arusmadi dan Nenek Maisar, terima kasih banyak atas segala doa, kasih sayang, perhatian, dan dukungan yang tidak pernah putus diberikan kepada penulis. Terima kasih telah menjadi semangat dan salah satu alasan bagi penulis untuk menyelesaikan perkuliahan ini dengan baik.
 11. “*Keluarga Granit*”, Angkatan 2022 Teknik Geofisika, yang telah kebersamai penulis sejak awal perkuliahan hingga tahap ini. Terima kasih atas setiap cerita, tawa, dukungan, kebersamaan, serta rasa kekeluargaan yang telah diberikan selama empat tahun masa perkuliahan. Dan terima kasih karena telah menjadikan tanah rantau ini terasa lebih hangat dan penuh warna.
 12. “*Teman Diskusi*”, Siti Mahmudah, Nur Asia Azam, Amelia Putri Anggraeni, Galuh Andini Putri Anralu H, Tyas Puspaningsih, Amalia Ramadhona, Indira Audita Azra Utami Putri, Yeni Marsela, Aulia Nisya. Teman-teman yang senantiasa ada disetiap cerita perkuliahan ini. Terima kasih karena telah menjadi

bagian dari perjalanan penulis dan memberikan banyak kenangan suka cita dan tawa canda. Teruslah berkembang dan menjadi lebih baik!

13. “*Team Pasteur*”, Siti Mahmudah dan Hanifah. Teman seperjuangan dalam menaklukan data *marine* selama Kerja Praktik di Bandung hingga kerasnya perjuangan Tugas Akhir di Jakarta. Terima kasih atas kebersamaan yang menjadikan setiap proses terasa lebih ringan untuk dilalui bersama.
14. Razki Alfatah Khairu Mahli, Fadsyah Muhammad Arbi, dan Ardian Perdana, yang telah menjadi teman seperjuangan selama masa perkuliahan. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, semangat, serta kebersamaan yang telah diberikan dalam suka maupun duka, selama proses perkuliahan sampai akhir penyusunan skripsi ini.
15. “*Team Rocket Terbaik*”, terima kasih karena telah membantu penulis melewati masa-masa perjuangan kuliah dan skripsi, mulai dari tugas, laporan praktikum, seminar, hingga skripsi. Terima kasih atas pelayanan yang ramah dan bantuan yang selalu diberikan dengan baik.
16. Ayah dan Ibu dari teman-teman, Pakde dan Bude di Lampung tercinta, terima kasih telah menerima penulis dengan begitu baik dan memberikan perhatian layaknya keluarga sendiri. Kehangatan, kepedulian, dan kebaikan yang diberikan membuat penulis tetap dapat merasakan kasih sayang keluarga di tanah rantau ini.

Kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung proses perkuliahan maupun penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan dengan limpahan kemudahan, keberkahan, serta kebahagiaan dalam setiap urusan.

Bandar Lampung, 5 Juni 2026



Hafizah

NPM 2215051079

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	<i>iv</i>
MENGESAHKAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN.....	x
MOTTO	xii
KATA PENGANTAR.....	xiii
SANWACANA.....	xiv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR TABEL	xxiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Terdahulu.....	5
2.2 Kerangka Berpikir	8
III. TEORI DASAR.....	10
3.1 <i>Petroleum System</i>	10

3.1.1	Batuan Induk (<i>Source rocks</i>)	10
3.1.2	Reservoir	10
3.1.3	Batuan penutup (<i>Cap rock</i>)	10
3.1.4	<i>Trap</i>	11
3.1.5	Migrasi.....	11
3.2	Komponen Seismik Refleksi.....	11
3.2.1	<i>Wavelet</i>	11
3.2.2	Frekuensi <i>wavelet</i>	12
3.2.3	<i>Phase wavelet</i>	13
3.2.4	Impedansi Akustik.....	14
3.2.5	Koefisien Refleksi	15
3.2.6	Konvolusi <i>wavelet</i>	15
3.2.7	Seismogram Sintetik.....	16
3.2.8	Polaritas	17
3.3	Analisis Data <i>Welllogging</i>	18
3.4	<i>Effect of Fluid, Porosity on Amplitude</i>	19
3.5	Resolusi Vertikal	20
3.6	<i>Tuning thickness Theory</i>	20
3.7	<i>Fluid Substitution</i>	21
3.8	<i>Method of Amplitude Extraction (Horizon Slice, Time slice)</i>	25
3.9	Atribut Seismik	25
3.10	<i>Stratal slicing</i>	27
IV.	METODOLOGI PENELITIAN.....	28
4.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
4.2	Alat dan Bahan	30
4.3	Tahapan Penelitian	30
4.3.1	Studi literatur.....	30
4.3.2	Pengolahan Data.....	31
4.4	Diagram Alir.....	34
V.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
5.1	Menentukan Paramater Fisis untuk Model 3D.....	36
5.2	Model Konseptual 3D Seismik	37

5.3	<i>3D Seismic Forward Modelling</i>	39
5.3.1.	<i>Wavelet zero-phase</i>	40
5.3.2.	<i>Wavelet 90°-phase</i>	42
5.4	<i>Picking Seismik 3D</i>	44
5.4.1	<i>Horizon Slice</i> dengan Atribut Amplitudo	44
5.4.2	<i>Horizon Slice</i> dengan Atribut RMS Amplitudo.....	48
5.4.3	<i>Time slice</i> dengan Atribut Amplitudo	50
5.4.4	<i>Time slice</i> dengan Atribut RMS Amplitudo	64
5.4.5	<i>Mis-pick Horizon</i>	65
5.5	Perbandingan Hasil <i>Picking Stratal Slicing</i>	66
VI.	SIMPULAN DAN SARAN	69
6.1	Kesimpulan.....	69
6.2	Saran.....	70
	DAFTAR PUSTAKA	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Jenis-jenis <i>phase</i> seismik	12
2. Ilustrasi gelombang dengan frekuensi sama tetapi fase berbeda terhadap titik referensi nol.	13
3. Rotasi fase dari <i>wavelet zero-phase</i>	14
4. Koefisien refleksi	15
5. Model konvolusi <i>trace</i> seismik	16
6. Seismogram sintetik	17
7. Polaritas <i>wavelet</i>	17
8. Kurva <i>tuning thickness</i>	21
9. Diagram alir penelitian.....	35
10. Analisis log dengan <i>fluid substitutions</i>	36
11. Batas horizon dan zona pada model 3D seismik.....	37
12. Model pola pengendapan A) Reservoir A, B) Reservoir B, C) Reservoir C... 38	
13. Model perlapisan secara vertikal.....	39
14. a) <i>Wavelet zero-phase</i> b) <i>wavelet 90°-phase</i>	40
15. <i>Wavelet 15 Hz zero-phase</i>	40
16. <i>Wavelet 25 Hz zero-phase</i>	41
17. <i>Wavelet 45 Hz zero-phase</i>	41
18. <i>Wavelet 15 Hz 90°-phase</i>	43
19. <i>Wavelet 25 Hz 90°-phase</i>	43
20. <i>Wavelet 45 Hz 90°-phase</i>	43
21. Hasil <i>slice</i> pada <i>top</i> eservoir A,B,C <i>wavelet 15 Hz zero-phase</i>	45

22. Hasil <i>slice</i> pada <i>top</i> reservoir A,B,C <i>wavelet</i> 15 Hz 90°- <i>phase</i>	45
23. Hasil <i>slice</i> pada <i>top</i> reservoir A,B,C <i>wavelet</i> 25 Hz <i>zero-phase</i>	46
24. Hasil <i>slice</i> pada <i>top</i> reservoir A,B,C <i>wavelet</i> 25 Hz 90°- <i>phase</i>	46
25. Hasil <i>slice</i> pada <i>top</i> reservoir A,B,C <i>wavelet</i> 45 Hz <i>zero-phase</i>	47
26. Hasil <i>slice</i> pada <i>top</i> reservoir A,B,C <i>wavelet</i> 45 Hz 90°- <i>phase</i>	47
27. <i>Zero-phase</i> RMS <i>slice</i> frekuensi 15 Hz pada <i>top</i> horizon reservoir.	48
28. 90°- <i>phase</i> RMS <i>slice</i> frekuensi 15 Hz pada <i>top</i> horizon reservoir.....	48
29. <i>Zero-phase</i> RMS <i>slice</i> frekuensi 25 Hz pada <i>top</i> horizon reservoir.	49
30. 90°- <i>phase</i> RMS <i>slice</i> frekuensi 25 Hz pada <i>top</i> horizon reservoir.....	49
31. <i>Zero-phase</i> RMS <i>slice</i> frekuensi 45 Hz pada <i>top</i> horizon reservoir.	50
32. 90°- <i>phase</i> RMS <i>slice</i> frekuensi 45 Hz pada <i>top</i> horizon reservoir.....	50
33. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir A <i>wavelet zero-phase</i> frekuensi 15 Hz	51
34. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir B-C <i>wavelet zero-phase</i> frekuensi 15 Hz	52
35. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir A <i>wavelet 90°-phase</i> frekuensi 15 Hz	53
36. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir B-C <i>wavelet 90°-phase</i> frekuensi 15 Hz	54
37. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir A <i>wavelet zero-phase</i> frekuensi 25 Hz	56
38. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir B-C <i>wavelet zero-phase</i> frekuensi 25 Hz	57
39. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir A <i>wavelet 90°-phase</i> frekuensi 25 Hz	58
40. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir B-C <i>wavelet 90°-phase</i> frekuensi 25 Hz	59
41. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir A <i>wavelet zero-phase</i> frekuensi 45 Hz	60
42. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir B - C <i>wavelet zero-phase</i> frekuensi 45 Hz.....	61

43. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir A <i>wavelet</i> 90°-phase frekuensi 45 Hz	62
44. Time <i>slice</i> pada <i>top</i> dan <i>base</i> reservoir B-C <i>wavelet</i> 90°-phase frekuensi 45 Hz	63
45. <i>Wavelet zero-phase</i> a) 15 Hz, b) 25 Hz, c) 45 Hz	64
46. <i>Wavelet 90°-phase</i> a) 15 Hz, b) 25 Hz, c) 45 Hz.....	64
47. Hasil <i>mis-pick</i> pada <i>top</i> reservoir.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Penelitian terdahulu.....	5
2. Jadwal penelitian.....	29
3. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian.....	30
4. Hasil perhitungan <i>fluid substitution</i>	36
5. Parameter fisis setiap lapisan batuan	38
6. Perbandingan frekuensi, <i>phase wavelet</i> , dan metode <i>slicing</i>	67

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Interpretasi lingkungan pengendapan merupakan salah satu aspek penting dalam eksplorasi hidrokarbon karena berkaitan erat dengan distribusi lateral, geometri, serta kontinuitas reservoir. Data seismik 3D menjadi alat utama dalam analisis tersebut karena mampu memberikan gambaran bawah permukaan secara spasial. Dalam praktiknya, pendekatan berbasis atribut seperti *time slice* dan *horizon slice* sering digunakan untuk mengekstraksi informasi seismik sepanjang interval waktu atau horizon tertentu, sehingga membantu dalam mengidentifikasi distribusi fasies dan karakter stratigrafi (Zalwi dkk., 2025).

Namun demikian, metode tersebut memiliki keterbatasan mendasar karena tidak selalu mempertahankan kesetaraan waktu geologi (*time-equivalent*). Variasi ketebalan lapisan bawah permukaan menyebabkan *time slice* maupun *horizon slice* dapat merekam reflektor dengan umur geologi yang berbeda, sehingga interpretasi yang dihasilkan berpotensi tidak representatif terhadap kondisi stratigrafi sebenarnya (Zeng dkk., 2001). Oleh karena itu, diperlukan metode yang mampu mengikuti kerangka stratigrafi secara lebih akurat salah satunya menggunakan metode *stratal slicing*.

Metode *stratal slicing* dengan pemilihan *wavelet* yang baik dapat meningkatkan kesesuaian antara amplitudo seismik dan batas litologi, sehingga mempermudah pemetaan tubuh pasir (*sand body*) dan interpretasi lingkungan pengendapan secara lebih akurat dalam menginterpretasi geometri lingkungan pengendapan secara lateral (Dai dkk., 2025). Efektivitas metode ini sangat dipengaruhi oleh kondisi bawah permukaan, khususnya pada sistem *interbedded sand–shale*. Pada kondisi ini, respon seismik merupakan hasil interferensi dari

beberapa lapisan tipis (*thin beds*), sehingga sulit untuk mengidentifikasi masing-masing lapisan secara individual (Li dkk., 2015).

Keterbatasan ini juga dipengaruhi oleh resolusi seismik yang terbatas, terutama ketika ketebalan lapisan berada di bawah batas *tuning thickness*. Pada kondisi ini, refleksi dari bagian atas dan bawah lapisan tipis saling berinterferensi sehingga menghasilkan respon seismik yang tidak lagi merepresentasikan lapisan tunggal secara akurat. Sehingga seringkali hanya terekam sebagai satu *event* seismik tunggal (Zeng, 2025). Interferensi antar lapisan tipis juga dapat menghasilkan variasi amplitudo dan artefak yang berpotensi menyebabkan kesalahan interpretasi geometri bawah permukaan (Dahlin dkk., 2025). Fenomena ini menyebabkan distorsi amplitudo akibat efek *tuning* serta ketidakjelasan geometri reservoir, yang pada akhirnya dapat menimbulkan ambiguitas bahkan kesalahan interpretasi terhadap kondisi bawah permukaan (Adeoti dkk., 2025). Oleh karena itu, karakterisasi reservoir dengan ketebalan di bawah resolusi seismik menjadi salah satu tantangan utama dalam interpretasi seismik modern (Manzoor dkk., 2024).

Pemilihan fase *wavelet* merupakan salah satu faktor penting dalam interpretasi seismik, terutama pada lapisan tipis (*thin bed*). *Zero-phase wavelet* pada ketebalan yang masih dalam batas resolusi vertikal seismik memiliki keunggulan dalam menampilkan geometri lapisan karena energi refleksi berada tepat pada batas lapisan, sehingga lebih mudah digunakan untuk interpretasi bentuk dan stratigrafi (Zeng & Backus, 2005; Xu dkk., 2017). Namun, pada kondisi *thin bed* yang dipengaruhi oleh *tuning effect*, respon antar lapisan cenderung saling berinterferensi sehingga sulit dipisahkan dan menyebabkan ambiguitas dalam interpretasi. Dalam kondisi tersebut, penggunaan *wavelet 90°-phase* dapat memberikan respon yang lebih stabil terhadap interferensi dan lebih efektif dalam memisahkan respon antar lapisan tipis, sehingga membantu meningkatkan kejelasan *event* seismik dan interpretasi fitur geologi (Li dkk., 2015; Zeng, 2017; Zhu dkk., 2025). Meskipun demikian, penggunaan *wavelet 90°-phase* dapat menyebabkan posisi refleksi tidak selalu tepat secara geometris, sehingga pemilihannya perlu disesuaikan dengan tujuan interpretasi.

Meskipun metode *stratal slicing* telah banyak digunakan dalam interpretasi stratigrafi, efektivitasnya pada kondisi *thin bed* yang dipengaruhi oleh *tuning effect* masih menjadi tantangan. Selain itu, pengaruh variasi fase *wavelet* terhadap kemampuan metode ini dalam merepresentasikan geometri lapisan tipis belum banyak dikaji secara sistematis. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengevaluasi sensitivitas metode *stratal slicing* terhadap variasi *wavelet* dan kondisi *interbedded*, khususnya pada lapisan di bawah batas resolusi seismik.

Penelitian ini menggunakan model seismik sintetik 3D dalam kondisi ideal dengan reflektor horizontal (*flat*) tanpa pengaruh struktur dan *noise*. Pendekatan ini digunakan untuk menganalisis efektivitas metode *stratal slicing* yang dipengaruhi oleh frekuensi dan fase *wavelet* serta keberadaan lapisan tipis *interbedded*. Selain itu, pengaruh kesalahan *picking (mis-pick)* juga dikaji karena dapat menurunkan keakuratan hasil *slicing*. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai efektivitas dan batasan metode *stratal slicing* sebelum diterapkan pada data lapangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini merupakan rumusan masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh variasi frekuensi *wavelet* terhadap resolusi dan respon seismik pada kondisi lapisan tipis (*thin bed*)?
2. Bagaimana efektivitas penggunaan *wavelet zero-phase* dan *90°-phase* dalam merepresentasikan lapisan *interbedded sand–shale* yang berada di bawah batas *tuning thickness*?
3. Bagaimana efektivitas dan faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi metode *stratal slicing* dalam merepresentasikan geometri lingkungan pengendapan?
4. Bagaimana kombinasi frekuensi dan *phase wavelet* manakah yang paling efektif dalam meningkatkan kualitas hasil *stratal slicing* pada kondisi kondisi *interbedded sand–shale* di bawah batas *tuning thickness*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh frekuensi *wavelet* terhadap resolusi dan respon seismik.

2. Menganalisis efektivitas *zero-phase* dan *90°-phase* dalam merepresentasikan lapisan *interbedded sand–shale* di bawah batas *tuning thickness*.
3. Menganalisis efektivitas dan faktor yang mempengaruhi akurasi *stratal slicing* dalam merepresentasikan geometri lingkungan pengendapan.
4. Menentukan frekuensi dan *phase wavelet* yang paling efektif dalam meningkatkan hasil *stratal slicing* pada kondisi *interbedded sand–shale* di bawah batas *tuning thickness*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Data yang digunakan berupa model seismik sintetik 3D dalam kondisi ideal dengan reflektor horizontal (*flat*), tanpa mempertimbangkan pengaruh struktur geologi seperti sesar, lipatan, maupun noise akuisisi.
2. Penelitian ini tidak mempertimbangkan efek anisotropi, variasi *wavelet* spasial, maupun kompleksitas geologi lapangan.
3. Data log yang digunakan merupakan data log yang telah dilakukan analisis dan perhitungan petrofisika oleh perusahaan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan pemahaman mengenai sensitivitas metode *stratal slicing* terhadap variasi parameter seismik, seperti frekuensi dan fase *wavelet*, serta pengaruh kondisi lapisan *interbedded*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pemilihan parameter yang tepat untuk meningkatkan akurasi interpretasi menggunakan metode *stratal slicing* dalam analisis geometri reservoir dan distribusi lingkungan pengendapan, khususnya pada kondisi lapisan tipis yang kompleks. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat meminimalkan potensi kesalahan dalam proses interpretasi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai rujukan dalam penelitian ini terdapat pada **Tabel 1** sebagai berikut:

Tabel 1. Penelitian terdahulu

Judul	Penulis/Tahun	Studi kasus
<i>High-Resolution Mapping of Subsurface Sedimentary Facies and Reservoirs Using Seismic Sedimentology</i>	(Zeng, 2025)	Penelitian ini mengintegrasikan <i>phase</i> 90°, frekuensi, dan <i>Stratal slicing</i> dalam <i>workflow seismic sedimentology</i> untuk mengatasi keterbatasan resolusi pada <i>thin bed</i> (<5 m). <i>Stratal slicing</i> digunakan untuk memetakan distribusi lateral fasies, sementara <i>phase</i> dan frekuensi meningkatkan resolusi vertikal. Hasilnya, reservoir tipis dapat dipetakan dengan resolusi tinggi (1–5 m).

Judul	Penulis/Tahun	Studi kasus
<i>Thickness Imaging for High-Resolution Stratigraphic Interpretation by Multi-Frequency Panels</i>	(Zeng, 2017)	Studi ini membahas estimasi ketebalan <i>thin bed</i> dengan metode <i>multi-frequency decomposition</i> dan <i>color blending</i> yang dikombinasikan dengan <i>90°-phase wavelet</i> . Dibahas bahwa <i>tuning effect</i> menyebabkan kesalahan estimasi ketebalan, sehingga analisis frekuensi berbeda diperlukan untuk memisahkan respon lapisan. Hasil menunjukkan peningkatan akurasi ketebalan dengan korelasi AI sekitar 0.6–0.7.
<i>Thinly interbedded sands and shales identification with stratal slice: modeling and application</i>	(Xu dkk., 2017)	Penelitian ini membahas identifikasi lapisan tipis pasir dan serpih (<i>thinly interbedded sands and shales</i>) menggunakan metode <i>stratal slice</i> berbasis data seismik. Metode yang digunakan meliputi pemodelan 3D lapisan pasir tipis dengan variasi fase gelombang seismik, yaitu <i>zero-phase</i> dan <i>90°-phase</i> , serta analisis atribut RMS pada <i>stratal slices</i> . Hasil pemodelan menunjukkan bahwa data <i>90°-phase</i> cenderung merepresentasikan respon gabungan dari beberapa lapisan, sedangkan <i>zero-phase</i> lebih mampu menonjolkan bentuk masing-masing lapisan pasir secara individual. Hasilnya menunjukkan bahwa <i>zero-phase</i> lebih efektif dalam menampilkan bentuk tiap lapisan pasir secara individual, sedangkan <i>90°-phase</i> cenderung merepresentasikan respon gabungan. Metode ini berhasil diaplikasikan pada data Bohai Bay dan mampu mengidentifikasi tiga <i>sand body</i> tipis secara akurat.

Judul	Penulis/Tahun	Studi kasus
<p><i>Sedimentary characteristics and geomorphologic responses of a shallow-water delta in the Qingshankou Formation from the Songliao Basin, China</i></p>	<p>(Zhu dkk., 2017)</p>	<p>Penelitian ini menunjukkan bahwa metode <i>stratal slicing</i> efektif dalam mengatasi keterbatasan resolusi seismik pada lapisan tipis dengan menampilkan distribusi lateral <i>sand body</i>. Penggunaan <i>phase wavelet</i> 90° diperlukan untuk meningkatkan kualitas respon pada kondisi <i>tuning effect</i>, dimana interferensi antar lapisan tipis terjadi. Hasilnya, <i>stratal slicing</i> mampu mengidentifikasi pola <i>channel</i> dan distribusi reservoir tipis secara lebih jelas dibandingkan metode konvensional.</p>
<p><i>Characterization of interbedded thin beds using zero-crossing-time Amplitude stratal slices</i></p>	<p>(Li dkk., 2015)</p>	<p>Penelitian ini mengembangkan metode <i>zero-crossing-time (ZCT) amplitude stratal slices</i> untuk karakterisasi lapisan tipis yang saling berlapis. Metode ini didasarkan pada konsep bahwa pada waktu ZCT, kontribusi suatu lapisan terhadap respon seismik menjadi nol sehingga memungkinkan pemisahan tiap lapisan dari sinyal yang saling tumpang tindih. Untuk menguji metode tersebut, dilakukan pemodelan 3D dengan skenario dua dan tiga lapisan <i>thin beds</i> menggunakan Ricker <i>wavelet</i> fase 90°, kemudian dianalisis melalui <i>amplitude stratal slices</i> berurutan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ZCT dapat diidentifikasi dari pola kemunculan dan hilangnya respon lapisan pada <i>slice</i>, sehingga ketebalan, kedalaman, dan distribusi tiap lapisan dapat diestimasi dengan baik. Metode ini juga berhasil diaplikasikan pada data</p>

Judul	Penulis/Tahun	Studi kasus
<i>Gas Saturation and Tuning effect Investigations in Taadoy Field</i>	(Adeoti dkk., 2025)	lapangan dan terbukti lebih efektif dibanding metode konvensional. Penelitian ini membahas anomali amplitudo pada reservoir tipis yang dipengaruhi oleh kombinasi <i>gas saturation</i> dan <i>tuning effect</i> pada <i>thin bed</i> . Dengan pendekatan AVA/AVO, <i>inversion</i> , dan <i>wedge modeling</i> , ditunjukkan bahwa ketebalan lapisan yang mendekati batas resolusi menyebabkan interferensi sinyal yang dipengaruhi oleh frekuensi dan panjang gelombang. Hasilnya menunjukkan bahwa amplitudo tinggi tidak selalu menunjukkan keberadaan gas, tetapi juga dipengaruhi oleh efek <i>tuning</i> , sehingga interpretasi harus mempertimbangkan kedua faktor tersebut.

2.2 Kerangka Berpikir

Dari jurnal-jurnal yang menjadi rujukan dalam penelitian ini diketahui bahwa terdapat keterbatasan dalam melakukan interpretasi geometri lingkungan pengendapan terutama pada reservoir tipis. Hal ini diakibatkan oleh keterbatasan resolusi vertikal data seismik yang dikontrol oleh panjang gelombang, sehingga lapisan dengan ketebalan di bawah batas *tuning* ($\lambda/4$) tidak dapat terpisahkan secara jelas. Kondisi ini menyebabkan terjadinya interferensi yang menghasilkan respon amplitudo gabungan dan berpotensi menyesatkan interpretasi. Dalam mengatasi permasalahan ini dilakukan analisis *stratal slicing* dengan variasi *wavelet*.

Phase wavelet menjadi salah satu aspek penting yang mempengaruhi karakter respon seismik. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *phase wavelet* memiliki peran penting dalam interpretasi seismik pada lapisan tipis. Zeng (2025) menyatakan bahwa penggunaan 90° -*phase* mampu meningkatkan resolusi vertikal pada reservoir tipis. Hal ini diperkuat oleh Zeng (2017) yang menyatakan 90° -*phase* dapat mengurangi kesalahan estimasi ketebalan akibat *tuning effect*. Namun, Xu

dkk. (2017) menegaskan bahwa *zero-phase* lebih efektif dalam menampilkan lapisan secara individual, sedangkan *90°-phase* cenderung merepresentasikan respon gabungan. Di sisi lain, Zhu dkk. (2017) dan Li dkk. (2015) menunjukkan bahwa *90°-phase* dapat meningkatkan distribusi lateral dan membantu pemisahan respon antar lapisan. Selain itu, Adeoti dkk. (2025) menyatakan bahwa respon amplitudo pada lapisan tipis dapat dipengaruhi oleh *tuning effect*.

Dalam beberapa penelitian menunjukkan bahwa *stratal slicing* efektif untuk memetakan distribusi lateral reservoir tipis. Zeng (2025) menyatakan metode ini digunakan untuk memetakan fasies dan reservoir dalam *seismic sedimentology*. Sedangkan Xu dkk. (2017) dan Zhu dkk. (2017) menunjukkan kemampuannya dalam mengidentifikasi *sand body* dan pola geomorfologi secara lebih akurat. Selain itu, Li dkk. (2015) memanfaatkan *amplitude stratal slices* berbasis ZCT untuk memisahkan respon lapisan tipis dan mengestimasi ketebalan.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa *phase wavelet* dan *stratal slicing* berperan penting dalam interpretasi reservoir tipis, kajian yang ada umumnya masih membahas kedua parameter tersebut secara terpisah. Selain itu, evaluasi sistematis mengenai pengaruh variasi *phase wavelet* dan frekuensi terhadap kualitas hasil *stratal slicing* pada kondisi *thin bed* masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis variasi frekuensi dan *phase wavelet* untuk meningkatkan kualitas *stratal slicing* pada *thin bed* menggunakan model seismik sintetik 3D. Pendekatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi parameter yang optimal dalam meningkatkan hasil *stratal slicing* dalam menginterpretasi geometri lingkungan pengendapan pada lapisan tipis serta mengurangi kesalahan dalam interpretasi.

Berdasarkan hal tersebut, hipotesis awal penelitian ini adalah bahwa variasi frekuensi dan fase *wavelet* berpengaruh signifikan terhadap kualitas hasil *stratal slicing*, di mana kombinasi frekuensi tinggi dan *wavelet* fase 90° diduga lebih efektif dalam meningkatkan resolusi serta pemisahan respon lapisan tipis, sementara *zero-phase wavelet* lebih dalam merepresentasikan geometri lingkungan pada lapisan yang tebal.

III. TEORI DASAR

3.1 *Petroleum System*

Sistem petroleum merupakan bagian dari elemen geologi serta proses yang sangat penting hubungannya dalam menghasilkan dan menyimpan minyak bumi, serta dibutuhkan pemahaman mengenai sistem petroleum dan proses yang bekerja pada suatu daerah, yang nantinya sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dari suatu eksplorasi.

3.1.1 **Batuan Induk (*Source rocks*)**

Source rocks adalah batuan induk yang dapat menghasilkan hidrokarbon (minyak dan gas) pada saat suatu endapan tersebut mengalami tekanan dan terpanaskan (maturasi) (Ordas dkk., 2023). Batu induk merupakan salah satu komponen utama dalam sistem petroleum yang berfungsi sebagai sumber hidrokarbon. Batuan induk umumnya memiliki karakteristik batuan sedimen berbutir halus, mengandung bahan organik yang dapat menghasilkan minyak, dan dapat didefinisikan sebagai komponen dasar sistem minyak yang dipengaruhi oleh suhu dan tekanan (Azam dkk., 2025).

3.1.2 **Reservoir**

Reservoir merupakan batuan yang memiliki porositas dan permeabilitas yang baik sehingga mampu menyimpan atau menyalurkan hidrokarbon (Ordas dkk., 2023). Batuan yang biasanya menjadi batuan reservoir adalah batupasir dan batugamping.

3.1.3 **Batuan penutup (*Cap rock*)**

Batuan penutup memiliki karakteristik berupa batuan sedimen yang memiliki butir halus dan kedap air berfungsi mencegah hidrokarbon yang berada

dalam reservoir bermigrasi ke tempat lain. Kemampuan batuan penutup (*caprock*) dalam menyegel minyak dan gas dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ketebalan batuan, tekanan perpindahan, perkembangan rekahan, dan jenis batuan. *Shale* menjadi batuan penutup yang baik karena memiliki porositas dan permeabilitas rendah (Tao dkk., 2023).

3.1.4 *Trap*

Sistem *trap* atau jebakan hidrokarbon merupakan suatu lapisan batuan yang bersifat impermeabel yang membentuk jebakan sehingga hidrokarbon menjadi terperangkap. Dalam sistem petroleum sistem *trap* dapat berupa perangkap stratigrafi dan perangkap struktural. Perangkap struktural adalah target eksplorasi yang dicari yang umumnya berupa antiklin.

3.1.5 Migrasi

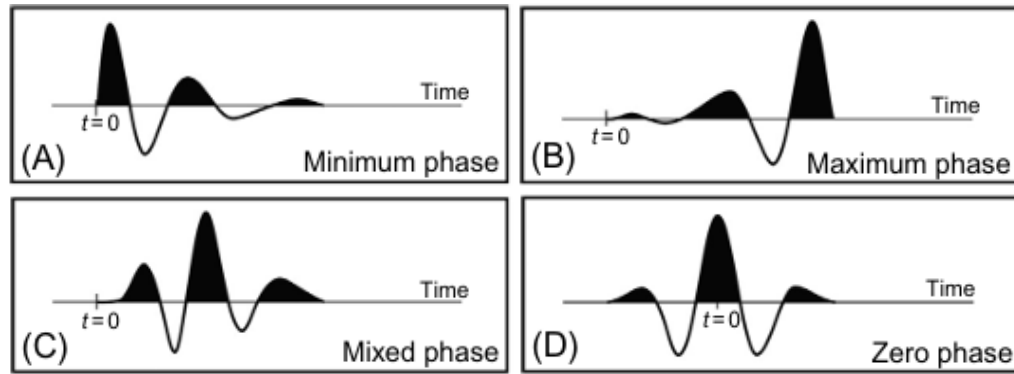
Migrasi merupakan jalur untuk hidrokarbon berpindah dari *source rock* menuju reservoir. Perpindahan hidrokarbon menuju reservoir dapat melalui suatu patahan (Ordas dkk., 2023).

3.2 Komponen Seismik Refleksi

3.2.1 *Wavelet*

Wavelet adalah gelombang mini atau pulsa yang memiliki komponen amplitudo, panjang gelombang, frekuensi dan fasa. Dalam istilah praktis *wavelet* dikenal dengan gelombang yang merepresentasikan satu reflektor yang terekam oleh satu *geophone*. Ada empat jenis *wavelet* yang umum diketahui, yaitu *zero-phase*, *minimum phase*, *maximum phase*, dan *mixed phase*. Distribusi energi pada *wavelet* berbeda-beda tergantung jenis fasenya, dimana *wavelet minimum phase* memiliki energi yang terkonsentrasi di bagian awal, *mixed phase* di bagian tengah, dan *maximum phase* di bagian akhir. Sementara itu, *wavelet zero-phase* bersifat simetris dengan puncak energi berada pada waktu nol (Simm & White, 2002).

Gambar 1 memperlihatkan bentuk *wavelet* dengan *phase* yang berbeda.



Gambar 1. Jenis-jenis *phase* seismik (Dondurur, 2018)

Dalam *wavelet zero-phase* menggunakan bentuk gelombang cosinus. Bentuk umum **Persamaan 1** gelombang cosinus sebagai fungsi waktu adalah:

$$y(t) = A \cos (2\pi ft + \phi) \quad (1)$$

Keterangan:

A : Amplitudo

f : Frekuensi (Hz)

t : Waktu tempuh gelombang (s)

ϕ : Sudut fase awal gelombang ($^{\circ}$)

3.2.2 Frekuensi *wavelet*

Frekuensi adalah waktu banyaknya gelombang yang terjadi dalam satu detik. Frekuensi dinyatakan dalam Hertz (Hz). Periode merupakan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu gelombang. Frekuensi dan periode memiliki hubungan yang terbalik. Berikut rumus dari frekuensi dan periode dalam **Persamaan 2**.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{atau} \quad T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Keterangan:

f : Frekuensi (Hz)

T : Periode (s)

Hubungan antara frekuensi, panjang gelombang, dan kecepatan gelombang dapat dijelaskan berdasarkan **Persamaan 3** berikut:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad \text{atau} \quad v = \lambda f \quad (3)$$

Keterangan:

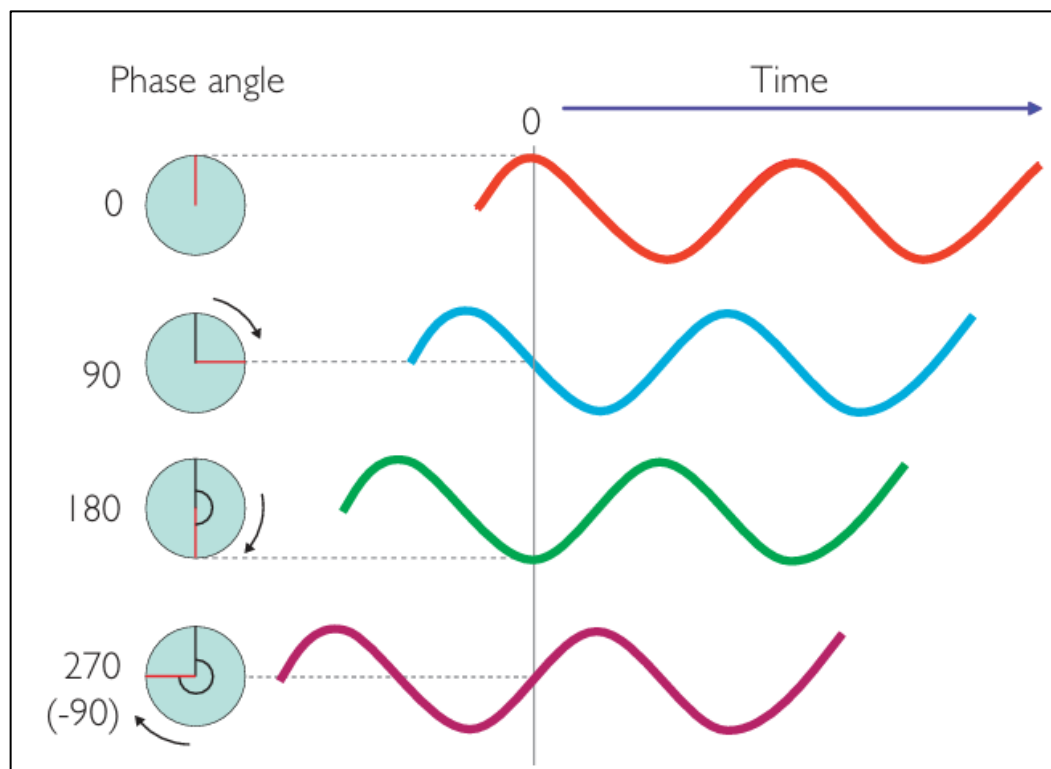
λ : Panjang gelombang (m)

v : Kecepatan rambat gelombang (m/s)

f : Frekuensi (Hz)

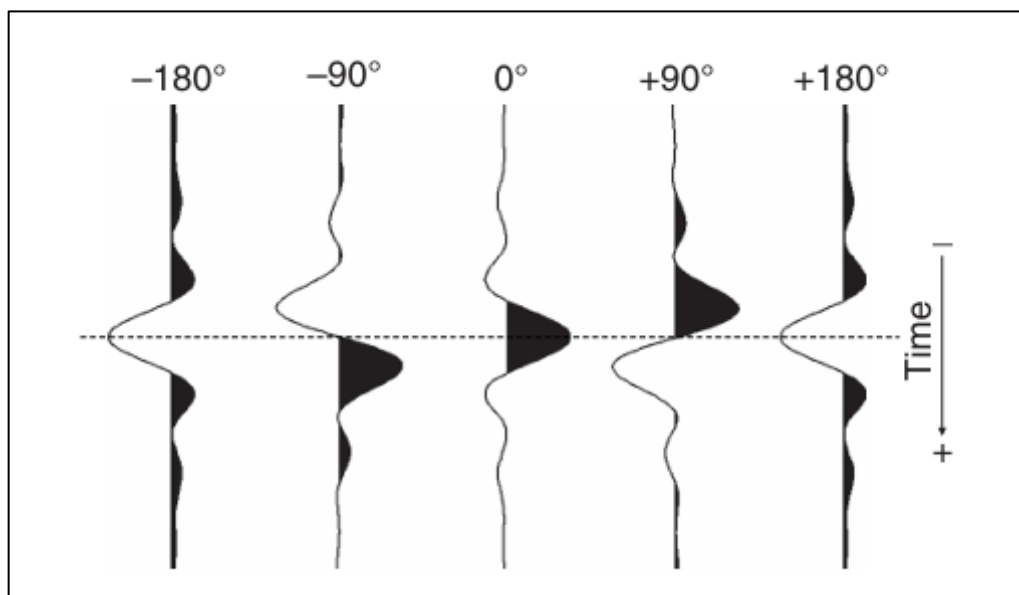
3.2.3 Phase wavelet

Pada *wavelet* dengan fase konstan, rotasi fase dapat dilakukan pada data seismik dalam rentang sudut -180° hingga 180° . Proses ini setara dengan melakukan rotasi fase pada *wavelet* dengan sudut yang sama, yang kemudian dievaluasi menggunakan fungsi kriteria tertentu (Yongcai dkk., 2012). *Wavelet* 90° -*phase* merupakan hasil rotasi fase sebesar 90° pada *wavelet* seismik yang mengubah bentuk gelombang tanpa mempengaruhi amplitudo. *Wavelet* ini bersifat antisimetri dan mampu menghasilkan respon seismik yang lebih jelas dalam memisahkan refleksi, terutama pada analisis lapisan tipis (*thin bed*), karena dapat mengurangi efek interferensi antar reflektor (Zeng, 2009).



Gambar 2. Ilustrasi gelombang dengan frekuensi sama tetapi fase berbeda terhadap titik referensi nol (Simm & Bacon, 2014).

Gambar 2 menunjukkan pengaruh berbagai nilai pergeseran fase konstan terhadap *wavelet zero-phase*. Pergeseran fase sebesar 90° mengubah *wavelet* simetris menjadi *wavelet* antisimetris. Pergeseran fase 180° membalik polaritas *wavelet*. Pergeseran fase 270° juga membalik polaritas sekaligus menghasilkan bentuk antisimetris. Sementara itu, pergeseran fase 360° mengembalikan bentuk *wavelet* ke kondisi semula. Perubahan *wavelet* akibat rotasi *phase* ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Rotasi fase dari *wavelet zero-phase* (Herron, 2011)

3.2.4 Impedansi Akustik

Impedansi Akustik merupakan kemampuan fisis batuan untuk dilewati oleh gelombang seismik. Secara matematis impedansi akustik batuan adalah hasil perkalian antara nilai densitas batuan dengan nilai kecepatan gelombang seismik yang melewati batuan tersebut (Maulana dkk., 2024). Secara matematis dijelaskan dalam **Persamaan 4** sebagai berikut:

$$IA = \rho v \quad (4)$$

Keterangan :

IA : Impedansi Akustik (ft/s. g/cc)

ρ : Densitas (g/cc)

v : Kecepatan gelombang seismik (m/s)

Dalam seismik hubungan antara impedansi akustik dengan porositas memiliki hubungan yang bertolak belakang yaitu semakin besar nilai impedansi

akustik suatu batuan maka semakin kecil nilai porositas batuan tersebut (Maulana dkk., 2024).

3.2.5 Koefisien Refleksi

Koefisien Refleksi merupakan suatu nilai yang menggambarkan suatu kondisi pada bidang batas antara dua medium yang memiliki impedansi akustik yang berbeda. Koefisien refleksi ditulis dengan **Persamaan 5** sebagai berikut:

$$KR = \frac{IA_2 - IA_1}{IA_2 + IA_1} \quad (5)$$

Keterangan :

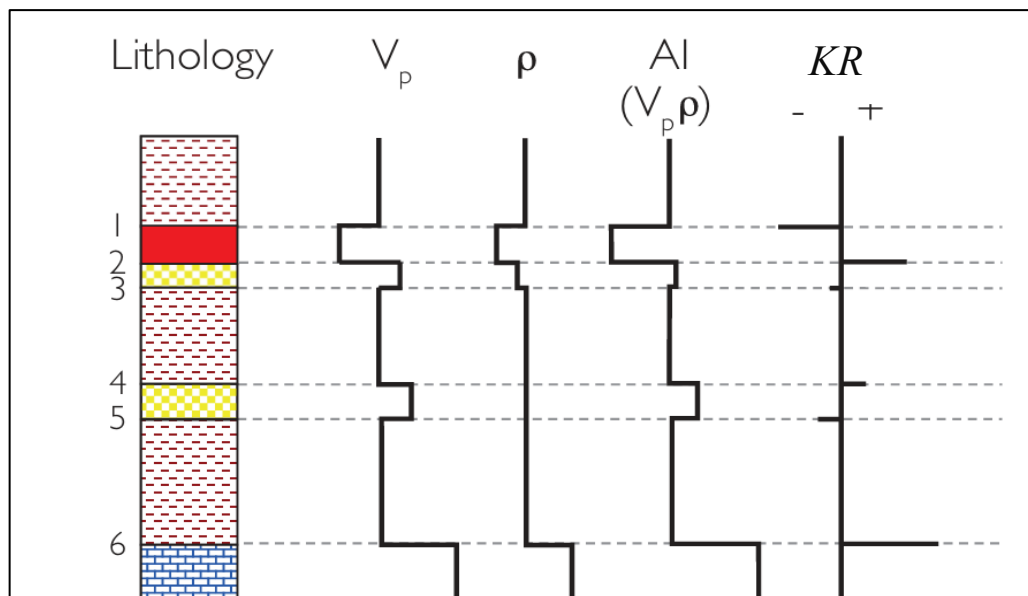
KR : Koefisien refleksi

IA_1 : Impedansi akustik lapisan-1

IA_2 : Impedansi akustik lapisan-2

Koefisien refleksi akan bernilai positif (+) jika impedansi akustik pada lapisan pertama lebih kecil dibandingkan dengan impedansi akustik pada lapisan kedua. Sebaliknya, koefisien refleksi akan bernilai negatif (-) apabila impedansi akustik lapisan pertama lebih besar daripada impedansi akustik lapisan kedua.

Gambar 4 menunjukkan koefisien refleksi akibat adanya perubahan AI.



Gambar 4. Koefisien refleksi (Simm & Bacon, 2014)

3.2.6 Konvolusi *wavelet*

Konvolusional digunakan sebagai dasar utama dalam pemodelan seismik, *trace* seismik dimodelkan sebagai hasil konvolusi antara *wavelet* dengan koefisien

refleksi seperti pada **Gambar 5**. Dimana koefisien refleksi berkaitan dengan perubahan nilai impedansi akustik yang diperoleh dari perkalian kecepatan gelombang (v) dan densitas batuan (ρ) (Simm & Bacon, 2014). Proses konvolusi *wavelet* ditulis berdasarkan **Persamaan 6** berikut

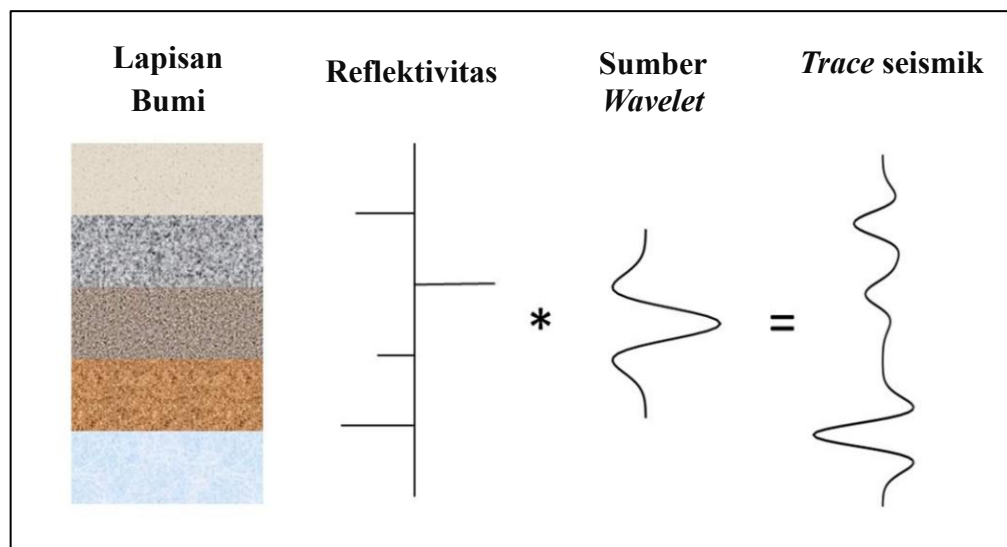
$$s(t) = w(t) * KR(t) \quad (6)$$

Keterangan:

$s(t)$: *Trace* seismik

$w(t)$: *Wavelet* seismik

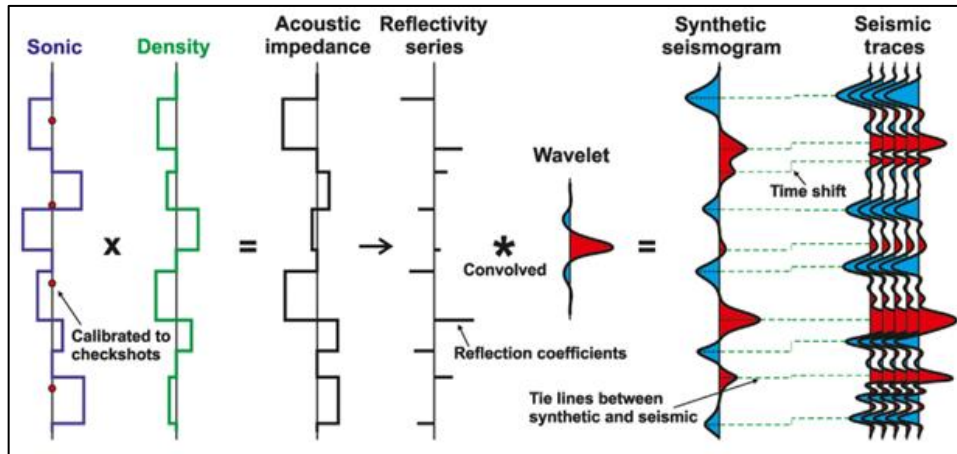
$KR(t)$: Koefisien refleksi



Gambar 5. Model konvolusi *trace* seismik (Guan dkk., 2023)

3.2.7 Seismogram Sintetik

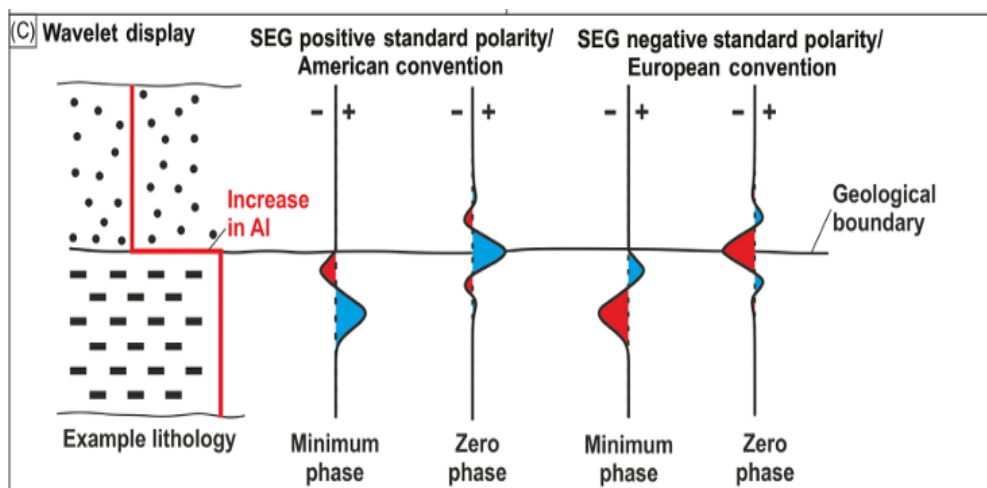
Seismogram sintetik adalah hasil dari konvolusi koefisien refleksi dengan *wavelet* seismik. Log sonik dan log densitas digabungkan untuk membentuk log *Acoustic Impedance* (AI), yang mendefinisikan koefisien refleksi pada batas-batas bawah permukaan dan digunakan untuk membuat deret reflektivitas. Deret reflektivitas ini kemudian dikonvolusikan dengan *wavelet* seismik untuk menghasilkan seismogram sintetik. Seismogram tersebut selanjutnya dapat diregangkan dan dipersempit (*stretching* dan *squeezing*) untuk menyesuaikan dengan data seismik nyata. Proses untuk mendapatkan seismogram sintetik terdapat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Seismogram sintetik (Cox dkk., 2020)

3.2.8 Polaritas

Polaritas digunakan untuk memudahkan interpreter dalam mengidentifikasi batas litologi, yang berkaitan dengan koefisien refleksi yang bernilai positif atau negatif. Pada *American polarity* didefinisikan sebagai kondisi di mana peningkatan impedansi menghasilkan refleksi amplitudo positif (*peak*) pada penampang seismik *zero-phase*.



Gambar 7. Polaritas wavelet (Cox dkk., 2020)

Gambar 7 menunjukkan polaritas wavelet yang sering digunakan. Polaritas ini merupakan polaritas yang digunakan dalam *Society of Exploration Geophysicists*. Sebaliknya, *European polarity* didefinisikan sebagai kondisi di mana peningkatan impedansi menghasilkan refleksi amplitudo negatif (*trough*) pada penampang seismik *zero-phase*. Polaritas ini dianggap sebagai standar

“normal” di Eropa dan Australia. Kedua konvensi ini juga menentukan warna tampilan data seismik: Pada *American polarity*, peningkatan impedansi ditampilkan sebagai refleksi berwarna biru. Sementara itu, pada *European polarity*, peningkatan impedansi ditampilkan sebagai refleksi berwarna merah (Brown & Abriel, 2014).

3.3 Analisis Data *Welllogging*

Welllogging merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur parameter fisika dalam lubang bor yang bervariasi dengan kedalaman sumur. Tujuan utama dari metode *welllogging* yaitu untuk mengetahui informasi bawah permukaan seperti informasi litologi, porositas, resistivitas, dan kejenuhan hidrokarbon yang digunakan untuk menganalisis zona produktif dan menentukan estimasi cadangan hidrokarbon dalam suatu reservoir (Pramudita & Yudho Suranta, 2025). Dalam penelitian ini informasi log yang digunakan diantaranya:

3.4.1 Log Gamma ray

Log gamma ray yaitu data log yang mengukur radiasi gamma alami pada batuan dari suatu formasi. Log gamma ray merupakan log pasif yang menangkap atau mendeteksi unsur radioaktif dari batuan yang secara alami ditemukan dalam suatu formasi batuan. Log gamma ray digunakan untuk mengidentifikasi jenis litologi *shale* dan *non shale* di bawah permukaan (Ramadhan dkk., 2024).

3.4.2 Log *Resistivity*

Log *resistivity* merupakan log yang merekam nilai tahanan jenis listrik pada batuan yang sensitif terhadap kandungan air dan salinitas fluida pori. Nilai resistivitas yang tinggi umumnya mengidentifikasi keberadaan hidrokarbon, sedangkan nilai resistivitas yang rendah mengidentifikasi keberadaan zona yang didominasi air atau batuan dengan kandungan lempung yang tinggi (Chintia, 2025).

3.4.3 Log Densitas

Log densitas merupakan alat yang digunakan untuk merekam respon densitas bulk dari formasi lubang bor (termasuk mineral dan fluida). Log ini dapat digunakan untuk menghitung porositas, densitas hidrokarbon (secara tidak langsung), impedansi akustik, indikator litologi dan identifikasi mineral tertentu.

3.4.4 Log Neutron

Log neutron adalah jenis log sumur yang mengukur jumlah hidrogen dalam suatu formasi dalam bentuk gas, padat, atau cair. Log neutron digunakan untuk

menilai porositas di zona reservoir potensial. Log neutron termasuk log radioaktif dengan memancarkan neutron ke dalam formasi batuan.

Metode *quicklook* digunakan untuk melihat gambaran awal reservoir secara cepat menggunakan data log. Metode ini membantu mengidentifikasi jenis batuan, zona permeabel, dan kemungkinan fluida pengisi reservoir. Zona prospek umumnya ditandai oleh nilai gamma ray rendah yang menunjukkan batuan *non-shale*, serta adanya separasi antara log neutron dan densitas yang dapat mengindikasikan keberadaan hidrokarbon (Kumalasari & Winardhi, 2021). Separasi yang besar biasanya menunjukkan gas, sedangkan separasi kecil cenderung menunjukkan air. Interpretasi ini juga didukung oleh log resistivitas, di mana nilai resistivitas tinggi mengindikasikan hidrokarbon dan resistivitas rendah menunjukkan air (Sephiana dkk., 2023).

3.4 Effect of Fluid, Porosity on Amplitude

Rock physics menunjukkan adanya hubungan langsung antara parameter reservoir, seperti porositas, litologi, dan saturasi fluida, dengan sifat elastik batuan seperti impedansi dan kecepatan gelombang yang terekam dalam data seismik. Dengan demikian, perubahan sifat reservoir akan mempengaruhi respons seismik yang diamati (Bredesen dkk., 2015). Besar amplitudo pada *trace* seismik mewakili harga kontras AI. Semakin besar amplitudonya maka semakin besar pula refleksi dan kontras AI nya.

Pengaruh jenis fluida terhadap karakter seismik akan tergantung pada impedansi akustik relatif dari reservoir dan litologi disekitar reservoir. Kehadiran hidrokarbon yang memiliki densitas dan kecepatan yang lebih rendah daripada air akan mengakibatkan turunnya impedansi akustik batuan reservoir (Sukmono, 1999). Berikut ini beberapa karakter seismik yang merupakan penanda dari efek jenis fluida:

1. *Bright spot* ditandai oleh peningkatan *trough* amplitudo atau peningkatan *peak* amplitudo (tergantung polaritas seismik) apabila $AI_{\text{reservoir}} < AI_{\text{litologi}}$ sekitarnya.

2. *Dim spot* ditandai oleh penurunan *peak* amplitudo atau penurunan *trough* amplitudo (tergantung polaritas seismik) apabila AI reservoir > AI litologi sekitarnya.
3. Pembalikan polaritas bila AI reservoir sedikit lebih besar dari dari AI litologi sekitarnya.
4. *Flat-spot* akibat *water oil* atau gas kontak.

Perubahan fluida dan porositas mempengaruhi sifat elastik batuan seperti densitas dan kecepatan gelombang, yang kemudian mengubah impedansi akustik dan amplitudo seismik. Penurunan nilai porositas dapat meningkatkan nilai densitas pada batuan serta menyebabkan peningkatan kecepatan gelombang P (V_p) dan impedansi. Peningkatan nilai V_p dan densitas batuan tersebut dapat menghasilkan perubahan signifikan pada amplitudo dan waktu rambat.

3.5 Resolusi Vertikal

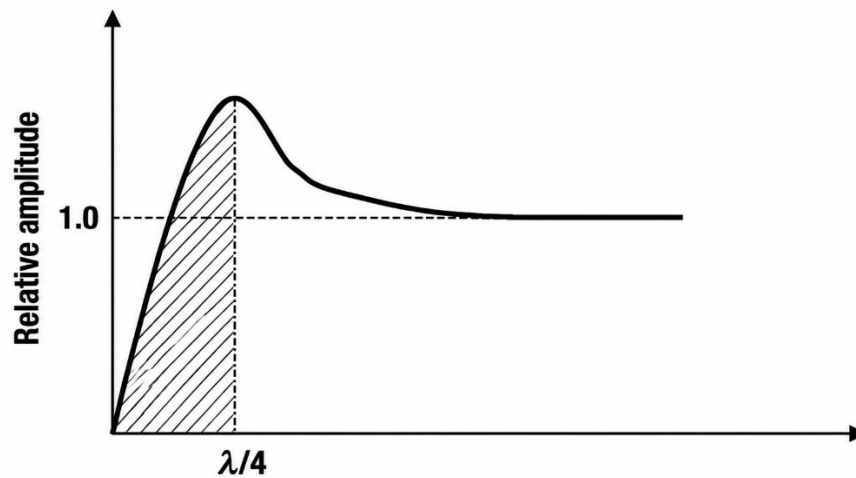
Resolusi vertikal merupakan kemampuan untuk membedakan dua bidang batas yang berdekatan, sehingga masing-masing dapat teramati sebagai reflektor yang terpisah, bukan sebagai satu respon gabungan. Suatu lapisan batuan dapat dikenali sebagai reflektor yang berbeda apabila ketebalannya melebihi seperempat panjang gelombang seismik ($\lambda/4$). Panjang gelombang tersebut dinyatakan dalam **Persamaan 3**.

3.6 *Tuning thickness Theory*

Tuning thickness terjadi ketika suatu lapisan tipis memiliki ketebalan lebih kecil dari seperempat panjang gelombang ($\lambda/4$), sehingga refleksi dari bagian atas (*top*) dan bawah (*base*) lapisan tidak lagi terpisah, melainkan saling berinterferensi dan membentuk satu respon gabungan (Herron, 2011).

Pada Gambar 8 dapat dilihat terjadi peningkatan nilai amplitudo ketika panjang gelombang mendekati seperempat gelombang, kondisi ini terjadi karena interferensi konstruktif antara refleksi dari bagian atas dan bawah lapisan. Interferensi konstruktif maksimum terjadi ketika ketebalan lapisan sama dengan $\lambda/4$, yang dikenal sebagai *tuning thickness*. Namun ketika panjang gelombang $< \lambda/4$

terjadi penurunan nilai amplitudo mendekati nilai nol. Kondisi ini disebut sebagai interferensi destruktif antara bagian atas dan bawah lapisan (Avseth dkk., 2005).



Gambar 8. Kurva *tuning thickness* (Avseth dkk., 2005)

3.7 *Fluid Substitution*

Teknik substitusi fluida berdasarkan persamaan Gassmann digunakan untuk memodelkan perubahan sifat elastik batuan akibat pergantian fluida dengan asumsi tekanan pori berada dalam kondisi setimbang, pori-pori saling terhubung, dan sistem bersifat tertutup. Metode ini banyak digunakan karena kesederhanaannya serta parameter yang memiliki makna fisik yang jelas dan dapat diukur secara langsung (Adam dkk., 2006).

Keluaran perhitungan berupa V_p , V_s , dan densitas (ρ) pada kondisi gas dan jenuh air kemudian digunakan untuk menghasilkan seismogram sintetis sebagai bahan perbandingan. Tujuan dari substitusi fluida adalah untuk memodelkan sifat-sifat seismik (kecepatan gelombang seismik dan densitas) suatu reservoir pada kondisi reservoir tertentu, seperti tekanan, temperatur, porositas, jenis mineral, dan salinitas air, serta kejenuhan fluida pori, misalnya kejenuhan air 100% atau kejenuhan hidrokarbon yang hanya terdiri atas minyak atau hanya gas (Kumar, 2006).

Dalam melakukan *fluid substitutions*, Kecepatan seismik dari material isotropik dapat diperkirakan menggunakan modulus batuan dan densitas yang diketahui dari data log. Kecepatan gelombang P dan gelombang S pada medium isotropik dalam kondisi insitu berdasarkan data log dapat diperkirakan dalam

Persamaan 7 dan 9. Kemudian nilai modulus geser (μ) dan modulus bulk (K_{sat}) pada kondisi insitu diperkirakan dalam **Persamaan 8 dan 10** berikut:

$$VS_{insitu} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (7)$$

$$VS^2_{insitu} = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\mu = VS^2_{insitu} \rho \quad (8)$$

$$Vp_{insitu} = \sqrt{\frac{K_{sat} + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (9)$$

$$Vp^2_{insitu} = \frac{K_{sat} + \frac{4}{3}\mu}{\rho}$$

$$K_{sat} = Vp^2_{insitu} \rho - \frac{4}{3}\mu$$

$$K_{sat} = Vp^2_{insitu} \rho - \frac{4}{3}VS^2_{insitu} \rho$$

$$K_{sat} = \rho \left(Vp^2_{insitu} - \frac{4}{3}VS^2_{insitu} \right) \quad (10)$$

Keterangan :

Vp_{insitu} : Kecepatan gelombang P dalam keadaan awal reservoir (m/s)

VS_{insitu} : Kecepatan gelombang S (m/s)

ρ : Densitas medium (g/cm^3)

μ : Modulus geser (N/m^2)

K_{sat} : Modulus bulk batuan jenuh fluida (N/m^2)

Pada formulasi Gassmann, modulus geser (μ) tidak bergantung pada fluida pori dan dijaga tetap konstan selama proses substitusi fluida. Sehingga diperoleh

Persamaan 11 berikut:

$$\mu = \mu_{sat} = \mu_{dry} \quad (11)$$

Modulus bulk Biot–Gassmann dinyatakan dalam **Persamaan 12** sebagai berikut:

$$K_{sat} = K_{dry} + \frac{\left(1 - \frac{K_{dry}}{K_{matrix}}\right)^2}{\frac{\phi}{K_{fl}} + \frac{1-\phi}{K_{matrix}} - \frac{K_{dry}}{K_{matrix}^2}} \quad (12)$$

Keterangan:

K_{sat} : Modulus bulk batuan jenuh fluida

- K_{dry} : Modulus bulk batuan kering
 K_{matrix} : Modulus bulk matriks (mineral penyusun batuan)
 K_{fl} : Modulus bulk fluida
 K_m : Modulus bulk matriks (mineral penyusun batuan)
 \emptyset : Porositas

Dalam menghitung modulus bulk matriks (K_{matrix}), diperlukan informasi mineral penyusun batuan. Jika tidak ada data laboratorium, batuan biasanya diasumsikan tersusun dari *quartz* dan *clay*. Persentase *clay* dapat diperoleh dari nilai log volume *shale* (V_{sh}). Setelah komposisi mineral diketahui, nilai K_{matrix} dihitung menggunakan metode rata-rata Voigt-Reuss-Hill (VRH) seperti pada **Persamaan 13** (Kumar, 2006).

$$K_{matrix} = \frac{1}{2} \left([V_{clay} K_{clay} + V_{qtz} K_{qtz}] + \left[\frac{V_{clay}}{K_{clay}} + \frac{V_{qtz}}{K_{qtz}} \right] \right) \quad (13)$$

Keterangan:

- K_{clay} : Modulus bulk mineral *clay* (20.9 GPa)
 K_{qtz} : Modulus bulk mineral *quartz* (36.6 GPa)
 V_{clay} : Banyaknya kandungan *clay* pada batuan
 V_{qtz} : Banyaknya kandungan *quartz* pada batuan

Nilai densitas dari mineral matriks ρ_{matrix} dapat dilakukan dengan perhitungan rata-rata densitas dari masing masing mineral pada **Persamaan 14**.

$$\rho_{matrix} = V_{clay} \rho_{clay} + V_{qtz} \rho_{qtz} \quad (14)$$

Keterangan:

- ρ_{matrix} : Densitas mineral matriks (g/cm^3)
 ρ_{clay} : Densitas mineral *clay* (2.58 g/cm^3)
 ρ_{qtz} : Densitas mineral *quartz* (2.65 g/cm^3)

Untuk menghitung nilai modulus bulk dan densitas fluida yang akan digunakan dapat menggunakan rumus pada **Persamaan 16** dan **17** berikut:

$$S_{hc} = 1 - S_w \quad (15)$$

$$\frac{1}{K_{fl}} = \frac{S_w}{K_w} + \frac{S_{hc}}{K_{hc}} \quad (16)$$

$$\rho_{fl} = S_w \rho_w + S_{hc} \rho_{hc} \quad (17)$$

Keterangan:

K_{fl} : Modulus bulk fluida awal batuan

S_w : Saturasi air (%)

S_{hc} : Saturasi hidrokarbon (%)

K_w : Modulus bulk air

K_{hc} : Modulus bulk hidrokarbon

ρ_{fl} : Densitas fluida

ρ_w : Densitas air

ρ_{hc} : Densitas hidrokarbon

Ketika menggunakan data log nilai K_{dry} dapat dilakukan dengan menggunakan **Persamaan 18**.

$$K_{dry} = \frac{K_{sat} \left(\frac{\phi K_{matrix} + 1 - \phi}{K_{fl}} \right) - K_{matrix}}{\frac{\phi K_{matrix} + K_{sat}}{K_{fl}} - 1 - \phi} \quad (18)$$

Setelah mengetahui nilai dari modulus bulk batuan kering, selanjutnya dapat dilakukan perhitungan parameter elastik dari fluida yang diinginkan. Perhitungan nilai modulus bulk dan densitas fluida baru dapat menggunakan **Persamaan 19** dan **20**:

$$\frac{1}{K_{fl,new}} = \frac{S_w}{K_w} + \frac{S_{hc}}{K_{hc}} \quad (19)$$

$$\rho_{fl,new} = S_w \rho_w + S_{hc} \rho_{hc} \quad (20)$$

Perhitungan nilai densitas baru dari batuan dapat dilakukan menggunakan **Persamaan 21**:

$$\rho_{sat} = \phi \rho_{fl} + (1 - \phi) \rho_{matrix} \quad (21)$$

Modulus bulk batuan jenuh setelah proses substitusi fluida dapat dihitung menggunakan nilai bulk modulus fluida seperti **Persamaan 12**. Kecepatan seismik setelah substitusi fluida dihitung menggunakan **Persamaan 22**.

$$V_{p,new} = \sqrt{\frac{K_{sat} + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad \text{dan} \quad V_{s,new} = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (22)$$

3.8 *Method of Amplitude Extraction (Horizon Slice, Time slice)*

Time slice dan *horizon slice* saat ini merupakan tampilan permukaan seismik yang paling umum digunakan untuk mengekstraksi informasi stratigrafi. *Time slice* hanya dapat mencitrakan permukaan waktu secara akurat jika lapisan batuan relatif datar dan berbentuk lembaran (*sheet-like*). Sementara itu, *horizon slice* dapat bekerja dengan baik pada formasi yang memiliki kemiringan struktur, tetapi formasi tersebut tetap harus memiliki geometri yang relatif seragam seperti lembaran. *Time slice* diambil dari volume data seismik pada waktu tempuh (*traveltime*) yang konstan. Sementara itu, *horizon slice* dibuat dengan mengekstraksi atribut seismik yang sejajar dengan horizon yang telah dipilih (*picked horizon*) (Zeng dkk., 2001).

3.9 **Atribut Seismik**

Seiring dengan berkembangnya survei seismik 3D, penggunaan atribut seismik juga semakin populer. Atribut ini sangat bermanfaat untuk memperoleh informasi tambahan dari data seismik, terutama ketika ditampilkan secara spasial pada horizon yang telah diinterpretasikan. Namun, berbagai atribut yang tersedia sebenarnya bukan merupakan informasi yang sepenuhnya independen, melainkan hanya cara yang berbeda untuk merepresentasikan sejumlah informasi dasar yang terbatas. Secara umum, atribut seismik berkaitan dengan informasi dasar dalam data seismik, yaitu waktu, amplitudo, frekuensi, dan atenuasi (Brown, 2001).

Atribut berbasis *time* umumnya digunakan untuk mengidentifikasi struktur. Atribut amplitudo secara khusus banyak digunakan dalam interpretasi stratigrafi dan karakterisasi reservoir karena berkaitan langsung dengan perubahan impedansi akustik (Chopra & Marfurt, 2005). Di antara keduanya, atribut amplitudo dianggap paling kuat dan paling banyak digunakan, meskipun atribut frekuensi dapat memberikan informasi tambahan mengenai lapisan geologi yang lebih detail.

Atribut internal seismik memberikan informasi yang lebih rinci tentang respon seismik dari formasi geologi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi struktur, litologi, dan sifat-sifat reservoir (Sheriff & Geldart, 1995). Beberapa parameter atribut seismik umum meliputi:

1. Amplitudo: Merupakan tingkat kekuatan sinyal seismik yang mengalami pembelokan atau direfleksikan berdasarkan respon yang diterima dari formasi bawah permukaan. Ekstraksi informasi amplitudo dapat digunakan untuk mengetahui litologi batuan bawah permukaan.
2. Frekuensi: Frekuensi rendah cenderung terkait dengan refleksi dari struktur yang lebih besar atau tebal, sedangkan frekuensi tinggi cenderung terkait dengan detail litologi dan fasies yang lebih kecil atau tipis. Perubahan frekuensi dapat mencerminkan perubahan distribusi porositas dan densitas batuan.
3. Fasa: Perubahan pada fasa seismik dapat mengindikasikan perubahan litologi dan batas formasi.
4. Kecepatan: Kecepatan gelombang seismik bisa digunakan untuk menghitung ketebalan formasi dan proses migrasi data seismik.

Atribut amplitudo RMS (*Root Mean Square*) merupakan atribut seismik yang dihitung dengan mempertimbangkan seluruh nilai amplitudo, baik positif maupun negatif, dalam suatu interval waktu tertentu. Perhitungan RMS dilakukan dengan mengkuadratkan nilai amplitudo, kemudian dirata-ratakan dan diakarkan, sehingga menghasilkan nilai amplitudo yang selalu bernilai positif. Proses ini menyebabkan atribut RMS sensitif terhadap variasi amplitudo, baik yang tinggi maupun rendah. Dalam interpretasi seismik, nilai RMS yang tinggi umumnya berkaitan dengan anomali amplitudo seperti *bright spot*, yang dapat mengindikasikan keberadaan hidrokarbon. Semakin tinggi dan kontras nilai amplitudo yang dihasilkan, maka prospek reservoir yang ditunjukkan cenderung semakin baik (Aviani, 2022).

Persamaan matematis dari RMS amplitudo seperti pada **Persamaan 23** berikut:

$$RMS \text{ amplitudo} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N a_i^2} \quad (23)$$

Keterangan:

N : Jumlah sampel

a : Besar amplitudo

3.10 *Stratal slicing*

Metode *stratal slicing* merupakan teknik interpretasi seismik yang mengikuti permukaan stratigrafi atau waktu geologi sehingga mampu memberikan informasi stratigrafi yang lebih konsisten serta gambaran geomorfologi purba secara lebih cepat dan representatif dibandingkan sayatan waktu konvensional. *Stratal slicing* menampilkan atribut seismik dan perkiraan bentuk lingkungan pengendapan dengan memanfaatkan *event* seismik yang berada di atas atau di bawah interval target, sehingga permukaan yang dihasilkan mendekati kondisi saat proses pengendapan berlangsung. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi stratigrafi dan variasi fasies secara lateral dengan lebih akurat (Zeng dkk., 2001). Setiap *stratal slice* umumnya didominasi oleh satu fasies pengendapan, namun dalam beberapa kasus dua fasies dapat muncul secara bersamaan dalam satu sayatan, misalnya fasies deltaik yang berdekatan dengan fasies lakustrin, yang mencerminkan adanya perubahan lingkungan pengendapan secara lateral pada waktu geologi yang relatif sama (Burton & Wood, 2010)

Metode *stratal slicing* mengasumsikan bahwa refleksi seismik merepresentasikan permukaan pengendapan yang sejaman dan kontinu secara lateral, sehingga dapat digunakan untuk menginterpretasi pola fasies dan sistem pengendapan. Terdapat 2 cara dalam melakukan *stratal slicing*, yaitu dengan *hand picking* dan *auto-tracking* (Zeng dkk., 1998).

1. *Hand Picking*

Metode ini dilakukan dengan cara manual yaitu dengan mengikuti suatu *event* seismik dari satu lintasan ke lintasan lain, kemudian melakukan pemetaan suatu permukaan yang membentuk *loop* tertutup.

2. *Auto-tracking*

Metode ini dilakukan dengan bantuan komputer untuk melakukan *picking*. Pemilihan *picking* pada suatu *event* seismik berdasarkan kriteria atau karakteristik tertentu seperti *semblance*, *crosscorrelation*, *amplitude extremes* (*peak* atau *trough*).

Kedua metode ini umumnya akan menghasilkan *stratal slice* tanpa pembalikan polaritas, dimana semua nilai amplitudo akan bernilai positif atau negatif.

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian ini dilakukan pada :

Waktu : 19 Januari 2026 – 31 Maret 2026

Tempat : PT. Pertamina Hulu Rokan

Alamat : Jl. Guru Mughni, Kuningan, Karet Kuningan, Kecamatan
Setiabudi, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta
12940

4.2 Alat dan Bahan

Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan sebagai pendukung penelitian ini, diantaranya terdapat pada **Tabel 3**:

Tabel 3. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Alat dan bahan	Fungsi
1	Laptop dan <i>mouse</i>	Digunakan sebagai perangkat utama untuk pengolahan data, pemodelan seismik, serta interpretasi hasil penelitian.
2	Data log berformat (.las)	Digunakan untuk menyediakan informasi properti elastik batuan, seperti kecepatan gelombang P (Vp), kecepatan gelombang S (Vs), dan densitas.
3	<i>Software</i> Rockdoc	<i>Software</i> RockDoc digunakan untuk analisis <i>rock physics</i> , <i>fluid substitution</i> , serta pembuatan model seismik 3D <i>forward modelling</i> .
4	<i>Software</i> HampsonRussell	Hampson-Russell digunakan untuk melakukan analisis <i>stratal slicing</i> , perhitungan atribut amplitudo, serta evaluasi hasil interpretasi berdasarkan data seismik.
5	<i>Microsoft word</i>	Digunakan untuk penyusunan laporan tugas akhir

4.3 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut :

4.3.1 Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep dan penerapan metode *stratal slicing* dalam interpretasi data seismik. Metode ini merupakan teknik analisis yang memotong data seismik berdasarkan kerangka stratigrafi sehingga mampu merepresentasikan distribusi lateral lapisan secara lebih akurat dibandingkan *time slice* konvensional. Kajian ini mencakup prinsip dasar *stratal*

slicing, yaitu pemilihan interval waktu relatif terhadap horizon stratigrafi, serta pemanfaatan atribut amplitudo untuk mengidentifikasi geometri dan persebaran tubuh sedimen. Selain itu, dipelajari pula keunggulan metode ini dalam menginterpretasikan lapisan tipis (*thin beds*) yang menyebabkan interferensi refleksi (*tuning effect*). Studi literatur juga meninjau faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas *stratal slicing*, seperti frekuensi dan fase *wavelet*, resolusi seismik, serta kualitas data. Dengan demikian, metode ini diharapkan dapat memberikan hasil interpretasi yang lebih representatif terhadap kondisi geologi bawah permukaan.

4.3.2 Pengolahan Data

4.3.3.1 Input Data Log

Pada tahapan ini dilakukan penginputan data sumur HF_01. Adapun data log yang digunakan yaitu log gamma ray, resistivitas, log NPHI dan RHOB, log Vp, dan log Vs. Pada tahapan ini dilakukan analisis kualitatif untuk menentukan zona target berdasarkan data log GR, resistivitas, NPHI dan RHOB. Selanjutnya dilakukan analisis kualitatif untuk menentukan zona target berdasarkan kombinasi respon log GR, resistivitas, NPHI, dan RHOB. Zona target diidentifikasi berdasarkan nilai GR yang rendah serta resistivitas yang tinggi. Pada data sumur ini terdapat tiga zona target, namun penelitian ini difokuskan pada zona target pertama.

4.3.3.2 Fluid Substitution

Pada tahapan ini dilakukan pemodelan fluida yang terisi air 100%, gas 90%, dan minyak 80%. *Fluid Substitution* bertujuan untuk memperoleh nilai log Vp, Vs, dan densitas yang baru yang akan digunakan sebagai parameter dalam pembuatan pemodelan 3D ada tahap selanjutnya.

4.3.3.3 Membuat kerangka 3D Seismik

Pada tahapan ini dimodelkan penampang 3D seismik yang diinginkan, adapun pembuatan model 3D seismik pada penelitian ini berdasarkan studi kasus di area cekungan Sumatra Tengah pada Formasi Pematang. Model 3D konseptual yang digunakan pada penelitian ini merupakan 3 jenis lingkungan pengendapan pada Formasi Pematang. Reservoir A merepresentasikan lingkungan *channel* dan delta dengan karakteristik *low impedance*, dimana nilai impedansi akustik *channel*

lebih kecil dibandingkan delta. Reservoir B merepresentasikan lingkungan lakustrin dengan karakteristik *high impedance*. Sementara itu, reservoir C merupakan lingkungan *channel* dengan karakteristik *high impedance*.

Model 3D ini terdiri atas lapisan reservoir tebal (*thick reservoir*) dan tipis (*thin reservoir*). Reservoir A dikategorikan sebagai *thick reservoir* dengan ketebalan 30 ms, sedangkan reservoir B dan C sebagai *thin reservoir* dengan ketebalan 10 ms. Setelah kerangka model dibuat, dilakukan pengisian parameter elastik berupa V_p , V_s , dan densitas hasil *fluid substitution*, sehingga dihasilkan model properti elastik 3D.

4.3.3.4 3D Seismic Forward Modelling

Setelah pembuatan model properti elastik 3D, selanjutnya membuat sintetik seismik. Dalam penelitian ini digunakan *Ricker wavelet* dengan frekuensi 15 Hz, 25 Hz, dan 45 Hz. Untuk setiap frekuensi, digunakan dua jenis fase seismik, yaitu *zero-phase* dan *90-degree phase*. Variasi frekuensi dan fase ini bertujuan untuk menganalisis pengaruhnya terhadap resolusi seismik dalam membedakan lapisan reservoir, khususnya pada kondisi lapisan tipis (*thin beds*).

Pembuatan seismik sintetik dilakukan melalui proses konvolusi antara *wavelet* dan koefisien refleksi yang diperoleh dari model elastik. Parameter V_p dan densitas digunakan untuk menghitung impedansi akustik, yang kemudian digunakan untuk memperoleh koefisien refleksi pada setiap batas lapisan. Selanjutnya, koefisien refleksi tersebut dikonvolusikan dengan *wavelet Ricker* untuk menghasilkan respon seismik sintetik dalam bentuk *trace* seismik. Proses ini dilakukan untuk setiap kombinasi frekuensi dan fase *wavelet*, sehingga diperoleh beberapa model seismik sintetik yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan masing-masing parameter dalam merepresentasikan geometri dan resolusi lapisan reservoir.

Hasil 3D *seismic forward modelling* pada setiap *wavelet* selanjutnya diekspor ke dalam format SEG-Y (.sgy) untuk selanjutnya dilakukan *slicing* di *software* HampsonRussell. Pada tahap ini, penting untuk memastikan bahwa geometri data yang diekspor sesuai dengan model yang telah dibuat.

4.3.3.5 Melakukan *Picking* pada Data Seismik 3D

Data 3D seismik yang telah di ekspor selanjutnya dilakukan *picking* pada *software* HRS. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa jenis *picking* yaitu:

1. *Picking* horizon pada setiap batas *top horizon* setiap reservoir.
2. *Picking stratal slicing* untuk setiap 4 ms mulai dari *time* 280 ms sampai 425 ms.
3. *Mis-picking* yaitu melakukan *offset picking* pada reflektor seismik.

Penelitian ini menggunakan data sintetik dengan kondisi penampang ideal tanpa pengaruh struktur geologi, patahan, maupun *noise*. Oleh karena itu, metode *stratal slicing* dapat direpresentasikan menggunakan *time slice* karena reflektor diasumsikan relatif datar dan terbentuk pada waktu pengendapan yang sama. Dengan pendekatan ini, variasi amplitudo pada setiap *slice* dapat digunakan untuk mengamati perubahan respon seismik yang berkaitan dengan geometri lapisan, ketebalan, dan efek interferensi refleksi.

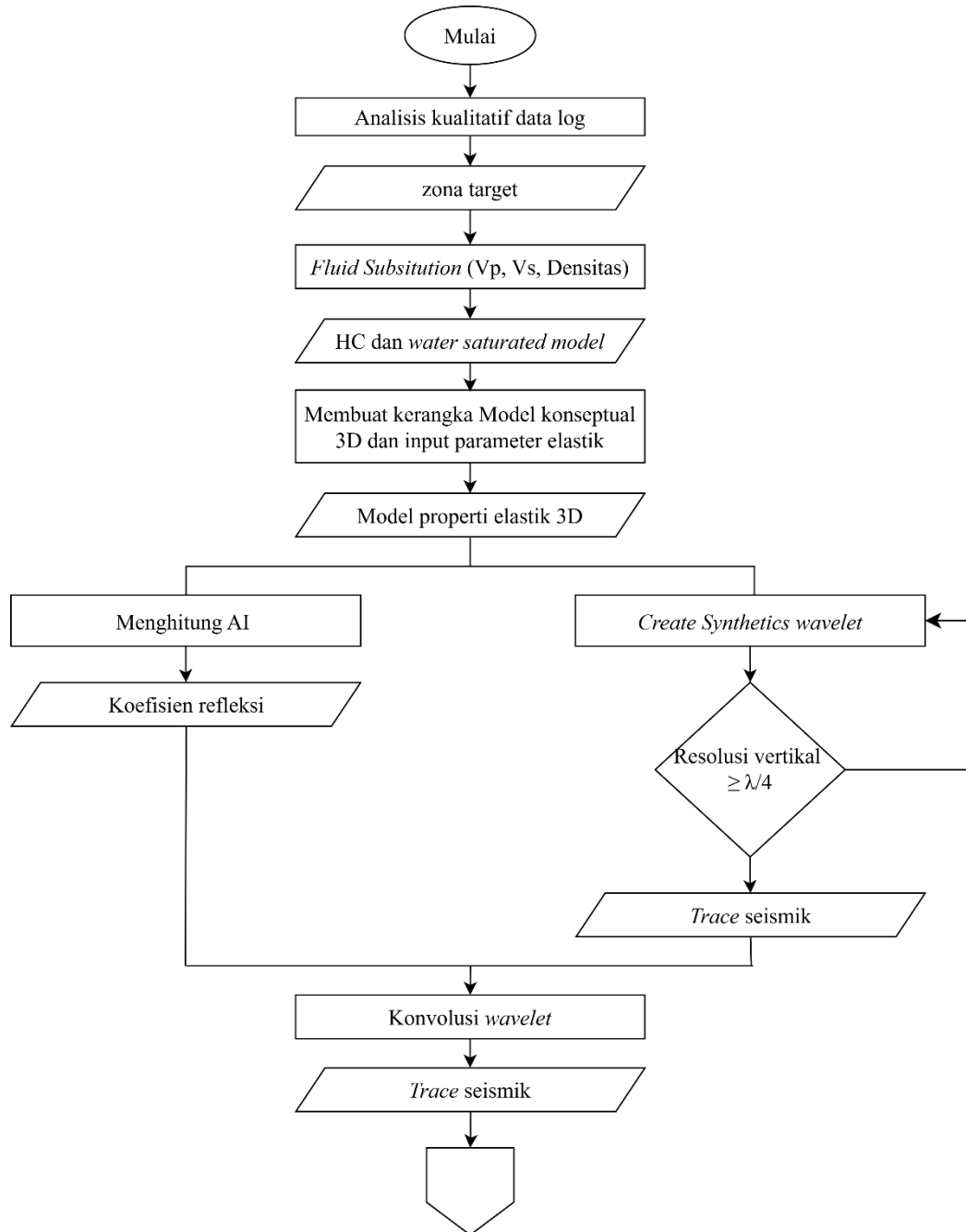
Hasil *picking* pada penelitian ini menggunakan nilai amplitudo seismik dan RMS amplitudo. Metode ini diterapkan pada setiap model seismik dengan variasi frekuensi dan fase yang berbeda, untuk mengevaluasi metode yang paling efektif dalam menginterpretasikan geometri lingkungan pengendapan.

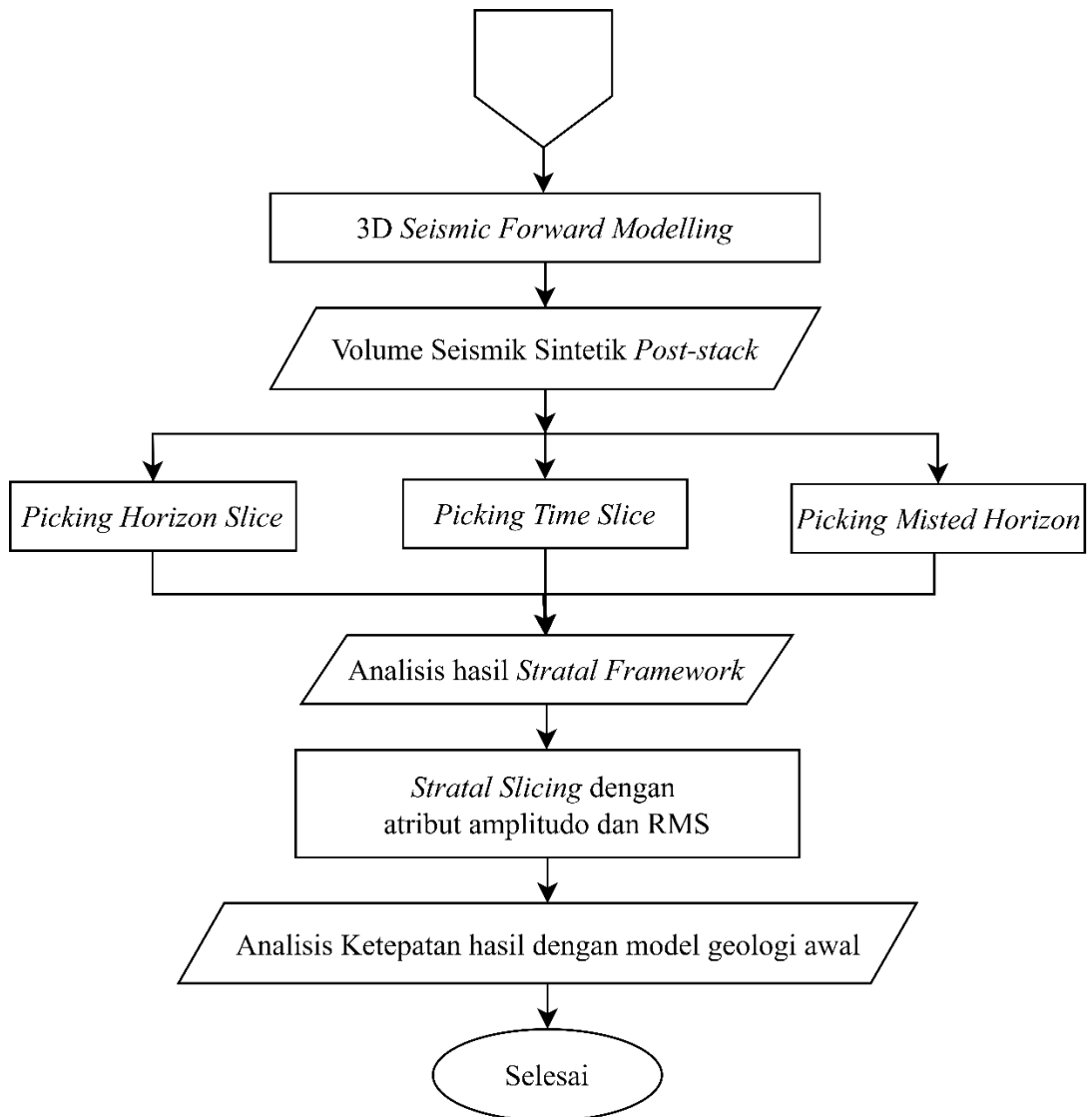
4.3.3.6 Analisis hasil

Dalam penelitian ini dilakukan analisis frekuensi dan *phase wavelet* seismik yang paling efektif untuk memisahkan setiap lapisan reservoir khususnya pada reservoir yang memiliki ketebalan di bawah *tuning*. Kemudian dilakukan analisis efektivitas hasil pada *stratal slicing* menganalisis untuk menggambarkan geometri lingkungan pengendapan dari pemilihan frekuensi dan *phase wavelet* seismik sehingga metode *stratal slicing* lebih maksimal. Selain itu, analisis penggunaan metode *picking* juga dilakukan guna mengetahui metode *picking* yang paling efektif untuk mengetahui geometri dari lingkungan pengendapan.

4.4 Diagram Alir

Diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini terdapat pada **Gambar 9** sebagai berikut:





Gambar 9. Diagram alir penelitian

VI. SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan:

1. Frekuensi *wavelet* berpengaruh signifikan terhadap resolusi vertikal dan respon amplitudo seismik. Peningkatan frekuensi dari 15 Hz menjadi 45 Hz menghasilkan panjang gelombang yang lebih pendek sehingga refleksi *top* dan *base* lapisan dapat dipisahkan dengan lebih baik. Pada frekuensi 15 Hz, interferensi refleksi dan *tuning effect* masih dominan sehingga lapisan tipis sulit dibedakan. Frekuensi 25 Hz mulai meningkatkan resolusi vertikal sehingga batas *top* dan *base* reservoir tipis dapat dikenali. Sementara itu, frekuensi 45 Hz memberikan resolusi vertikal terbaik dengan kemampuan membedakan batas *top* dan *base* pada reservoir tipis maupun tebal, sehingga geometri pengendapan dapat teridentifikasi dengan lebih jelas.
2. *Zero-phase* menghasilkan amplitudo maksimum pada batas lapisan sehingga lebih sensitif terhadap interferensi refleksi, sedangkan *90°-phase* menampilkan batas lapisan pada *zero-crossing* sehingga mengurangi *overlap* refleksi dan memberikan kontinuitas stratigrafi yang lebih baik, terutama pada lapisan tipis *interbedded sand–shale*.
3. Efektivitas *stratal slicing* dipengaruhi oleh frekuensi dan *phase wavelet*, resolusi vertikal, *tuning thickness*, interferensi refleksi, serta akurasi *picking*. Peningkatan frekuensi *wavelet* mampu mengurangi interferensi dan meningkatkan kejelasan pola pengendapan reservoir. *Wavelet zero-phase* lebih baik dalam menunjukkan batas litologi, sedangkan *wavelet 90°-phase* lebih efektif untuk lapisan tipis di bawah *tuning thickness*.

4. Hasil analisis *horizon slice* dan *time slice* menunjukkan bahwa kombinasi *wavelet 90°-phase* dan frekuensi 45 Hz paling efektif untuk meningkatkan hasil *stratal slicing* pada sistem *interbedded sand–shale* di bawah *tuning thickness*. Frekuensi tinggi meningkatkan resolusi vertikal dan mengurangi interferensi, sedangkan *90°-phase* lebih baik dalam meresolusi lapisan tipis karena batas litologi berada pada *zero-crossing*, sehingga geometri lingkungan pengendapan terlihat lebih jelas dan stabil.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar penelitian selanjutnya dapat mengembangkan analisis dengan menggunakan data seismik lapangan lebih realistis terhadap kondisi bawah permukaan sebenarnya. Dan interpretasi hasil sebaiknya didukung dengan data sumur, analisis petrofisika, atau data geologi sehingga hasil karakterisasi geometri lingkungan pengendapan lebih akurat. Serta proses *picking* perlu dioptimalkan karena kesalahan *mis-pick* dapat mempengaruhi hasil *stratal slicing* dan interpretasi geometri reservoir.

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, L., Batzle, M., & Brevik, I. (2006). Gassmann's Fluid Substitution and Shear Modulus Variability in Carbonates at Laboratory Seismic and Ultrasonic Frequencies. *Geophysics*, *71*(6). <https://doi.org/10.1190/1.2358494>
- Adeoti, L., Allo, O. J., Oyeniran, T., Adeogun, O. Y., Anukwu, G., & Adegbite, J. T. (2025). Gas Saturation and Tuning Effect Investigations in High Seismic Amplitude Anomalies: A Case Study of The "Taadoy" Field in Nigeria. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, *14*(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/20909977.2025.2450751>
- Aviani, N. (2022). Analisis Seismik Atribut untuk Identifikasi Persebaran Reservoir Batupasir pada Formasi Balikpapan, Lapangan V. *Jurnal Geosaintek*, *8*(2), 200–205. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v8i2.13619>
- Avseth, Per., Mukerji, Tapan., & Mavko, Gary. (2005). *Quantitative Seismic Interpretation : Applying Rock Physics Tools to Reduce Interpretation Risk*. New York: Cambridge University Press.
- Azam, A., Patria K, A. H., Dikdya W, P., & Kurniawan P, A. (2025). Karakteristik Batuan Induk dan Pemodelan Cekungan di Lapangan North Aman, Cekungan Sumatra Tengah. *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, *59*(1), 9–19. <https://doi.org/10.29017/lpmgb.59.1.1791>
- Bredesen, K., Jensen, E. H., Johansen, T. A., & Avseth, P. (2015). Quantitative Seismic Interpretation using Inverse Rock Physics Modelling. *Petroleum Geoscience*, *21*(4), 271–284. <https://doi.org/10.1144/petgeo2015-006>
- Brown, A. R. (2001). Understanding Seismic Attributes. *Geophysics*, *66*(1), 47–48.
- Brown, A. R., & Abriel, W. L. (2014). The Polarity Of Zero-Phase Wavelets. *Interpretation*, *2*(1), 19F. <https://doi.org/10.1190/INT2013-1202-PS.1>

- Burton, D., & Wood, L. J. (2010). Seismic Geomorphology and Tectonostratigraphic Fill of Half Grabens, West Natuna Basin, Indonesia. *AAPG Bulletin*, 94(11), 1695–1712. <https://doi.org/10.1306/06301010003>
- Chintia, A. (2025). Difference Method Application in Low Resistivity Reservoir Bachelor. Thesis. Institut Teknologi Bandung.
- Chopra, S., & Marfurt, K. J. (2005). Seismic Attributes - A Historical Perspective. *Geophysics*, 70(5), 3–8. <https://doi.org/10.1190/1.2098670>
- Dahlin, A., Lecomte, I., Senger, K., Smyrak-Sikora, A., Braathen, A., & Stemmerik, L. (2025). Analysing Lithological Complexity in Outcrop-Scale Seismic Models of Interbedded Siliciclastics and Carbonates from Svalbard. *Marine and Petroleum Geology*, 181, 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2025.107494>
- Dai, J., Lv, W., Wei, W., Yan, Y. Y., Luo, B., Ran, Q., Chen, K., & Wang, Y. (2025). Multi-Wave Seismic Sedimentology in Geological Anomaly Characterization: Methodological Innovations and Case Applications. *Frontiers in Earth Science*, 13, 1–17. <https://doi.org/10.3389/feart.2025.1675581>
- Dondurur, D. (2018). Deconvolution. Dalam *Acquisition and Processing of Marine Seismic Data* (hlm. 313–363). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811490-2.00006-2>
- Guan, P., Iqbal, N., Davenport, M. A., & Masood, M. (2023). Learned Proximal Operator for Solving Seismic Deconvolution Problem. *arXiv e-prints*, 1–14. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.10030>
- Herron, D. A. (2011). *First Steps in Seismic Interpretation*. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.
- Kumalasari, I. N., & Winardhi, I. S. (2021). Elastic Property Modeling, Extended Elastic Impedance (EEI) and Curve-Pseudo Elastic Impedance (CPEI) Inversion for Pore Type Analysis and Hydrocarbon Distribution in Carbonate Reservoir, Kujung i Formation, “Humaira” Field, North East Java Basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 873(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/873/1/012028>
- Kumar, D. (2006). A Tutorial on Gassmann Fluid Substitution: Formulation, Algorithm and Matlab Code. *Geohorizons*, 4–12.

- Li, G., Sacchi, M. D., Wang, Y., & Zheng, H. (2015). Characterization of Interbedded Thin Beds using Zero-Crossing-Time Amplitude Stratal Slices. *Geophysics*, 80(5), 23–35. <https://doi.org/10.1190/GEO2014-0608.1>
- Manzoor, U., Ehsan, M., Hussain, M., & Bashir, Y. (2024). Improved Reservoir Characterization of Thin Beds by Advanced Deep Learning Approach. *Applied Computing and Geosciences*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2024.100188>
- Maulana, A., Lepong, P., Rayzy Perwitasari Sutaji Putri, D., & Munir, R. (2024). Identifikasi Keberadaan Hidrokarbon Menggunakan Inversi Impedansi Akustik dengan Algoritma Artificial Neural Network. *Jurnal Geosains Kutai Basin*, 7(1).
- Ordas, P. R., Abdurrokhim, Sendjaja, Y. A., & Nainggolan, T. B. (2023). Analysis Of Depositional Environment and Petroleum System Based on Integration of Seismic And Well Data In The Coastal Of Central Sumatra Basin. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 15(2), 149–165. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v15i2.43145>
- Pramudita, D., & Yudho Suranta, B. (2025). Analisis Interpretasi Data Kualitatif dan Kuantitatif Data Well Logging untuk Evaluasi Formasi Pada Sumur X Lapangan Y. *SNTEM*, 5, 865–878.
- Ramadhan, M. E. J., Syafri, I., Alfadli, M. K., & Ralanarko, D. (2024). Penentuan Karakteristik Reservoir dengan Pendekatan Petrofisika pada Lapangan “X”, Formasi Talang Akar, Interval Gita, Cekungan Asri. *Padjajaran Geoscience Journal*, 8, 2084–2099.
- Sephiana, S. E., Karyanto, & Sinambela, R. Z. (2023). Analisis Petrofisika dalam Mengidentifikasi Zona Potensi Hidrokarbon pada Formasi Tualang dan Lakat. *JGE (Jurnal Geofisika Eksplorasi)*, 09(03), 165–183. <https://doi.org/10.23960/jge.v9i3.273>
- Sheriff, R. E., & Geldart, Lloyd P. (1995). *Exploration Seismology*. New York: Cambridge University Press.
- Simm, R., & Bacon, M. (2014). *Seismic Amplitude An Interpreter’s Handbook*. New York: Cambridge University Press.

- Simm, R., & White, R. (2002). Tutorial: *Phase, Polarity and The Interpreter's Wavelet*. *European Association of Geoscientists & Engineers*, 20(5). <https://doi.org/10.3997/1365-2397.20.5.25065>
- Sukmono, S. (1999). *Interpretasi Seismik Refleksi*. Dalam Departemen Teknik Geofisika ITB. Bandung. Tidak diterbitkan.
- Tao, Y., He, Y., Zhao, Z., Wu, D., & Deng, Q. (2023). Sealing of Oil-Gas Reservoir Caprock: Destruction of Shale Caprock by Micro-Fractures. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1–5. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1065875>
- Xu, G., Liu, X., Bi, S., Dai, X., & Guo, S. (2017). Thinly Interbedded Sands and Shales Identification with Stratal Slice: Modeling and Application. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1998–2002. <https://doi.org/10.1190/segam2017-17737742.1>
- Yongcai, Y., Shangxu, W., Sanyi, Y., & Pengfei, Q. (2012). Phase Spectrum Estimation of The Seismic *Wavelet Based* on A Criterion Function. *Petroleum Science*, 9(2), 170–181. <https://doi.org/10.1007/s12182-012-0197-6>
- Zalwi, E. N., Namigo, E. L., & Amalia Azlin, S.T, M.Si. (2025). Penentuan Sebaran Reservoir Menggunakan Atribut Seismik Pada Lapangan “Cemara” Cekungan Sumatera Tengah, Riau. *Jurnal Fisika Unand*, 14(1), 75–81. <https://doi.org/10.25077/jfu.14.1.75-81.2025>
- Zeng, H. (2009). How Thin is A Thin Bed? An Alternative Perspective. *Society of Exploration Geophysicists (SEG)*, 1192–1197.
- Zeng, H. (2017). Thickness Imaging for High-Resolution Stratigraphic Interpretation by Linear Combination and Color Blending of Multiple-Frequency Panels. *Interpretation*, 1–45. <http://library.seg.org/>
- Zeng, H. (2025a). High-Resolution Mapping of Subsurface Sedimentary Facies and Reservoirs Using Seismic Sedimentology. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/app15126387>
- Zeng, H. (2025b). High-Resolution Mapping of Subsurface Sedimentary Facies and Reservoirs Using Seismic Sedimentology. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/app15126387>
- Zeng, H., & Backus, M. M. (2005). Interpretive Advantages of 90°-Phase Wavelets: Part 1 - Modeling. *Geophysics*, 70(3). <https://doi.org/10.1190/1.1925740>

- Zeng, H., Backus, M. M., Barrow, K. T., & Tyler, N. (t.t.). Stratal slicing, Part I: Realistic 3-D Seismic Model. Dalam *Geophysics* (Vol. 63, Nomor 2).
- Zeng, H., Hentz, T. F., & Wood, L. J. (2001). Stratal slicing of Miocene-Pliocene sediments in Vermilion Block 50-Tiger Shoal Area, offshore Louisiana. *Society of Exploration Geophysicists (SEG)*, 408–418. <http://library.seg.org/>
- Zhu, X., Hu, X., Dong, Y., Wang, X., Xu, Y., & Zhang, Q. (2025). Response of Seismic Geomorphology to Sequence Framework in Dainan Formation of the Gaoyou Sag, Eastern China. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/app15084153>
- Zhu, X., Zeng, H., Li, S., Dong, Y., Zhu, S., Zhao, D., & Huang, W. (2017). Sedimentary characteristics and seismic geomorphologic responses of a shallow-water delta in the Qingshankou Formation from the Songliao Basin, China. *Marine and Petroleum Geology*, 79, 131–148. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.09.018>