

**ANALISIS *VELOCITY MODEL* BERDASARKAN DATA SUMUR
DAN DATA SEISMIK PADA *RESERVOIR*
NONKONVENSIONAL DI CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA**

(Skripsi)

Oleh

**Sarah Novita Fernandez
1815051023**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

**ANALISIS *VELOCITY MODEL* BERDASARKAN DATA SUMUR
DAN DATA SEISMIK PADA *RESERVOIR*
NONKONVENSIONAL DI CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA**

Oleh

Sarah Novita Fernandez

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISIS *VELOCITY MODEL* BERDASARKAN DATA SUMUR DAN DATA SEISMIK PADA *RESERVOIR* NONKONVENSIONAL DI CEKUNGAN JAWA TIMUR UTARA

Oleh

SARAH NOVITA FERNANDEZ

Cekungan Jawa Timur Utara adalah daerah bersejarah dalam industri hidrokarbon Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi sumber daya hidrokarbon di wilayah tersebut dengan menganalisis *velocity model* berdasarkan data sumur dan seismik. Dalam proses konversi data seismik dari waktu ke kedalaman (*time to depth conversion*), *velocity modelling* berperan penting. Kecepatan gelombang P (V_p) digunakan untuk membangun model kecepatan yang mendalam di dalam bumi. Hasil analisis *velocity model* memungkinkan pemetaan ketebalan dan distribusi batuan di bawah permukaan. Penelitian ini fokus pada Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang. Hasilnya menunjukkan adanya zona tinggi dan rendah pada kedua formasi ini. Formasi Kujung memiliki kecepatan berkisar antara 1400 hingga 2800 m/s, sedangkan Formasi Ngimbang berkisar antara 1200 hingga 2400 m/s. Berdasarkan 3D Velocity Model, ditemukan kandungan *shale* dengan kecepatan 2000 hingga 2800 m/s di Formasi Kujung dan 2000 hingga 2400 m/s di Formasi Ngimbang pada kedalaman 2500 hingga 4500 m.

Kata Kunci: Cekungan Jawa Timur Utara, *Time to Depth Conversion*, *Velocity Model*.

ABSTRACT

VELOCITY MODEL ANALYSIS BASED ON WELL DATA AND SEISMIC DATA IN UNCONVENTIONAL RESERVOIRS IN THE NORTH EAST JAVA BASIN

By

SARAH NOVITA FERNANDEZ

The North East Java Basin is a historic area in Indonesia's hydrocarbon industry. This research aims to explore the potential of hydrocarbon resources in the region by analyzing velocity model based on well and seismic data. In the process of time to depth conversion of seismic data, velocity modeling plays an important role. P-wave velocity (V_p) is used to build a velocity model deep in the earth. The result of velocity model analysis allows mapping the thickness and distribution of rocks in the subsurface. This research focuses on the Kujung Formation and Ngimbang Formation. The results show the existence of high and low zones in these two formations. The Kujung Formation has velocities ranging from 1400 to 2800 m/s, while the Ngimbang Formation ranges from 1200 to 2400 m/s. Based on the 3D Velocity Model, shale is found with a velocity of 2000 to 2800 m/s in the Kujung Formation and 2000 to 2400 m/s in the Ngimbang Formation at a depth of 2500 to 4500 m.

Keywords: *North East Java Basin, Time to Depth Conversion, Velocity Model.*

Judul Skripsi

**:ANALISIS VELOCITY MODEL
BERDASARKAN DATA SUMUR DAN DATA
SEISMIK PADA RESERVOIR
NONKONVENSIONAL DI CEKUNGAN
JAWA TIMUR UTARA**

Nama Mahasiswa

: Sarah Novita Fernandez

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1815051023

Program Studi

: Teknik Geofisika

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI,

1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2



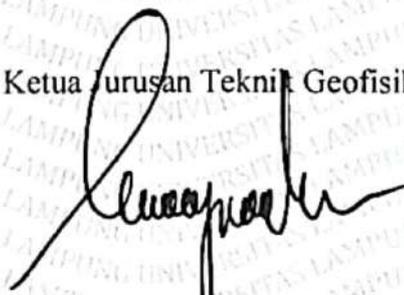
Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.

NIP. 196612221996031001

I Gede Boy Darmawan, S.Si, M.Eng.

NIP. 198805052019031019

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika



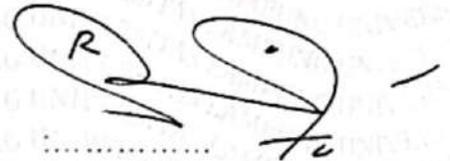
Dr. Karyanto, S.Si., M.T.

NIP. 196912301998021001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : I Gede Boy Darmawan, S.Si, M.Eng.



Anggota : Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T.

.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)
NIP. 19750928 200112 1002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 10 November 2023

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, 22 Februari 2024

Penulis



Sarah Novita Fernandez
NPM. 1815051023

RIWAYAT HIDUP



Sarah Novita Fernandez, lahir di Bekasi, Jawa Barat pada tanggal 09 November 2000. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Erick Fernandez dan Kayatin. Pendidikan yang ditempuh mulai dari Taman Kanak-Kanak (TK) Karya Utama (2005-2006), Sekolah Dasar (SD) Negeri 3 Perumnas Way Kandis (2006-2012), Madrasah Tsanawiyah (MTs) Negeri 2 Bandar Lampung (2012-2015), Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 5 Bandar Lampung (2015-2018), dan melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung (2018-2023).

Penulis melakukan Kerja Praktek (KP) di BPPTKG (Badan Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi) pada Oktober-November 2021 dengan judul penelitian **“Perbandingan Intensitas Gempa Hembusan (DG) dengan Validasi Visual dan Rekaman Aktivitas Seismik Gunung Merapi pada Desember 2019-Maret 2021”**. Pada Januari-Maret 2023, penulis melakukan Tugas Akhir (TA) di Pusat Survei Geologi dengan judul penelitian **“Analisis *Velocity Model* Berdasarkan Data Sumur dan Data Seismik pada *Reservoir Nonkonvensional di Cekungan Jawa Timur Utara*”**. Penulis dinyatakan lulus pada 10 November 2023.

Penulis juga aktif berorganisasi, diantaranya menjadi bagian dari Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika Bhuwana sebagai Anggota Bidang Sosial Budaya Masyarakat Divisi Internal, Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia Wilayah I (Sumatera) sebagai Staff Riset dan Teknologi, dan Society of Exploration Geophysicist (SEG) – University of Lampung Student Chapter sebagai Member Divisi Edukasi dan Vice President. Pada Agustus-September 2022, penulis

berpartisipasi dalam kegiatan SEG/Chevron Student Leadership Symposium 2022 di Houston, Texas, Amerika Serikat.

PERSEMBAHAN

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

DIRI SAYA SENDIRI

Sebuah perjalanan yang penuh liku dan tantangan, di mana saya belajar tentang ketekunan, kesabaran, dan kemandirian. Melalui setiap halaman, saya menemukan potensi dan kekuatan dalam diri saya yang mungkin sebelumnya tidak saya sadari.

Terima kasih atas dedikasi, kerja keras, dan semangat diri sendiri yang membawa saya sampai pada titik ini. Semoga setiap pengorbanan dan usaha yang telah saya lakukan dapat menjadi bekal berharga untuk perjalanan selanjutnya.

MAMA DAN PAPA

Terima kasih selalu memberikan cinta tanpa syarat, dukungan tanpa batas, dan petunjuk yang tak ternilai. Kasih sayangmu menjadi pilar dalam setiap langkah hidupku. Terima kasih, Mama dan Papa, atas segala pengorbanan dan doa-doa yang tak pernah putus.

KAKAK DAN ADIK

Terima kasih untuk segala bentuk dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”.

(QS. Al-Insyirah: 5)

“The most advisable course of action is to maintain focus on yourself and diligently perform the things that need to be done”.

KATA PENGANTAR

Dengan penuh rasa puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa Ta'ala, yang atas rahmat dan hidayah-Nya, memungkinkan penulis menyelesaikan skripsi berjudul "**Analisis Velocity Model Berdasarkan Data Sumur dan Data Seismik pada Reservoir Nonkonvensional di Cekungan Jawa Timur Utara**" ini. Terima kasih tak terhingga disampaikan kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam proses penulisan skripsi ini. Dukungan, bimbingan, dan kontribusi dari berbagai pihak memiliki peran penting dalam terwujudnya skripsi ini. Penulis sadar bahwa setiap karya pasti memiliki ruang untuk perbaikan, oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk pengembangan dan penyempurnaan skripsi ini di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini tidak hanya menjadi dokumen akademis semata, tetapi juga dapat memberikan manfaat yang nyata dan menjadi kontribusi kecil pada perkembangan ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 22 Februari 2024

Penulis



Sarah Novita Fernandez
NPM. 1815051023

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, yang atas rahmat dan hidayah-Nya, memungkinkan penulis menyelesaikan skripsi berjudul "Analisis Velocity Model Berdasarkan Data Sumur dan Data Seismik pada Reservoir Nonkonvensional di Cekungan Jawa Timur Utara." Skripsi ini diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Selama proses penulisan skripsi ini, banyak pihak yang turut serta berperan, dan dengan tulus penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala, yang selalu memberikan karunia dan anugerah-Nya baik berupa kesehatan dan kemudahan dalam setiap langkah penulis.
2. Kedua orang tuaku, Mama Kayatin dan Papa Erick Fernandez atas segala bentuk do'a, dukungan dan kasih sayang yang tiada hentinya. Semoga Mama dan Papa senantiasa dilindungi Allah Subhanahu wa Ta'ala.
3. Kakak dan adikku, Ariska Peihan Fernandez dan Ferica Fernandez atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan selama ini.
4. Bapak Dr. Andy Setyo Wibowo, S.T., M.T. selaku pembimbing di Pusat Survei Geologi yang telah bersedia memberikan ilmu, berdiskusi serta memberikan arahan selama pengerjaan skripsi ini
5. Bapak Ryandi Adlan, S.T. selaku pembimbing di Pusat Survei Geologi yang telah bersedia berdiskusi, memberikan arahan dan bantuan selama pengerjaan skripsi ini.
6. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 yang telah bersedia berdiskusi, memberikan arahan dan saran dalam penulisan skripsi ini. Bapak I Gede Boy Darmawan, S.Si, M.Eng. selaku dosen pembimbing 2 yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, koreksi dan motivasi

dalam penulisan skripsi ini.

7. Bapak Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T. selaku penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberikan masukan dan saran atas skripsi ini.
8. Ibu Rahmi Mulyasari, M.T. selaku pembimbing akademik yang selalu meluangkan waktunya untuk berdiskusi, memberikan semangat dan arahan selama penulis belajar di Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung.
9. Bapak Dr. Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si. selaku dosen Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung yang telah meluangkan waktunya untuk berdiskusi mengenai hasil pengerjaan skripsi ini.
10. Segenap Dosen Pengajar di Jurusan Teknik Geofisika, Universitas Lampung atas ilmu dan motivasi yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
11. Mega dan Nanda, teman selama mengerjakan skripsi ini selama di Pusat Survei Geologi, Bandung.
12. Keluarga Teknik Geofisika 2018 yang telah memberikan dukungan dan semangat selama pengerjaan skripsi. Selain itu telah memberikan banyak kenangan selama perkuliahan ini. Semoga kita semua menjadi pribadi yang sukses dan bahagia di masa depan.
13. Semua pihak yang terlibat dalam proses penulisan yang tidak dapat dituliskan satu-persatu.

Bandar Lampung, 22 Februari 2024

Penulis



Sarah Novita Fernandez
NPM. 1815051023

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PERSETUJUAN	iv
PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	19
1.2 Tujuan Penelitian.....	21
1.3 Batasan Masalah.....	21
1.4 Manfaat Penelitian.....	21
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Lokasi Penelitian	22
2.2 Geologi Regional.....	23
2.3 Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara.....	25
2.4 Struktur Geologi	32
2.5 <i>Petroleum System</i>	34
III. TEORI DASAR	

3.1 Data Log	39
3.2 Parameter Petrofiska pada <i>Reservoir</i> Nonkonvensional	41
3.3 Konsep Dasar Metode Seismik	43
3.4 Prinsip Penjalaran Gelombang Seismik	44
3.5 Interpretasi Data Seismik	47
IV. METODE PENELITIAN	
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	49
4.2 Alat dan Bahan Penelitian	49
4.3 Tahapan Pengerjaan	50
4.4 Diagram Alir	55
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	
5.1 Analisis Permeabilitas	56
5.2 <i>Well to Seismic Tie</i>	59
5.3 <i>Time Surface Map</i>	63
5.4 <i>Velocity Model</i>	69
5.5 <i>Depth Surface Map</i>	73
5.6 <i>3D Velocity Model</i>	79
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Kesimpulan	83
6.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Lokasi Penelitian	22
2. Zona Fisiografi Jawa Timur Utara	23
3. Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara.....	25
4. Struktur Cekungan Jawa Timur Utara.....	32
5. <i>Petroleum System</i> Konvensional dan Nonkonvensional.....	34
6. Prinsip <i>Fermat</i>	45
7. Prinsip <i>Snellius</i> pada Perambatan Gelombang.....	47
8. Peta Lintasan Seismik	52
9. <i>Picking Horizon</i>	53
10. Diagram Alir Penelitian	55
11. Kurva Pemeabilitas Sumur SF-2 Zona 3.....	57
12. Kurva Pemeabilitas Sumur SF-2 Zona 4.....	57
13. Kurva Pemeabilitas Sumur SF-3 Zona 4.....	58
14. <i>Well to Seismic Tie</i> Pada Sumur SF-1	60
15. <i>Well to Seismic Tie</i> Pada Sumur SF-2.....	61
16. <i>Well to Seismic Tie</i> Pada Sumur SF3	62
17. <i>Time Surface Map Top Shale</i> Kujung	64
18. <i>Time Surface Map Bottom Shale</i> Kujung.....	65
19. <i>Time Surface Map Top Shale</i> Ngimbang	66
20. <i>Time Surface Map Bottom Shale</i> Ngimbang	67
21. <i>Velocity Model</i> Kujung	70
22. <i>Velocity Model</i> Ngimbang.....	71

23. <i>Depth Surface Map Top Shale Kujung</i>	74
24. <i>Depth Surface Map Bottom Shale Kujung</i>	75
25. <i>Depth Surface Map Top Shale Ngimbang</i>	76
26. <i>Depth Surface Map Bottom Shale Ngimbang</i>	77
27. <i>3D Velocity Model pada Depth Surface Map Kujung</i>	80
28. <i>3D Velocity Model pada Depth Surface Map Ngimbang</i>	81

DAFTAR TABEL

	Tabel	Halaman
1.	Klasifikasi Nilai Permeabilitas Batuan	43
2.	Kecepatan <i>Shale</i>	48
3.	Jadwal Kegiatan Penelitian	50
4.	Nilai Permeabilitas Sumur SF-2.....	57
5.	Nilai Permeabilitas Sumur SF-3.....	58

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Cekungan Jawa Timur Utara memiliki sejarah panjang sebagai salah satu daerah yang kaya akan sumber daya hidrokarbon, terutama minyak bumi dan gas alam. Cekungan Jawa Timur Utara telah lama menjadi daerah eksploitasi minyak dan gas bumi di Indonesia. Sejak awal penemuan minyak pertama di Sumur Minas pada tahun 1885, banyak lapangan minyak dan gas yang telah ditemukan dan dieksploitasi di daerah ini, seperti lapangan Minas, Cepu, dan lain-lain. Eksplorasi yang intensif telah dilakukan di Cekungan Jawa Timur Utara selama beberapa dekade, menghasilkan penemuan-penemuan signifikan. Berbagai penemuan lapangan minyak dan gas telah mengkonfirmasi potensi hidrokarbon yang signifikan di daerah ini, memperkuat keyakinan akan keberlanjutan potensi eksplorasi. Meskipun sejumlah lapangan minyak dan gas telah dieksploitasi di Cekungan Jawa Timur Utara, masih terdapat potensi cadangan hidrokarbon yang belum dikembangkan sepenuhnya. Penemuan baru, evaluasi ulang lapangan yang ada, dan teknologi eksplorasi yang terus berkembang memberikan peluang untuk mengoptimalkan produksi dan mengidentifikasi area-area baru dengan potensi yang belum terungkap. Interpretasi seismik dapat dilakukan untuk membantu dalam perencanaan lokasi sumur eksplorasi dan produksi serta dalam evaluasi dan mitigasi risiko dalam kegiatan eksplorasi dan produksi.

Dalam proses interpretasi data seismik penting untuk dilakukan proses konversi data atau disebut juga dengan *time to depth conversion*. Melakukan *time to depth conversion* pada data seismik adalah langkah krusial dalam

memahami geometri geologi, karakteristik *reservoir*, dan potensi hidrokarbon di suatu daerah. Dengan melakukan *time to depth conversion* maka akan didapatkan data seismik yang diukur dalam domain waktu menjadi domain kedalaman dengan harapan bahwa akan didapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai struktur dan penyebaran lapisan batuan, persebaran dan geometri formasi batuan, karakter *reservoir*, serta dapat mengukur ketebalan formasi batuan dengan lebih akurat. Proses *Time to Depth Conversion* melibatkan model kecepatan gelombang yang diperoleh dari *Velocity Modelling*.

Velocity Modelling adalah proses untuk menganalisis dan membuat model kecepatan gelombang seismik dimana model kecepatan tersebut merupakan representasi matematis perubahan kecepatan gelombang seiring dengan kedalaman di dalam bumi. Adapun dalam praktiknya, *velocity modelling* dilakukan dengan menggunakan kecepatan gelombang P (V_p) karena data V_p lebih melimpah dan lebih mudah diakses dalam data seismik *Velocity model* yang akurat merupakan prasyarat utama dalam mengkonversi data seismik dari waktu menjadi kedalaman. Dengan memiliki *velocity model* yang akurat, hasil konversi kedalaman akan menjadi lebih andal dan memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang struktur dan lapisan batuan di bawah permukaan. *Velocity model* memungkinkan pemetaan ketebalan dan distribusi batuan yang lebih baik di bawah permukaan dan membantu dalam identifikasi struktur geologi dan sesar di bawah permukaan. Variasi kecepatan gelombang seismik dapat mengindikasikan adanya lipatan, patahan, atau zona pengendapan yang relevan. Melakukan analisis *velocity model* yang cermat dan akurat menjadi langkah krusial dalam proses *time to depth conversion*. Hal ini memungkinkan konversi yang lebih tepat dan hasil kedalaman yang lebih reliabel, yang pada gilirannya berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang geologi, karakterisasi *reservoir*, dan potensi hidrokarbon.

Adapun pada penelitian sebelumnya (Mubin, dkk., 2018), dilakukan *velocity modelling* pada Cekungan Jawa Timur Utara menggunakan *interval velocity* yang mengacu pada kecepatan rata-rata gelombang seismik di dalam suatu

interval batuan tertentu. Dan pada penelitian ini digunakan *average velocity* yang mengacu pada kecepatan rata-rata gelombang seismik dalam seluruh interval yang ditempuh oleh gelombang tersebut. Pada penelitian ini analisis *velocity model* dilakukan pada dua formasi Cekungan Jawa Timur Utara yaitu Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui daerah rendahan dan daerah tinggian pada Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang Cekungan Jawa Timur Utara.
2. Mengetahui nilai *velocity* pada Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang Cekungan Jawa Timur Utara.
3. Mendapatkan *velocity model* dan peta kedalaman (*depth map*) untuk Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang Cekungan Jawa Timur Utara.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan terdiri dari 3 data sumur dan *2D Post Stack Time Migration*.
2. Area penelitian berada pada Cekungan Jawa Timur Utara dan terfokus pada Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang.
3. Proses *Time to depth conversion* menggunakan *Velocity Model*.

1.4 Manfaat Penelitian

Velocity Model yang akan menghasilkan peta kedalaman (*depth map*) diharapkan akan bermanfaat sebagai sumber informasi dalam memahami struktur bawah permukaan bumi yang sangat penting dalam pembuatan keputusan dalam pengembangan sumber daya yang tersedia, pengeboran sumur dan pemodelan *reservoir*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada pada Cekungan Jawa Timur Utara dan berfokus pada 2 formasi, yaitu:

1. Formasi Kujung
2. Formasi Ngimbang

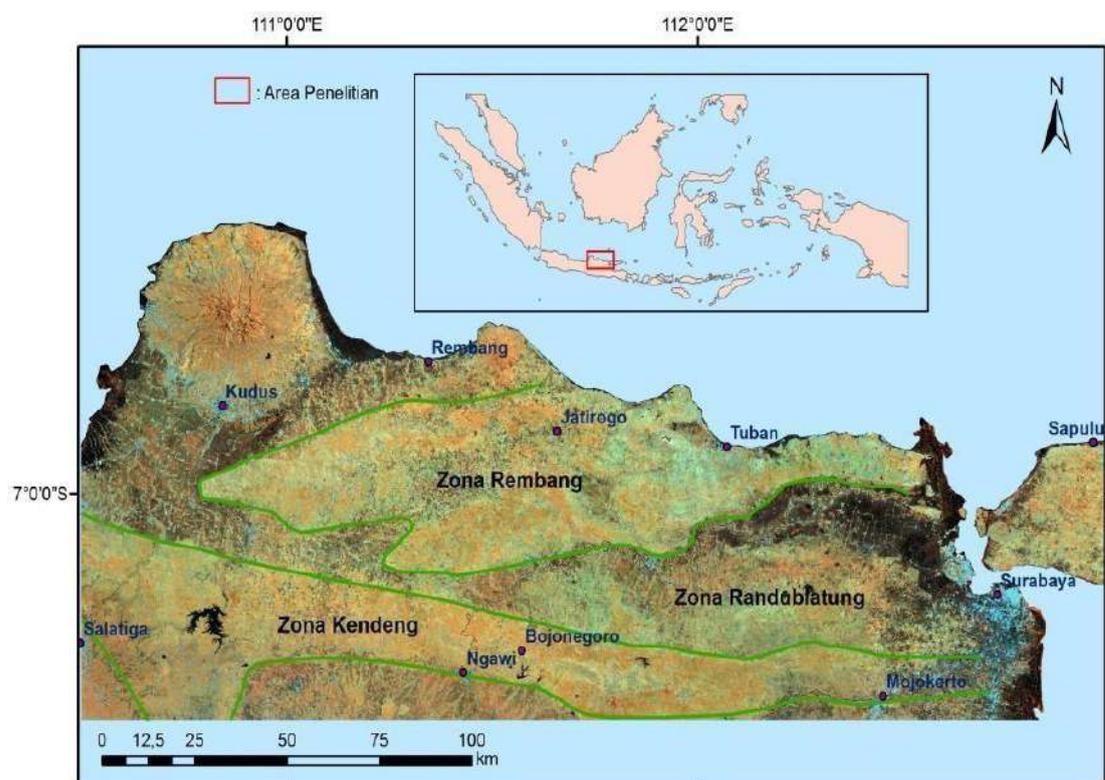


Gambar 1. Lokasi Penelitian.

2.2 Geologi Regional

Secara geografi Cekungan Jawa Timur Utara berada di antara Laut Jawa yang terletak di bagian utaranya dan sederetan gunung api yang berarah timur-barat di bagian selatannya. Cekungan Jawa Timur Utara ini menempati luas 50.000 km² yang melingkupi daratan sebelah timur Jawa Tengah, Jawa Timur, Lepas pantai di sekitar Laut Jawa Utara hingga selat Madura. Cekungan ini merupakan zona lemah akibat tumbukan atau penunjaman Lempeng Samudera Australia ke arah barat laut di bawah lempeng Asia. Terjadinya pemindahan jalur zona tumbukan yang terus-menerus ke arah selatan Indonesia, maka sekarang ini Cekungan Jawa Timur Utara terbentuk sebagai cekungan belakang busur (*back arc basin*) (Brandsen dan Matthews, 1992).

Cekungan Jawa Timur Utara dibagi menjadi tiga bagian besar. Adapun ketiga pembagian tersebut berturut-turut dari selatan ke utara adalah Zona Kendeng, Zona Randublatung, dan Zona Rembang (Bemmelen, 1949).



Gambar 2. Zona Fisiografi Jawa Timur Utara (Bemmelen, 1949).

2.2.1 Zona Kendeng

Zona ini didominasi oleh endapan kenozoikum muda, termasuk batuan-batuan sedimen seperti batu pasir, batu gamping, dan shale. Wilayah ini juga dicirikan oleh lipatan-lipatan batuan dan sesar-sesar sungkup yang signifikan, yang secara geologis signifikan. Lipatan ini mengindikasikan tekanan dan pergerakan dalam kerak bumi, sementara sesar-sesar sungkup menggambarkan patahan-patahan dalam batuan. Hal menarik adalah arah lipatan dan sesar-sesar sungkup di Zona Kendeng, yang umumnya mengarah ke selatan. Zona Kendeng memiliki panjang sekitar 250 kilometer dan lebar maksimum sekitar 40 kilometer, menciptakan wilayah dengan potensi sumber daya geologi yang signifikan. Selain itu, wilayah ini juga terkenal sebagai salah satu kawasan industri batu gamping yang penting di Indonesia (Pringgoprawiro, 1983).

2.2.2 Zona Randublatung

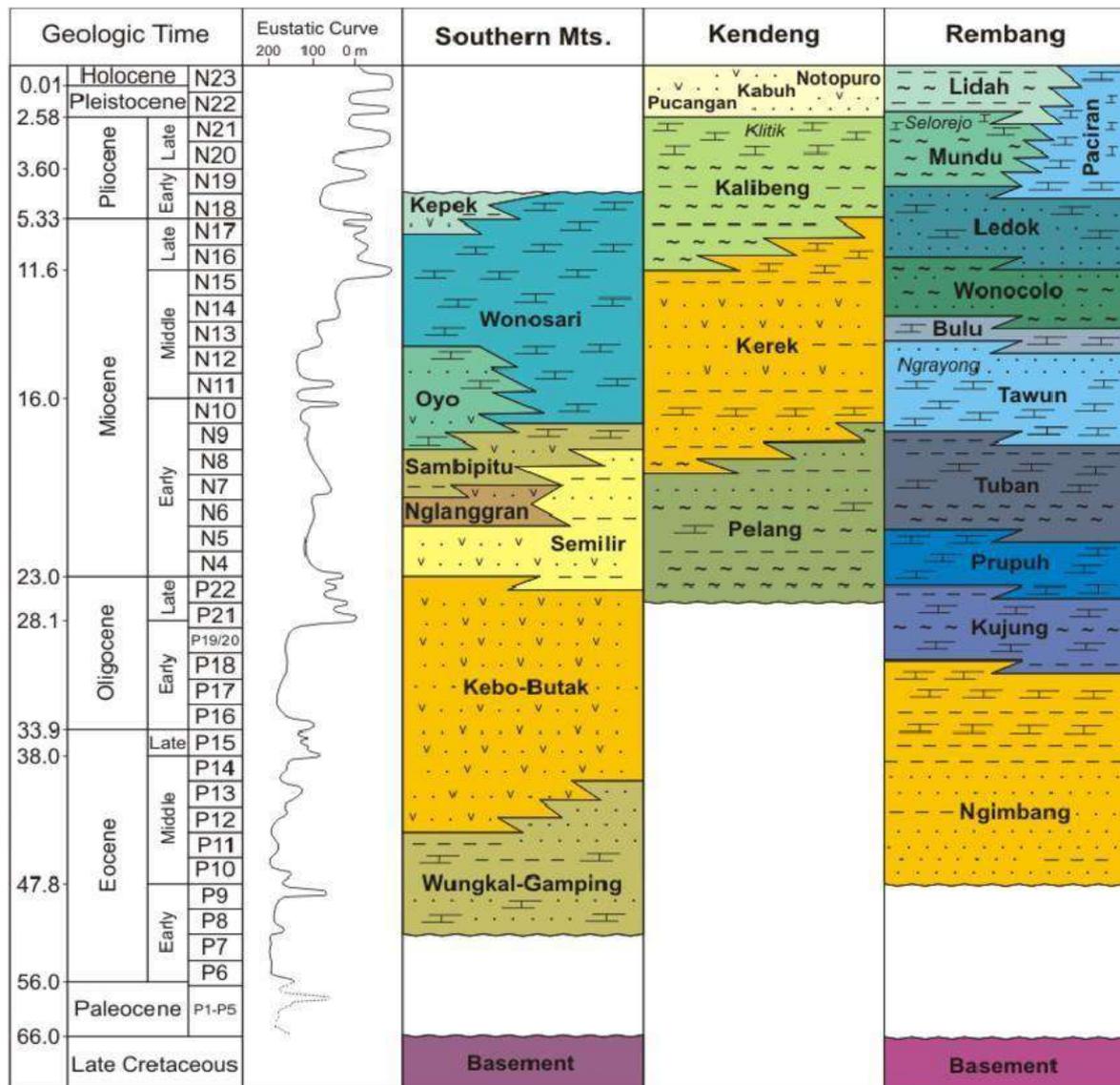
Merupakan suatu depresi fisiografi akibat gejala tektonik yang terbentang di antara Zona Kendeng dan Zona Rembang, terbentuk pada kala Pleistosen dengan arah barat-timur. Beberapa antiklin pendek dan kubah-kubah berada pada depresi ini. Sepanjang dataran ini mengalir sungai utama, yaitu sungai Bengawan Solo (Pringgoprawiro, 1983).

2.2.3 Zona Rembang

Zona Rembang terbentang sejajar dengan Zona Kendeng yang dipisahkan oleh depresi Randublatung, merupakan suatu dataran tinggi terdiri dari antiklinorium yang berarah barat-timur sebagai hasil gejala tektonik Tersier Akhir yang membentuk perbukitan dengan elevasi yang tidak begitu tinggi, rata-rata kurang dari 500 m. Arah memanjang perbukitan tersebut mengikuti sumbu-sumbu lipatan yang pada umumnya berarah barat-timur (Pringgoprawiro, 1983).

2.3 Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara

Di daratan Jawa Timur satuan stratigrafi tertua adalah batuan dasar yang langsung menumpang di atasnya yaitu:



Gambar 3. Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara (Husein, 2015).

2.3.1 Pra-Ngimbang

Pra-Ngimbang adalah unit geologi pada zaman Eosen Bawah yang terdiri dari batupasir dengan serpih, batulanau, dan bahkan batubara yang terjadi tidak selaras dengan Formasi Ngimbang di atasnya. Unit ini mencerminkan perubahan lingkungan geologis dan iklim di masa lalu.

Kehadiran batubara menjadi ciri khasnya dan menunjukkan nilai ekonomis yang signifikan. Tidak selarasnya dengan Formasi Ngimbang mengindikasikan periode waktu di mana pengendapan terhenti atau terganggu sebelum pembentukan Formasi Ngimbang, yang dapat disebabkan oleh faktor-faktor geologis dan tektonik.

2.3.2 Formasi Ngimbang

Formasi Ngimbang adalah salah satu formasi geologi dari zaman Eosen Tengah yang signifikan di wilayah ini. Formasi ini terdiri dari sedimen klastik yang mencakup batupasir, serpih, dan batugamping. Ciri khas Formasi Ngimbang adalah adanya batubara yang sesekali ditemukan di dalamnya, mengindikasikan bahwa di masa lalu, lingkungan di atasnya merupakan perairan laut dangkal.

Formasi ini merupakan salah satu unit geologi yang penting dalam konteks ekonomi dan lingkungan geologi. Keberadaan batubara dalam formasi ini menunjukkan potensi sumber daya alam yang signifikan dan sering menjadi sasaran eksplorasi. Kehadiran batubara ini juga menjadi indikator lingkungan pengendapan saat pembentukan Formasi Ngimbang, menandakan bahwa kondisi perairan laut dangkal mendominasi pada saat itu. Selain itu, mencatat bahwa pengendapan Formasi Ngimbang tidak selaras menunjukkan bahwa ada periode waktu di mana pengendapan terhenti atau terganggu, yang bisa diakibatkan oleh faktor-faktor tektonik atau geologis.

2.3.3 Formasi Kujung

Formasi Kujung terdiri dari serpih dengan sisipan batu gamping dan batu pasir. Komposisi ini mencerminkan keragaman lingkungan pengendapan pada saat Formasi Kujung terbentuk. Di bagian bawahnya, Formasi Kujung terdiri dari batu gamping yang dikenal sebagai batu gamping Kranji. Di atasnya, terdapat lapisan serpih dan batu gamping klastik yang sering disebut sebagai batu gamping Prupuh.

Keberadaan serpih dalam Formasi Kujung menunjukkan pengendapan di lingkungan laut atau perairan yang lebih dalam. Di daerah-daerah rendahan, Formasi Kujung mendominasi dengan sisipan serpih yang signifikan. Namun, di daerah yang lebih tinggi, terutama di sekitar wilayah terumbu karbonat dan Anggota Prupuh, lingkungan pengendapan lebih kompleks. Terumbu karbonat menunjukkan kondisi perairan laut yang dangkal dan cenderung terbentuk di daerah perairan yang lebih cerah dan hangat. Di samping itu, Anggota Prupuh, yang terdiri dari serpih dan batu gamping klastik, menunjukkan variasi dalam pengendapan yang mungkin berkaitan dengan perubahan lingkungan di masa lalu.

2.3.4 Formasi Tuban

Formasi Tuban adalah salah satu formasi geologi yang signifikan di wilayah ini. Formasi ini terdiri dari perlapisan batulempung, dengan beberapa sisipan batugamping dan serpih. Pembentukan Formasi Tuban terjadi pada Awal Miosen, yaitu sekitar 23 hingga 5 juta tahun yang lalu. Formasi ini menggambarkan keragaman lingkungan pengendapan dan evolusi geologi di masa lalu.

Lingkungan pengendapan Formasi Tuban adalah laut dalam. Ini menunjukkan bahwa proses sedimentasi terjadi di dalam laut yang lebih dalam, yang mungkin terletak di perairan yang cukup jauh dari daratan. Keberadaan batugamping dalam formasi ini menunjukkan adanya perubahan lingkungan yang berkaitan dengan fluktuasi level laut dan lingkungan pengendapan yang berbeda.

2.3.5 Formasi Tawun

Formasi Tawun terdiri dari perselingan antara serpih karbonat pasiran, batupasir, dan batugamping. Pembentukan Formasi Tawun terjadi pada periode Miosen Awal hingga Miosen Tengah, yang dapat diperkirakan berlangsung sekitar 23 hingga 16 juta tahun yang lalu.

Formasi Tawun mengindikasikan bahwa lingkungan pengendapan pada masa tersebut adalah paparan yang agak dalam. Ini berarti bahwa proses sedimentasi terjadi di wilayah yang mungkin berada cukup jauh dari pantai atau daratan. Kehadiran serpih karbonat pasiran, batupasir, dan batugamping dalam formasi ini mencerminkan perubahan-perubahan dalam lingkungan tersebut. Serpih karbonat pasiran dan batugamping sering kali terbentuk di lingkungan laut, sementara batupasir mungkin mencerminkan lingkungan pantai atau delta.

2.3.6 Formasi Ngrayong

Formasi Ngrayong terbentuk pada rentang waktu Miosen Awal hingga Miosen Tengah, terdiri dari beragam jenis sedimen, termasuk batupasir, serpih, batulempung, batulanau, dan beberapa sisipan batugamping. Tersebarinya Formasi Ngrayong dengan ketebalan yang mencapai sekitar 950 meter merupakan indikasi penting dari aktivitas sedimentasi selama periode tersebut.

Formasi ini memberikan gambaran yang kaya tentang lingkungan pengendapan pada masa Miosen Awal hingga Miosen Tengah di wilayah tersebut. Kehadiran beragam jenis sedimen, seperti batupasir, serpih, dan batulempung, mengindikasikan perubahan dalam lingkungan pengendapan dari waktu ke waktu. Selain itu, sisipan batugamping dalam formasi ini dapat mencerminkan adanya pengaruh lingkungan laut yang dalam.

2.3.7 Formasi Bulu

Formasi Bulu adalah salah satu unit geologi yang memiliki sebaran luas di antiklin Rembang Utara. Formasi ini terdiri dari batugamping berwarna putih yang seringkali berlapis kalkarenit, dan kadang-kadang mengandung sisipan napal dan batupasir. Formasi ini

terbentuk selama periode Miosen Tengah dan merupakan bagian integral dari sejarah geologi regional di wilayah tersebut.

Karakteristik Formasi Bulu, termasuk warnanya yang khas dan lapisan kalkarenit, mencerminkan kondisi lingkungan masa lalu yang unik. Keberadaan batugamping putih dengan lapisan kalkarenit mengindikasikan pengaruh lingkungan laut yang dalam atau berhubungan dengan proses pengendapan yang melibatkan endapan karbonat.

2.3.8 Formasi Wonocolo

Formasi ini tersusun oleh napal dan lempung yang tidak berlapis di bagian bawah, yang kemudian beralih menjadi batugamping pasir di bagian atasnya. Formasi Wonocolo ini terbentuk selama periode Miosen Tengah hingga Miosen Atas. Keberadaan napal dan lempung pada bagian bawah formasi ini mengindikasikan pengaruh lingkungan pengendapan yang mungkin terkait dengan perubahan lapisan dasar laut atau sedimentasi di lingkungan laut yang tenang.

Transisi ke batugamping pasir pada bagian atas Formasi Wonocolo mencerminkan perubahan lingkungan yang lebih aktif, yang mungkin terkait dengan naiknya permukaan laut atau pengaruh pengendapan transgresif. Batugamping pasir ini mencerminkan lingkungan terumbu karbonat atau terkait dengan pengendapan karbonat di wilayah paparan luar. Ketebalan Formasi Wonocolo yang mencapai sekitar 500 meter juga menunjukkan proses pengendapan yang signifikan selama periode Miosen. Hal ini bisa mencerminkan fluktuasi dalam kondisi lingkungan selama masa pengendapan formasi ini.

2.3.9 Formasi Ledok

Formasi Ledok adalah salah satu unit geologi yang memiliki *stratotype* (lokasi representatif) di antiklin Ledok Cepu, Jawa Tengah, Indonesia. Formasi ini memiliki karakteristik khusus yang menggambarkan sejarah pengendapan di wilayah tersebut selama periode geologi tertentu. Formasi Ledok tersusun oleh perselingan batupasir yang mengandung mineral glaukonitik, bersama dengan sisipan napal. Formasi ini terbentuk selama periode Akhir Miosen, yang menjadikannya bagian penting dari rekaman geologi regional.

Kehadiran glaukonit, yang sering kali merupakan mineral pelindung dan indikator pengendapan di lingkungan laut dalam, mengindikasikan bahwa pengendapan Formasi Ledok terjadi di lingkungan laut dalam atau mungkin juga terkait dengan perubahan dalam kondisi lingkungan laut selama periode Akhir Miosen. Lingkungan laut dalam ini dapat memiliki kondisi oksigen rendah dan aliran air yang tenang, yang memungkinkan pengendapan mineral seperti glaukonit. Sisipan napal dalam formasi ini juga memberikan wawasan tentang fluktuasi lingkungan yang terjadi selama periode ini.

2.3.10 Formasi Mundu

Formasi Mundu terdiri dari napal masif yang membentuk bagian utama dari formasi ini. Selama pengendapan, bagian atas Formasi Mundu mengalami perubahan menjadi batugamping pasir. Formasi Mundu memiliki sejarah pengendapan yang berlangsung selama periode Miosen Akhir hingga Pliosen. Perubahan lingkungan laut saat itu tampaknya memberikan pengaruh pada sifat dan komposisi sedimen dalam formasi ini. Keberadaan napal masif dalam formasi ini menunjukkan bahwa pengendapan Formasi Mundu terjadi di lingkungan laut dalam. Lingkungan laut dalam tersebut mungkin

memiliki kondisi oksigen rendah dan sedimen yang tenang, yang mendukung pembentukan napal.

Sementara itu, perubahan menjadi batugamping pasiran pada bagian atas formasi mencerminkan kemungkinan adanya perubahan lingkungan selama periode Akhir Miosen hingga Pliosen. Perubahan ini mungkin melibatkan perubahan dalam aliran air, kedalaman laut, atau faktor-faktor lingkungan lainnya. Keberadaan batugamping pasiran juga dapat memberikan petunjuk tentang kondisi lingkungan saat itu, mungkin menunjukkan zona paparan yang lebih dangkal atau perubahan geologi di wilayah tersebut. Ketebalan keseluruhan Formasi Mundu berkisar sekitar 700 meter, yang mencerminkan proses pengendapan yang berlangsung selama jutaan tahun.

2.3.11 Formasi Selorejo

Formasi Selorejo tersusun dari sejumlah lapisan batugamping, termasuk batugamping napalan dan batugamping pasiran. Formasi ini dianggap sebagai Anggota Formasi Mundu yang merupakan formasi geologi yang signifikan di wilayah tersebut. Formasi Selorejo terungkap dengan baik di sepanjang Sungai Gadu dan berusia antara Pliosen Tengah hingga Akhir.

2.3.12 Formasi Lidah

Formasi ini terdiri dari lapisan batulempung hitam dan napal yang berlapis, yang secara periodik diselingi oleh lapisan batupasir. Formasi ini memiliki rentang usia dari Plio-Plistosen, yang mencakup periode waktu yang signifikan dalam sejarah geologi bumi.

2.3.13 Formasi Paciran

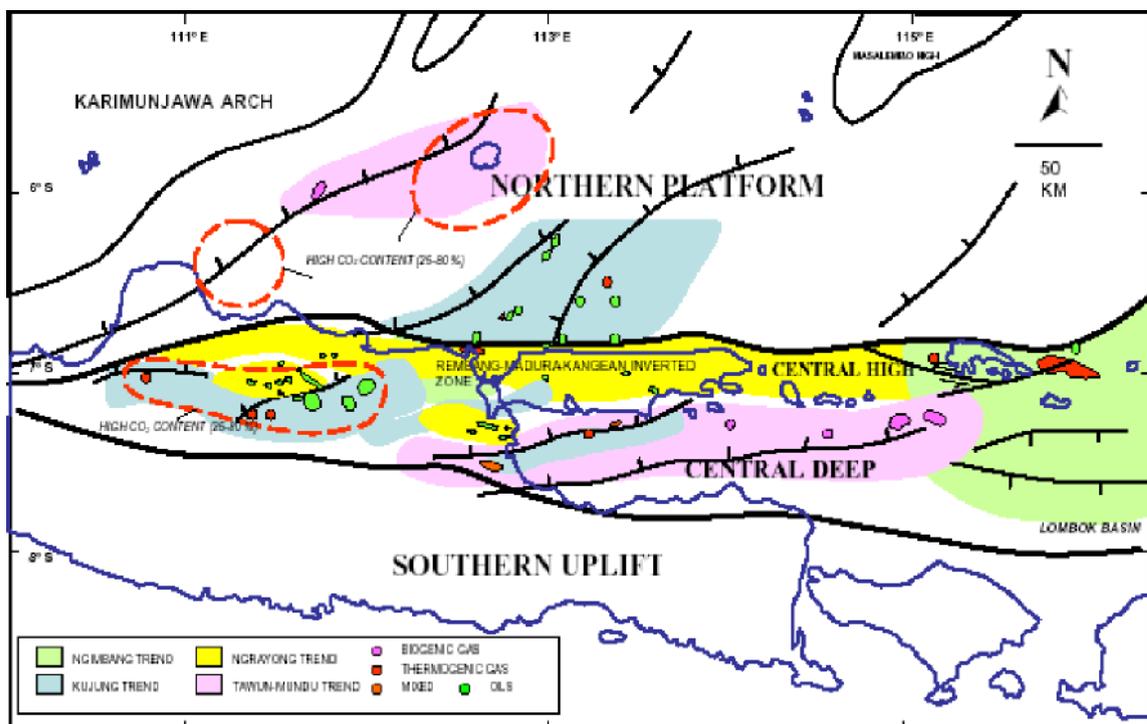
Formasi Paciran tersusun oleh batugamping masif, dan sebagian besar merupakan batugamping terumbu. Terdapat sebaran yang signifikan di utara Zona Rembang, yang meliputi wilayah Tuban, Lamongan,

dan Gresik. Formasi Paciran memiliki usia berkisar antara Pliosen hingga Awal Pleistosen, yang mencakup rentang waktu penting dalam perkembangan geologi regional.

Batugamping terumbu dalam Formasi Paciran mengandung informasi berharga tentang sejarah pembentukan terumbu karang dan perubahan lingkungan laut selama periode tersebut. Kondisi dan iklim laut serta dinamika geologi yang memengaruhi pengendapan batugamping dapat dipahami melalui analisis Formasi Paciran.

2.4 Struktur Geologi

Cekungan Jawa Timur Utara diduga terbentuk pada salah satu lempeng mikrokontinen, yaitu Lempeng Argo, yang menyusun Jawa Timur hingga Sulawesi Barat (Hall, 2012; Husein dan Nukman, 2015).

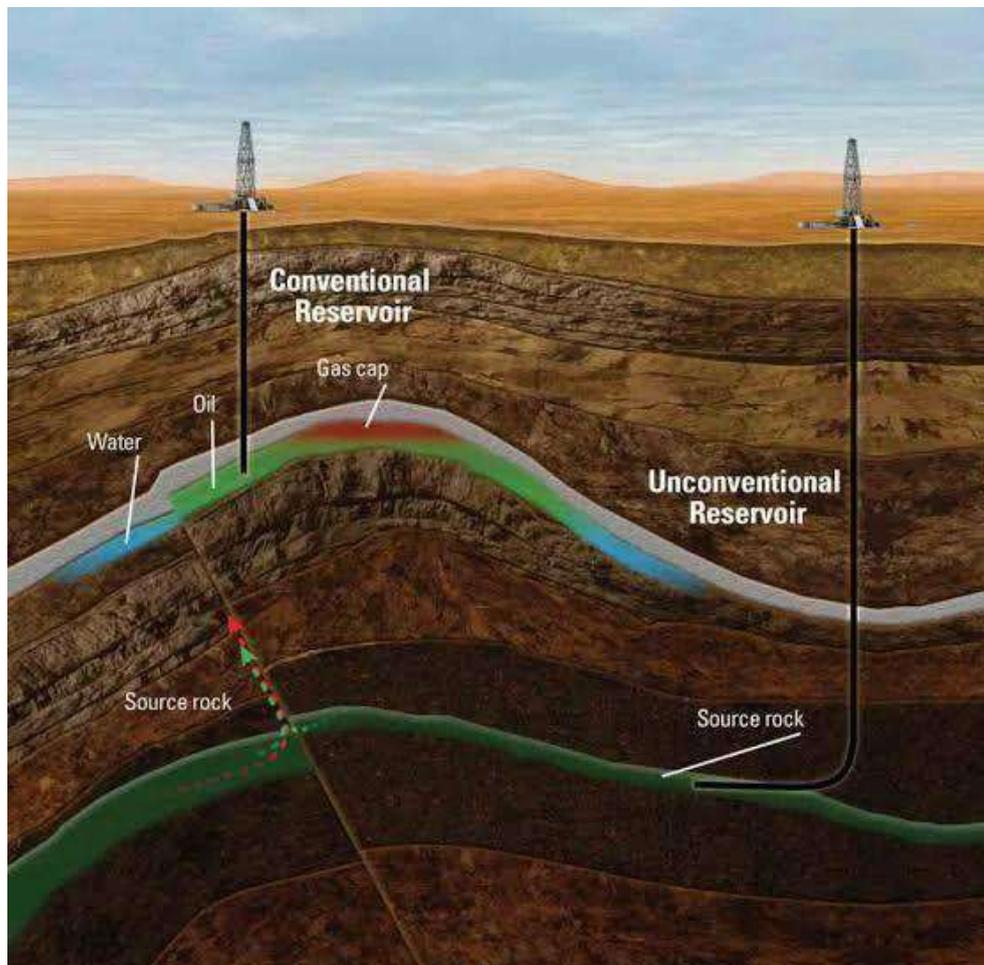


Gambar 4. Struktur Cekungan Jawa Timur Utara (Satyana dan Purwaningsih, 2003).

Cekungan Jawa Timur Utara terbentuk pada Kala Eosen, sebagai cekungan belakang busur (*back-arc basin*) pada tataan tepian benua aktif (*active margin*) (Hall dan Morley, 2004), meskipun Husein dan Nukman (2015) menginterpretasikan bila pembentukan cekungan ini lebih kepada tipe tepian benua pasif (*passive margin*). Sedimen awal pengisi cekungan adalah bersumber dari daratan (*terrigenous sediments*) pada saat peregangan cekungan (*basin rifting*), sebelum kemudian berubah menjadi lingkungan laut pada akhir Eosen. Struktur pengontrol peregangan berarah Timur Laut - Barat daya, yang mencerminkan pola struktur batuan dasar (Hamilton, 1979) dan pola regangan Selat Makassar (Hall, 2012).

Novian dkk. (2014) mengusulkan hipotesis bahwa evolusi Cekungan Jawa Timur Utara sangat dipengaruhi oleh dinamika subduksi Lempeng Samudera Hindia. Hipotesis ini menguraikan serangkaian peristiwa geologis yang terjadi dalam evolusi wilayah ini. Inisiasi penunjaman Kenozoikum di selatan *Sundaland* menjadi awal dari pembentukan Cekungan Jawa Timur Utara, yang segera diikuti oleh peristiwa orogenesis Tuban (*Tuban Event*) pada akhir Miosen Awal. Peristiwa ini dipicu oleh patahan dalam lempeng samudera berumur Albian-Turonian dan masuknya slab berumur Oxfordian-Albian, yang mengangkat Pulau Jawa dan membentuk pegunungan. Vulkanisme modern dan gaya *shearing* yang terkait dengan subduksi slab Oxfordian-Albian memainkan peran penting dalam perkembangan wilayah ini. Pliosen Tengah menandai peristiwa inversi Cekungan Jawa Timur Utara, yang didorong oleh dinamika kompleks dalam lempeng wilayah tersebut.

2.5 Petroleum System



Gambar 5. *Petroleum System* Konvensional dan Nonkonvensional (Schlumberger, 2014).

2.5.1 *Petroleum System* Konvensional

a. **Batuan Induk** (*Source Rock*)

Batuan induk atau batuan sumber (*source rock*) adalah jenis batuan yang mengandung jumlah material organik yang melimpah. Batuan ini memiliki potensi untuk menghasilkan gas atau minyak jika mengalami pemanasan yang cukup. *Source rock* umumnya berupa *shale* atau *limestone* dengan kandungan *Total Organic Carbon* (TOC) berkisar antara 0,5-1%. Devi, dkk., (2018)

menyatakan bahwa di Cekungan Jawa Timur Utara, *source rock* terbentuk dari *shale* pada Formasi Ngimbang pada periode Eosen, dan menyatakan bahwa minyak yang ditemukan di Cekungan Jawa Timur Utara berasal dari formasi tersebut.

Sementara itu, menurut Pradono dan Rakasiwi (2018), material *source rock* di Cekungan Jawa Timur Utara terbentuk dari Formasi Ngimbang yang berada pada pertengahan periode Eosen. Formasi ini terdiri atas batupasir, batulanau, batukapur, *shale*, dan batu bara. Semua komponen tersebut merupakan potensi sumber material organik yang dapat berkontribusi dalam pembentukan minyak dan gas bumi di daerah Cekungan Jawa Timur Utara.

b. Batuan Reservoir

Koesoemadinata (1980) menyatakan bahwa karakteristik *reservoir* yang baik adalah memiliki porositas antara 10-30% dan permeabilitas antara 50 hingga 500 mD. Hal ini disebabkan karena ukuran pori berpengaruh pada kapasitas menyimpan fluida di dalam *reservoir*. Di Cekungan Jawa Timur Utara, terdapat serangkaian pasang surut yang menyediakan lokasi bagi terumbu karang untuk membentuk waduk. Batupasir dan batugamping dari Formasi Ngimbang, batupasir dan batugamping dari Formasi Kujung, batupasir dari Formasi Tawun, serta batupasir dan batugamping dari Formasi Ngrayong merupakan beberapa contoh batuan yang berperan sebagai *reservoir* di wilayah tersebut.

c. Batuan Tudung (Seal Rock)

Batuan *seal*, yang juga dikenal sebagai batuan tudung, merupakan unsur kunci dalam sistem penumpukan hidrokarbon yang ada dalam cekungan geologi. Karakteristik utamanya adalah ketidakpermeabelan, yang berarti batuan ini tidak memungkinkan pergerakan hidrokarbon melalui pori-pori atau rekahan batuan. Ini memainkan peran penting dalam menjaga migrasi hidrokarbon

yang telah terjadi di bawah permukaan bumi agar tidak terlepas atau tersebar, sehingga terakumulasi dalam jumlah yang komersial. Umumnya, batuan *seal* terdiri dari *shale* atau *tight limestone*. Di Cekungan Jawa Timur, batuan seal terdiri dari *shale* yang berasal dari Formasi Tuban, Formasi Wonocolo, dan Formasi Ngimbang.

d. Migrasi

Migrasi merupakan salah satu aspek penting dalam sistem petroleum yang melibatkan perpindahan hidrokarbon dari batuan sumber (*source rock*) menuju dan terakumulasi di batuan *reservoir*. Menurut Fatahillah dkk., (2016), di Cekungan Jawa Timur Utara, proses migrasi dimulai dari Formasi Ngimbang dan Formasi Kujung pada periode Oligosen Awal hingga Miosen Awal, dan berlanjut hingga saat ini. Proses migrasi inilah yang memungkinkan terjadinya akumulasi hidrokarbon di Formasi Ngrayong yang baru terbentuk pada Miosen Tengah.

Proses migrasi ini didukung oleh kondisi bahwa Formasi Ngrayong dan Formasi Kujung memiliki sistem zona berpori yang baik serta adanya patahan-patahan yang memfasilitasi pergerakan hidrokarbon. Kehadiran zona pori yang baik dan adanya patahan menjadi faktor penting yang mendorong migrasi hidrokarbon di Cekungan Jawa Timur Utara.

e. Perangkap (*Trap*)

Menurut (Bintarto dkk, 2020), konsep jebakan atau *trap* dalam geologi minyak dan gas bumi merujuk pada sekelompok fitur atau struktur lapisan bawah permukaan yang memiliki potensi untuk menyimpan hidrokarbon. Trap terdiri dari dua komponen utama: *reservoir*, yang merupakan lapisan batuan yang mengandung hidrokarbon, dan *seal*, yang adalah batuan yang tidak permeabel

dan menghambat pergerakan hidrokarbon ke atas permukaan. Di Cekungan Jawa Timur Utara, trap umumnya berupa formasi karbonat yang terbentuk melalui proses *build up* dan menjadi lebih dominan. *Trap-trap* ini terbentuk pada periode Oligosen Akhir hingga Miosen Awal dan kebanyakan adalah trap struktural berupa antiklin yang terbentuk akibat inversi sesar.

2.5.2 *Petroleum System Nonkonvensional*

Hidrokarbon nonkonvensional merujuk pada jenis hidrokarbon yang menghasilkan sumber daya seperti *shale oil* (minyak shale) atau *tight oil*, *shale gas* (*gas shale*) atau *tight gas*, serta CMG (*Coalbed Methane Gas*) atau gas yang dihasilkan dari lapisan batubara (Zendejboudi dan Bahadori, 2017a dan 2017b). Hidrokarbon ini umumnya terakumulasi di *reservoir* yang kualitasnya sangat buruk karena berada dalam batuan seperti *shale*, atau di sekitarnya yang memiliki pori yang tidak saling berhubungan, sehingga permeabilitasnya sangat rendah (Katz dkk., 2021).

Sistem petroleum nonkonvensional juga unik karena seluruh sistemnya terkandung langsung di dalam batuan induk yang kaya akan material organik. Ada tiga model yang menjelaskan hubungan antara *reservoir* dan batuan sumber (*source rock*) dalam proses migrasi hidrokarbon:

a. **Model Masif**

Model ini menggambarkan situasi di mana hidrokarbon tertahan secara masif di dalam batuan induk (*source rock*). Dalam kondisi ini, migrasi hidrokarbon terjadi hanya melalui pergerakan tetesan hidrokarbon dari pinggiran atau area *margin* batuan sumber. Hidrokarbon yang terperangkap di *reservoir* tidak terhubung dengan batuan sumber secara langsung. Model masif menciptakan tantangan bagi migrasi hidrokarbon karena hidrokarbon harus bergerak melalui batuan sumber yang tidak terlalu permeabel.

b. Model Sandwich

Dalam model ini, reservoir terletak di antara dua lapisan batuan sumber (*source rock*) yang berkembang dengan baik. Lapisan batuan sumber di atas dan di bawah *reservoir* berkontribusi secara signifikan pada penyediaan hidrokarbon ke dalam *reservoir*. Hidrokarbon yang dihasilkan oleh batuan sumber di atas dan di bawah *reservoir* dapat bergerak secara vertikal ke *reservoir* dan terperangkap di dalamnya. Model *sandwich* cenderung menciptakan potensi migrasi yang lebih efisien karena terdapat dua jalur migrasi yang mungkin.

c. Model Tumpang Tindih

Model tumpang tindih mencirikan situasi di mana *reservoir* dan batuan sumber memiliki hubungan yang lebih dekat, bahkan saling tumpang tindih. Dalam kondisi ini, *reservoir* dan batuan sumber saling bersentuhan atau hampir bersentuhan secara lateral. Hal ini memungkinkan hidrokarbon untuk bermigrasi lebih mudah dari batuan sumber ke *reservoir* karena jarak migrasi lebih pendek. Model tumpang tindih biasanya menyediakan jalur migrasi yang efisien dan dapat mendukung akumulasi hidrokarbon yang signifikan di *reservoir*.

III. TEORI DASAR

3.1 Data Log

3.1.1 *Gamma Ray Log (Log GR)*

Gamma Ray Log (Log GR) merupakan log hasil perekaman radioaktivitas alami bumi. Radioaktivitas sinar gamma berasal dari unsur radioaktif yang ada dalam batuan yaitu Uranium-U, Thorium-Th, dan Potasium-K, yang secara kontinu memancarkan sinar gamma dalam bentuk pulsa-pulsa energi beradiasi tinggi (Harsono, 1997). Log GR merekam dan mengukur tingkat radioaktivitas ini dalam satuan API (*American Petroleum Institute*) per satuan panjang. Data yang dihasilkan dalam Log GR memberikan indikasi sejauh mana batuan dalam formasi bersifat radioaktif. Data dari log gamma ray digunakan untuk mengidentifikasi jenis batuan, menentukan litologi (karakteristik batuan), dan memetakan perubahan litologi dalam sumur bor.

3.1.2 **Log Densitas**

Log densitas didapat dari hasil pengukuran alat lito-densitas *atau Lito-Density Tool (LDT)*. Alat LDT mengirimkan pulsa-pulsa dari rangkaian elektronik sumbu panjang (LS) dan sumbu pendek (SS). Log densitas berguna dalam melakukan pengukuran batuan di sepanjang lubang bor. Log densitas memiliki prinsip kerja alat yaitu dengan emisi sumber radioaktif, dimana alat dari pengukuran log densitas (LTD) dirancang untuk memberikan tanggapan terhadap Gejala Fotolistrik dan Hamburan *Compton*. Sehingga semakin padat batuan maka semakin sulit sinar radioaktif tersebut teremisi maka semakin sedikit emisi radioaktif terhitung oleh penerima (*counter*). Pada suatu batuan,

densitas yang diukur adalah densitas keseluruhan dari matriks batuan dan fluida yang terdapat pada pori (Harsono, 1997). Dari data yang diperoleh, log densitas dapat memberikan informasi tentang jenis batuan yang dilalui oleh sumur bor, menghitung densitas batuan dalam unit gram per sentimeter kubik (g/cm^3), menentukan porositas batuan, dan memetakan perubahan litologi di dalam sumur bor.

3.1.3 Log Porositas Neutron

Log porositas neutron adalah salah satu alat geofisika yang digunakan untuk mengukur indeks hidrogen yang terdapat dalam formasi batuan di dalam sumur bor. Indeks hidrogen di sini didefinisikan sebagai rasio dari konsentrasi atom hidrogen per unit *volume* batuan terhadap kandungan air murni. Dalam hal ini, log porositas neutron tidak mengukur porositas sebenarnya dari batuan, tetapi lebih kepada mengukur kandungan hidrogen yang terdapat di dalam pori-pori batuan. Semakin berpori batuan maka semakin banyak kandungan hidrogen dan semakin tinggi indeks hidrogen. Sehingga, *shale* yang banyak mengandung hidrogen dapat ditafsirkan memiliki porositas yang tinggi pula (Harsono, 1997).

3.1.4 Log Resistivitas

Log resistivitas adalah log hasil pengukuran resistivitas batuan pada sumur bor. Alat yang digunakan pada pengukuran resistivitas terbagi menjadi dua yaitu laterolog dan induksi. Alat laterolog berfungsi untuk mengukur resistivitas batuan, biasanya digunakan jika fluida pemboran bersifat konduktif (*water base mud*). Sedangkan alat induksi mengukur konduktivitas batuan, biasanya digunakan pada fluida pemboran yang tidak konduktif (*oil base mud*) (Harsono, 1997).

Log resistivitas bekerja dengan mengirimkan sinyal listrik dari alat pengukuran di dalam sumur bor ke batuan di sekitarnya. Kemudian, log ini mengukur resistivitas batuan berdasarkan sejauh mana sinyal listrik

tersebut terpengaruh oleh konduktivitas batuan. Dengan demikian, log resistivitas memberikan informasi tentang tipe batuan, komposisi batuan, dan sifat konduktivitasnya.

Informasi yang diperoleh dari log resistivitas sangat penting dalam mengevaluasi potensi *reservoir* hidrokarbon. Batuan yang memiliki resistivitas tinggi cenderung lebih baik sebagai *reservoir* hidrokarbon, sedangkan batuan yang memiliki resistivitas rendah dapat menjadi lapisan batuan penghalang (*seal*) atau batuan pembawa minyak dan gas.

3.1.5 Log Sonik

Log sonik berfungsi untuk mendapatkan harga porositas dari batuan dengan memancarkan gelombang suara dari *transmitter* dan akan diterima oleh *receiver*. Harga porositas akan berbanding terbalik terhadap waktu rambat gelombang suara tersebut. Prinsip kerja dari log sonik adalah dengan menggunakan gelombang suara yang dikirimkan oleh pemancar (*transmitter*) kemudian dihitung selang waktu rambatan (Δt) yang sampai pada alat penerima (*receiver*). *Interval transit time* (Δt) adalah waktu yang dibutuhkan oleh gelombang suara kompresional untuk melewati atau menembus kedalaman 1 kaki dari formasi yang ditembusnya, berbanding terbalik dengan kecepatannya, dan tergantung pada porositas dan karakteristik litologi suatu formasi (Harsono, 1997). Data yang dihasilkan dari pengukuran ini digunakan untuk memperkirakan litologi, mengukur porositas, mengidentifikasi lapisan batuan, dan mengevaluasi integritas sumur.

3.2 Parameter Petrofisika pada *Reservoir* Nonkonvensional

Dalam pemahaman *reservoir* nonkonvensional, konsep dasarnya, seperti yang disarankan oleh Baker (1981) *reservoir* nonkonvensional didefinisikan sebagai wilayah *reservoir* yang memiliki sifat-sifat yang menghambat penerapan praktik-praktik konvensional. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi penentuan wilayah-wilayah ini adalah

permeabilitas. Dalam kasus ini, nilai-nilai kritis yang digunakan adalah permeabilitas $<0,1$ mD untuk gas dan <1 mD untuk minyak. Nilai-nilai permeabilitas ini menunjukkan tingkat ketidakpermeabelan batuan, yang membuat aliran hidrokarbon secara konvensional menjadi sangat sulit atau bahkan tidak mungkin. Dengan demikian, permeabilitas menjadi salah satu parameter utama dalam mengklasifikasikan *reservoir* sebagai nonkonvensional, dan sifat-sifat ini memiliki implikasi signifikan dalam pengembangan dan produksi sumber daya hidrokarbon dari *reservoir* tersebut.

Permeabilitas, menurut penjelasan Asquith dan Krygowski (2004), adalah sifat suatu batuan yang menggambarkan kemampuannya dalam mengalirkan fluida. Permeabilitas diukur dalam satuan milidarcy (mD) dan menjadi parameter penting dalam mengevaluasi potensi suatu *reservoir*. Hubungan antara porositas efektif dan permeabilitas tidak selalu linier; artinya, semakin tinggi porositas efektif, semakin besar kemampuan batuan untuk mengalirkan fluida. Permeabilitas ini dipengaruhi oleh faktor seperti ukuran pori yang saling terhubung dalam batuan dan digambarkan dengan simbol K. Terkadang, dalam literatur, juga digunakan satuan darcy untuk mengukur permeabilitas. Satuan darcy sendiri didefinisikan sebagai kemampuan suatu batuan untuk mengalirkan fluida dengan viskositas 1cc pada laju alir 1 cc/detik pada luas penampang 1cm^2 dengan penurunan tekanan sebesar 1 atm/cm. Dengan kata lain, permeabilitas menjadi indikator penting dalam menilai sejauh mana suatu batuan dapat mengizinkan aliran fluida, dan informasi ini menjadi sangat relevan dalam ilmu geologi dan eksplorasi sumber daya alam.

Timur (1968) merumuskan formula empiris untuk menghitung nilai permeabilitas yang didistribusikan berdasarkan data log, yang dapat dirinci sebagai berikut;

$$K = 8581 \frac{\emptyset}{S_{wi}^2} \quad (1)$$

Dengan :

K = Permeabilitas (mD)

\emptyset = Porostas (%)

S_{wi} = Saturasi air inisial

Tabel 1. Klasifikasi Nilai Permeabilitas Batuan (Rider, 2002).

Nilai Permeabilitas (mD)	Deskripsi Kualitatif
<10.5	Sangat Buruk
11-15	Buruk
15-50	Sedang
50-250	Baik
250-1000	Sangat Baik
>1000	Excellent

Permeabilitas batuan dipengaruhi oleh berbagai faktor. Ukuran dan bentuk pori juga memengaruhi aliran fluida; pori yang lebih besar dan lebih terbuka memiliki permeabilitas yang lebih tinggi. Morfologi permukaan pori bagian dalam, susunan pori dan batang pori, serta topologi jaringan pori juga berdampak signifikan. Selain itu, ukuran butir dan distribusi butir dalam batuan, serta proses kompaksi dan sementasi, semuanya memainkan peran dalam menentukan permeabilitas batuan.

3.3 Konsep Dasar Metode Seismik

Metode seismik adalah metode eksplorasi geofisika yang menggunakan prinsip penjalaran gelombang untuk penyelidikan di bawah permukaan bumi. Dalam proses penjalarannya, gelombang seismik mempunyai kecepatan rambat gelombang yang dipengaruhi oleh sifat elastisitas batuan. Setiap batuan yang tersusun dari kerak bumi mempunyai rapat massa yang berbeda berdasarkan komposisi susunannya. Perambatan gelombang

merupakan efek adanya gangguan dari sumber gelombang yang menyebabkan terjadinya pergeseran ataupun peregangan partikel penyusun *medium*. Sumber gelombang seismik ini dapat terbentuk dari proses alamiah oleh getaran bumi ataupun dengan menimbulkan sumber gelombang buatan (Haq, 2009).

Adapun seismik refleksi datang dari perbedaan properti akustik dari dua bidang. Sumber gelombang pada permukaan bumi melepaskan energi ke dalam bumi dalam bentuk energi akustik dan dirambatkan ke segala arah. Apabila dalam perambatannya gelombang mengenai bidang batas antara dua medium yang memiliki kontras impedansi akustik, maka sebagian energi akan dipantulkan kembali ke permukaan dan sebagian ditransmisikan. Pantulan gelombang inilah yang direkam pada permukaan tanah menggunakan alat yang dinamakan *geophone* (akuisisi di darat) atau *hydrophone* (akuisisi di laut). Gelombang yang dipantulkan dari sumber gelombang akan diteruskan ke *transmitter* untuk direkam, dimana hasil perekaman akan menjadi suatu penampang. Data yang direkam ini ialah waktu tempuh gelombang pantul, yang akan memberikan informasi kecepatan rambat gelombang pada lapisan batuan tersebut. Selain hal tersebut variabel lain yang dapat dimanfaatkan ialah amplitudo, frekuensi dan fasa gelombang. Kontras impedansi akustik pada umumnya terjadi pada batas antara dua lapisan batuan, maka secara tidak langsung gelombang seismik membawa informasi tentang struktur batuan bawah permukaan bumi (Cordsen dan Pierce, 2000).

3.4 Prinsip Penjalaran Gelombang Seismik

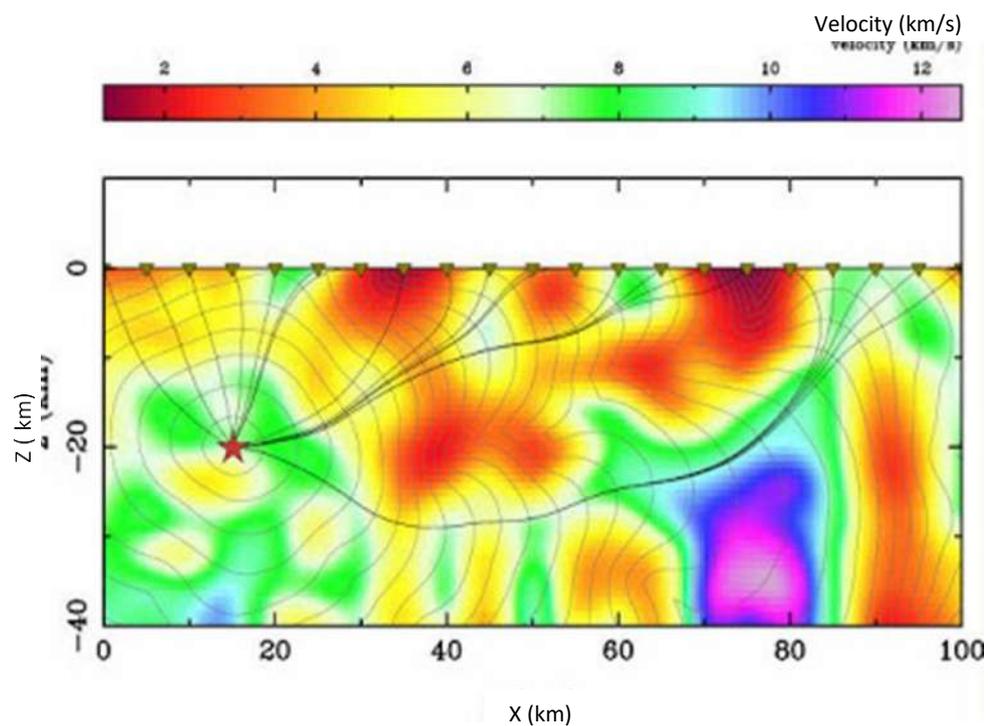
3.4.1 Prinsip Huygens

Prinsip Huygens merupakan pembuktian dari hukum refleksi dan refraksi menggunakan metode geometri yang diusulkan oleh Huygens pada tahun 1678. Melalui prinsip difraksi dari Huygens ini, dapat diprediksi dimana muka gelombang yang diberikan akan berada pada waktu berapapun di masa yang akan datang jika diketahui posisi dari

muka gelombang tersebut sekarang. Prinsip yang dikemukakannya mengasumsikan bahwa setiap titik di sepanjang muka gelombang dapat dianggap sebagai titik sumber untuk menghasilkan lingkaran gelombang yang baru adalah tangen permukaan dari lingkaran-lingkaran gelombang yang kedua ini (Vandergriff, 2008).

3.4.2 Prinsip *Fermat*

Prinsip Fermat, yang pertama kali dirumuskan oleh Pierre de Fermat, mengilustrasikan bahwa gelombang akan mengikuti jalur tercepat saat merambat dari satu titik ke titik lain. Jalur tercepat yang dimaksud di sini adalah jalur yang memakan waktu minimum, bukan jalur terpendek dalam arti jarak fisik. Prinsip ini menyoroti pentingnya waktu sebagai faktor kunci dalam perjalanan gelombang.



Gambar 6. Prinsip *Fermat* (Abdullah, 2011).

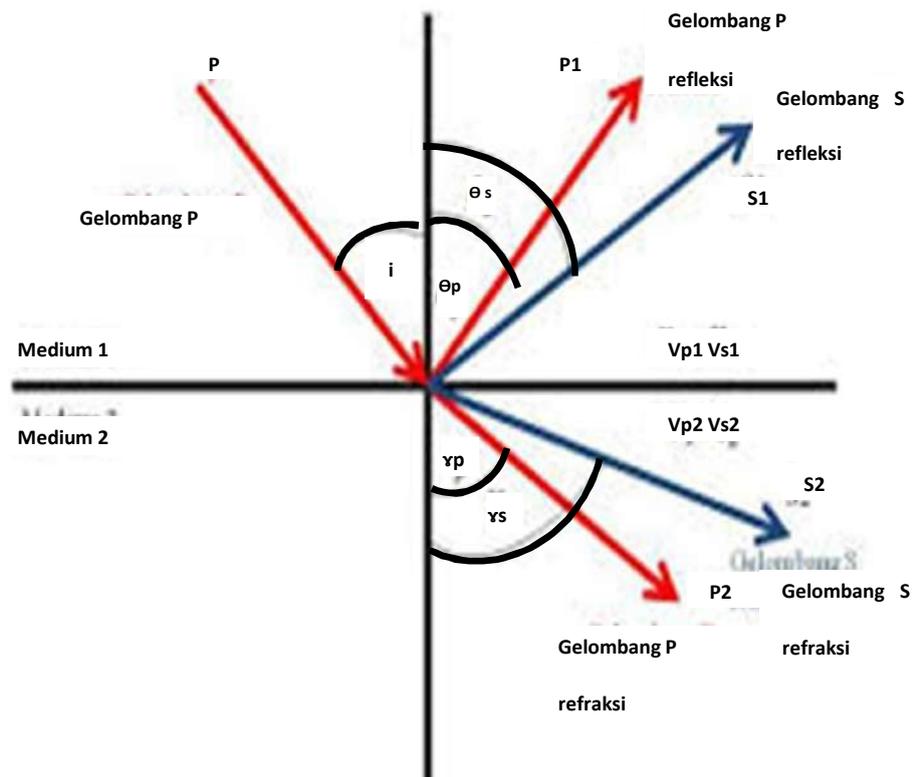
Prinsip Fermat menjadi dasar dalam menjelaskan perilaku penjalaran gelombang di berbagai medium, terutama di lingkungan dengan variasi kecepatan gelombang seismik yang signifikan. Ketika gelombang

seismik merambat melalui medium dengan perubahan kecepatan, prinsip ini memprediksi bahwa gelombang akan mengambil jalur yang membutuhkan waktu minimum untuk mencapai tujuan, bukan jalur terpendek dalam arti jarak fisik. Sebagai hasilnya, gelombang cenderung melewati zona-zona dengan kecepatan tinggi untuk mencapai tujuannya, menghindari zona-zona dengan kecepatan rendah yang akan membuatnya memerlukan lebih banyak waktu. **Gambar 6.** menunjukkan Prinsip *Fermat* tentang penjalaran gelombang (Abdullah, 2011).

3.4.3 Prinsip *Snellius*

Prinsip *Snellius* menyatakan bahwa ketika gelombang seismik melewati lapisan batuan dengan nilai impedansi akustik (AI) yang berbeda dari lapisan batuan yang dilewati sebelumnya, maka gelombang tersebut akan terbagi. Gelombang tersebut sebagian akan direfleksikan kembali ke permukaan dan sebagian lagi akan diteruskan merambat di bawah permukaan. Penjalaran gelombang seismik ini berdasarkan Hukum *Snellius* yang dikembangkan dari Prinsip *Huygens*. Prinsip *Huygens* menjelaskan bahwa sudut pantul dan sudut bias adalah fungsi dari sudut datang dan kecepatan gelombang. Gelombang *P* yang datang akan mengenai permukaan bidang batas antara dua medium berbeda dan akan menimbulkan gelombang refraksi dan gelombang refleksi (Hutabarat, 2009).

Sebagian energi gelombang dipantulkan sebagai gelombang *P* dan gelombang *S*, dan sebagian lagi diteruskan sebagai gelombang *P* dan gelombang *S* dibandingkan gelombang seismik yang lainnya dan pertama kali sampai pada setiap *station* pengukuran seismik, dimana jenis gelombang berikutnya yang datang ini akan dinamakan gelombang *S* atau gelombang sekunder (Hutabarat, 2009).



Gambar 7. Prinsip *Snellius* pada Perambatan Gelombang (Elnashai, 2008).

3.5 Interpretasi Data Seismik

Dalam proses interpretasi data seismik terdapat beberapa tahapan yang dilakukan seperti mengidentifikasi fitur-fitur geologi, mengkonversi data serta pembuatan model. Salah satu tahapan yang penting untuk dilakukan adalah proses konversi data atau disebut dengan *Time to Depth Conversion*. Tahap ini dilakukan dengan mengonversi data geofisika yang diukur dalam domain waktu menjadi domain kedalaman. Langkah ini dilakukan dalam pemrosesan data seismik untuk menghasilkan gambaran yang lebih akurat mengenai bawah permukaan. Proses *Time to Depth Conversion* melibatkan penggunaan model kecepatan gelombang yang diperoleh melalui tahap *Velocity Modelling*. Pada penelitian ini digunakan *average velocity* yang mengacu pada kecepatan rata-rata gelombang seismik dalam seluruh interval yang ditempuh oleh gelombang tersebut.

Dalam pengaplikasian *velocity modeling*, *Average Velocity* didefinisikan dengan:

$$Average\ Velocity = \frac{Depth}{\left(\frac{Two - Way\ Travel\ Time}{2000}\right)} \quad (2)$$

Kecepatan gelombang seismik pada *shale* dapat menunjukkan variasi yang sangat tergantung pada komposisi mineral, porositas, saturasi air, dan kondisi geologi lokal di suatu daerah. Berdasarkan beberapa referensi, terdapat kisaran estimasi kecepatan gelombang seismik pada *shale* sebagai berikut:

Tabel 2. Kecepatan *Shale*.

	Shale Velocity	
	Dry Shale (km/s)	Wet Shale (km/s)
Sheriff dan Geldart (1995)	2.5 – 3.0	2.0 – 2.5
Mavko, dkk. (2009)	2.5 – 3.0	2.0 – 2.5
Castagna, dkk. (1993)	3.0 – 3.5	2.5 – 3.0
Avseth, dkk. (2005)	3.0 – 3.5	2.0 – 2.5

Namun, perlu ditekankan bahwa nilai-nilai di atas hanyalah estimasi kasar dan dapat mengalami variasi signifikan tergantung pada lingkungan geologis dan kondisi batuan *shale* di suatu wilayah. Faktor-faktor seperti mineralogi, porositas, saturasi air, dan variabel lainnya dapat memengaruhi kecepatan gelombang seismik pada *shale*.

IV. METODE PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian Tugas Akhir dilaksanakan pada tanggal 9 Januari 2023 hingga 9 Maret 2023 di Pusat Survei Geologi, Bandung, Jawa Barat.

Tabel 3. Jadwal Kegiatan Penelitian.

No	Kegiatan	Bulan										
		Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November
1	Studi Literatur											
2	Penyusunan Proposal Penelitian											
3	Presentasi Proposal Penelitian											
4	Persiapan dan Pengumpulan Data											
5	Pengolahan Data											
6	Analisis dan Interpretasi											
7	Penyusunan Laporan											
8	Presentasi Hasil											
9	Sidang Komprehensif											

4.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun perangkat lunak yang digunakan pada Tugas Akhir Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Interactive Petrophysics (3.5)
2. HampsonRussell (10.3.2)
3. Petrel (2017 dan 2018)
4. Microsoft Excel

4.3 Tahap Pengerjaan

Adapun tahap-tahap pengerjaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

4.3.1 Pengolahan Data Sumur

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan literatur atau referensi yang berkaitan dengan topik penelitian. Tahap ini dilakukan selama penelitian berlangsung.

b. Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data penelitian yang akan digunakan yaitu data sumur, data seismik, data marker serta data checkshot. Adapun data sumur yang digunakan yaitu sebanyak 3 sumur yang tersebar di Cekungan Jawa Timur Utara, yaitu Sumur SF-1, Sumur SF-2, dan Sumur SF-3.

c. Input Data

Dilakukan dengan menginput data sumur seperti log gamma ray, densitas, dan p-wave, data seismik, data marker serta data checkshot. Tahap ini pertama dilakukan pada *software* HampsonRussell dengan klik pada bagian *project data* lalu dilakukan pemilihan *well*, kemudian klik *import* dan memilih data yang akan digunakan pada folder penyimpanan. Lalu dapat klik *advanced option* untuk melakukan penyesuaian parameter data. Input Data dilakukan sebanyak 3 kali, yaitu untuk Sumur SF-1, Sumur SF-2, dan Sumur SF-3.

d. Analisis Permeabilitas

Tahap pengolahan mencakup analisis petrofisika untuk menghitung permeabilitas (K). Perhitungan dilakukan pada *software* Interactive Petrophysics. Hasil perhitungan kemudian dianalisis dengan mengacu pada literatur ilmiah untuk mengevaluasi potensi Cekungan Jawa Timur Utara sebagai reservoir nonkonvensional.

e. Checkshot Correction

Checkshot correction dilakukan terhadap data p-wave untuk merubah domain *depth* menjadi domain *time* atau untuk memposisikan *well* pada posisi yang sebenarnya. Tahap ini dapat dilakukan klik menu well lalu klik Option dan klik *checkshot correction*, lalu pilih log p-wave yang akan digunakan pada kolom *corrected sonic log* dan pilih data checkshot yang digunakan pada kolom *using checkshot* lalu klik OK. Lalu dari hasil checkshot, dilakukan pembuatan p-impedance dari data log p-wave yang telah dikoreksi dan dilakukan analisis *crossplot* terhadap log gamma ray dengan log p-impedance yang baru.

f. Ekstraksi Wavelet

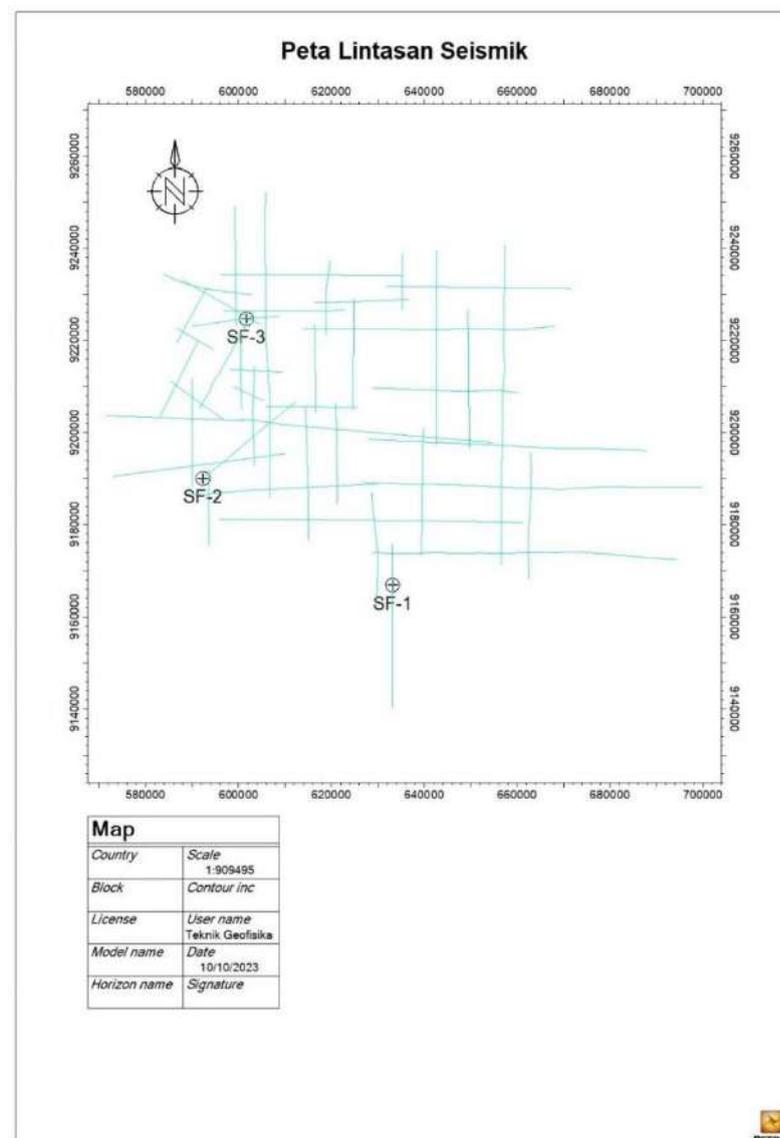
Ekstraksi *wavelet* adalah tahap yang dilakukan untuk mendapatkan fungsi *wavelet* yang mempresentasikan karakteristik gelombang seismik yang terkandung dalam data yang digunakan. Tahap ini dilakukan pada *software* HampsonRussell dengan beberapa metode seperti *statistical*, *ricker* dan *well*. Kemudian dapat dilakukan pengaturan parameter seperti *trace range*, *time window wavelet length* dan lain-lain.

g. Well to Seismic Tie

Well to Seismic Tie adalah tahap membandingkan data seismik dengan data sumur untuk memastikan konsistensi dan kesesuaian anatara kedua data. Tujuan dari dilakukannya tahap ini adalah untuk mengaitkan atau menghubungkan informasi dari data sumur dengan seismik, dilakukan pada *software* HampsonRussell. Untuk mengetahui apakah proses korelasi data yang dilakukan baik atau tidak dapat dilihat dari nilai *current correlation* dan *time shift* yang tertera. Rentang nilainya dapat negatif hingga bernilai 1, semakin mendekati 1 maka semakin baik.

4.3.2 Pengolahan Data Seismik

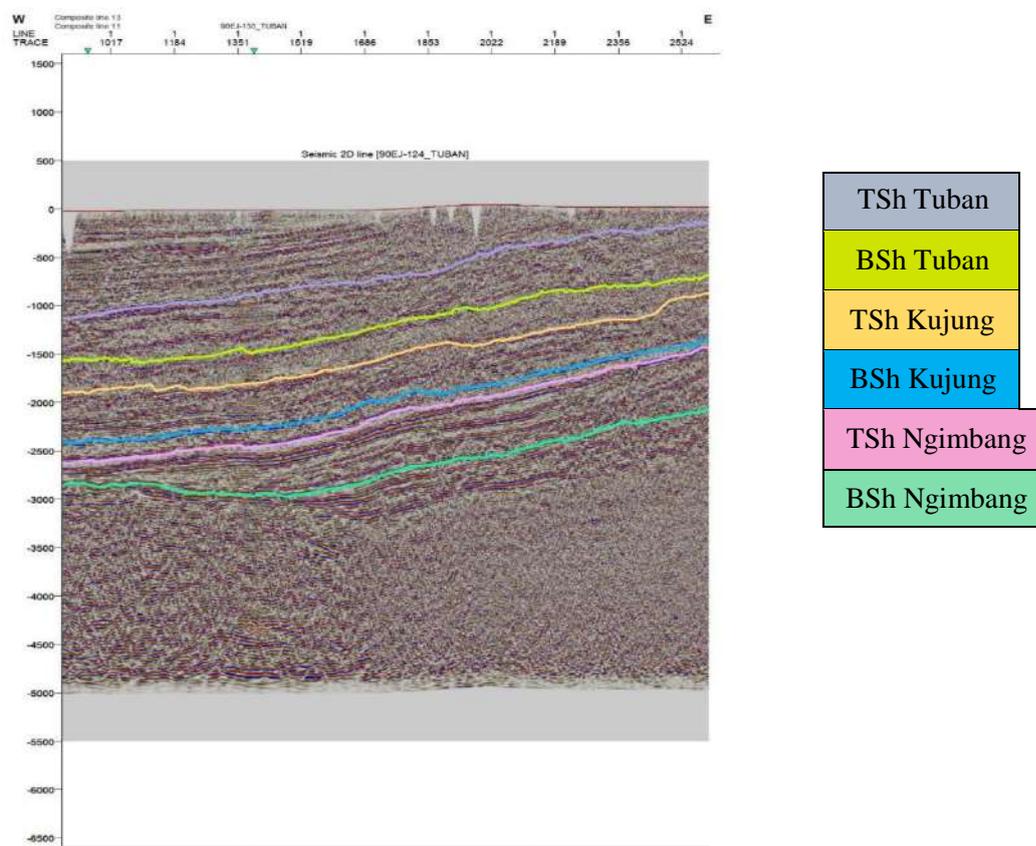
Proses pengolahan data seismik adalah langkah kunci dalam mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang struktur geologi di bawah permukaan. Pengolahan data seismik dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu *picking horizon*, pembuatan *time surface map*, serta *time to depth conversion* (*velocity model analysis*). Adapun data seismik yang diolah sebanyak 48 *line* atau 48 lintasan (**Gambar 4.1.**) yang ditandai oleh garis-garis berwarna biru, yang mana selanjutnya dalam tahapan *picking horizon* dibuat menjadi 65 *composite* yang mewakili Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang.



Gambar 8. Peta Lintasan Seismik.

a. *Picking Horizon*

Setelah data hasil *well to seismic tie* diimpor ke *software* Petrel maka selanjutnya dilakukan tahap *picking horizon*. *Picking horizon* dilakukan menggunakan *horizon* yang telah sesuai dengan *marker* dari hasil *well to seismic tie*. Tahap ini dimulai dengan mengaktifkan *2D Window* dan masuk ke menu *seismic interpretation* lalu klik *insert* dan pilih *seismic horizon*, lalu aktifkan *tools seismic interpretation* dan melakukan *picking* pada penampang seismik dengan acuan *marker*. Proses ini dilakukan terhadap 48 *line* seismik yang dibuat menjadi 65 *composite* yang mencakup Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang. Sebagai gambaran visual, warna-warna yang digunakan pada (**Gambar 4.2.**) adalah indikator penting dari *top* dan *bottom* dari formasi-formasi tersebut yang menjadi panduan selama proses *picking horizon*.



Gambar 9. *Picking Horizon.*

b. *Time Surface Map*

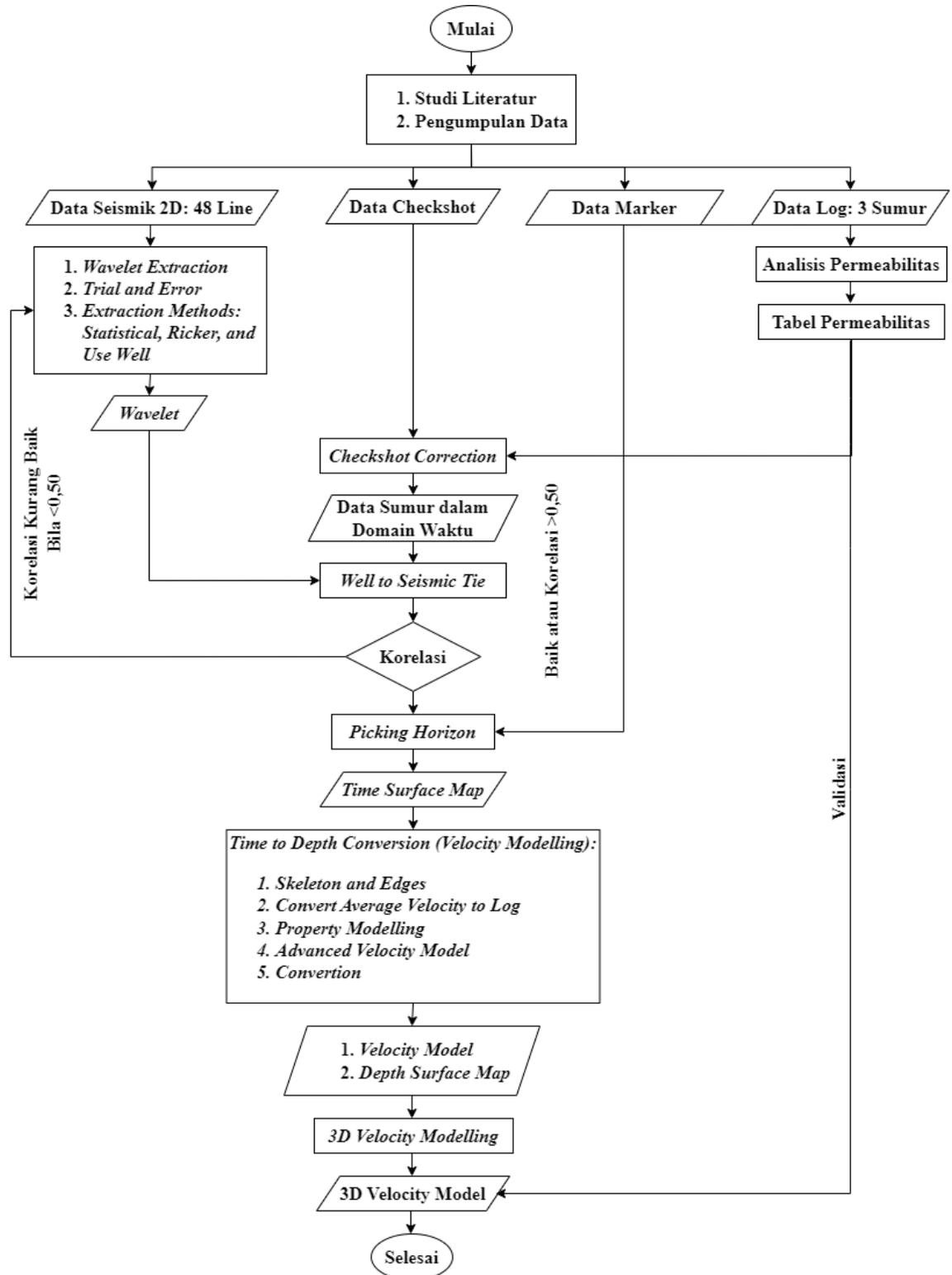
Pada tahap ini dilakukan pembuatan peta permukaan dalam satuan waktu yang dilakukan pada *software* Petrel. Peta dibuat untuk masing-masing *top-shale* dan *bottom-shale* Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang. Tahap ini diawali dengan membuat *polygon* atau *area of interest* yang mencakup area penelitian, dilakukan pada masing-masing formasi. Selanjutnya melakukan pengumpulan data domain waktu yang akan dimodelkan. Proses tersebut akan menghasilkan representasi waktu yang terinterpolasi di seluruh *area of interest*, dan dapat divisualisasikan menggunakan 3D Windows pada Petrel.

c. *Time to Depth Conversion (Velocity Model Analysis)*

Pada tahap *time to depth conversion* dilakukan dengan mengonversi data geofisika yang diukur dalam domain waktu menjadi domain kedalaman. Proses *Time to Depth Conversion* melibatkan penggunaan model kecepatan gelombang yang diperoleh melalui tahap *Velocity Modeling*. Tahap ini dilakukan pada *software* Petrel dan akan menghasilkan *velocity model* dan *depth map*. Tahap pertama yang dilakukan adalah pembuatan *skeleton* (kerangka kontur) dan *edges* (garis tepi), lalu mengonversikan *average velocity* menjadi log, melakukan *property modelling*, selanjutnya membuat *velocity model* pada fitur *advanced velocity model* dengan *input* berupa *surface* dan *well top* sebagai koreksi. Setelah itu dilakukan *konversi velocity model menjadi depth map*. Tahap-tahapan tersebut diaplikasikan terhadap Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang sehingga mendapatkan hasil yang diharapkan.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan *Time Surface Map* dan *Depth Surface Map* pada Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang menunjukkan bahwa terdapat zona tinggian dan zona rendahan. Adapun zona tinggian dapat digunakan untuk mengidentifikasi batuan atau formasi yang lebih padat atau kaku, seperti batuan dasar atau lapisan beku. Dan zona rendahan dapat menjadi petunjuk potensial adanya *reservoir* hidrokarbon.
2. Formasi Kujung memiliki kecepatan 1400 - 2800 m/s dan Formasi Ngimbang memiliki kecepatan 1200 - 2400 m/s. Adapun yang termasuk dalam kategori *Shale* pada Formasi Kujung yaitu nilai kecepatan 2000 - 2800 m/s dan pada Formasi Ngimbang yaitu nilai kecepatan 2000 - 2400 m/s.
3. Berdasarkan 3D *velocity model*, terdapat kandungan *shale* yang tersebar pada Formasi Kujung dengan rentang nilai kecepatan 2000 - 2800 m/s yang diwakili warna biru muda - merah di arah Barat, Utara dan Timur pada kedalaman 2500 - 4000 m. Dan berdasarkan 3D *velocity model*, terdapat kandungan *shale* yang tersebar di Formasi Ngimbang dengan rentang nilai kecepatan 2000 - 2400 m/s yang diwakili warna hijau – jingga pada kedalaman 2500 - 4500 m di arah Barat dan Timur. Adapun posisi kedalaman *shale* yang tervalidasi berdasarkan data sumur pada Formasi Kujung dan Formasi Ngimbang adalah pada 2500 – 4000 m.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, untuk menghasilkan interpretasi data seismik yang lebih baik maka perlu dilakukan *reprocessing* pada data seismik berupa proses *mistie (multiple integrated source treatment for imaging enhancement)* untuk meningkatkan kualitas gambar bawah permukaan bumi menjadi lebih baik. Perlu juga untuk melakukan *quality control* pada data sumur yang digunakan karena mengandung informasi berharga tentang karakteristik kecepatan gelombang seismik di dalam formasi geologis di sekitar sumur. Dan, terdapat parameter-parameter lain selain permeabilitas yang sebaiknya digunakan untuk mendukung dalam karakterisasi hidrokarbon nonkonvensional, yaitu berupa data porositas, saturasi dan juga *shale volume*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A. (2011). *Prinsip Fermat*. E-book Ensiklopedia Seismik. Jakarta.
- Asdak, C. (2018). *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada.
- Asparini, D. (2011). Penerapan Metode Stacking dalam Pemrosesan Sinyal. Seismik Laut di Perairan Barat Aceh. Skripsi, Institut Pertanian Bogor.
- Asquith, G., dan Krygowski, D., (2004). *Basic Well log Analysis Second Edition*, AAPG Methods in Exploration series no.16, American Association of Petroleum Geologist. Tulsa. Oklahoma, USA.
- Avseth, P., Mukerji, T., dan Mavko, G. (2005). *Quantitative Seismic Interpretation: Applying Rock Physics Tools to Reduce Interpretation Risk*. Cambridge University Press.
- Bemmelen, R. W. V. (1949). *The Geology of Indonesia Vol IA: General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagos*. Netherlands: The Hague Martinus Nijhoff.
- Bintarto, B., Swadesi, B., Choiriah, S. U., dan Kaesti, E. Y. (2020). *Pemetaan Singkapan Di Indonesia Berdasarkan Pada Karakteristik Reservoir Migas Studi Kasus "Cekungan Jawa Timur Utara"*. Yogyakarta: Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.

- Brandsen dan Matthews. (1992). Structural and Stratigraphic Evolution of the East Java Sea, Indonesia. Indonesia Petroleum Association, *Proceeding the 21st Annual Convention*, Jakarta.
- Castagna, J. P., Batzle, M. L., dan Eastwood, R. L. (1993). Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks. *Geophysics*, 58(3), 344-352.
- Cordson, A. dan J. Pierce (2000). *Planning land 3D seismic surveys*. USA: SEG Geophysical Developments.
- Devi, E. A., Rachman, F., Satyana, A. H., Fahrudin, dan Reddy. (2018). Paleofacies of Eocene Lower Ngimbang Source Rocks in Cepu Area, East Java Basin based on Biomarkers and Carbon-13 Isotopes. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Elnashai, A. dan L. D. Sarno. (2008). *Fundamentals of earthquake engineering*. Chichester: John Wiley and Sons.
- Fatahillah, Y., Hilyah, A., dan Utama, W. (2016). Penentuan Potensi Batuan Induk Menggunakan Model Log Toc pada Formasi Ngimbang, Lapangan "Arrazi", Cekungan Jawa Timur Utara. *JURNAL TEKNIK ITS*, 5(2), B352-B354.
- Hall, R. (2012). Late Jurassic - Cenozoic reconstruction of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 570-571, 1-41.
- Hall, R., dan C.K. Morley. (2004). Sundaland Basins. American Geophysical Union. Geophysical Monograph, American Geophysical Union, 149, 55-85.

- Hamilton, W. (1979). Tectonics of the Indonesian Region. *USGS Professional Paper*, 1078, 345.
- Haq, M. (2009). Analisa Atribut Amplitudo Seismik Untuk Karakterisasi Reservoir pada Cekungan Sumatera Selatan. Skripsi, FMIPA, UI, Jakarta.
- Harsono, A. (1997). *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*. Jakarta: Schlumberger Oil Field Service Indonesia.
- Husein, S. dan M. Nukman. (2015). Rekonstruksi Tektonik Mikrokontinen Pegunungan Selatan Jawa Timur: sebuah hipotesis berdasarkan analisis kemagnetan purba. *Prosiding Seminar Nasional Kebumihan ke-8 Jurusan Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada*, Yogyakarta, GEO, 235-248.
- Hutabarat, R.G. (2009). *Integrasi Inversi Seismik dengan Atribut Amplitudo Seismik untuk Memetakan Distribusi Reservoir pada Lapangan Blackfoot*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Katz, B., Gao, L., Little, J., dan Zhao, Y. R. (2021). Geology still matters – Unconventional petroleum system disappointments and failures. *Unconventional Resources*, 1, 18-38.
- Koesoemadinata, R.P. 1980. *Geologi Minyak dan Gas bumi, Edisi-2*. Jilid 1 dan 2. Bandung: ITB.
- Mavko, G., Mukerji, T., dan Dvorkin, J. (2009). *The Rock Physics Handbook: Tools for Seismic Analysis of Porous Media*. Cambridge University Press.
- Mubin, F., A. Widya, B. E. Nurcahya, E. N. Mahmudah., I. Purwaman, A. Radityo, A. Shirly, dan C. Nurwani. (2018). Velocity Model Analysis Based on

Integrated Well and Seismic Data of East Java Basin. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 132 (2018) 012008.

Novian, M.I., S. Husein, dan R.N. Saputra. (2014). *Buku Panduan Ekskursi Geologi Regional 2014*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Panjaitan, S. (2010). Prospek Migas pada Cekungan Jawa Timur dengan Pengamatan Metode Gaya Berat. *Buletin Sumber Daya Geologi*, 5(3), 168-181.

Pradono, A., dan D. Rakasiwi. (2018). Basin Modeling and Hydrocarbon Source Rock Potential of Middle Eocene Ngimbang Formation in East Java Basin, Indonesia. *4th Myanmar Oil & Gas Conference*. Yangon: AAPG Asia Pacific Region.

Pringgoprawiro, H. (1983). *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru*. Disertasi Doktoral, Institut Teknologi Bandung.

Rider, M. (2002). *The Geological Interpretation of Well Logs Second Edition*. Scotland: Rider-French Consulting Ltd.

Satyana, A.H., dan Purwaningsih, M.E.M. (2003). Oligo-Miocene Carbonates of Java: Tectonic Setting and Effects of Volcanism. *Proceedings of 32nd IAGI and 28th HAGI Annual Convention and Exhibition*.

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

Telford, W.M., Geldart, L.P. dan Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics. 2nd Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.

Timur, A. (1968). An investigation of Permeability, Porosity and Residual Water Saturation Relation for Sandstone Reservoirs. *Log Analyst*, 4, 4.

Vandergriff, L.J. (2008). *Fundamentals of Photonics*. Washington: S.P.I.E.

Zendehboudi, S., dan A. Bahadori. (2017). *Chapter Six - Shale Oil: Fundamentals, Definitions, And Applications*. Houston: Gulf Professional Publishing.

Zendehboudi, S., dan A. Bahadori. (2017). *Shale Oil and Gas Handbook*. Houston: Gulf Professional Publishing.