

**IDENTIFIKASI JENIS FLUIDA BERDASARKAN SATURASI
AIR, POROSITAS DAN PERMEABILITAS PADA SUMUR-
SUMUR KONVENSIONAL DAN NONKONVENSIONAL
LAPANGAN 'R' JAWA TIMUR**

(Skripsi)

Oleh

**Rinda Ermana
NPM 2015051003**



**JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

IDENTIFIKASI JENIS FLUIDA BERDASARKAN SATURASI AIR, POROSITAS DAN PERMEABILITAS PADA SUMUR-SUMUR KONVENSIONAL DAN NONKONVENSIONAL LAPANGAN 'R' JAWA TIMUR

Oleh
RINDA ERMANA

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan minyak dan gas alam terbesar di dunia. Berdasarkan tinjauan statistik BP tahun 2022, Indonesia menempati peringkat ke-24 sebagai produsen minyak terbesar di dunia dengan produksi 692 ribu barel per hari atau 0,8% dari produksi minyak global. Beberapa peneliti yang telah melakukan penelitian pada Cekungan Jawa Timur Utara belum ada penelitian yang membahas tentang jenis fluida pada cekungan tersebut. Untuk itu pada penelitian kali ini akan dilakukan identifikasi mengenai jenis fluida pada sumur konvensional dan nonkonvensional berdasarkan nilai saturasi air, permeabilitas dan porositas pada Cekungan Jawa Timur Utara. Berdasarkan hasil analisis sumur konvensional R1 terdapat sebanyak 59 zona target yang didominasi oleh reservoir minyak, sumur R2 terdapat 24 zona target yang didominasi oleh reservoir gas, sedangkan sumur R3 terdapat 17 zona target yang didominasi oleh reservoir gas. Berdasarkan hasil analisis sumur nonkonvensional R4 hanya terdapat 5 zona target yang didominasi oleh reservoir minyak, sumur R5 terdapat 18 zona target yang didominasi oleh reservoir minyak, dan sumur R6 terdapat 24 zona target yang didominasi oleh reservoir minyak. Hidrokarbon konvensional adalah minyak bumi atau gas alam, yang bermigrasi dari batuan sumber ke batuan reservoir dengan permeabilitas sedang hingga tinggi dan tertahan oleh kondisi struktural atau stratigrafi. Hidrokarbon nonkonvensional, sebaliknya, adalah minyak dan gas alam yang terkandung di dalam batuan induk itu sendiri atau telah bermigrasi ke dan terakumulasi di batuan lain di dekatnya (reservoir) dan memiliki permeabilitas yang rendah atau sangat rendah.

Kata Kunci : Welllogging, Saturasi Air, Porositas dan Permeabilitas.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF FLUID TYPES BASED ON WATER SATURATION, POROSITY AND PERMEABILITY IN CONVENTIONAL AND UNCONVENTIONAL WELLS IN THE 'R' FIELD OF EAST JAVA

By
RINDA ERMANA

Indonesia is one of the countries with the largest reserves of oil and natural gas in the world. According to the statistical review by BP in 2022, Indonesia ranks 24th as the largest oil producer globally, with a production of 692 thousand barrels per day, accounting for 0.8% of the global oil production. Researchers who have conducted studies on the North East Java Basin have not yet addressed the fluid types in that basin. Therefore, this research aims to identify the fluid types in conventional and unconventional wells based on water saturation, permeability, and porosity values in the North East Java Basin. Based on the analysis of conventional well R1, there are 59 target zones predominantly dominated by oil reservoirs. Well R2 has 24 target zones dominated by gas reservoirs, while well R3 has 17 target zones dominated by gas reservoirs. In contrast, the analysis of non-conventional well R4 reveals only 5 target zones dominated by oil reservoirs, well R5 has 18 target zones dominated by oil reservoirs, and well R6 has 24 target zones dominated by oil reservoirs. Conventional hydrocarbons refer to crude oil or natural gas that migrates from source rocks to reservoir rocks with moderate to high permeability and is retained by structural or stratigraphic conditions. On the other hand, non-conventional hydrocarbons are oil and natural gas contained within the source rock itself or have migrated to and accumulated in nearby rocks (reservoirs), with low or very low permeability.

Keywords: Well logging, Water Saturation, Porosity, and Permeability.

**IDENTIFIKASI JENIS FLUIDA BERDASARKAN SATURASI
AIR, POROSITAS DAN PERMEABILITAS PADA SUMUR-
SUMUR KONVENSIONAL DAN NONKONVENSIONAL
LAPANGAN 'R' JAWA TIMUR**

Oleh

**Rinda Ermana
NPM 2015051003**

Skripsi

**Sebagai Salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA TEKNIK**

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



**JURUSAN TEKNIK GEOFIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI JENIS FLUIDA
BERDASARKAN SATURASI AIR,
POROSITAS DAN PERMEABILITAS PADA
SUMUR - SUMUR KONVENSIONAL DAN
NONKONVENSIONAL LAPANGAN 'R' JAWA
TIMUR**


Nama Mahasiswa : **Rinda Ermana**
Nomor Pokok Mahasiswa : **2015051003**
Program Studi : **Teknik Geofisika**
Fakultas : **Teknik**



MENYETUJUL,
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2


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


Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T.
NIP. 199102072018032001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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

Sekretaris : Rahmi Mulyasari, S.Pd., M.T.

Anggota : Karyanto, S.Si., M.T.



2. Dekan Fakultas Teknik


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

Tanggal Ujian Skripsi : 15 Desember 2023

PERNYATAAN LEGALITAS

Saya **RINDA ERMANA** menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis dengan judul "**Identifikasi Jenis Fluida Berdasarkan Saturasi Air, Porositas Dan Permeabilitas Pada Sumur - Sumur Konvensional Dan Nonkonvensional Lapangan 'R' Jawa Timur**" bukan merupakan karya dari orang lain, melainkan hasil penelitian dan pemikiran saya sendiri sebagai syarat memperoleh gelar sarjana. Adapaun kutipan atau karya orang lain dalam penulisan skripsi ini telah dicantumkan sumbernya sebagaimana disebutkan didalam daftar pustaka secara jelas dengan norma, kaidah dan etika penulisan.

Demikian pernyataan yang saya buat apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 17 Januari 2024



Rinda Ermana
NPM. 2015051003

RIWAYAT HIDUP



Penulis ini memiliki nama lengkap Rinda Ermana, Lahir di Labuhan Ratu, 13 Januari 2002, merupakan anak pertama dari pasangan Bapak Ana Rukmana dan Ibu Suerah. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Taman Kanak – Kanak (TK) Rajabasa Lama Kec. Rajabasa pada tahun 2007 sampai 2008. Kemudian dilanjutkan ke jenjang Madrasah Ibtidaiyah (MI) Pada tahun 2008 sampai 2014 di Madrasah Ibtidaiyah Negeri (MIN) 1 Lampung Timur kec. Labuhan Ratu. Kemudian melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMP) Pada tahun 2014 sampai 2017 di SMPN 1 Labuhan Ratu kec. Labuhan Ratu. Dan kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA) pada tahun 2017 sampai 2020 di SMAN 1 Labuhan Ratu kec. Labuhan Ratu. Pada tahun 2020 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Geofisika Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di dua kegiatan keorganisasian yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HIMA TG BHUWANA) sebagai anggota Bidang Sosial Budaya Masyarakat pada periode 2022 serta menjadi Bendahara Umum pada periode 2023 dan Society Of Exploration Geophysich (SEG SC) Universitas Lampung sebagai anggota Divisi Eksternal.

Dalam bidang keilmuan dan akademik penulis aktif dalam hal spesifikasi menulis PKM yang pertama dengan judul “Dual Power : Pendukung Sistem Pembelajaran

Tatap Muka di Era Covid-19” pada tahun 2022, karya yang kedua dengan judul “Negeri Bawah Tanah – Reklamasi Lahan Bekas Tambang di Era 4.0” pada tahun 2023. Kemudian penulis juga menulis 2 jurnal, pada jurnal pertama dengan judul “Perbandingan Konfigurasi Schlumberger dan Wenner Alpha Pada Pemodelan 1D Metode Geolistrik Data Sintetik” pada jurnal kedua berjudul “Kajian Potensi Gua Pandan Sebagai Objek Geowisata Lampung Timur”. Penulis juga sempat menjadi Asisten Praktikum Elektromagnetik pada tahun 2023.

Pada bulan Juli – Agustus 2023 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) oleh Universitas Lampung sehingga dapat menerapkan salah satu Dharma Perguruan Tinggi yaitu Pengabdian Kepada Masyarakat dengan mengadakan program yang bermanfaat bagi masyarakat di Pekon Terata, Kota Agung Pusat, Tanggamus.

Dalam penerapan bidang keahlian penulis melaksanakan Kerja Praktek (KP) di LEMIGAS – Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi Pada bulan Januari – Februari 2023 dengan judul penelitian “**Analisis Nilai Sw Berdasarkan Software Ip, Data Core, Dan Perhitungan Manual Di Daerah Target Sumur “Sa-23” Cekungan Sumatera Tengah**”. Kemudian pada tahun 2023 penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir dengan judul penelitian “**Identifikasi Jenis Fluida Berdasarkan Saturasi Air, Porositas Dan Permeabilitas Pada Sumur - Sumur Konvensional Dan Nonkonvensional Lapangan ‘R’ Jawa Timur**”.

PERSEMBAHAN

Puji syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT. atas terselesaikannya skripsi ini dengan baik dan lancar sehingga saya dapat mempersembahkannya untuk :

KAKEK TERCINTA

Terimakasih atas kasih sayang yang sempat diberikan semasa saya kecil, Terimakasih telah menjadi sumber kebahagiaan keluarga besar dan menjadi contoh untuk saya atas kebijaksanaanya.

AYAH DAN IBU

Terimakasih atas rasa kasih sayang dan cinta yang telah diberikan selama saya hidup, Terimakasih atas segala dukungan yang telah diberikan, Terimakasih telah menjadi pagar bagi saya untuk tetap berjalan di jalan yang baik. Semoga kelak saya bisa membahagiakan Ayah dan Ibu sebagaimana Ayah dan Ibu membahagiakan saya.

KELUARGA TERCINTA

Terimakasih atas segala doa dan dukungannya. Semoga kelak saya dapat menjadi manusia yang baik dan mengangkat derajat keluarga.

TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG 2020

Terimakasih atas doa dan dukungannya selama ini. Terimakasih telah kebersamai saya dalam menyelesaikan pendidikan ini. Terimakasih telah mengukir cerita bersama saya baik suka maupun duka. Terimakasih untuk semua pembelajaran dan pengalaman yang saya dapat selama bersama kalian.

KELUARGA BESAR TEKNIK GEOFISIKA UNIVERSITAS LAMPUNG

Terimakasih atas semua pengalaman, pengajaran dan bantuanya selama saya berkuliah di Teknik Geofisika. Semoga kelak kita mendapatkan cita cita yang diharapkan.

*"Faktanya, keluarga asli adalah bentangan kesejukan dan kehangatan, tempat dimana
hati kita selalu menemukan kedamaian sejati."*

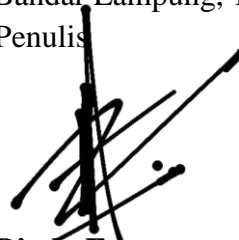
~ Rinda

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Yang Maha Kuasa dan Maha Memberi Kesehatan karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyusun skripsi ini dengan judul “**Identifikasi Jenis Fluida Berdasarkan Saturasi Air, Porositas Dan Permeabilitas Pada Sumur - Sumur Konvensional Dan Nonkonvensional Lapangan ‘R’ Jawa Timur**” Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini secara langsung maupun tidak langsung. Skripsi ini mungkin masih terdapat banyak kekurangan, sehingga sangat di harapkan kritik dan saran yang membangun kepada penulis. Semoga semua yang ada di dalam skripsi ini memberikan manfaat kepada siapapun.

Bandar Lampung, 17 Januari 2024

Penulis



Rinda Ermiana

NPM. 2015051003

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Yang Maha Kuasa dan Maha Memberi Kesehatan karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyusun Skripsi ini dengan judul "**Identifikasi Jenis Fluida Berdasarkan Saturasi Air, Porositas Dan Permeabilitas Pada Sumur - Sumur Konvensional Dan Nonkonvensional Lapangan 'R' Jawa Timur**" sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Tak lupa kita shalawat serta salam kami panjatkan kepada junjungan kita nabi besar Muhammad Shallallahu 'alaihi wassalam yang kita nantikan syafaatnya di yaumul akhir nanti.

Dalam penyelesaian skripsi ini, banyak pihak yang telah terlibat maka dari itu penulis ingin mengucapkan rasa terimakasih kepada :

1. Allah SWT, yang selalu memberikan nikmat dan anugerah-Nya sehingga penulis diberikan kemudahan dan kelancaran dalam hidup.
2. Kepada kedua orang tua penulis, Ibu Suerah dan Bapak Ana Rukmana yang senantiasa memberikan dukungan, doa, semangat dan kasih sayang yang tiada hentinya.
3. Kepada ketiga adik penulis Else Rahmayani, Sidqia Aqilla Putri dan Sakhi Aufa Fadillah yang senantiasa menjadi penyemangat dalam mencapai cita-cita penulis.
4. Bapak Karyanto, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung dan Dosen Penguji Skripsi yang telah memberikan kritik, saran dan masukan untuk penulis.
5. Bapak Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran serta masukan dan pengarahan dalam penulisan skripsi ini.

6. Ibu Rahmi Mulyasari, M.T. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir dan dosen pembimbing akademik penulis yang telah meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran serta masukan dalam penulisan skripsi ini.
7. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung yang saya hormati terimakasih atas semua ilmu yang telah diberikan.
8. Senna Alraafani (*my favorit person*) yang selalu memberikan *support* dan menemani penulis menyelesaikan skripsi ini meskipun terhambat jarak.
9. Bang Nanda, Bang Arnas, Bang Tectona, Bang Andiko, Bang Ikram, Bang Ais, Bang Joy yang telah membantu mengarahkan dan menjadi tempat berkeluh kesah penulis.
10. Keluarga Besar Teknik Geofisika 2020 (PATAKIS) yang sangat penulis sayangi dan banggakan telah memberikan semangat selama pembuatan skripsi ini.
11. Abang – kakak dan adik – adik Teknik Geofisika yang telah banyak berbagi cerita serta pertolongan apabila penulis membutuhkan bantuan.
12. Semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Terimakasih atas pengalaman yang sangat luar biasa, sekali lagi penulis ucapkan terimakasih banyak.

Bandar Lampung, 17 Januari 2024

Penulis



Rinda Ermiana

NPM. 2015051003

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Geologi Regional.....	4
2.2 Stratigrafi Cekungan Jawa Timur.....	10
2.3 Struktur Geologi Cekungan Jawa Timur.....	15
2.4 <i>Petroleum System</i> Konvensional	17
2.5 <i>Petroleum System Nonkonvensional</i>	18
2.1 Penelitian Terdahulu.....	20
III. TEORI DASAR	23
3.1 <i>Well Logging</i>	23
3.2 Jenis- jenis <i>Log</i>	24
3.3 Sifat Fisik Batuan Reservoir	34
3.4 Analisis Parameter Nonkonvensional.....	38
IV. METODOLOGI PENELITIAN	39
4.1 Waktu dan Tempat Penelitian	39
4.2 Alat dan Bahan	41
4.3 Prosedur Penelitian	42
4.4 Diagram Alir.....	43

V. HASIL DAN PEMBAHASAN	45
5.1 Sumur Konvensional	45
5.2 Sumur Nonkonvensional	80
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	98
6.1 Kesimpulan.....	98
6.2 Saran.....	98
DAFTAR PUSTAKA	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta daerah penelitian	25
2. Peta geologi daerah penelitian	27
3. Fisiografi Cekungan Jawa Timur Utara	29
4. Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara	30
5. Struktur Geologi Cekungan Jawa Timur Utara.....	36
6. <i>Petroleum system</i> konvensional dan nonkonvensional	40
7. Ilustrasi Kegiatan <i>Logging</i>	44
8. Respon <i>Log Gamma Ray</i>	45
9. <i>Log Spontaneous Potential</i>	47
10. Kurva <i>Resistivity Log</i>	49
11. Respon <i>Log Density</i>	51
12. Respon <i>Log Neutron</i>	53
13. Diagram Alir	63
14. Zona target 1, 2, dan 3 sumur R1 Konvensional.....	Error! Bookmark not defined.
15. Zona target 4 dan 5 sumur R1 Konvensional... Error! Bookmark not defined.	
16. Zona target 6, 7 dan 8 sumur R1 Konvensional.....	Error! Bookmark not defined.
17. Zona target 9, 10, 11 dan 12 sumur R1 Konvensional... Error! Bookmark not defined.	
18. Zona target 13, 14, 15 dan 16 sumur R1 Konvensional. Error! Bookmark not defined.	
19. Zona target 17, 18, 19, 20 dan 21 sumur R1 Konvensional.. Error! Bookmark not defined.	
20. Zona target 22, 23, 24 dan 25 sumur R1 Konvensional. Error! Bookmark not defined.	
21. Zona target 26, 27 dan 28 sumur R1 Konvensional..... Error! Bookmark not defined.	
22. Zona target 29, 30, 31 dan 32 sumur R1 Konvensional. Error! Bookmark not defined.	
23. Zona target 33, 34 dan 35 sumur R1 Konvensional..... Error! Bookmark not defined.	

24. Zona target 36, 37, 38, 39 dan 40 sumur R1 Konvensional. **Error! Bookmark not defined.**
25. Zona target 41, 42, 43, 44 dan 45 sumur R1 Konvensional. **Error! Bookmark not defined.**
26. Zona target 46, 47 dan 48 sumur R1 Konvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
27. Zona target 49 sumur R1 Konvensional.....**Error! Bookmark not defined.**
28. Zona target 50, 51, 52 dan 53 sumur R1 Konvensional. **Error! Bookmark not defined.**
29. Zona target 54, 55, 56, 57, 58, dan 59 sumur R1 Konvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
30. Zona target 1, 2 dan 3 sumur R2 Konvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
31. Zona target 4, 5, 6, 7 dan 8 sumur R2 Konvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
32. Zona target 9 dan 10 sumur R2 Konvensional. **Error! Bookmark not defined.**
33. Zona target 11 dan 12 sumur R2 Konvensional..... **Error! Bookmark not defined.**

34. Zona target 13 sumur R2 Konvensional.....**Error! Bookmark not defined.**
35. Zona target 14, 15, 16, 17, 18 dan 19 sumur R2 Konvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
36. Zona target 20, 21, 22, 23 dan 24 sumur R2 Konvensional..**Error! Bookmark not defined.**
37. Zona target 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 sumur R3 Konvensional....**Error! Bookmark not defined.**
38. Zona target 8, 9, 10, 11, 12, 13 dan 14 sumur R3 Konvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
39. Zona target 15, 16 dan 17 sumur R3 Konvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
40. Zona target 1 dan 2 sumur R1 Nonkonvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
41. Zona target 3 dan 4 sumur R1 Nonkonvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
42. Zona target 5 sumur R1 Nonkonvensional.....**Error! Bookmark not defined.**
43. Zona target 1 sumur R2 Nonkonvensional.....**Error! Bookmark not defined.**
44. Zona target 2, 3 dan 4 sumur R5 Nonkonvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
45. Zona target 5, 6 dan 7 sumur R2 Nonkonvensional..... **Error! Bookmark not defined.**
46. Zona target 8, 9, 10 dan 11 sumur R5 Nonkonvensional.....**Error! Bookmark not defined.**
47. Zona target 12, 13, 14 dan 15 sumur R5 Nonkonvensional..**Error! Bookmark not defined.**
48. Zona target 16, 17 dan 18 sumur R5 Nonkonvensional. **Error! Bookmark not defined.**
49. Zona target 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 dan 13 sumur R6
Nonkonvensional.....**Error! Bookmark not defined.**
50. Zona target 14, 15, 16 , 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23,dan 24 sumur R3
Nonkonvensional.**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Nilai Resistivitas suatu litologi	48
2. Kualitas nilai porositas	55
3. Kualitas nilai permeabilitas	56
4. Nilai saturasi air	57
5. Analisis jenis fluida nonkonvensional	58
6. Rincian Kegiatan	60
7. Data Penelitian.	61
8. <i>Software</i> yang digunakan penelitian.	61
9. Hasil analisis zona target 1, 2, dan 3 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
10. Hasil analisis zona target 4 dan 5 sumur "R1".	Error! Bookmark not defined.
11. Hasil analisis zona target 6, 7 dan 8 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
12. Hasil analisis zona target 9, 10, 11 dan 12 sumur "R1".	Error! Bookmark not defined.
13. Hasil analisis zona target 13, 14, 15 dan 16 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
14. Hasil zona target 17, 18, 19, 20 dan 21 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
15. Hasil analisis zona target 22, 23, 24 dan 25 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
16. Hasil analisis zona target 26, 27, dan 28 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
17. Hasil analisis zona target 29, 30, 31 dan 32 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
18. Hasil analisis zona target 33, 34 dan 35 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
19. Hasil analisis zona target 36, 37, 38, 39 dan 40 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
20. Hasil analisis zona target 41, 42, 43, 44 dan 45 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.
21. Hasil analisis zona target 46, 47 dan 48 sumur "R1"	Error! Bookmark not defined.

22. Hasil analisis zona target 49 sumur "R1"**Error! Bookmark not defined.**
23. Hasil analisis zona target 50, 51, 52 dan 53 sumur "R1"**Error! Bookmark not defined.**
24. Hasil analisis zona target 54, 55, 56, 57, 58 dan 59 sumur "R1" **Error! Bookmark not defined.**
25. Hasil analisis zona target 1, 2, dan 3 sumur "R2" **Error! Bookmark not defined.**
26. Hasil analisis zona target 4, 5, 6, 7 dan 8 sumur "R2"... **Error! Bookmark not defined.**
27. Hasil analisis zona target 9 dan 10 sumur "R2" **Error! Bookmark not defined.**
28. Hasil analisis 11 dan 12 sumur "R2"**Error! Bookmark not defined.**
29. Hasil analisis zona target 13 sumur "R2"**Error! Bookmark not defined.**
30. Hasil analisis zona target 14, 15, 16, 17, 18 dan 19 sumur "R2" **Error! Bookmark not defined.**
31. Hasil analisis zona target 20, 21, 22, 23, dan 24 sumur "R2" **Error! Bookmark not defined.**
32. Hasil analisis zona target 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 sumur "R3"..**Error! Bookmark not defined.**
33. Hasil analisis zona target 8, 9, 10, 11, 12, 13 dan 14 sumur "R3" **Error! Bookmark not defined.**

34. Hasil analisis zona target 15, 16 dan 17 sumur "R3" **Error! Bookmark not defined.**
35. Nilai saturasi air. **Error! Bookmark not defined.**
36. Hasil analisis zona target 1 dan 2 sumur "R4" . **Error! Bookmark not defined.**
37. Hasil analisis zona target 3 dan 4 sumur "R4" **Error! Bookmark not defined.**
38. Hasil analisis zona target 5 sumur "R4" **Error! Bookmark not defined.**
39. Hasil analisis zona target 1 sumur "R5" **Error! Bookmark not defined.**
40. Hasil analisis zona target 2, 3 dan 4 sumur "R5" **Error! Bookmark not defined.**
41. Hasil analisis zona target 5, 6 dan 7 sumur "R5" **Error! Bookmark not defined.**
42. Hasil analisis zona target 8, 9, 10 dan 11 sumur "R5" ... **Error! Bookmark not defined.**
43. Hasil analisis zona target 12, 13, 14 dan 15 sumur "R5" **Error! Bookmark not defined.**
44. Hasil analisis zona target 6, 17 dan 18 sumur "R5" **Error! Bookmark not defined.**
45. Hasil analisis Zona target 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 dan 13 sumur "R6" **Error! Bookmark not defined.**
46. Hasil analisis 14, 15, 16 , 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23,dan 24 sumur "R6" **Error! Bookmark not defined.**

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan minyak dan gas alam terbesar di dunia. Berdasarkan tinjauan statistik BP tahun 2022, Indonesia menempati peringkat ke-24 sebagai produsen minyak terbesar di dunia dengan produksi 692 ribu barel per hari atau 0,8% dari produksi minyak global (Ndruru dan Amdayani, 2023). Cadangan minyak dan gas bumi yang terus dibutuhkan membuat eksploitasi semakin bertambah dan terus berkembang. Produksi hidrokarbon di Indonesia menggunakan sumur – sumur konvensional dan nonkonvensional. Sumur – sumur konvensional sudah banyak digunakan untuk produksi hidrokarbon dan pada saat ini sumur – sumur nonkonvensional sudah mulai di produksi di beberapa negara maju.

Hidrokarbon konvensional adalah minyak bumi atau gas alam, yang bermigrasi dari batuan sumber ke batuan reservoir dengan permeabilitas sedang hingga tinggi dan tertahan oleh kondisi struktural atau stratigrafi. Hidrokarbon nonkonvensional, sebaliknya, adalah minyak dan gas alam yang terkandung di dalam batuan induk itu sendiri atau telah bermigrasi ke dan terakumulasi di batuan lain di dekatnya (reservoir) dan memiliki permeabilitas yang rendah atau sangat rendah. Salah unsur penting dari suatu sistem minyak dan gas (*petroleum system*) adalah reservoir, suatu batuan yang mempunyai kapasitas untuk menyimpan dan mengalirkan cairan dalam bentuk cadangan minyak dan gas alam (Parwata, 2015).

Indonesia memiliki cadangan minyak dan gas bumi yang signifikan terutama di wilayah Kalimantan, Sumatera, Jawa dan Papua. Salah satu cekungan yang mempunyai cadangan hidrokarbon yang cukup besar adalah Cekungan Jawa Timur Utara. Pada Cekungan Jawa Timur Utara telah dilakukan beberapa penelitian, Fatahillah dkk. (2016) menentukan potensi batuan induk menggunakan model Log Toc pada Formasi Ngimbang Lapangan “Arrazi” Cekungan Jawa Timur Utara. Firdaus dan Setianto (2018) menginterpretasi struktur geologi berdasarkan citra landsat 8, SRTM dan anomali medan gravitasi satelit di Cekungan Jawa Timur Utara. Silaen dkk. (2021) menentukan potensi reservoir batupasir Formasi Ngimbang dan interval umur pra-tersier area silaen-10, sub-Cekungan Kangean, Cekungan Jawa Timur Utara. Buana (2022) mengidentifikasi kandungan hidrokarbon dan maturasi pada Formasi Lidah dan Formasi Cepu berdasarkan integritasi data sumur dan geokimia di lapangan “RB” Cekungan Jawa Timur Utara. Sekarsari (2022) menganalisis karakterisasi *shale* dan karbonat sebagai reservoir nonkonvensional Cekungan Jawa Timur Utara. Armando dkk. (2023) menganalisis geokimia hidrokarbon sumur “FLP” Cekungan Jawa Timur Utara. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan pada Cekungan Jawa Timur Utara belum ada penelitian yang membahas jenis fluida pada cekungan tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan identifikasi mengenai jenis fluida pada sumur konvensional dan nonkonvensional berdasarkan nilai saturasi air, permeabilitas dan porositas pada Cekungan Jawa Timur Utara.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Menentukan nilai parameter fisik saturasi air (S_w), Porositas (\emptyset), dan permeabilitas (K) pada sumur konvensional dan nonkonvensional.
2. Menganalisis nilai saturasi air (S_w) dan Porositas (\emptyset) untuk menentukan jenis fluida pada sumur konvensional.
3. Menganalisis nilai Porositas (\emptyset) dan permeabilitas (K) untuk menentukan jenis fluida pada sumur nonkonvensional.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh sebagai berikut.

1. Area penelitian berfokus pada cekungan Jawa Timur Utara
2. Penentuan jenis fluida sumur konvensional hanya berdasarkan nilai saturasi air dan porositasnya.
3. Penentuan jenis fluida sumur nonkonvensional hanya berdasarkan perhitungan saturasi air, porositas dan permeabilitasnya.
4. Zona yang dianalisis hanya merupakan zona yang telah ditentukan pada hidrokarbon konvensional dan nonkonvensional.

1.4 Manfaat Penelitian

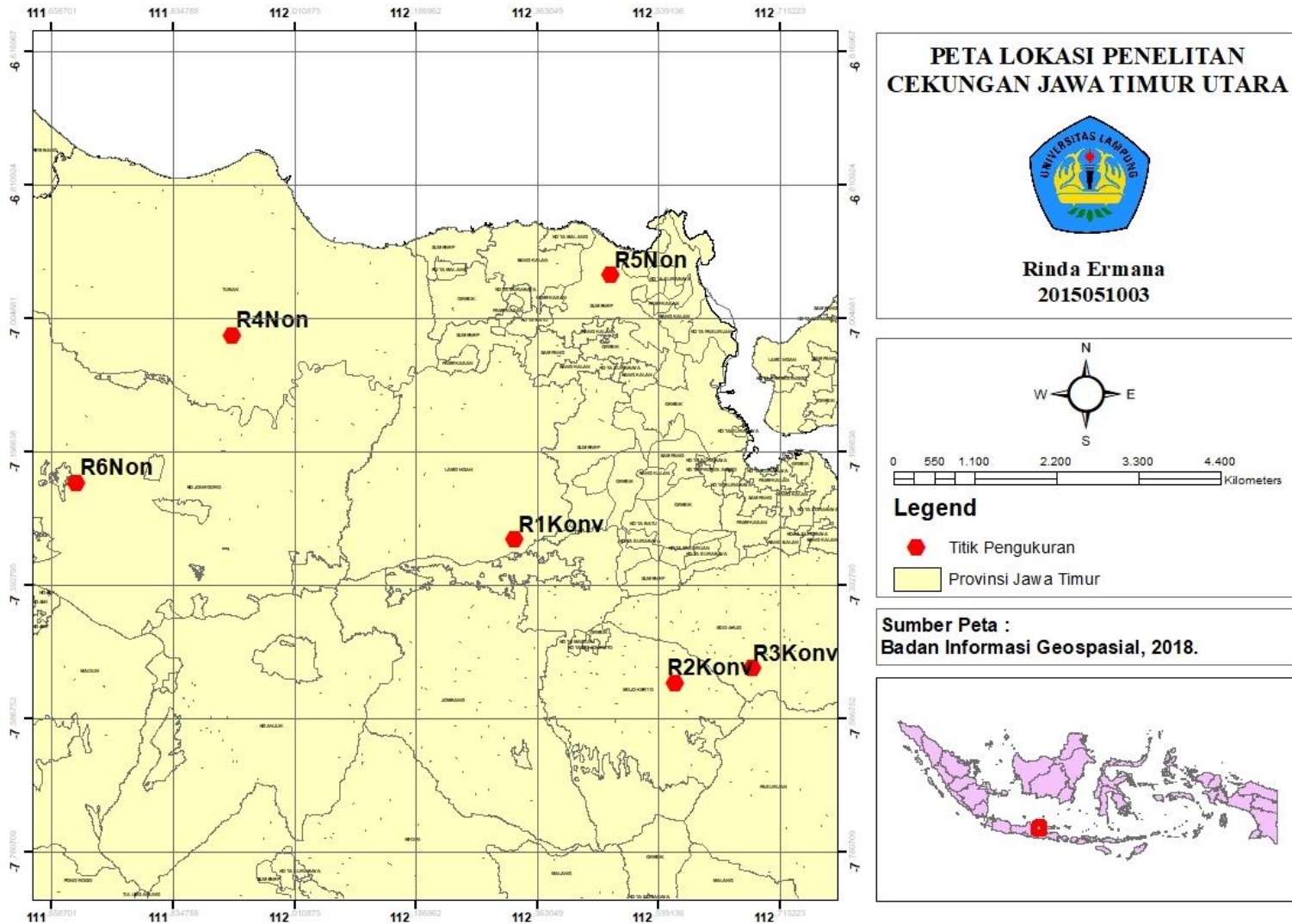
Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Memberikan informasi zona hidrokarbon sumur konvensional dan nonkonvensional.
2. Memberikan informasi mengenai jenis fluida yang terkandung pada sumur konvensional dan nonkonvensional Cekungan Jawa Timur Utara.

II. TINJAUAN PUSTAKA

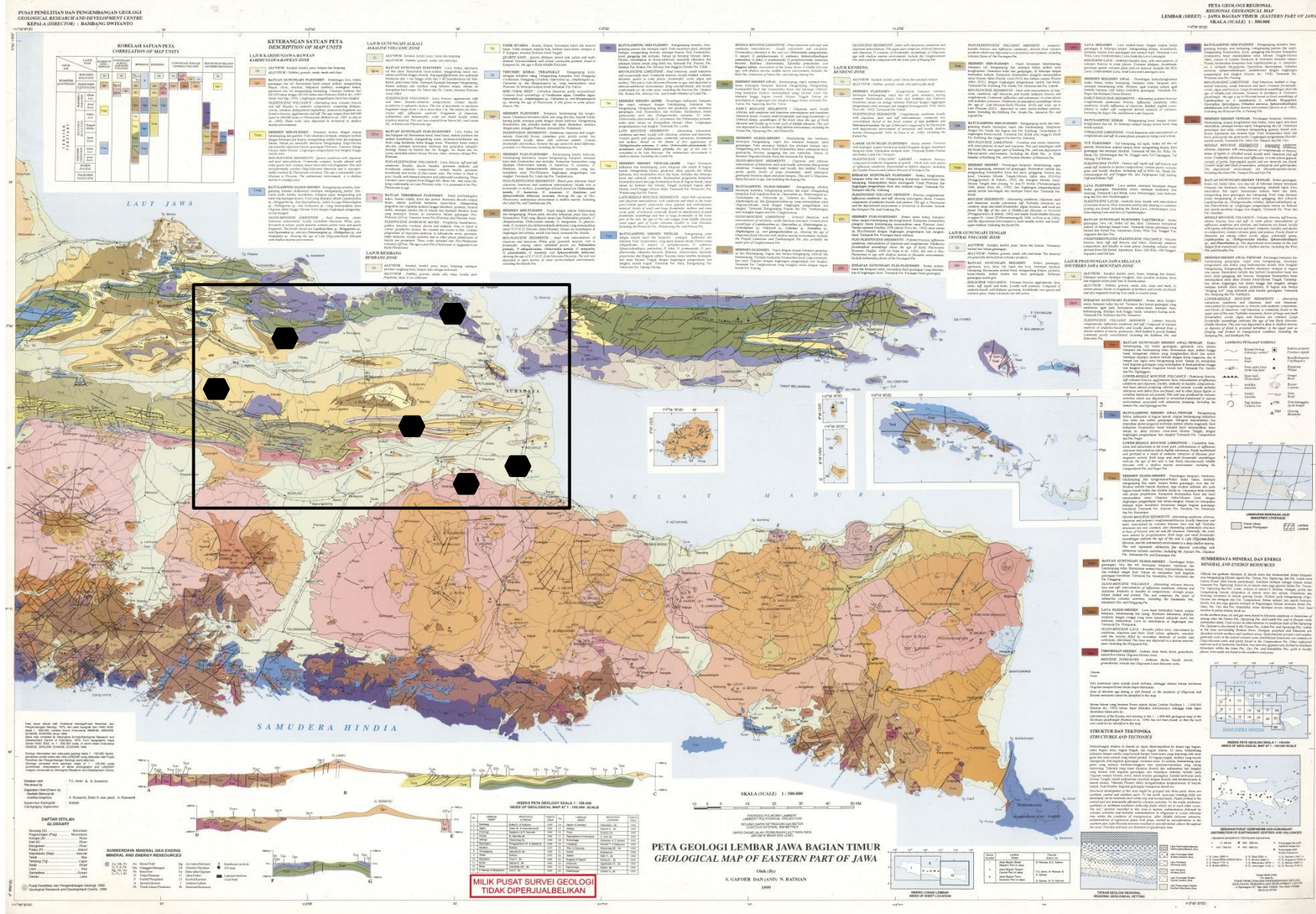
2.1 Geologi Regional

Lokasi penelitian berada pada Cekungan Jawa Timur Utara yang mencakup wilayah administrasi Jawa Timur sebagian Jawa Tengah. Terdapat 3 sumur konvensional (R1 Konvensional, R2 Konvensional dan R3 Konvensional) dan 3 sumur nonkonvensional (R4 Nonkonvensional, R5 Nonkonvensional, dan R6 Nonkonvensional) (**Gambar 1**). Cekungan Jawa Timur Utara diyakini terbentuk pada salah satu lempeng mikrokontinental yaitu Lempeng Argo yang terbentuk dari Jawa Timur hingga Sulawesi Barat (Husein dan Nukman, 2015). Cekungan ini terbentuk pada masa *Eosen* sebagai cekungan busur belakang tepi benua yang aktif (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*.



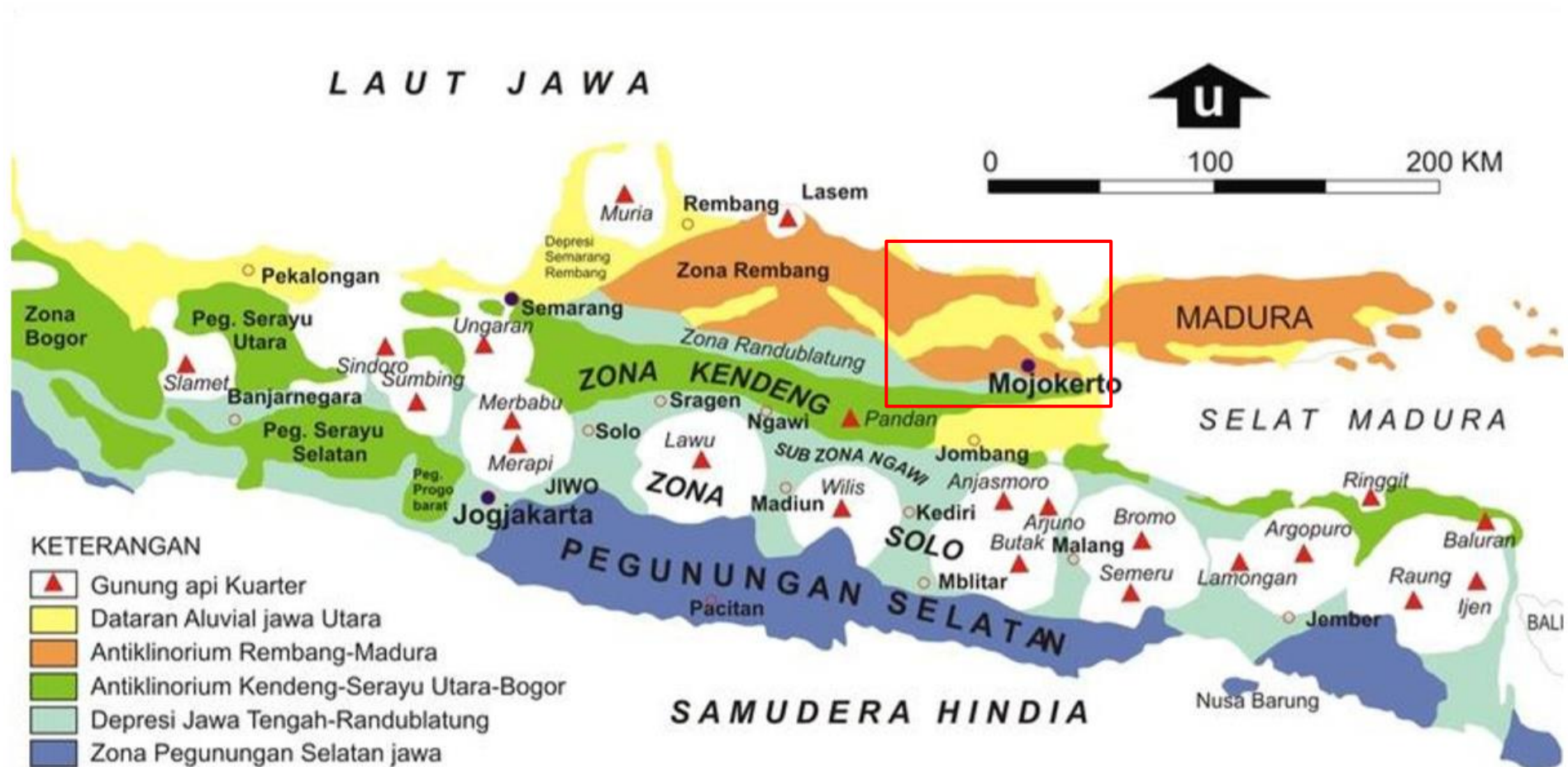
Gambar 1. Peta daerah penelitian (Modifikasi BIG, 2018)

Berdasarkan Gambar 2 Peta geologi daerah penelitian mempunyai formasi yang berbeda beda pada setiap titiknya. Pada sumur konvensional pada titik R1 Konvensional berada pada Sedimen Pleistosen (Qps) yaitu batupasir, batulempung dan konglomerat. Umumnya berwarna coklat, ada yang abu-abu, terpilah buruk, kurang padat, setempat padat dengan semen karbonat. Mengandung foraminifera dan moluska namun tak dapat ditentukan umurnya dengan pasti, mungkin plistosen, termasuk Formasi Pemekasan. R2 Konvensional berada pada Batuan Gunung Api Holosen (Qhv) yaitu Breksi gunungapi, aglomerat, lava, lahar, tuff, lapilli dan bom. Setempat dijumpai batuapung. Bersusun andesit-basalt, mengandung feldspar, piroksen, horenbenda, sedikit kuarsa dan kaca gunungapi. Beberapa gunungapi masih giat. Pada R3 Konvensional terdapat pada Aluvium (Qa) yaitu kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, setempat pecahan cangkang fosil, lumpur atau sebagai koluvium. Sedangkan pada titik R4 Nonkonvensional Sedimen *Miosen Awal* (Tmsr) yaitu batulempung, napal, setempat batulanau, bersisipan batupasir dan/atau batugamping.. Satuan ini terendapkan di lingkungan laut dangkal hingga dalam termasuk Formasi Tawun, Formasi Ngarayon dan Formasi Tuban. Pada titik R5 Nonkonvensional terdapat pada Sedimen *Oligosen-Miosen* (Tomr) yaitu batulempung dan batulanau, berisisipan batugamping, napal dan setempat batupasir hasil gamping. Pada umumnya berlapis dan setempat berlapis tipis. Mengandung pirit, kuarsa, fosil foraminifera besar, pelesipoda kecil, gastropoda, bryozoa, ganggang dan sisa tumbuhan. Satuan ini berumur *Oligosen-Miosen Awal* dan termasuk Formasi Kujung. Pada titik R6 Nonkonvensional terdapat pada Sedimen *Plio-Plistosen* (QTs) yaitu batulempung kelabu kebiruan, batulempung kehitaman, sisipan batugamping, batupasir, setempat kaya akan foraminifera atau moluska. Kumpulan formaminifera yang dijumpai *Globorotalia tumida*, *G. humerosa*, *G. tosaensis*, *G. fistulosus*, dan *sphaeroidinella dehiscens excavate*, yang menunjukkan umur *Plio-Plistosen*, lingkungan pengendapan laut dangkal, termasuk kedalam Formasi Lidah dan Formasi Tambakromo.



Gambar 2. Peta geologi daerah penelitian (Modifikasi PPPG, 1999)

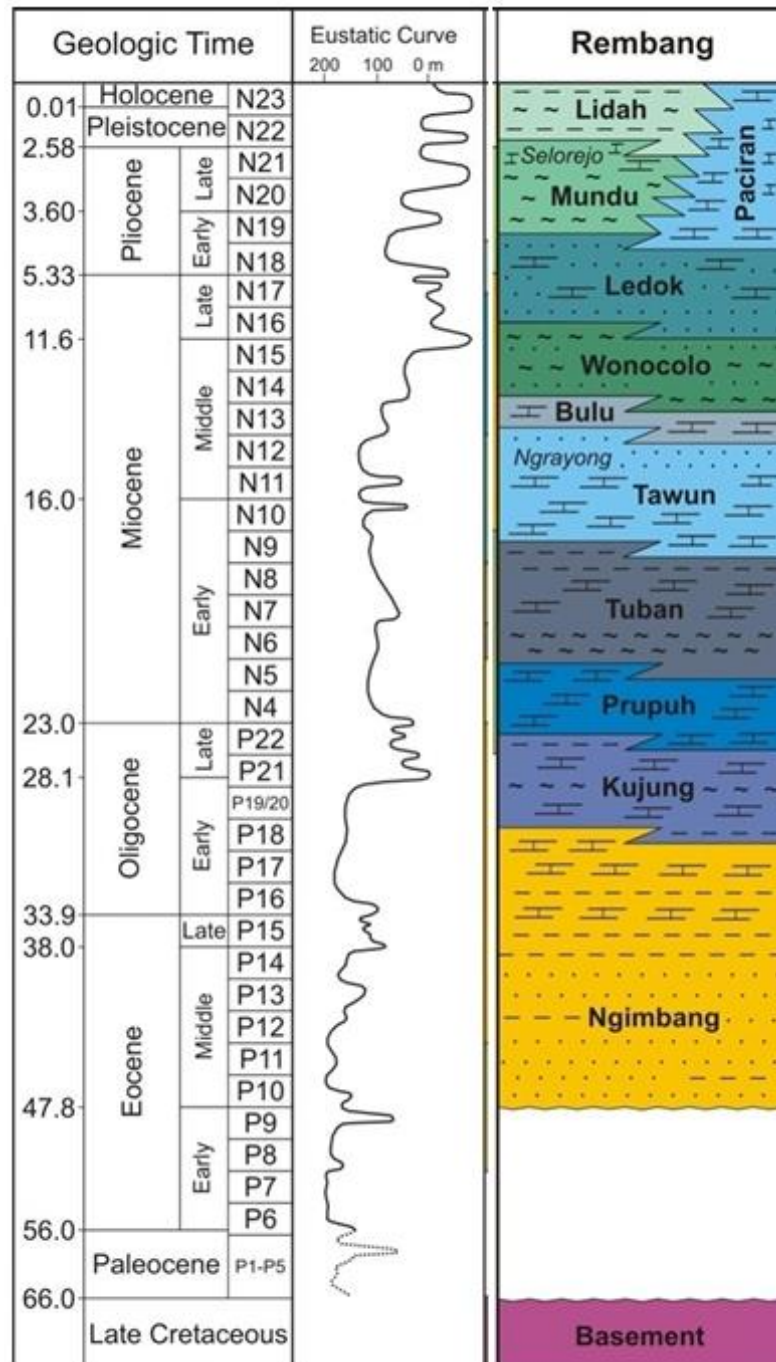
Berdasarkan **Gambar 3**. Fisiografi cekungan Jawa Timur utara pada sumur penelitian ini termasuk kedalam Zona Rembang yang merupakan struktur tinggian, di bagian selatan terdapat Zona Randublatung yang merupakan zona amblesan atau *subsidence* (van Bemmelen, 1949). Hal ini didukung oleh Gaol dkk., (2009) yang mengajukan hipotesis berdasarkan hasil penelitiannya, mengatakan bahwa berdasarkan anomali gaya berat di Cekungan Jawa Timur Utara di bagian Utara memperlihatkan batuan dasar tinggian dan batuan dasar rendahan pada bagian Selatan.



Gambar 3. Fisiografi Cekungan Jawa Timur Utara (van Bemmelen, 1949)

2.2 Stratigrafi Cekungan Jawa Timur

Area penelitian pada Zona Rembang yang tersusun atas beberapa formasi. Formasi yang paling tua diduga merupakan Formasi Ngimbang yang letaknya di atas batuan dasar (Bintaro dkk. 2020) dan berkembang dalam fase *Eocene* hingga *late Miocene*. Berikut adalah formasi yang menyusun Zona Rembang (Pringgoprawiro, 1983).



Gambar 4. Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara (Pringgoprawiro, 1983)

1. Formasi Kujung

Formasi kujung merupakan satuan stratigrafi tertua yang tersingkap, terutama tersusun oleh batulempung dengan sisipan batugamping dan batupasir, terutama dibagian bawah. Batu gamping di bagian ini sering disebut sebagai batu gamping kranji.

2. Formasi Prupuh

Lokasi formasi jenis ini berada di Desa Prupuh Kecamatan Pasiran. Struktur lapisannya terdiri dari batu kapur bioklastik berlapis yang tebal, keras, kaya akan fosil orbital, ditutupi oleh batu kapur putih kotor. Di bagian bawah formasi ini ditemukan *Globigerina ciperoensis*, *Globigerina tripartita*, *Globorotalia kugleri*, dan *Globigerinita dissimilis*, dan di bagian atas terdapat *Globigerinoides* yang belum matang. Umur Formasi Prupuh N3 sampai N5 (*Oligosen Atas* sampai *Miosen Bawah*). *Spiroclypeus orbitoides*, *Lepidocyclina verrucosa*, dan *Lepidocyclina sumatrensis* terdapat pada batugamping bioklastik. Lingkungan pengendapan laut terbuka secara eksternal kaku, dan terdapat bukti perpindahan massa gravitasi di lereng bawah laut. Formasi ini selaras dengan Formasi Kujung di bawahnya dan Formasi Tuban di atasnya.

3. Formasi Tuban

Formasi Tuban terdiri atas lapisan batulumpur monoton dengan sedikit endapan batugamping. Formasi ini umumnya terdiri dari klastik karbonat berupa *wackestone packstones* yang mengandung fosil *foraminifera* berukuran besar serta fragmen karang dan alga. Kandungan fosil *Globigerinoides primordius*, *Globotalia peripheronda*, dan *Globigerinoides sicanus* menunjukkan lingkungan *Miosen awal* dan laut dalam.

4. Formasi Tawun

Secara umum formasi ini terdiri atas lapisan antara batulempung berpasir dan batupasir, serta batugamping yang kaya akan *foraminifera* orbital (*Lepidocyclina*, *Cycloclypeus*). Batulumpur berpasir berwarna abu-abu hingga abu-abu kecoklatan dan cenderung berubah menjadi batulanau dengan konkresi oksida besi seiring naiknya. Batupasir biasanya sangat keras, berwarna kemerahan, dan mungkin berkapur atau tidak. Batu kapur berwarna coklat muda sampai abu-abu muda dan berbutir halus sampai sedang. Komponen utamanya adalah fosil *foraminifera* berukuran besar, bercampur dengan sejumlah kecil batupasir kuarsa. Ketebalan batugamping ini mencapai 30 m, dan Formasi Tawun diendapkan pada lingkungan paparan laut terbuka yang cukup dalam (*outershes*) pada masa *Miosen* awal hingga pertengahan..

5. Formasi Ngrayon

Satuan stratigrafi ini mungkin juga berstatus sebagai anggota Formasi Tawun. Bagian bawah terdiri dari *cycloclypeus* dan batulumpur, dan bagian atas terdiri dari 11 batupasir dengan selingan batugamping orbital. Di bawah lapisan batulumpur, terlihat struktur sedimen yang khas: bekas gelombang dan serpihan gipsum. Batupasir berwarna kuning-merah dan seringkali mempunyai struktur deformasi sedimen lunak, dengan jejak fosil berupa lubang-lubang vertikal (lapisan terpotong) dari kelompok ophiomorpha. Dari penampakan tersebut dapat disimpulkan bahwa bagian bawah satuan ini pada mulanya diendapkan pada dataran pasang surut, kemudian berubah menjadi tanggul batupasir merah lepas pantai atau daerah pesisir, kemudian diperdalam menjadi lingkungan paparan. Tahapan tengah hingga luar menghasilkan batugamping yang kaya akan *cycloclypeus*. Ciri-ciri stratigrafi tersebut dapat dilihat di daerah Polaman. Batupasir Ngrayong merupakan reservoir utama ladang minyak di wilayah Cepu. Ketebalan rata-rata adalah 300 m, namun menurun menjadi dibagian selatan dan timur akibat perubahan fasies menjadi batulumpur.

6. Formasi Bulu

Formasi Bulu terletak di atas Batupasir Ngrayong dan tersebar luas di bagian utara *Anticrinorum* Lembang. Formasi ini terdiri dari kalkarenit trombosit dengan endapan napal berpasir. Sekelompok *cycloclypeus* (*katacycloclypeus*) annulatus yang sangat umum terdapat di beberapa tempat. *Calcarenite* terdiri dari batuan karbonat yang dihancurkan, *foraminifera* besar dan kecil, kuarsa, *feldspar*, dan partikel glaukonit. Ke arah barat, lapisan ini menjadi lebih tebal. Ketebalannya hanya 80 m di timur, tetapi mencapai 300 m di barat, dan diendapkan di lingkungan laut dangkal yang terhubung dengan laut lepas pada pertengahan *Miosen*.

7. Formasi Wonocolo

Formasi Wonocolo tersusun atas napal dan batulumpur tak berlapis. Bagian bawah tersusun oleh batugamping berpasir dan batupasir berkapur, yang umumnya menunjukkan gejala pengendapan progresif. Ketebalan total formasi ini sekitar 500 m dan menunjukkan peningkatan ketebalan ke arah selatan. Pengendapan terjadi di lingkungan luar paparan atas sejak pertengahan *Miosen*.

8. Formasi Ledok

Formasi Ledok mempunyai ciri khas letaknya pada daerah antiklin Ledok, 10 km sebelah utara kota Cepu. Komponen utamanya terdiri dari pergantian antara batupasir glaukonit dan kalkarenit dengan beberapa endapan napal. Batupasir berwarna kehijauan sampai kecoklatan, berbutir halus sampai sedang, dan mempunyai komposisi mineral keseluruhan bergradasi sedang yang terdiri dari kuarsa, fragmen kalsit, dan glaukonit. Ketebalan tiap lapisan 10-60cm. Bagian bawah memiliki butiran yang lebih halus dibandingkan bagian atas. Ketebalan total Formasi Ledok mencapai 230 m pada lokasi acuannya, dan di utara formasi ini lambat laun menyatu dengan Formasi Paciran.

9. Formasi Mundu

Formasi Mundu mempunyai ciri litologi yang unik, terdiri dari napal masif berwarna abu-abu pucat hingga putih kekuningan dengan kandungan *foraminifera* planktonik yang sangat tinggi. Selain itu, kandungan glaukonit juga terdeteksi, namun dalam jumlah kecil. Di beberapa tempat, bagian atas formasi ini berangsur-angsur menjadi batugamping berpasir. Ketebalan formasi ini cenderung meningkat ke arah selatan hingga mencapai 700 m. Formasi Mundu terbentuk akibat sedimentasi laut dalam pada zona N17–N20 (*Miosen Akhir–Pliosen*).

10. Formasi Selerejo

Satuan ini terdiri atas struktur selingan batu butiran *foraminiferal/packstone* (sebagian glaukonit) dengan batugamping Naparan dan batugamping berpasir, dan jenis ini terdapat di Desa Selerejo dekat Cepu. Ketebalan satuan ini mencapai 100 m, dan Selerejo kadang-kadang dianggap sebagai bagian dari Formasi Mundu, suatu reservoir gas tepat di bawah kota Cepu. Lingkungan sedimen diperkirakan terjadi di laut dalam, dimana mekanisme arus kekeruhan tersapu oleh arus bawah dan bahan uji foraminifera terakumulasi dalam bentuk *grainstone* dan *packstone* tanpa matriks, dan porositasnya mencapai 50. Bahkan bisa mencapai 50% masing-masing dalam bentuk partikel *Vugs*, *Inters*, dan *Intra*.

11. Formasi Lidah

Formasinya terdiri dari batulumpur kebiruan dan napal berlapis diselingi lensa batupasir dan batu butiran/batulumpur fosil (*coquina*). Bagian bawah masih berupa sedimen laut yang ditandai dengan adanya kandungan *Pseudorotalia sp.* dan *Asterolotaria sp.* Koleksi fosil ini mencirikan sedimen laut di lapisan tengah hingga terluar. Di atas satuan ini, batuan menunjukkan produk sedimen dari lingkungan yang semakin dangkal. Terakhir, bagian atasnya terdiri dari tanah liat yang terbentuk dari pengendapan air tawar.

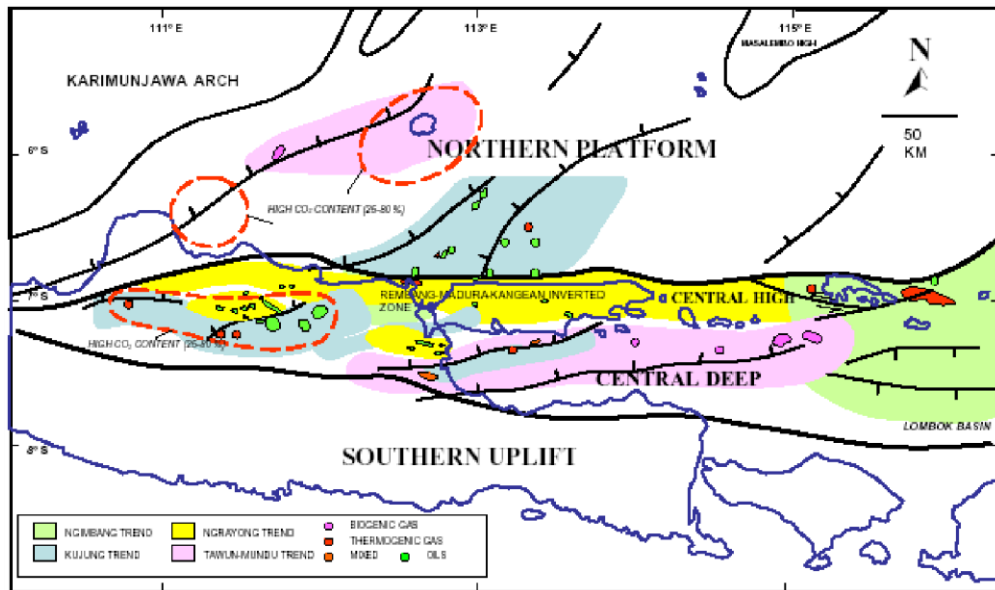
12. Formasi Paciran

Formasi Paciran terdiri dari batugamping masif, umumnya batugamping karang yang sudah lapuk, yang membentuk permukaan yang khas (permukaan *barrow*) akibat pelarutan. Gejala permukaan menunjukkan komposisi batuan telah berubah menjadi kapur (*Cretaceous limestone*). Lapisan ini terutama tersebar di bagian utara sabuk Lembang, dan terbentuk pada zaman *Pliosen* hingga *Pleistosen* awal. Di beberapa tempat, batuan ini terbentuk pada umur yang lebih tua, pada masa pembentukan Formasi Ledok dan Wonocolo di utara, serta pada masa pembentukan Formasi Mundu dan Lidah di selatan.

2.3 Struktur Geologi Cekungan Jawa Timur

Cekungan di Jawa Timur Utara diyakini muncul sebagai hasil dari aktivitas pada salah satu lempeng *mikrokontinen* yang dikenal sebagai Lempeng Argo. Lempeng Argo membentang dari Jawa Timur hingga Sulawesi Barat, dan ada beberapa pandangan tentang asal-usul cekungan ini. Menurut Husein dan Nukman (2015), cekungan ini terbentuk selama periode *Eosen* dan dapat digambarkan sebagai cekungan belakang busur (*back-arc basin*) yang terletak di tepi benua aktif (*active margin*) (**Gambar 5**).

Namun, ada juga pandangan alternatif yang diajukan oleh Husein dan Nukman (2015) yang menganggap bahwa cekungan ini mungkin lebih cocok digambarkan sebagai tipe tepian benua pasif (*passive margin*). Sedimen awal yang mengisi cekungan ini awalnya berasal dari daratan (*terrigenous sediments*) selama periode peregangan cekungan (*basin rifting*) dan kemudian berubah menjadi lingkungan laut pada akhir periode *Eosen*. Pola peregangan cekungan ini mengikuti arah Timur Laut - Barat daya, yang mencerminkan struktur batuan dasar (Hamilton, 1979) dan perkembangan regangan di Selat Makassar (Hall, 2012).



Gambar 5. Struktur Geologi Cekungan Jawa Timur Utara (Satyana dan Purwaningsih, 2003)

Novian dkk., (2014) mengusulkan teori bahwa perubahan bentuk Cekungan Jawa Timur Utara secara signifikan dipengaruhi oleh dinamika subduksi Lempeng Samudera Hindia. Hipotesis ini menggambarkan serangkaian peristiwa geologi yang membentuk wilayah ini. Awalnya, dimulai dengan penurunan lapisan *kenozoikum* di bagian selatan *Sundaland*, yang merupakan langkah awal dalam pembentukan Cekungan Jawa Timur Utara. Langkah ini diikuti oleh peristiwa orogenesis Tuban (*Tuban Event*) yang terjadi pada akhir *Miosen* Awal. Peristiwa ini dipicu oleh patahan dalam lempeng samudera dengan usia Albian-Turonian dan penyelipan lempeng dengan usia *Oxfordian-Albian*, yang mengakibatkan kenaikan Pulau Jawa dan pembentukan pegunungan. Selama perkembangan wilayah ini, aktivitas vulkanik modern dan gaya geser yang terkait dengan penyelipan lempeng *Oxfordian-Albian* memainkan peran penting. Kemudian, di *Pliosen* Tengah, terjadi peristiwa inversi Cekungan Jawa Timur Utara, yang dipicu oleh dinamika kompleks dalam lempeng di wilayah tersebut.

2.4 *Petroleum System Konvensional*

Petroleum system merupakan sistem yang digunakan untuk mengetahui keadaan geologi dimana minyak dan gas bumi terakumulasi (Koesoemadinata, 1980). Terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi terbentuknya *petroleum system*, yaitu:

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

Batuan sumber adalah batuan tempat terbentuknya hidrokarbon. Batuan ini pada umumnya merupakan batuan serpih (*Shale*) yang mengandung material organik. Kadar material organik dalam batuan sedimen secara umum dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain lingkungan pengendapan dimana kehidupan organisme berkembang secara baik, sehingga material organik terkumpul, pengendapan sedimen yang berlangsung secara cepat, sehingga material organik tersebut tidak hilang oleh pembusukan atau teroksidasi (Koesoemadinata, 1980).

b. **Migrasi (*Migration*)**

Migrasi merupakan istilah dalam *petroleum system* dimana hidrokarbon berpindah tempat dari *source rock* menuju tempat yang lebih tinggi melalui rekahan atau pori-pori batuan. Migrasi dapat terjadi karena dipengaruhi oleh kemiringan lapisan dan kejadian geologi seperti kompaksi, tegangan permukaan, gaya pelampungan, tekanan hidrostatik, tekanan gas, dan tekanan hidrodinamik (Koesoemadinata, 1980).

c. **Reservoir**

Reservoir merupakan batuan tempat terakumulasinya hidrokarbon setelah melalui migrasi. Pada umumnya batuan ini terdiri atas batu pasir atau karbonat dimana batuan tersebut merupakan batuan yang poros dan permeable.

d. Lapisan Penutup (*Seal*)

Lapisan penutup merupakan lapisan impermeable yang berfungsi untuk mencegah hidrokarbon menuju permukaan, dengan kata lain mencegah agar hidrokarbon tetap berada pada perangkap. Lapisan ini pada umumnya terdiri atas lempung, *Shale* yang tak retak, batugamping pejal atau lapisan tebal dari batuan garam.

e. Perangkap (*Trap*)

Perangkap merupakan suatu kondisi geologi dimana mampu menghambat aliran hidrokarbon sehingga bisa terakumulasi di reservoir. Perangkap digolongkan dalam 3 jenis, yaitu perangkap struktur, perangkap stratigrafi, dan perangkap kombinasi. Perangkap struktur terbentuk oleh kejadian deformasi lapisan dengan terbentuknya lipatan dan patahan. Perangkap stratigrafi dipengaruhi oleh variasi lapisan secara vertikal dan horizontal, perubahan fasies batuan, dan ketidakselarasan. Perangkap kombinasi merupakan perangkap gabungan dari perangkap struktur dan stratigrafi.

2.5 *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 (Zendehboudi 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 (Gambar 6). Ada tiga model yang menjelaskan hubungan antara reservoir dan batuan sumber (*source rock*) dalam proses migrasi hidrokarbon:

a. Model Masif

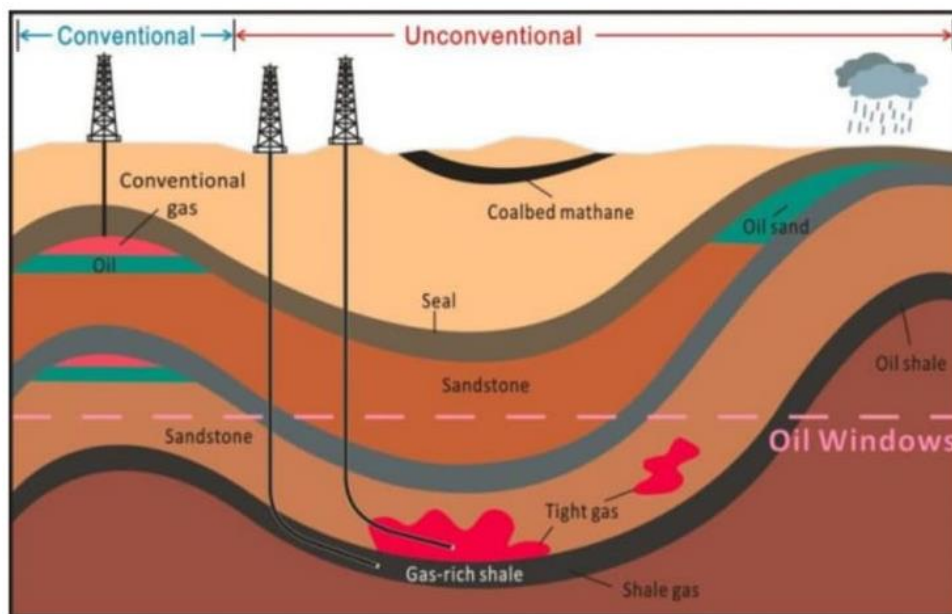
Model ini menggambarkan situasi di mana hidrokarbon tertahan secara masif di dalam batuan induk (*source rock*). Dalam kondisi ini, migrasi hidrokarbon terjadi hanya melalui pergerakan tetesan hidrokarbon dari pinggiran atau area margin batuan sumber. Hidrokarbon yang terperangkap di reservoir tidak 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 diantara dua lapisan batuan sumber (*source rock*) yang berkembang dengan baik. Lapisan batuan sumber diatas dan dibawah reservoir berkontribusi secara signifikan pada penyediaan hidrokarbon ke dalam reservoir. Hidrokarbon yang dihasilkan oleh batuan sumber di atas dan dibawah 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.



Gambar 6. *Petroleum system* konvensional dan nonkonvensional
(Zendeboudi, 2017a)

2.1 Penelitian Terdahulu

Fatahillah dkk. (2016) menentukan potensi batuan induk menggunakan model *Log Toc* pada Formasi Ngimbang, lapangan “arrazi”, Cekungan Jawa Timur Utara dihasilkan Model Passey menggunakan metode *DlogR* untuk menunjukkan tren nilai *Total Organic Carbon* (TOC) di atas 1.5, menandakan kualitas yang sangat baik. Meskipun begitu, ketebalan yang sangat tipis, terutama di bawah 2 m, mengurangi potensi batu serpih sebagai sumber hidrokarbon dalam batuan asalnya. TOC maksimum tercatat di sumur SH-1 dengan nilai mencapai 4.872 di zona B. Analisis Pantulan Vitrinite juga mengungkapkan tingkat kematangan Formasi Ngimbang, yang berada dalam kisaran nilai Pantulan Vitrinit ($R_o\%$) 0.7 hingga 1.6, menunjukkan zona matang hingga sangat matang. Dengan demikian, penggunaan metode *DlogR* dan analisis Pantulan Vitrinite memberikan wawasan yang mendalam tentang potensi hidrokarbon dan tingkat kematangan Formasi Ngimbang, sambil menyoroiti kendala potensial terkait ketebalan yang minim pada batuan serpih.

Firdaus dan Setianto (2018) menginterpretasikan struktur geologi berdasarkan citra landsat 8, SRTM dan *anomaly* medan gravitasi satelit di

Cekungan Jawa Timur Utara dihasilkan struktur geologi dan sebaran densitas kelurusan berdasarkan data citra Landsat 8 dan SRTM pada area penelitian didapatkan arah relatif kelurusan dominan berarah NNW-SSE, NW-SE, ESE-WNW, dan E-W. Area densitas kelurusan dominan terdapat pada Zona Rembang dan Zona Kendeng. Hal tersebut mengindikasikan Zona Rembang dan Zona Kendeng merupakan area yang intensif mengalami deformasi tektonik dan dekat dengan struktur geologi. Interpretasi struktur geologi berdasarkan data gravitasi dengan metode total horizontal derivative dapat mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan bumi. Patahan yang terdapat di Zona Rembang dengan arah ENE-WSW dapat diindikasikan sebagai patahan basement.

Silaen dkk. (2021) menganalisis potensi reservoir batupasir Formasi Ngimbang dan interval umur pra-tercier area silaen-10, sub-Cekungan Kangean, Cekungan Jawa Timur Utara didapatkan hasil yaitu area potensial akumulasi hidrokarbon di Sumur Silaen-1 terletak pada kedalaman 2.800-2.990 m, sedangkan Sumur Silaen-3 berada pada kedalaman 2.900-3.180 m. Parameter petrofisika menunjukkan bahwa porositas efektif rata-rata di zona reservoir Sumur Silaen-1 adalah 0,27, sedangkan pada Sumur Silaen-3 sebesar 0,24. Volume serpih rata-rata pada Silaen-1 adalah 0,23, sementara pada Silaen-3 nilainya adalah 0,05. Saturasi air rata-rata pada Silaen-1 adalah 0,90, sedangkan pada Silaen-3 sebesar 0,8. Terdapat tiga horison potensial, yaitu top R1, bottom R1, dan SB pra-tercier, dengan R1 dianggap sebagai satu horison karena merupakan satu tubuh formasi. Dua area prospek terbaru terdapat di horison R1, yaitu R1-MS-01 (bagian timur) dan R1-MS-02 (bagian barat), sedangkan empat area prospek terbaru di horison SB pra-tercier, yaitu MS-SBPT-01, MS-SBPT-02, MS-SBPT-03, dan MS-SBPT-04. Persebaran porositas efektif hanya dievaluasi pada horison R1, tetapi dapat memperkuat argumen terkait area prospek baru.

Buana (2022) mengidentifikasi kandungan hidrokarbon pada Formasi Lidah & Formasi Cepu berdasarkan integrasi data sumur dan geokimia di lapangan

“RB” Cekungan Jawa Timur Utara dihasilkan pada. sumur RB-1 dan sumur RB-2 berdasarkan nilai Sw memiliki potensi reservoir yang baik karena didominasi oleh nilai Sw 50% - 70%. Sumur RB-3, RB-4, dan RB-5 berdasarkan nilai Sw memiliki potensi reservoir yang baik karena dominasi nilai Sw 50% - 70% dan memiliki potensi batuan induk yang baik karena didominasi nilai TOC *fair* (sedang), kematangan *immature* menuju *mature*, dan didominasi tipe kerogen III *gas prone*.

Sekarsari (2022) menganalisis karakterisasi *shale* dan karbonat sebagai reservoir nonkonvensional di Cekungan Jawa Timur Utara dihasilkan berdasarkan hasil korelasi menurut umur geologi setiap umur dapat dilihat bahwa pada umur geologi *late Miocene* terdapat zona prospek reservoir nonkonvensional, dari ketiga sumur yang paling berprospek pada hidrokarbon nonkonvensional adalah sumur Nv-4.

Armando dkk. (2023) melakukan penelitian mengenai analisis geokimia hidrokarbon sumur “FLP” Cekungan Jawa Timur Utara yaitu Formasi Tuban Sumur FLP-1 dan FLP-2 memiliki potensi untuk menghasilkan hidrokarbon jenis gas, walaupun terdapat perbedaan pada Sumur FLP-2 yang juga memiliki potensi untuk menghasilkan hidrokarbon jenis minyak. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya tipe kerogen III dan tipe kerogen II/III pada Sumur FLP-2, sementara Sumur FLP-1 memiliki tipe kerogen III saja (Peters dan Cassa, 1994). Selain itu, tingkat kematangan batuan pada Sumur FLP-2, Formasi Kujung, sudah masuk pada *oil window* ($R_o = 0,6$; $T_{max} = 435^{\circ}C$) dan termasuk dalam jenis batuan induk efektif (Waples, 1985), sementara Sumur FLP-1 dan Formasi Tawun masih dalam tingkat kematangan *immature*. Analisis data GC menunjukkan bahwa pola Sumur FLP-1 cocok dengan lingkungan *fluvio-deltaic*, sementara FLP-2 cocok dengan lingkungan laut, dibandingkan dengan pola *fingerprints* (Robinson, 1987).

III. TEORI DASAR

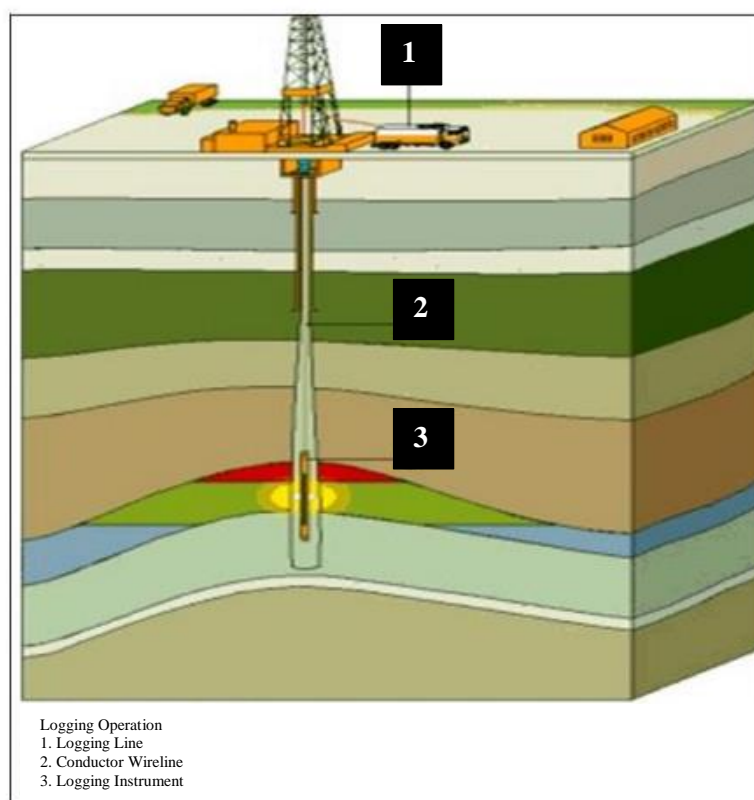
3.1 *Well Logging*

Well Logging merupakan metode pengeboran sumur yang mencatat sifat fisik batuan dalam bentuk kurva defleksi “in situ” dengan cara menurunkan peralatan pendeteksi ke dalam lubang sumur, seperti sensor sinar gamma, massa jenis, neutron, dan resistivitas dan kaliper rem. Salah satu metode geofisika untuk mendapatkan data bawah permukaan dengan cepat dan akurat adalah dengan melakukan *Well Logging*. Meskipun *Well Logging* memberikan akurasi data yang relatif tinggi dibandingkan metode lain sehingga relatif mahal, namun *Well Logging* tetap menjadi pilihan pertama bagi perusahaan untuk melakukan eksplorasi (Khasanah, 2019). *Well Logging* adalah suatu metode pencatatan data pengukuran secara terus menerus dari satu sumur untuk mempelajari perubahan berbagai sifat fisik batuan yang diperoleh melalui pengeboran sumur. (Setiahadiwibowo, 2016).

Saat melakukan inspeksi lubang sumur, truk inspeksi diposisikan di sepanjang kepala sumur dan kabel inspeksi dimasukkan ke dalam dua katrol. Roda katrol terpasang pada pengukur tegangan kabel. Terdapat indikator beban di dalam kabin kayu dan truk yang menunjukkan tegangan tali dan berat total peralatan. Katrol bawah dipasang pada struktur derek di dekat mulut sumur. Setelah alat-alat *logging* disambungkan satu sama lain, dilakukan serangkaian pemeriksaan dan kalibrasi kembali untuk memastikan alat-alat tersebut dapat berfungsi dengan baik dan tidak terpengaruh oleh suhu tinggi atau lumpur. Selanjutnya, seret alat *logging* dengan kecepatan tetap untuk memulai proses perekaman data. Beberapa rekaman sering kali

dilakukan dengan menggunakan kombinasi alat yang berbeda untuk menangkap semua data yang diperlukan. (Harsono, 1997).

Pencatatan *wireline* melibatkan memasukkan perangkat yang disebut *probe* ke dalam lubang sumur dan mencatatnya ke dasar lubang sumur. Perekaman dilakukan dengan menyeret *probe* dengan kecepatan konstan terus menerus dari dasar lubang hingga kedalaman yang diinginkan. Kegiatan ini dilakukan segera setelah selesainya operasi penggalian. (Gambar 7).



Gambar 7. Ilustrasi Kegiatan *Logging* (Mastoadji, 2007)

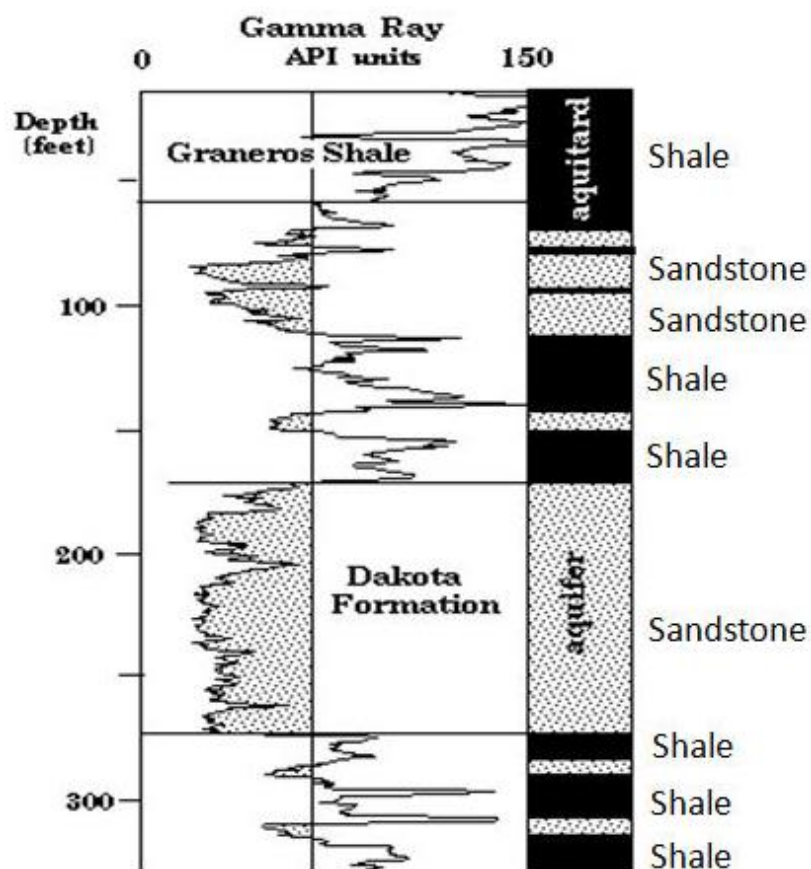
3.2 Jenis- jenis *Log*

a. *Log Gamma Ray*

Log gamma ray (GR) adalah pengukuran yang menunjukkan jumlah intensitas radioaktivitas dalam suatu formasi geologi. Prinsip *Log GR* adalah mencatat tingkat radioaktivitas alami yang disebabkan oleh tiga unsur dalam batuan: uranium (U), thorium (Th), dan potasium (K). Sinar gamma sangat efektif dalam membedakan lapisan transparan dan buram.

Hal ini karena unsur radioaktif biasanya terkonsentrasi pada serpih kedap air dan sebagian besar tidak terdapat pada batuan karbonat dan pasir, yang umumnya permeabel. (Harsono, 1997).

Gamma ray log memiliki satuan API (*American Petroleum Institute*), dimana tipikal kisaran API biasanya berkisar antara 0 s/d 150. Walaupun terdapat juga suatu kasus dengan nilai *gamma ray* sampai 200 API untuk jenis *organic rich Shale*. Gambar 8 menunjukkan contoh respon *Log Gamma Ray*.



Gambar 8. Respon *Log Gamma Ray* (Rider, 2002)

Penggunaan *log GR* juga digunakan untuk membedakan antara formasi serpih dan non-serpih di sumur terbuka atau sumur berselubung, dan untuk membedakan apakah terdapat lumpur. *Log GR* digunakan untuk mengidentifikasi litologi, menunjukkan korelasi antar formasi, dan menghitung volume serpih atau kandungan serpih dalam formasi

permeabel. Protokol ini juga dapat digunakan untuk menentukan kedalaman perforasi (sumbat air) tempat air diinjeksikan. Karena unsur radioaktif cenderung terkonsentrasi pada serpih kedap air dan tidak melimpah pada batuan karbonat dan pasir yang umumnya permeabel, maka sinar gamma sangat efektif dalam membedakan lapisan permeabel dan kedap air.

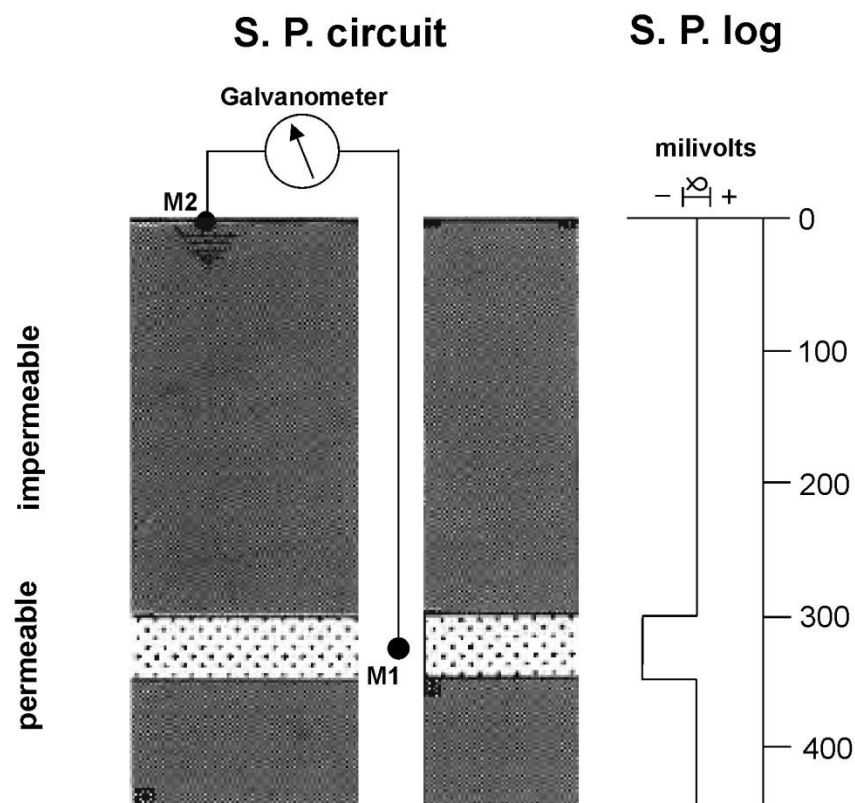
Dalam pelaksanaannya, pengukuran *log gamma ray* dilakukan dengan menurunkan instrumen *log gamma ray* kedalam lubang bor dan merekam radiasi sinar gamma untuk setiap interval tertentu. Biasanya interval pada perekaman *gamma ray* secara vertikal sebesar 0,5 *feet*. Sinar gamma dapat menembus logam juga semen, maka *logging gamma ray* ini dapat dilakukan pada lubang bor yang telah dipasang *casing* maupun yang telah dilakukan *cementing*. Walaupun terjadi atenuasi, sinar gamma karena casing, tetapi energinya masih cukup kuat untuk mengukur sifat radiasi gamma pada formasi batuan di sampingnya (Zain, 2011).

b. *Log Spontaneous Potential (SP)*

Log SP adalah rekaman beda potensial antara elektroda yang bergerak secara alami pada sumur bor dan elektroda yang berada di permukaan. *Log SP* tidak dapat digunakan pada lumpur pengeboran yang bersifat non konduktif. Menurut Asquith (2004) kegunaan dari *log SP* adalah:

- Mengidentifikasi lapisan permeable
- Mendeteksi batas lapisan permeable
- Menentukan resistivitas air formasi
- Menentukan volume *Shale* pada lapisan permeable.

Pada *log SP*, apabila terdefleksi ke arah kiri merupakan zona permeabel seperti *sandstone* dan apabila tidak terdefleksi merupakan zona nonpermeabel seperti *Shale* yang ditunjukkan pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Log Spontaneous Potential (Rider, 2002)

c. Log Resistivitas

Log resistivitas adalah log yang mengukur resistivitas suatu formasi geologi. Resistivitas suatu formasi diukur dengan elektroda induktif atau laterolog, mikrolog, atau mikrolaterolog. Log resistivitas dapat digunakan untuk membedakan zona hidrokarbon dan perairan (Nukefi, 2007). Pencatatan resistivitas adalah metode pengukuran sifat fluida pori seperti minyak, air, dan gas pada batuan dan sumur dengan mengukur resistivitas listriknya. Nilai resistivitas suatu batu dinyatakan dengan menggunakan ohmmeter, biasanya dalam skala logaritmik dengan nilai 0,2 hingga 2000 ohm. Metode penentuan resistivitas ini digunakan karena batuan, cairan, dan hidrokarbon bumi umumnya memiliki nilai resistivitas yang unik (Aprilia, 2018). Berikut contoh nilai resistansi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

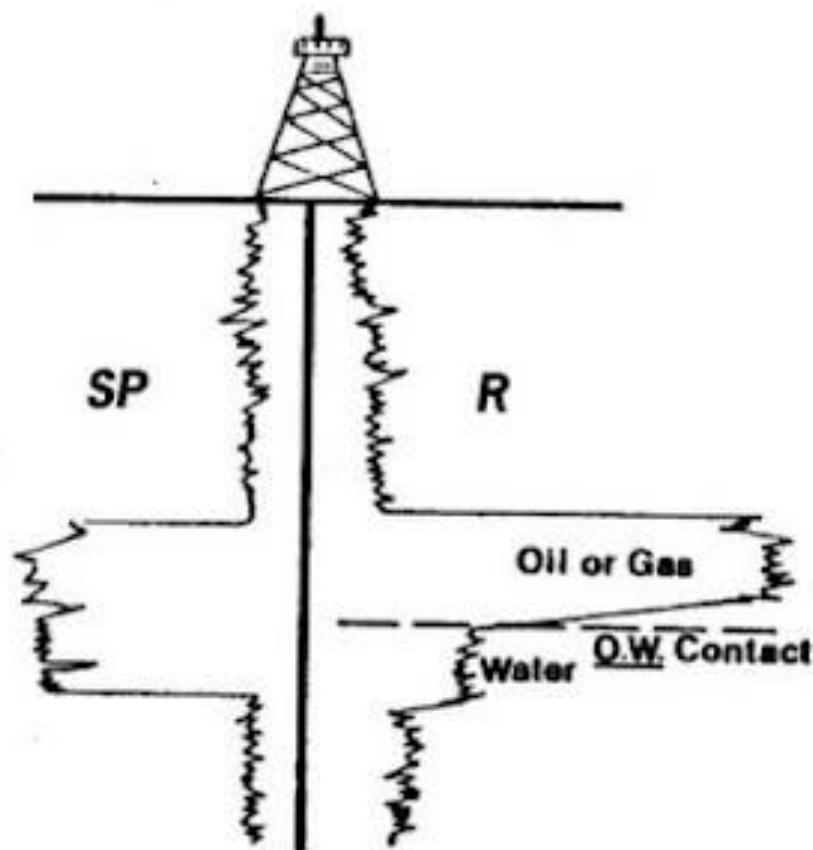
Tabel 1. Nilai Resistivitas suatu litologi (Asquith dan Krygowski, 2004)

Material	Resistivitas (Ohm Meter)
<i>Limestone</i>	50 – 10 ²
<i>Sandstone</i>	1 - 10 ⁸
<i>Shales</i>	20 – 2x10 ³
<i>Dolomite</i>	100 – 10.000
<i>Sand</i>	1 – 1000
<i>Clay</i>	1 – 100
<i>Sea Water</i>	0.2

Matriks dan partikel batuan dianggap bersifat isolasi, atau non-konduktif (yaitu, merupakan konduktor arus listrik yang buruk). Oleh karena itu, kemampuan suatu batuan untuk menghantarkan listrik erat kaitannya dengan jumlah (penghantar) air pada pori-porinya. Semakin banyak air yang terkandung dalam pori, semakin banyak hidrokarbon yang terkandung dalam pori, dan semakin besar resistivitas yang dihitung. Hal ini karena hidrokarbon bersifat isolasi atau non-konduktif (misalnya hanya matriks dan butiran) (Nukefi, 2007).

Saat mengukur *log* resistivitas, biasanya ada tiga jenis penetrasi resistivitas: dangkal (lubang bor), sedang (zona penetrasi), dan dalam (zona universal). Perbedaan kedalaman penetrasi ini dimaksudkan untuk menghindari kesalahan penafsiran nilai *log* resistivitas akibat pengaruh lumpur pemboran dalam kajian karakteristik penetrasi lumpur dan migrasi minyak. Lumpur biasanya dipompa ke dalam sumur terlebih dahulu untuk memprediksi tekanan selama pengeboran. Berbagai macam lumpur antara lain lumpur air tawar, lumpur air laut, lumpur minyak, dan jenis lumpur lainnya. Misalnya, ketika lumpur berbahan dasar air dengan nilai resistivitas rendah, seperti Lumpur Pengeboran, diinfiltrasi ke dalam reservoir yang mengandung minyak, hal ini menghasilkan profil ketahanan rembesan dalam yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai ketahanan rembesan dangkal dan menengah. Jika penetrasi sedang dan penetrasi dalam setara, tidak akan ada efek penetrasi. Keadaan ini menunjukkan

bahwa pengangkutan minyak di dalam reservoir sangat sulit dan tidak baik untuk produksi.. Daerah *Shallow zone*, *medium zone* dan *univade zone* (Asquith dan Krygowski, 2004) di tunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Kurva *Resistivity Log* (Sandhika, 2016)

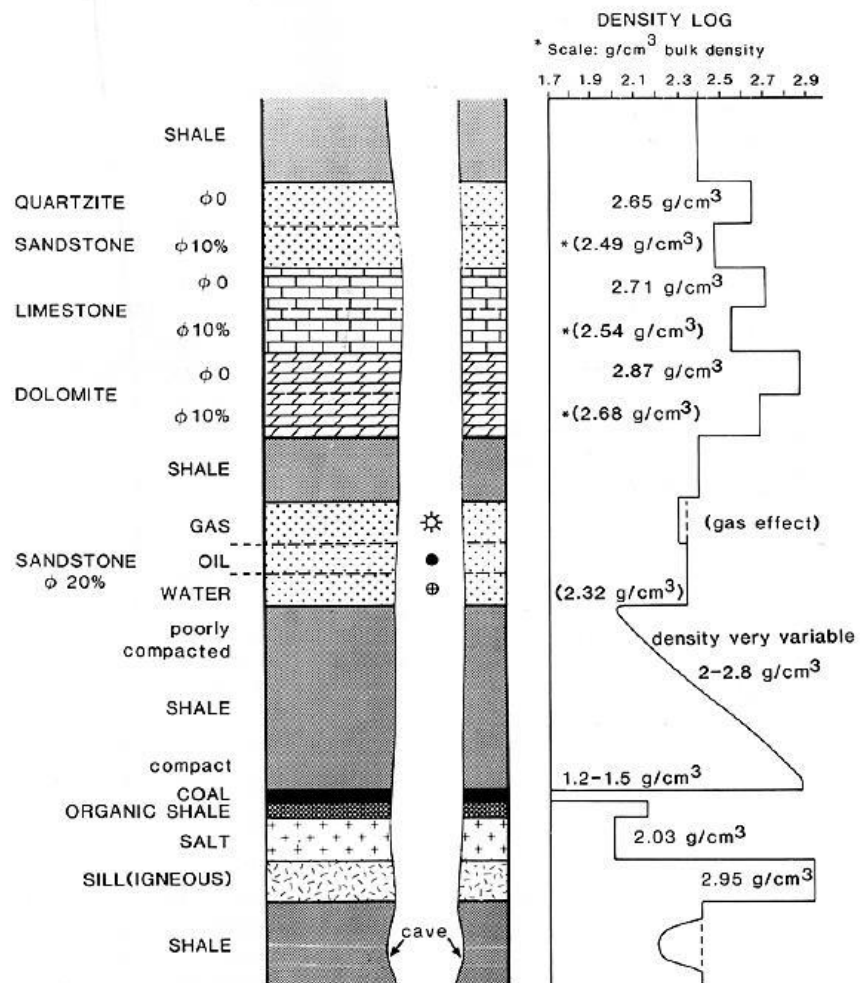
d. *Log Densitas*

Density logging dilakukan untuk mengukur kepadatan batuan di sepanjang lubang bor. Massa jenis yang diukur adalah massa jenis total matriks batuan dan fluida yang terkandung dalam pori-pori batuan. Prinsip kerja dari alat pengukur massa jenis ini adalah memancarkan sinar gamma dari sumber sinar gamma yang dipasang pada dinding lubang bor. Ketika sinar gamma melewati suatu batuan, sinar tersebut bertabrakan dengan elektron dalam batuan tersebut, sebagian energi sinar gamma hilang, dan sebagian lagi dipantulkan dan ditangkap oleh detektor yang ditempatkan

diatas sumber radiasi. Intensitas sinar gamma yang dipantulkan bergantung pada kepadatan formasi. Tujuan utama dari log densitas adalah untuk mengukur densitas curah suatu batuan untuk menentukan porositasnya. Selain itu, dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan hidrokarbon dan air. Dikombinasikan dengan *log* neutron, ini juga dapat digunakan untuk menentukan kepadatan hidrokarbon (ρ_h), yang berguna untuk mengevaluasi formasi serpih (Bagenda, 2017)

Saat menghitung porositas suatu batuan, digunakan dua nilai densitas yang berbeda: densitas curah (ρ_h atau RHOB) dan densitas matriks (ρ_m). Massa jenis batuan adalah massa jenis total suatu batuan, yaitu massa jenis bagian cair dan padat batuan, diukur dengan menggunakan logaritma massa jenis, sedangkan massa jenis matriks hanyalah massa jenis matriks batuan tersebut (Asquith, 2004). Secara kuantitatif, *log* densitas digunakan untuk mengukur porositas dan densitas hidrokarbon (HC) secara tidak langsung. Secara kualitatif, protokol digunakan untuk menentukan litologi dan jenis mineral tertentu.

Salah satu peralatan *density log* adalah *Formation Density Compensate* (FDC). FDC terdiri dari *source*, *log space detector*, *Short space detector*. Kedua detector yang ada pada *density log* ini berfungsi sesuai dengan radius kedalamannya. Selain FDC ada pula *Litho Density Tool* (LDT). LDT merupakan salah satu peralatan *density log* yang banyak digunakan. *Litho Density Tool* merupakan jenis alat FDC yang telah disempurnakan (Sandhika, 2016). Respon *log density* ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Respon *Log Density* (Maulana, 2016)

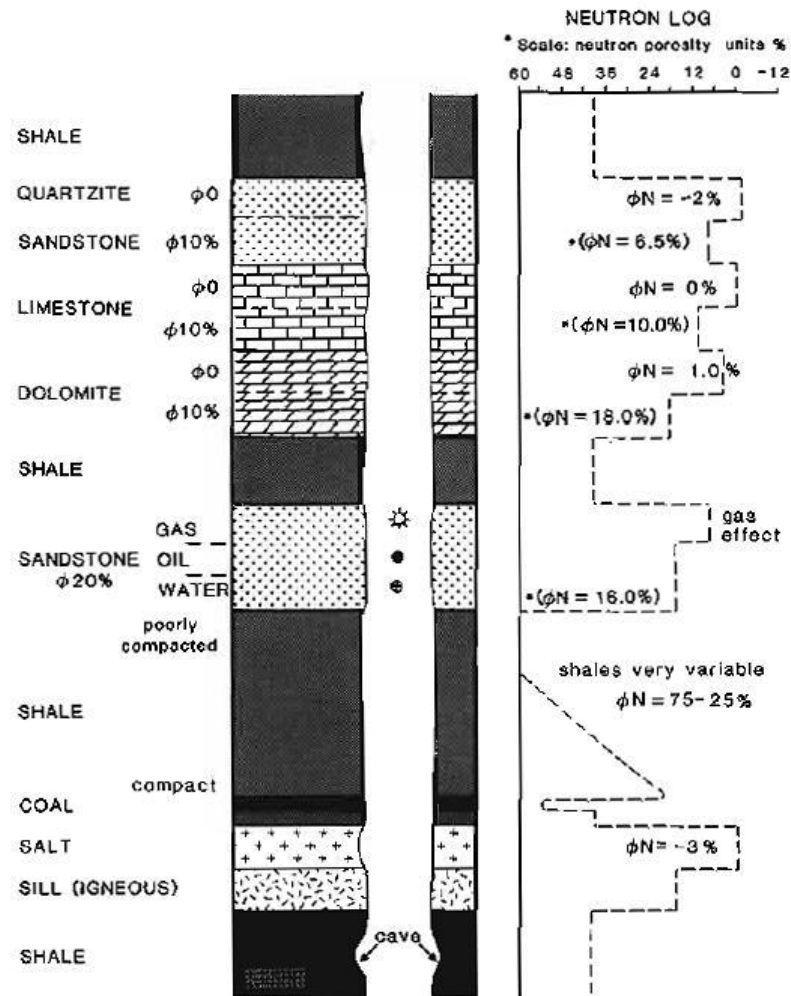
e. *Log Neutron*

Log neutron adalah *log* porositas yang mengukur jumlah ion hidrogen dalam formasi. Protokol neutron ini digunakan bersama dengan protokol kepadatan untuk mengukur porositas batuan. Jika pori-pori terisi gas maka porositas neutron yang dihitung akan semakin kecil. Hal ini karena gas memiliki lebih sedikit ion hidrogen dibandingkan air atau minyak. Fenomena penurunan nilai porositas neutron disebut efek gas. Selain efek gas, terdapat juga efek serpih yang dapat mempengaruhi nilai porositas neutron. Efek serpih merupakan gejala meningkatnya nilai porositas neutron yang disebabkan oleh kandungan serpih. Hal ini karena ion

hidrogen pada struktur tanah liat dan air yang terikat pada pori-pori tanah liat juga dihitung sebagai ion hidrogen (Nukefi, 2007).

Neutron biasanya dihasilkan dari sumber kimia yang dicampur dengan *amerisium* dan *berilium*, yang secara terus menerus menghasilkan neutron. Ketika neutron bertabrakan dengan unsur kimia dalam formasi, mereka kehilangan sejumlah energi. Jika tumbukan (deposisi) cukup banyak, maka neutron akan diserap oleh inti atom dan sinar gamma akan dipancarkan. Atom hidrogen mempunyai massa yang kira-kira sama dengan neutron, sehingga ketika neutron mengenai atom hidrogen, ia kehilangan energi paling besar. Oleh karena itu, kehilangan energi dapat dianggap setara dengan porositas formasi. Protokol porositas neutron mengukur kandungan hidrogen di pori-pori batuan, bukan mengukur porositas batuan yang sebenarnya. Semakin berpori suatu batuan, semakin banyak kandungan hidrogennya dan semakin tinggi indeks hidrogennya. Oleh karena itu, serpih dengan kandungan hidrogen yang tinggi diperkirakan juga memiliki porositas yang tinggi. (Asquith dan Krygowski, 2004). *Log* neutron ditunjukkan pada Gambar 12. Menurut Wisnu, (2019) kegunaan *log* neutron ini adalah antara lain:

- Menentukan porositas yaitu mendeteksi porositas primer dan sekunder dalam formasi.
- Identifikasi litologi dengan menggunakan gabungan *log* densitas, neutron dan *sonic*.
- Identifikasi adanya hidrokarbon, dideteksi dengan gabungan *log* neutron dan densitas.



Gambar 12. Respon Log Neutron (Rider, 2002)

f. Log Sonic

Log sonic adalah *log* yang digunakan untuk menentukan nilai porositas batuan seperti protokol kepadatan dan neutron. Protokol audio ini menggambarkan laju waktu audio ditransmisikan atau dipancarkan di dalam formasi sebelum terdeteksi kembali oleh penerima. Kecepatan suara melalui lapisan batuan ini ditentukan oleh matriks batuan dan distribusi porositasnya. Alat yang paling umum digunakan adalah BHC (*Borehole Compensated Sonic Tool*). Ini adalah alat yang menggunakan serangkaian pasangan pemancar dan penerima untuk meminimalkan efek lubang bor. Prinsip pengoperasian alat ini pada formasi geologi homogen adalah gelombang yang dipancarkan pemancar merambat dengan cepat

melalui lumpur tergantung pada sudut transmisi. Beberapa gelombang dibelokkan atau dipantulkan, dan gelombang lainnya merambat sepanjang dinding lubang bor sebagai gelombang sekunder. Tujuan dari instrumen akustik adalah untuk mengukur waktu rambat gelombang suara melalui formasi geologi pada jarak tertentu. (Harsono, 1997).

3.3 Sifat Fisik Batuan Reservoir

Sifat-sifat batuan yang penting dalam analisis *log* adalah porositas, saturasi air dan permeabilitas. Porositas dan saturasi air digunakan dalam perhitungan initial *hydrocarbon in place*, sedangkan permeabilitas digunakan dalam menentukan kelajuan dari aliran fluida (Harsono, 1997). Selain itu sifat batuan yang penting dari analisis fisis media berpori adalah batuan reservoir yang harus bersifat kelolosan atau permeabilitas, porous dan memiliki kejenuhan (saturasi) (Adim, 1991).

a. Porositas

Jumlah ruang kosong (pori-pori) dalam kaitannya dengan volume total atuan dikenal sebagai porositas. Derajat porositas dalam formasi jarang tergantung pada distribusi ukuran butir daripada ukuran butir total. Jika ukuran partikel bervariasi sehingga butiran kecil menempati ruang pori diantara butiran besar, porositas akan rendah dan akan tinggi jika semua butiran berukuran hampir sama. Porositas adalah simbol untuk kapasitas batuan reservoir untuk menahan fluida (Harsono, 1997).

- Porositas Primer

Porositas primer mengacu pada porositas yang terbentuk selama pembentukan batuan, dan ukurannya sangat dipengaruhi oleh cara butir disusun, bentuk atau kebundarannya, pemadatan/kompaksi, dan sedimentasi.

- Porositas Sekunder

Porositas sekunder yang terjadi sebagai akibat dari proses geologis setelah pengendapan batuan. Antara lain peralutan, retakan dan rekahan merupakan beberapa proses yang menyebabkan timbulnya porositas. Proporsi ruang pori dalam volume keseluruhan batuan dikenal sebagai porositasnya. Area tubuh batuan yang dikenal sebagai ruang pori digambarkan sebagai ruang kosong tidak ditempati oleh padatan. Ruang pori total meliputi seluruh ruang kosong baik yang terhubung ataupun tidak. Ruang pori efektif adalah yang memiliki hubungan satu sama lain (Koesoemadinata, 1980). Tingkat porositas dalam batuan bergantung pada bagaimana ukuran butir diklasifikasikan dan tidak selalu tetap pada ukuran butir. Batuan dengan ukuran butir yang konsisten dan sortasi yang baik akan memiliki porositas berkisar dari 1-0, dan semakin rapat suatu formasi, semakin rendah porositasnya.

Tabel 2. Kualitas nilai porositas (Koesoemadinata, 1980)

Nilai Porositas (%)	Kualitas
0 – 5	Diabaikan (<i>negligible</i>)
5 – 10	Buruk (<i>poor</i>)
10 – 15	Cukup (<i>fair</i>)
15 – 20	Baik (<i>good</i>)
20 – 25	Sangat Baik (<i>very good</i>)
>25	Istimewa

Nilai porositas batuan biasanya diperoleh dari hasil perhitungan data sumur, yaitu data *log* densitas, *log* neutron, dan *log* kecepatan. Secara umum porositas batuan akan berkurang dengan bertambahnya kedalaman batuan, karena semakin dalam suatu batuan maka akan semakin kompak akibat efek tekanan di atasnya. Nilai porositas juga mempengaruhi kecepatan gelombang seismik. Semakin besar porositas batuan maka kecepatan gelombang seismik yang melewatinya akan semakin kecil, dan demikian pula sebaliknya. Butiran dan karakter geometris (susunan, bentuk, ukuran dan distribusi) proses diagenesa dan kandungan semen, kedalaman dan tekanan.

b. Permeabilitas

Kapasitas batuan untuk mengalirkan fluida dikenal sebagai permeabilitas (K). Ini adalah unit pengukuran yang digunakan untuk mengukur seberapa cepat fluida akan bergerak melalui area batuan berpori ketika ada gradien tekanan tertentu (mD). Dalam ukuran produksi, nilai permeabilitas 1000 mD dan 1,0 mD digunakan untuk menunjukkan permeabilitas tinggi dan rendah, masing-masing. Permeabilitas tinggi ditemukan pada sedimen berpori besar, sedangkan permeabilitas rendah ditemukan pada batuan berpori halus dengan alur berliku dan lubang kecil (Koesoemadinata, 1980).

Tabel 3. Kualitas nilai permeabilitas (Koesoemadinata, 1980)

Nilai Permeabilitas (mD)	Kualitas (Umum)
<5 (1 – 5)	Ketat (<i>tight</i>)
5 – 10	Cukup (<i>fair</i>)
10 – 100	Baik (<i>good</i>)
100 – 1000	Sangat Baik (<i>very good</i>)
>1000	Istimewa (<i>excellent</i>)

c. Saturasi Air (S_w)

Saturasi air (S_w) adalah bagian ruang pori yang terisi air atau volume pori batuan yang terisi oleh air, sedangkan bagian yang terisi oleh hidrokarbon disebut dengan saturasi hidrokarbon (S_h) yang memiliki nilai $(1-S_w)$ (Harsono, 1997). Asumsi umum yang berlaku adalah bahwa reservoir pertama kali diisi penuh dengan air, dan seiring berjalannya waktu geologis, minyak dan gas yang telah dibuat di tempat lain diangkut ke formasi berpori, dimana menggantikan air di ruang pori yang lebih besar. Hidrokarbon yang dihilangkan ini, bagaimanapun, tidak dapat sepenuhnya mengembalikan air. Adanya saturasi air (S_w), yang menunjukkan bahwa air tertinggal karena adanya tegangan pada permukaan butiran, interaksi satu sama lain, dan celah mikroskopis antar butiran. Formasi tidak akan menyebabkan aliran air sisa. Porositas, ukuran pori, dan susunan butir matriks semuanya memiliki dampak yang

signifikan terhadap jumlah saturasi air sisa (Adim, 1991 dalam Bagenda, 2017).

Tabel 4. Nilai saturasi air (Adim, 1991)

So Rata-rata	Sw Rata-rata	Indikasi
< 3%	<50%	Gas
2-5%	<60%	Minyak +Gas
>5%	<50-70%	Minyak
<1%	>70-75%	Water

Saturasi air dengan metode Archie. Pertama, Archie mampu membangun dua hubungan empiris yang disebut indeks resistivitas (RI) dan faktor pembentukan (F). Persamaan pertama menggambarkan hubungan antara indeks resistivitas (RI) dan saturasi air (Sw) dan dapat ditulis sebagai: (Archie, 1941).

$$RI = \frac{R_t}{R_0} \dots \dots \dots (1)$$

Persamaan kedua yang dibuat oleh Archie menunjukkan hubungan antara faktor formasi (F) dengan porositas (Φ) yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini (Archie, 1941).

$$F = \frac{R_0}{R_w} = \frac{\alpha}{\phi^m} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan menggabungkan persamaan pertama dan keduanya terbentuklah persamaan yang paling dikenal dengan nama persamaan saturasi air Archie seperti yang terlihat di bawah ini (Archie, 1941).

$$S_w = \left(\frac{1}{RI}\right)^{\frac{1}{n}} = \left(\frac{F * R_w}{R_t}\right)^{\frac{1}{n}} \rightarrow S_w^n = \frac{\alpha * R_w}{\phi^m * R_t} \dots \dots \dots (3)$$

Metode Archie memiliki beberapa keunggulan, antara lain kemampuannya mengukur nilai saturasi air secara akurat pada reservoir yang tidak mengandung lapisan serpih atau pasir bersih. Selain beberapa kelebihan, metode Archie juga memiliki beberapa kelemahan, seperti ketidakmampuan metode ini dalam menentukan nilai saturasi air secara memadai pada reservoir yang mengandung serpih. Selain itu, rumus ini juga tidak mengasumsikan bahwa serpih di dalam formasi dapat meningkatkan pengukuran konduktivitas sehingga nilai perhitungan menjadi kurang akurat.

3.4 Analisis Parameter Nonkonvensional

Pada tahun 1981, Baker mengemukakan definisi reservoir nonkonvensional dalam kerangka ekonomi murni sebagai "wilayah reservoir yang memiliki karakteristik yang menghambat praktik konvensional." Beberapa faktor seperti mobilitas dan transmibilitas memiliki dampak signifikan pada penentuan wilayah reservoir yang bersifat nonkonvensional.

Tabel 5. Analisis jenis fluida nonkonvensional (Abdelfattah dkk., 2015)

Parameter	Gas	Minyak
Permeabilitas (mD)	<0,1	<1
Mobilitas (mD/cP)	<10	<1
Transmibilitas (mDm/cP)	<100	<10

Secara umum, hidrokarbon nonkonvensional cenderung mengumpul di reservoir yang memiliki kualitas yang rendah, sering kali berupa *Shale* atau dengan kata lain memiliki porositas efektif di bawah 10% (Katz dkk., 2021). Hidrokarbon nonkonvensional biasanya ditemukan dalam *shale* atau karbonat dengan permeabilitas yang sangat rendah (Katz dkk., 2021). Identifikasi hidrokarbon nonkonvensional melibatkan pengamatan zona yang tidak permeabel, porositas yang buruk, serta litologi seperti *shale*, dengan rentang permeabilitas kurang dari 1 mD (Abdelfattah dkk., 2015).

IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Adapun pelaksanaan Tugas Akhir penelitian ini berada pada :

Waktu : Agustus 2023 – Oktober 2023

Tempat : Laboratorium Geofisika Mitigasi Bencana Geologi, Teknik Geofisika, Universitas Lampung

Alamat : Gedung Teknik Geofisika Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng, Kec, Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141

Jadwal pelaksanaan tercantum pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Rincian Kegiatan

Kegiatan	Sep				Okt				Nov				Des		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Studi Literatur															
Penyusunan Proposal															
Seminar Usul															
Pengolahan Data															
Analisis dan Interpretasi															
Penyusunan Laporan Hasil															
Seminar Hasil															
Ujian Komprehensif															

4.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 7. Data Penelitian.

No	Data	Sumber Data
1	Data <i>Well Logging</i>	Data ini berupa data las sebanyak 3 sumur konvensional dan 3 sumur non konvensional hasil pengukuran yang dilakukan oleh Pusat Survei Geologi Bandung yang menggunakan naa dan koordinat yang tidak dipublikasikan secara umum.
2	Data batas provinsi seluruh Indonesia	Data ini diperoleh dari Badan Informasi Geospasial, 2018 www.indonesia-geospasial.com
3	Peta Geologi	Peta Geologi yang digunakan bersumber dari Peta Geologi Lembar Jawa Timur yang diperoleh dari Pusat Peneliti dan Pengembangan Geologi.

Tabel 8. *Software* yang digunakan penelitian.

No	<i>Software</i>	Fungsi
1	Laptop	Digunakan dalam pengolahan data penelitian
2	ArcGIS 10.8	Digunakan dalam pembuatan peta lokasi penelitian dan peta geologi .
3	Google Earth	Digunakan untuk menentukan koordinat data sumur.
4	<i>Interactive Petrophysics (IP)</i>	Digunakan untuk pengolahan data <i>wellogging</i> .

4.3 Prosedur Penelitian

a. *Preprocessing*

Preprocessing data *log* adalah langkah-langkah untuk membersihkan, menormalkan, dan mempersiapkan data *log* sumur atau formasi geologi sebelum digunakan dalam analisis lebih lanjut. Dalam penelitian ini semua data yang terkumpul tahap yang pertama dilakukan adalah Memastikan kedalaman atau waktu pada data *log* sejajar dengan data *log* lainnya yang akan digunakan dalam analisis bersamaan. Hal ini penting untuk membandingkan dan mengintegrasikan berbagai jenis *log*.

b. *Processing*

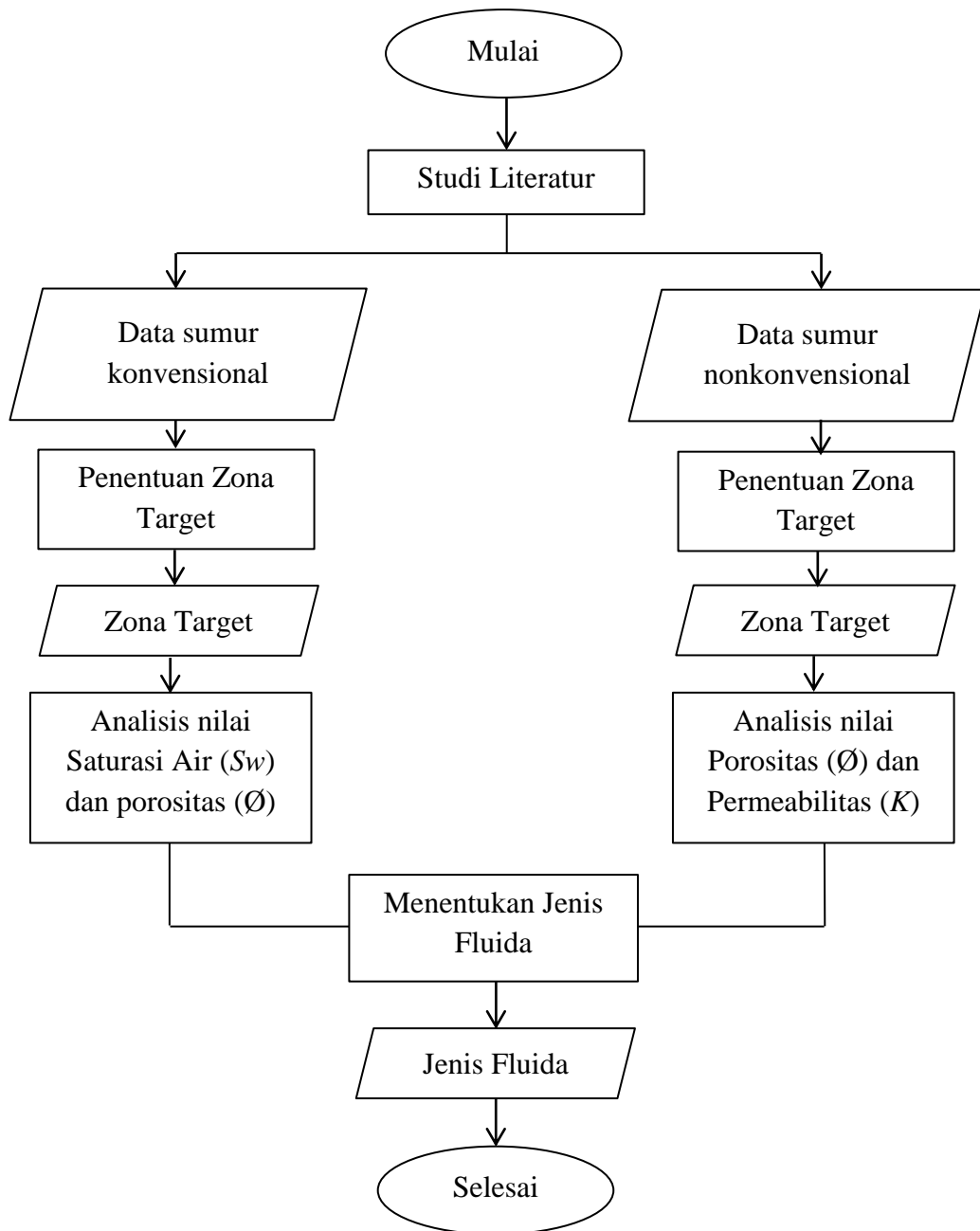
Tahap *processing* pada penelitian ini meliputi analisis nilai saturasi air (S_w), Permeabilitas (K) dan porositas (\emptyset) pada sumur konvensional dan nonkonvensional untuk mengetahui jenis fluida yang ada pada zona target sumur R1, R2 dan R3 Konvensional serta sumur R4, R5 dan R6 Nonkonvensional.

c. *Postprocessing*

Tahapan akhir dari penelitian ini adalah hasil analisis dan interpretasi data sumur yang telah dilakukan pengolahan dan telah ditentukan zona target dari masing – masing reservoir pada kedalaman tertentu. Dan penulisan laporan hasil penelitian ini sebagai syarat akhir untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Teknik Geofisika Universitas Lampung.

4.4 Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian kali ini pada Gambar 13 sebagai berikut.



Gambar 13. Diagram Alir

Pada Gambar 13 merupakan diagram alir yang diawali dengan studi literatur untuk mencari referensi penelitian maupun penulisan pada daerah yang sama yaitu Cekungan Jawa Timur Utara untuk memudahkan proses interpretasi dan analisis.

Setelah dilakukan studi literatur didapatkan 3 data sumur konvensional dan 3 data sumur nonkonvensional yang berupa Data *Las. Pada sumur konvensional dilakukan proses pengolahan data menggunakan *software Interactive Petrophysics* (IP) untuk menentukan zona target pada masing - masing sumur dengan kedalaman yang berbeda - beda dan dihasilkan zona target itu sendiri. Setelah didapatkan zona target dianalisis nilai saturasi air (S_w) dan porositas (\emptyset) yang akan digunakan sebagai dasar menentukan jenis fluida pada sumur R1, R2, dan R3. Sedangkan pada sumur nonkonvensional dilakukan juga pengolahan data pada *software interactive petrophysics* (IP) untuk menentukan zona target pada masing - masing sumur dengan kedalaman yang berbeda - beda yang menghasilkan zona target itu sendiri. Setelah didapatkan zona target pada masing - masing sumur dilakukan analisis nilai porositas (\emptyset) dan permeabilitas (K) untuk menentukan jenis fluida pada sumur R4, R5 dan R6. Dan dihasilkan dari kedua jenis sumur berupa jenis fluida yang terkandung pada masing - masing reservoir.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian kali ini sebagai berikut.

1. Nilai- nilai parameter fisik pada sumur – sumur konvensional dan nonkonvensional berkisar antara 6% - 70% untuk nilai saturasi air, nilai porositas berkisar antara 6% - 35% dan nilai permeabilitas berkisar 0,000000274 mD – 0,99 mD.
2. Berdasarkan hasil analisis sumur konvensional R1 terdapat sebanyak 59 zona target yang didominasi oleh reservoir minyak, sumur R2 terdapat 24 zona target yang didominasi oleh reservoir gas, sedangkan sumur R3 terdapat 17 zona target yang didominasi oleh reservoir gas.
3. Berdasarkan hasil analisis sumur nonkonvensional R4 hanya terdapat 5 zona target yang didominasi oleh reservoir minyak, sumur R5 terdapat 18 zona target yang didominasi oleh reservoir minyak, dan sumur R6 terdapat 24 zona target yang didominasi oleh reservoir minyak.

6.2 Saran

Adapun saran pada penelitian kali ini adalah sebaiknya ada data core yang diberikan sehingga dapat memudahkan dalam proses interpretasi dan analisis di Cekungan Jawa Timur Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelfattah, M.H., Abdelalim, A.M., dan Yassin., M.H.A. (2015). Unconventional reservoir: definitions, types and egypt's potential. *Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 1, 1-6. DOI:[10.13140/RG.2.1.3846.0880](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3846.0880)
- Adim, H. (1991). *Pengetahuan dasar mekanika reservoir, volume 1*. Badan Penelitian Dan Pengembangan Energi Dan Sumber Daya Mineral Pusat Penelitian Dan Pengembangan Teknologi Minyak Dan Gas Bumi "LEMIGAS", Jakarta.
- Agustiyar, F. (2021). Indications of the potential of shale gas for non conventional. *Tadulako Science and Technology Journal*, 2(1), 17-25.
- Aprilia, R., Dewanto, O., Karyanto, K., dan Ramadhan, A. (2018). Analisis petrofisika dan penyebab low resistivity reservoir zone berdasarkan data log, sem, xrd dan petrografi pada lapangan x Sumatera Selatan. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 2(17).
- Archie, G. E., (1941). *The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics*. Trans., AIME. 146 : 54-62
- Armando, F., Sutadiwiria, Y., Riyandhani, C.P., Syafitri, D., Burhannudinnur, M., Ronoatmojo, I.S., dan Triany, N. (2023). Analisis geokimia hidrokarbon sumur "FLP" cekungan Jawa Timur Utara. *Journal Of Geoscience Engineering & Energy (JOGEE)*. 4(1). 46-56.
- Asquith, G., dan Krygowski, D., (2004). *Basic well log analysis*. The American Association of Petroleum Geologists. Oklahoma.
- Badan Informasi Geospasial. (2018). Portal pencarian dan integrasi informasi geospasial melalui Ina-SDI. <https://tanahair.indonesia.go.id>. Diakses pada tanggal 10 Oktober 2023.

- Bagenda, N.A. (2017). Analisa petrofisika dengan metode multimin pada formasi minahaki lapangan “y”, Cekungan Banggai. *Skripsi*. Makassar: Universitas Hasanussin.
- 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.
- Buana, R. (2022). Identifikasi kandungan hidrokarbon dan maturasi pada Formasi Lidah dan Formasi Cepu berdasarkan integritas data sumur dan geokimia di lapangan “RB” Cekungan Jawa Timur Utara. *Skripsi*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- 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*. vol. 5, no. 2
- Firdaus, S., dan Setianto, A. (2018). Interpretasi struktur geologi berdasarkan citra landsat 8, srtm dan anomali medan gravitasi satelit di Cekungan Jawa Timur Utara. *Prosiding Seminar Nasional Geotik*.
- Gaol, K. L., Wardhana, D. D., Praptisih, Yayat, S., dan Kamtono. (2009). Aplikasi pendekatan metode gayaberat dalam eksplorasi hidrokarbon: studi geologi bawah permukaan daerah Cekungan Jawa Timur Utara segmen lamongan. *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Puslit Geoteknologi – LIPI 2009* (pp. 163-172). Bandung: LIPI.
- Hall, R., dan Morley, K.C., (2004). Sundaland basins. american geophysical union geophysical monograph. *American Geophysical Union*, 149, 55-85.
- Hall, R. (2012). Late jurassic - cenozoic reconstruction of the indonesian region and the indian ocean. *Tectonophysics*. 570-571, 1-41.
- Hamilton, W. (1979). Tectonics of the Indonesian region. *USGS Professional Paper*, 1078, 345.
- Harsono, A. (1997). *Pengantar Evaluasi Log*. Jakarta: Schlumberger Oilfield Service.
- Husein, S., dan Nukman, M. (2015). Rekonstruksi tektonik mikrokontinen Pegunungan Selatan Jawa Timur: Sebuah hipotesis berdasarkan analisis kemagnetan purba. In *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-8, Academia-Industry Linkage*.
- 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. doi:
<https://doi.org/10.1016/j.uncre.2021.12.001>.

- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2010). *Indonesia energy outlook 2010*. Jakarta.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). *Statistik Minyak dan Gas Bumi*. Jakarta.
- Khasanah, U., Supriyanto, S., dan Djayus, D. (2019). Analisis nilai log gamma ray dan log density terhadap variasi kecepatan perekaman metode *Well Logging* “Robertson Geologging (RG)”. *Geosains Kutai Basin*, 2(1).
- Koesoemadinata, R.P. (1980). *Geologi Minyak dan Gas Bumi, Edisi 2, Jilid 1 dan 2*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Mastoadji, E. K. (2007). *Basic Well Log Interpretation*, Handout of AAPG SC UNDIP Course.
- Maulana, M. W. (2016). Analisis petrofisika dan penentuan zona potensi hidrokarbon lapangan kaprasida formasi baturaja cekungan sumatera selatan. *Jurnal Teknik IT*. Vol. 5, No.2 .
- Ndruru, F.P.S., dan Amdayani, S. (2023). *Sifat kolekatif larutan*. E-modul Pembelajaran Kimia.
- Novian, M.I., Husein, S., dan Saputra, R.N. (2014). *Buku Panduan Ekskursi Geologi Regional 2014*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Nukefi, A. (2007). Karakterisasi reservoir dan perhitungan volumetrik cadangan hidrokarbon pada reservoir “A”, Lapangan Dalmatian, Cekungan Natuna Barat . *Skripsi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Parwata, J. (2015). *Migas nonkonvensional dan prospek pengembangannya*. Sekretariat Badan Geologi.
- Pringgoprawiro, H. (1983). Biostratigrafi dan paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, suatu pendekatan baru. *Desertasi Doktor*. Institut Teknologi Bandung.
- Rider, M. (2002). The geological interpretation of well logs, 2nd edition. *Whittles PubliShing*. Scotland.
- Sandhika, D. (2016). Interpretasi Log untuk Menentukan Interval Perforasi Formasi K Lapangan "X". *Skripsi*. Jakarta: Universitas Trisakti.

- Sekarsari, N.F. (2022). Karakterisasi shale dan karbonat sebagai reservoir nonkonvensional di Cekungan Jawa Timur Utara. *Skripsi*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Setiahadiwibowo, A.P. (2016). Analisis Karakteristik Batubara Berdasarkan Rekaman *Well Logging* Di Daerah Kabupaten Katingan Kalimantan Tengah. *Kurvatek*. Vol.1. No. 2.
- Silaen, M., Ariwibowo, Y. dan Seryawan, R. (2021). Potensi reservoir batupasir Formasi Ngimbang dan interval umur pra-tercier area silaen-10, Sub-Cekungan Kangean, Cekungan Jawa Timur Utara. *Jurnal Geosains dan Teknologi*. 4(2).
- van Bemmelen, R. W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Martinus Nyhoff, Netherland: The Haque.
- Wisnu, M. (2019). Analisis Fasies dan Lingkungan Pengendapan Batupasir A, B dan C Formasi Talang Akar berdasarkan Data Log dan Batuan Inti. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Trisakti.
- Zain, M. K. (2011). *Analisa Log Petrofisika Dan Evaluasi Formasi Reservoir Pada Lapangan Boonsville*. Depok: Universitas Indonesia
- Zendeboudi, S., dan Bahadori, A. (2017a). *Chapter six - shale oil: fundamentals, definitions, and applications*. Houston: Gulf Professional PubliShing.
- Zendeboudi, S., dan Bahadori, A. (2017b). *Shale oil and gas handbook*. Houston: Gulf Professional PubliShing.