

**IDENTIFIKASI ZONA PROSPEK HIDROKARBON
BERDASARKAN DATA *WIRELINE LOGGING* DAN
PERHITUNGAN *WATER SATURATION* MENGGUNAKAN
PICKETT PLOT PADA CEKUNGAN SUMATERA UTARA**
(Skripsi)

Oleh

**Fajar Izdiharuddin Prakasa
1415051023**



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF HYDROCARBON PROSPECT ZONES BASED ON WIRELINE LOGGING DATA AND WATER SATURATION CALCULATIONS USING PICKETT PLOT IN THE NORTH SUMATRA BASIN

By

Fajar Izdiharuddin Prakasa

The logging method plays an important role in the development of hydrocarbon exploration. The result of the logging method is a more detailed subsurface picture in the form of curves of the physical parameter values that are recorded continuously. The logging method can identify and assess the rocks surrounding the borehole. This method can also provide information on the depth of the hydrocarbon-containing layer and the extent of the distribution of hydrocarbons in a layer. The "FIP" structure is located approximately 57 km northwest of Pangkalan Berandan and is included in the administrative area of the Province of Nanggroe Aceh Darussalam. The first drilling was carried out through the FIP-1 well in February 1979 with a depth of up to 1232 m. The "FIP" field is part of the "FIP" anticline which has a northwest-southeast direction. The productive reservoir of this field comes from the Keutapang Formation. Based on a qualitative analysis, the North Sumatra Basin is a promising area with the potential for oil content in the prospect zone contained in the 3 wells of the study area. The average V_{clay} value is 0.49 on the Software and 0.091 on the Pickett Plot, the average R_w is 0.46 on the Software and 0.233 on the Pickett Plot, the average porosity is 0.339 on the Software and 0.264 on the Pickett Plot and the water saturation value is 0.458 on the Software and 0.397 on the Pickett Plot. The subsurface lithology of the 3 research wells is Sandstone as a reservoir and Clay as an insertion.

Keywords: Logging, Qualitative Interpretation, Quantitative Interpretation, Reservoir, Keutapang Formation, North Sumatra Basin, V_{clay} , Pickett Plot, R_w , Porosity, Water Saturation, Sandstone.

ABSTRAK

IDENTIFIKAS ZONA PROSPEK HIDROKARBON BERDASARKAN DATA *WIRELINE LOGGING* DAN PERHITUNGAN *WATER SATURATION* MENGGUNAKAN *PICKETT PLOT* PADA CEKUNGAN SUMATERA UTARA

Oleh

Fajar Izdiharuddin Prakasa

Metode *logging* sangat berperan penting dalam perkembangan eksplorasi hidrokarbon. Hasil metode *logging* adalah gambaran bawah permukaan yang lebih detail berupa kurva-kurva nilai parameter fisika yang terekam secara kontinu. Metode *logging* dapat mengetahui dan menilai batuan-batuan yang mengelilingi lubang bor tersebut. Metode ini juga dapat memberikan keterangan kedalaman lapisan yang mengandung hidrokarbon serta jauh mana penyebaran hidrokarbon pada suatu lapisan. Struktur “FIP” terletak kurang lebih 57 km arah barat laut dari Pangkalan Berandan dan termasuk dalam wilayah administrasi Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Pemboran pertama dilakukan melalui sumur FIP-1 pada bulan Februari 1979 dengan kedalaman hingga 1232 m. Lapangan “FIP” merupakan bagian dari antiklin “FIP” yang mempunyai arah barat laut-tenggara. Reservoir produktif lapangan ini berasal dari Formasi Keutapang. Berdasarkan analisis secara kualitatif, Cekungan Sumatera Utara merupakan daerah yang cukup prospek dengan ditunjukkan adanya potensi kandungan minyak pada zona prospek yang terdapat pada 3 sumur daerah penelitian. Nilai V_{clay} rata-rata adalah 0.49 pada *Software* dan 0.091 pada *Pickett Plot*, R_w rata-rata adalah 0.46 pada *Software* dan 0.233 pada *Pickett Plot*, porositas rata-rata adalah 0.339 pada *Software* dan 0.264 pada *Pickett Plot* dan nilai saturasi air adalah 0.458 pada *Software* dan 0.397 pada *Pickett Plot*. Litologi lapisan bawah permukaan pada 3 sumur penelitian berupa *Sandstone* sebagai reservoir dan *Clay* sebagai penyisip.

Kata Kunci: *Logging*, Interpretasi Kualitatif, Interpretasi Kuantitatif, Reservoir, Formasi Keutapang, Cekungan Sumatera Utara, V_{clay} , *Pickett Plot*, R_w , Porositas, Saturasi Air, *Sandstone*.

**IDENTIFIKASI ZONA PROSPEK HIDROKARBON BERDASARKAN
DATA *WIRELINE LOGGING* DAN PERHITUNGAN *WATER
SATURATION* MENGGUNAKAN *PICKETT PLOT* PADA CEKUNGAN
SUMATERA UTARA**

Oleh

Fajar Izdiharuddin Prakasa

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **IDENTIFIKASI ZONA PROSPEK
HIDROKARBON BERDASARKAN DATA
WIRELINE LOGGING DAN PERHITUNGAN
WATER SATURATION MENGGUNAKAN
PICKETT PLOT PADA CEKUNGAN
SUMATERA UTARA**

Nama Mahasiswa : **Fajar Izdiharuddin Prakasa**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1415051023**

Program Studi : **Teknik Geofisika**

Fakultas : **Teknik**



Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

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

Rustadi, S.Si., M.T.
NIP. 197205111997101002

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

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

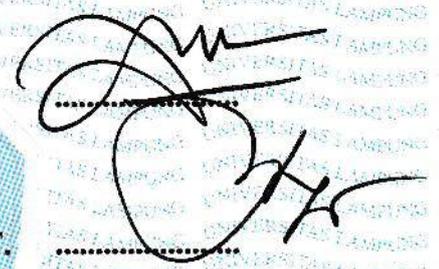
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

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



Sekretaris : Rustadi, S.Si., M.T.



Penguji : Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.

NIP. 196207171987031002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 22 Juni 2021

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandar Lampung, 22 Juni 2021



Fajar Izziharuddin Prakasa

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta pada Tanggal 16 November 1996, anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Samwil Rudia dan Ibu Elfira Rudia.

Penulis mengawali pendidikan di TK Angkasa 2 Halim PK, Jakarta Timur pada tahun 2000 dan melanjutkan ke SD Anagkasa 10 Halim PK, Labrador State School Gold Coast, Australia, dan SD Kebon Pala 02 Jakarta Timur, kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah menengah pertama di SMP Negeri 80 Jakarta pada tahun 2008, dan kemudian melanjutkan ke jenjang sekolah menengah atas di SMA Negeri 42 Jakarta pada tahun 2011.

Pada tahun 2014 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program S1 Reguler Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai organisasi, seperti SEG, HMGI Regional I, HMGI Pusat, HIMA TG Bhuwana.

Penulis terdaftar sebagai anggota SEG di divisi Saintek pada periode tahun 2016-2018. Di HIMA TG Bhuwana penulis terdaftar sebagai anggota divisi Kaderisasi pada periode tahun 2015-2017.

Pada organisasi luar kampus, penulis terdaftar dalam organisasi HMGI regional I (Sumatera) sebagai anggota ristek pada periode tahun 2016 – 2018. Untuk Organisasi tingkat nasional yaitu HMGI Pusat terdaftar sebagai anggota Saintek periode tahun 2017- 2018 (*Unity in diversity*).

Pada Bulan Agustus – September 2017 penulis melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di “BLKP Imbondeiro Global Solutions (Balai Latihan Kerja Petrosains): **“Pengolahan Data Well Log Untuk Menentukan Saturasi Air (S_w) Menggunakan *Software Interactive Petrophysics 3.5* Pada Lapangan “Teapot Dome” Usa.”**. Pada Bulan Januari – Maret 2018 penulis melakukan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Poncorejo, Kec. Way Ratai, Kab. Pesawaran. Pada Bulan Agustus – Desember 2020 penulis melaksanakan Tugas Akhir di Laboratorium Teknik Geofisika, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan tema: **“Identifikasi Zona Prospek Hidrokarbon Berdasarkan Data *Wireline Logging* Dan Perhitungan *Water Saturation* Menggunakan *Pickett Plot* Pada Cekungan Sumatera Utara”**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahilalamin

Karya ini kupersembahkan untuk kedua orangtua terbaik saya, Bapak dan Ibu saya yang sangat saya sayangi dan ku hormati, yang selalu mendukung apapun keputusanku dan tidak pernah berhenti mendoakan agar aku berhasil di dunia dan akhirat.

Juga untuk adik-adikku yang tersayang, Nadhila Elsa Khairani dan Alvito Imaduddin Rabbani Rudia.

Untuk keluarga besar saya, teman-teman saya dan semua orang yang mengharapkan keberhasilan saya yang tak dapat saya sebutkan semuanya.

Ini persembahan untuk diri saya sendiri bahwa saya berhasil menyelesaikan studi S1 saya dengan gelar S.T

MOTTO

“Smooth sea never made a skillful sailor.”

“Nikmat tuhan manalagi yang engkau dustakan”(Surat Ar-Rahman)

“Vincit qui se vincit (Dia yang mampu menguasai adalah dia yang mampu menguasai dirinya sendiri)”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanawata'ala berkat rahmat dan kuasa-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**Identifikasi Zona Prospek Hidrokarbon Berdasarkan Data *Wireline Logging* Dan Perhitungan *Water Saturation* Menggunakan *Pickett Plot* Pada Cekungan Sumatera Utara**". Skripsi ini merupakan bagian dari persyaratan untuk meraih gelar S-1 Teknik Geofisika Universitas Lampung.

Penulis berharap dengan adanya penelitian ini semoga dapat menambah pengetahuan baru di dunia Geofisika khususnya di bidang pengembangan geoteknik terutama di Indonesia, penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Karenanya, kritik dan saran sangat dibutuhkan guna membangun agar kedepannya penulis dapat memberikan yang lebih baik lagi. Demikian kata pengantar ini, semoga penelitian ini dapat bermanfaat untuk masa kini dan mendatang.

Penulis

Fajar Izdiharuddin Prakasa

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, karena atas bantuan, rahmat, dan karunia-Nya skripsi ini dapat penulis selesaikan. Sholawat dan salam semoga tercurahkan kepada Rasulullah Muhammad Sallallahu'alaihi Wasallam.

Penulis tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah berkenan memberikan bantuan berupa ilmu, pengarahan dan semangat.

Penulis juga mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. **Kolonel Samwil Rudia, S.T., M.IT. dan Ibu Elfira Rudia** selaku kedua orang tua yang telah memberikan support penuh serta doa terbaik untuk anakmu Fajar Izdiharuddin Prakasa dalam misi penulis menyelesaikan studi S1 dengan gelar S.T. Maaf jika baru ini yang bisa penulis lakukan untuk memberikan kebanggaan sebagai anak yang berhasil lulus sebagai sarjana yang kalian harapkan.
2. **Nadhila Elsa Khairani dan Alvito Imaduddin Rabbani Rudia**, adikku yang terbaik atas dukungan semangatnya yang tak pernah terputus hingga berhasil menjadikan motivasi sebagai kakak yang baik untuk kalian.
3. **Keluarga besar dari ibu dan bapak**, yang telah setia menunggu keberhasilanku hingga penulis dapat membuktikan bahwa penulis bisa menyelesaikan studi.

4. **Karyanto, S.Si., M.T.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
5. **Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.**, selaku dosen pembimbing I yang tak hanya sekedar pembimbing skripsi bagi penulis, terimakasih atas semua bantuan dan motivasi baik sebelum, selama, dan sesudah pelaksanaan Tugas Akhir. Terimakasih banyak bapak atas segala hal yang telah membuat penulis lebih baik dari sebelumnya. Terimakasih sudah menjadi orangtua kedua penulis yang telah tulus ikhlas membimbing dan mendukung semua kegiatan penulis dalam bidang akademik. Semoga kebaikan bapak dibalas Allah SWT.
6. **Rustadi, S.Si., M.T.**, selaku dosen pembimbing II atas semua kesabaran, bimbingan, kritikan, saran dan kesedian untuk meluangkan waktu disela-sela kesibukannya.
7. **Ir. Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.** selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan nasehat sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
8. **Bapak Dr. Muh. Sarkowi, S.Si., M.Si.**, selaku pembimbing akademik yang selalu memberikan dukungan dan supportnya.
9. **Bapak Alimuddin Muchtar, S.Si., M.Si.**, selaku dosen pembimbing karantina yang ikut memberikan bimbingan dan perhatian penulis dalam proses penyelesaian tugas akhir penulis.
10. Dosen-dosen Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung; **Prof.Drs. Suharno, M.Sc., Ph.D., Dr. Ahmad Zaenudin, S.Si., M.T., Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.T., Ir. Syamsurijal Rasimeng, S.Si., M.Si., Rahmat**

Catur Wibowo, S.T., M.Eng., I Gede Boy Darmawan, S.Si., M.Eng. yang telah memberikan banyak pembelajaran dan bantuan selama menempuh studi di Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.

11. Seluruh Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Geofisika Unila, **Pak Legino, Mas Pujono, Mbak Dhea, Pak Marsuno** dan **Mas Dayat** yang telah memberi banyak bantuan dalam proses administrasi.
12. **Desti Amanda Nuraini** untuk selalu ada dikala susah senang dan semua support penuhnya terhadap penulis sehingga berhasil menyelesaikan skripsi dengan baik. Someday I will marry you.
13. **Alm. Filza Aupar** sahabat yang telah mendahului kita semua. “Akhirnya gua lulus ple”. Semoga amal ibadah dan doa-doa yang dilantunkan mampu membantu jalanmu ke surga.
14. **Widya Seto Aji** yang selalu membimbing kala saya mengambil jalan yang salah. Semoga semua yang kau impikan bisa menjadi kenyataan.
15. **Sofyan Frida Yendra** yang selalu menampung dan menjalani perkuliahan bersama. Semoga kebaikan selama ini menjadi berkah untukmu.
16. **Gaffar Rifki Pambudi** yang selalu marah apabila saya lalai dalam pengerjaan skripsi. Terima kasih sudah memperhatikan proses pengerjaan skripsi saya.
17. **Rinaldi Okka Saputra Ahza** yang selalu menampung dan menjalani perkuliahan bersama. Semoga kebaikan selama ini menjadi berkah untukmu.
18. **Kak Amri, Kak Ade, Kak Nando, Kak Bima, Kak Mamet, Kak Tanjung, Mas Edo, Iqbal, Ghiat, Alfa, Ical, Deni, Morales, Nana, Arief, Farizi, Rizky,**

Aji Pulungan Fitria, Diana, Delvia,, terimakasih untuk semua canda, tawa, kenangan dan dukungannya baik mental maupun fisik. Kalian yang terbaik.

19. **Keluarga besar Teknik Geofisika 2014**, keluarga seperjuangan dari awal masuk di TG Unila. Terimakasih atas waktu, cerita, kebersamaan, bantuan yang kalian bagikan kepada penulis. thank you so much TG'14.
20. **Kakak-kakak senior TG UNILA**, atas segala bantuan dan motivasinya dalam pengerjaan tugas akhir penulis hingga selesai.
21. **Keluarga besar Hima TG Unila.**
22. Semua pihak lain yang membantu berkontribusi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTACT	i
ABSTRAK	ii
SAMPUL DALAM	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN	x
MOTTO	xi
KATA PENGANTAR	xii
SANWACANA	xiii
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxii
I. PENDAHULUAN	
A.Latar Belakang.....	1
B. Tujuan Penelitian	2
C. Batasan Masalah.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Struktur Regional.....	4
B. Kerangka Tektonik.....	7
C. Stratigrafi Regional.....	9

D. Formasi Daerah Penelitian.....	9
1. Formasi Bampo.....	9
2. Formasi Belumai.....	9
3. Formasi Baong.....	10
4. Formasi Keutapang.....	10
5. Formasi Seureula.....	10
6. Formasi Juleu Rayeu.....	11
E. Sistem Petroleum.....	11
1. Potensi Reservoir.....	11
2. Batuan Induk.....	12
3. Perangkap Hidrokarbon.....	12
4. Migrasi.....	12
F. Struktur Geologi Penelitian.....	13

III. TEORI DASAR

A. Ruang Lingkup Evaluasi Formasi.....	15
B. Metode-metode Eevaaluasi Formasi.....	15
1. Mud Logging.....	15
2. Deskripsi Cutting.....	16
3. Coring.....	17
C. Macam-macam Log.....	18
1. Log Gamma Ray.....	18
2. Log Resistivity.....	21
3. Log Density.....	24
4. Log Neutron.....	26
D. Petrofisika.....	28
1. Volume Shale.....	28
2. Porositas.....	29
3. Saturasi.....	30

IV. METODOLOGI

A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	31
B. Alat Dan Bahan.....	31
C. Diagram Alir Penelitian.....	33

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengolahan dan Analisis Data Sumur.....	35
1. Analisis Kualitati.....	35
2. Analisis Kuantitatif.....	39
3. Analisis Cut-off.....	42
4. Perhitungan Manual Menggunakan Pickett Plot.....	45

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	64
B. Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Fisiografi Cekungan Sumatera Utara.....	6
2. Stratigrafi Cekungan Sumatera Utara.....	8
3. Alat Log Gamma Ray.....	20
4. Log Resistivity.....	24
5. Log Density.....	26
6. Log Neutron.....	28
7. Diagram Alir Penelitian.....	33
8. Composite FIP-1.....	36
9. Composite FIP-2.....	37
10. Composite FIP-3.....	38
11. Parameter Analisis Petrofisika Lapangan.....	39
12. Basic Log Analysis FIP-1.....	40
13. Basic Log Analysis FIP-2.....	41
14. Basic Log Analysis FIP-3.....	42
15. Data Cut-off SW FIP-1.....	43
16. Data Cut-off SW FIP-2.....	44
17. Data Cut-off SW FIP-3.....	45
18. Zona Water Bearing 1 Sumur 1.....	46
19. Zona Water Bearing 2 Sumur 1.....	46
20. Zona Water Bearing 3 Sumur 1.....	46
21. Zona Water Bearing 4 Sumur 1.....	47
22. Zona Water Bearing 5 Sumur 1.....	47
23. Zona Water Bearing 6 Sumur 1.....	48
24. Pickett Plot Sumur 1.....	49
25. Zona Water Bearing 1 Sumur 2.....	52
26. Zona Water Bearing 2 Sumur 2.....	52
27. Zona Water Bearing 3 Sumur 2.....	53
28. Zona Water Bearing 4 Sumur 2.....	53
29. Pickett Plot Sumur 2.....	54
30. Zona Water Bearing 1 Sumur 3.....	57
31. Zona Water Bearing 2 Sumur 3.....	57
32. Zona Water Bearing 3 Sumur 3.....	58
33. Zona Water Bearing 4 Sumur 3.....	58
34. Zona Water Bearing 5 Sumur 3.....	59
35. Pickett Plot Sumur 3.....	60

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Perbandingan Perhitungan Manual dan Perhitungan Software.....	63

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Estimasi keberadaan dan potensi hidrokarbon pada lapangan minyak dan gas, diperlukan beberapa rangkaian penelitian geologi dan geofisika. Survei geofisika yang dilakukan dalam penentuan hidrokarbon adalah metode seismik. Survei geologi dan seismik permukaan mungkin mampu memberikan dugaan potensi hidrokarbon di bawah permukaan, namun sampai saat ini belum ada satu solusi nyata selain melakukan penggalian lubang sumur serta mengadakan serangkaian pengukuran didalam sumur dan evaluasi data hasil rekaman untuk memastikan ada tidaknya kandungan hidrokarbon di bawah permukaan.

Metode *logging* sangat berperan penting dalam perkembangan eksplorasi hidrokarbon. Hasil metode logging adalah gambaran bawah permukaan yang lebih detail berupa kurva-kurva nilai parameter fisika yang terekam secara kontinu. Metode *logging* dapat mengetahui dan menilai batuan-batuan yang mengelilingi lubang bor tersebut. Metode ini juga dapat memberikan keterangan kedalaman lapisan yang mengandung hidrokarbon serta jauh mana penyebaran hidrokarbon pada suatu lapisan. Penting untuk mengerti dasar-dasar *well logging* dan pengetahuan fisika yang luas, dengan tujuan supaya dapat melakukan interpretasi dan analisis hasil rekaman log dengan baik.

Petrofisika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat fisik batuan. Analisis petrofisika adalah suatu metode pendukung dalam usaha evaluasi formasi dengan cara menggunakan hasil rekaman logging sebagai sumber utama. Data-data diluar data *logging* juga diperlukan, seperti data *core* dan data lumpur pemboran. Analisis ini sangat penting untuk mengetahui kualitas reservoir, jenis fluida, porositas dan permeabilitas dari suatu batuan atau formasi, karena hal ini hanya dapat diketahui berdasarkan sifat fisik dari batuan tersebut. Dengan cara

menggunakan data log sebagai sumber utama, parameter fisika analisis berdasarkan ilmu petrofisika untuk mengevaluasi formasi yang akan dapat memberikan informasi secara akurat mengenai zona reservoir dan sejauh mana penyebaran hidrokarbon didasarkan pada evaluasi dan analisis parameter petrofisika seperti kandungan serpih (V_{sh}), Porositas (Φ), dan Saturasi air (S_w). Analisis petrofisika dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu kuantitatif dan kualitatif baik secara manual maupun menggunakan *software*. Hasil akhir analisis petrofisika adalah penentuan zona reservoir serta jumlah hidrokarbon yang dikandung suatu formasi serta dapat dihitung jumlah cadangan yang terkandung.

B. Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Menganalisis zona prospek daerah penelitian.
2. Menentukan *volume shale* (V_{sh}), *water resistivity* (R_w), *porosity* (Φ) dan *water saturation* (S_w) data sumur.
3. Menentukan zona *water bearing* dan S_w menggunakan *Pickett Plot*

C Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian Tugas Akhir dengan judul yang diajukan adalah **“IDENTIFIKASI ZONA PROSPEK HIDROKARBON BERDASARKAN DATA WIRELINE LOGGING DAN MENENTUKAN ZONA WATER BEARING MENGGUNAKAN PICKETT PLOT PADA CEKUNGAN SUMATERA UTARA”**, terbatas pada identifikasi litologi bawah permukaan berdasarkan nilai *volume shale* (V_{sh}), *water resistivity* (R_w), *porosity* (Φ) dan *water saturation* (S_w) yang didapatkan dari hasil pengolahan sumur FIP pada cekungan Sumatera Utara.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Struktur Regional

Struktur “FIP” terletak kurang lebih 57 km arah barat laut dari Pangkalan Berandan dan termasuk dalam wilayah administrasi Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Lapangan minyak “FIP” ditemukan pada tahun 1979 oleh Pertamina. Pemboran pertama dilakukan melalui sumur FIP-1 pada bulan Februari 1979 dengan kedalaman hingga 1232 m. Lapangan “FIP” merupakan bagian dari antiklin “FIP” yang mempunyai arah barat laut-tenggara. Reservoir produktif lapangan ini berasal dari Formasi Keutapang. Struktur “FIP” telah memulai produksi pada bulan Oktober 1979 melalui sumur “FIP” 1 dari lapisan reservoir zona H-10, produksi selama 3 bulan dari zona ini menghasilkan 10 juta barrel minyak dan 900,50 *Milion Standard Cubic Feet per Day* gas.

Struktur “FIP” terletak di dalam Cekungan Sumatera Utara. Cekungan Sumatera Utara dibatasi oleh Tinggian Barisan (Pegunungan Barisan) di bagian barat, Lengkung Asahan di bagian timur sedang ke utara membuka dan berangsur ke Cekungan Laut Andaman. Cekungan Sumatera Utara terdiri dari sub cekungan dan tinggian dengan pola kelurusan utara-selatan dan atau barat laut-tenggara, meliputi Tinggian Sigli, Dalaman Jawa, Tinggian Arun-Lhok Sukon, Dalaman Lhok Shukon, Tinggian Alur Siwah, Dalaman Tamiang, Tinggian Hyang Besar, Pakol Horst Graben dan Glaga Horst Graben. Posisi tektonik struktur “FIP” adalah di Dalaman Tamiang. Di sebelah utara berbatasan dengan Langsa Low. Bagian barat dibatasi oleh cekungan Alur Pika Low, dan bagian timur oleh tinggian yang besar. Posisi tektonik “FIP” sendiri merupakan produk dari proses tektonik yang berlangsung sejak Paleogen. Formasi Keutapang yang menjadi target umumnya dicirikan oleh batupasir regresif. Proses regresi berjalan terus. Sejak akhir

pengendapan Formasi Baong sehingga lingkungan laut menjadi lebih dangkal dan bahkan menjadi lingkungan deltaik – transisi dengan perubahan fasies yang tinggi.

Lingkungan delta semakin dominan pada umur pengendapan Formasi Keutapang. Sumber material pengendapan di kawasan Dalaman Tamiang berasal dari Bukit Barisan (barat). Umur Formasi Keutapang adalah miosen akhir hingga paleosen. Interval produktif di Struktur “FIP” pada umumnya terdapat pada Formasi Keutapang. Batupasir pada formasi ini umumnya berukuran butir halus hingga sedang dengan porositas sekitar 15 sampai 27 %. Interval batupasir yang merupakan pengendapan delta, umumnya memproduksi minyak dan beberapa mengandung gas atau asosiasi minyak dengan gas. Formasi ini diendapkan pada miosen akhir hingga paleosen. Sebagian besar dari batupasir dari Keutapang merupakan batupasir yang berukuran butir halus sampai sedang dan tingkat kompaksi dari butiran lepas hingga tekompaksi dengan baik. Mineral seperti mika, plagioklas dan glaukonit dapat ditemukan pada formasi ini, namun secara keseluruhan tubuh batuanannya terdiri dari kuarsa dan partikel lempung. Total ketebalan gross dari formasi Keutapang bawah berkisar antara 700 sampai dengan 1000 m.

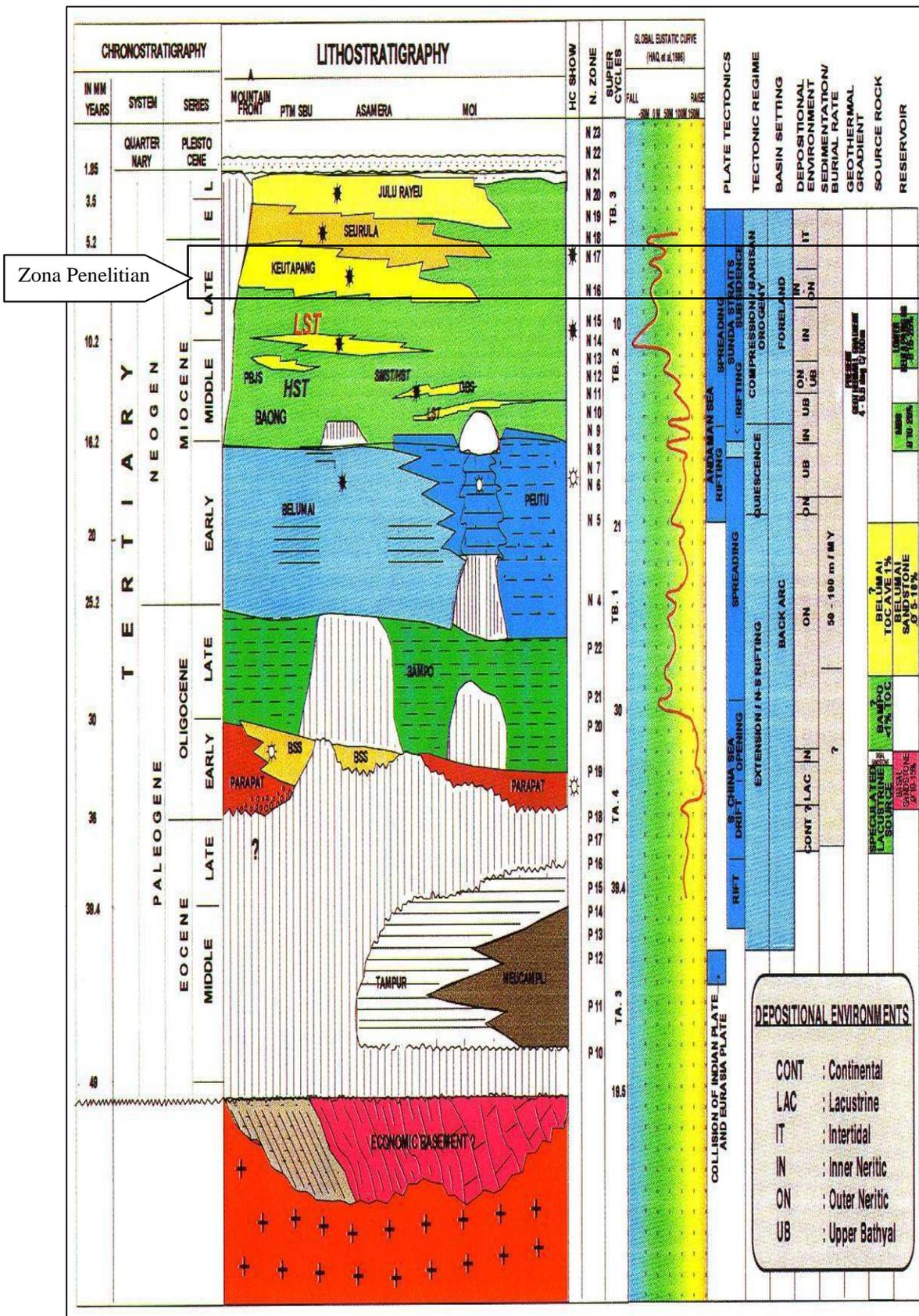


Gambar 1. Fisiografi Cekungan Sumatera Utara (Pertamina, 2000).

B. Kerangka Tektonik

Secara umum struktur “FIP” terletak di dalam Cekungan Sumatera Utara. Cekungan Sumatera Utara terdiri dari subcekungan dan tinggian dengan pola kelurusan utara–selatan dan atau baratlaut-tenggara, meliputi Tinggian Sigli, Dalaman Jawa, Tinggian Arun-Lhok Sukon, Dalaman Lhok Shukon, Tinggian Alur Siwah, Dalaman Tamiang, Tinggian Hyang Besar, Pakol Horst Graben dan Glaga Horst Graben. Secara geografis Struktur “FIP” terletak kurang lebih 57 km barat laut dari Pangkalan Berandan dan termasuk kedalam wilayah administrasi Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Secara tektonik posisi tektonik Struktur “FIP” berada pada Dalaman Tamiang, sedangkan sebelah utara berbatasan dengan Langsa Low. Bagian barat dibatasi oleh cekungan Alur Pika Low, dan bagian timur oleh Tinggian Yang Besar. Posisi tektonik “FIP” sendiri merupakan produk dari proses tektonik yang berlangsung sejak Paleogen.

Pulau Sumatera sebagai bagian dari Lempeng Sunda (*Sunda Microplate*) dipercaya telah mengalami perputaran searah jarum jam akibat pengaruh seretan Lempeng India terhadap Lempeng Eurasia ke arah utara. Pendapat lainnya bahwa Pulau Sumatera pada awalnya berorientasi utara menuju selatan namun proses penunjaman (*subduction*) menyebabkan Pulau Sumatera terputar berlawanan arah jarum jam. Perputaran berlawanan arah jarum jam ini dimulai sejak Kala Eosen sebagai hasil dari proses peregangan dan pemekaran Cekungan Thai dan Cekungan Malay. Sedangkan cekungan Sumatera Utara terbentuk sebagai horst dan graben hasil dari proses pensesaran ulir (*wrenching*) menganan sepanjang batas barat lempeng Benua Eurasia selama akhir Eosen sampai awal Oligosen.



Gambar 2. Stratigrafi Cekungan Sumatera Utara (Pertamina, 2000)

C. Stratigrafi Regional

Secara umum, stratigrafi pada cekungan Sumatera Utara dibagi menjadi dua bagian, yaitu endapan sedimen saat pemekaran cekungan dan endapan yang tersedimentasi pasca pemekaran cekungan. Pada awal pengisian cekungan, diendapkan sedimen klastik awal pembentukan cekungan tarikan, berupa klastik kasar batupasir dan konglomerat. Kelompok sedimen ini dikenal sebagai formasi Prapat atau disebut juga formasi Bruksah. Formasi Prapat yang diendapkan sebagai endapan kipas aluvial secara berangsur berubah menjadi endapan aluvial di sebelah timurnya, menindih secara tidak selaras formasi Tampur yang berumur Eosen.

D. Formasi Daerah Penelitian

1. Formasi Bampo

Formasi ini dicirikan oleh, litologi batu lempung hitam atau batu lumpur, tidak mengandung mikrofosil plankton. Lingkungan pengendapan di perkirakan dari lakustrin hingga deltaik (*inner sublitoral*). Umur formasi Bampo adalah Oligosen hingga Miosen bawah.

2. Formasi Belumai

Formasi Belumai dicirikan oleh batupasir karbonatan, batugamping klastik yang menunjukkan berkembangnya fasies *marine* dalam kondisi transgresif. Formasi Belumai ini berkembang di bagian selatan dan timur cekungan sedang di utara berkembang dengan litologi batupasir. Umur formasi Belumai adalah Miosen bawah hingga awal Miosen tengah.

3. Formasi Baong

Formasi Baong dicirikan oleh berkembangnya serpih lingkungan laut dengan perselingan batupasir. Formasi ini dibagi menjadi tiga. (a). Anggota Formasi Baong bagian bawah, (b). Anggota bagian tengah dicirikan oleh dominasi batupasir (*Middle Baong Sand*), dan (c). Anggota Formasi Baong bagian atas dicirikan oleh Serpih. Lingkungan Pengendapan formasi ini dibangun oleh lebih dari sekali siklus genang laut yang kemudian air laut menjadi susut pada saat pengendapan bagian atas formasi sebagai akibat pengangkatan Pegunungan Barisan

4. Formasi Keutapang

Formasi Keutapang umumnya dicirikan oleh batupasir regresif. Proses regresi berjalan terus Sejak akhir pengendapan Formasi Baong sehingga lingkungan laut menjadi lebih dangkal dan bahkan menjadi lingkungan deltaik dengan perubahan fasies yang tinggi. Lingkungan delta semakin dominan pada umur pengendapan Formasi Keutapang. Sumber material pengendapan di kawasan Dalam Tamiang berasal dari Bukit Barisan. Umur Formasi Keutapang adalah Miosen akhir hingga Paleosen awal.

5. Formasi Seureula

Formasi ini dicirikan oleh selang-seling batupasir, batulempung dan serpih, menunjukkan umur Paleosen Bawah . Banyak foraminifera planktonik dan bentonik mengindikasikan lingkungan pengendapan Neritik Tengah. Di bagian atas khususnya, lingkungan menjadi dangkal yakni Neritik Tengah hingga Transisi.

6. Formasi Juleu Rayeu

Formasi ini dicirikan oleh batupasir dengan selingan batulempung atau serpih. Lingkungan pengendapan adalah laut dangkal sampai pasang surut. Di beberapa tempat ditemukan konglomerat dan batubara tipis. Umur Formasi Juleu Rayeu adalah Paleosen Atas.

E. Sistem Petroleum

1. Potensial Reservoir

Interval produktif di Struktur "FIP" pada umumnya terdapat pada Formasi Keutapang. Batupasir pada formasi ini umumnya berukuran butir halus hingga sedang dengan porositas sekitar 15 sampai dengan 33 %. Interval batupasir yang merupakan fasies delta ini umumnya memproduksi minyak dan beberapa mengandung gas atau asosiasi minyak dengan gas. Formasi ini diendapkan pada Miosen Akhir hingga Paleosen. Sebagian besar dari batupasir dari Keutapang merupakan batupasir yang telah dewasa, dengan ukuran butir halus sampai sedang dan tingkat kompaksi dari butiran lepas hingga tekompaksi dengan baik. Mineral seperti mika, plagioklas dan glaukonit dapat ditemukan pada formasi ini, namun secara keseluruhan tubuh batumannya terdiri dari kuarsa dan partikel lempung. Total ketebalan gross dari Formasi Keutapang Bawah berkisar antara 700 sampai dengan 1000 m namun ketebalan individu reservoir dapat hanya mencapai 3 sampai 10 m, berupa lapisan batupasir yang bertumpukan. Interval batupasir yang merupakan fasies delta ini umumnya memproduksi minyak dan beberapa mengandung gas atau asosiasi minyak dengan gas. Reservoir potensial lainnya adalah batupasir anggota Formasi Baong Tengah dan karbonat Formasi Belumai.

2. Batuan Induk

Batu lempung dari Formasi Bampo yang mengisi deposenter lokal pada saat *rifting* berlangsung, sebagai endapan lakustrin, berpotensi sebagai batuan induk yang utama. Batuan induk dari Formasi ini diperkirakan matang 11 juta tahun yang lalu (Miosen Tengah). Batuan serpih lain yang juga berpotensi sebagai batuan induk adalah serpih Formasi Belumai dan serpih Formasi Baong, yang diperkirakan matang 10,5 sampai 5,5 juta tahun yang lalu (Miosen Akhir). Tipe Kerogen dari Formasi Bampo adalah Humic (vitrinit) sedangkan untuk Formasi Belumai dan Baong Bawah adalah Sapropelic dan Humic.

3. Perangkap Hidrokarbon

Reservoir pada Struktur “FIP” adalah batupasir pada Formasi Keutapang. Tipe perangkap pada Struktur ini adalah berupa perangkap struktur dan perangkap stratigrafi, sedangkan yang bertindak sebagai penyekat adalah sisipan serpih dari lingkungan deltaik sebagai *Intraformational shale* dari Formasi Keutapang itu sendiri. Proses pemerangkapan ini terjadi pada kala Paleosen awal hingga Paleosen Akhir pada saat rejim tektonik kompresi yang menghasilkan pelipatan dan sesar-sesar naik.

4. Migrasi

Proses migrasi dari batuan induk menuju reservoir sangat berkaitan dengan tahap kematangan dari batuan induknya sendiri, oleh karena itu secara umum proses migrasi ini dikelompokkan menjadi 3 tahap;

- a. Migrasi dari batuan induk pada formasi Bampo ke reservoir batupasir di formasi Belumai pada kala Miosen tengah dengan pola migrasi vertikal dan lateral dengan media migrasi berupa sesar-sesar bongkah,

- b. Migrasi dari batuan induk pada formasi Bampo, Belumai dan Baong bawah menuju reservoir pada formasi Belumai, Baong dan Keutapang pada Miosen dengan pola migrasi lateral dengan media migrasi berupa sesar-sesar normal, dan
- c. Migrasi dari batuan induk pada formasi Belumai dan Baong Bawah menuju reservoir pada formasi Belumai, Baong (Bawah dan Tengah) dan Keutapang dengan pola migrasi vertikal.

Untuk Struktur “FIP” yang mempunyai reservoir produktif dari batupasir pada formasi Keutapang, maka migrasi yang mungkin terjadi adalah pada Paleosen awal hingga Paleosen akhir.

E. Struktur Geologi Daerah Penelitian

Konfigurasi cekungan busur belakang (*back arc basins*) Sumatera dari utara hingga ke selatan dikontrol oleh proses *wrenching* sehingga baik tegasan ekstensi maupun kompresi pada daerah *back arc basin* ini akan terhubung dengan sistem sesar Sumatera. Sistem sesar ulir (*wrench fault*) yang berkembang akan membentuk arsitektur bawah permukaan yang sangat khas, diantaranya adalah *flower structure* dan karena sifatnya yang batuan dasar yang terulir (*basement involved*), sehingga pengaruh *wrenching* ini akan bisa dijumpai dari bagian terdalam hingga ke lapisan sedimen (*detached*) teratas. Formasi Keutapang merupakan sekuen sedimen yang berada pada posisi dangkal dari konfigurasi bawah permukaan daerah studi. Namun demikian, pengaruh *wrench fault* dari sistem tegasan Andaman ini akan tetap terlihat sebagai *flower structure splays*. Evolusi struktur yang terjadi pada daerah penelitian sangat dipengaruhi oleh proses subduksi Lempeng Hindia terhadap mikro Lempeng Sunda.

Secara regional, terjadi tiga tahapan evolusi struktur pada daerah studi. Tahap pertama adalah pada pertengahan Miosen hingga akhir Miosen, terjadi pengendapan

formasi Keutapang disertai dengan pembentukan *flower structure* yang merobek lapisan serpih formasi Baong akibat aktivitas subduksi. Tahap kedua adalah pada Paleosen, dimana terjadi proses *thrusting* terhadap formasi Belumai, Baong dan Keutapang akibat dari sistem Tegasan Sumatera. Tahap terakhir (Holosen), terjadi *wrenching* oleh Sistem Tegasan Andaman yang mengakibatkan *shale flowage* dari Baong shale, menghasilkan *diapiric zone*.

Interpretasi penampang seismik menunjukkan bahwa daerah “FIP” merupakan daerah yang terdeformasi oleh struktur dengan kuat. Formasi Keutapang dan Formasi lainnya yang lebih tua terlipat dan terpatahkan pada beberapa seting tektonik.. Sesar-sesar normal arah timurlaut- barat daya membentuk konfigurasi graben. Sesar normal ini menyobek secara tegak lurus sesar naik (*reversal*) yang lebih tua. Sesar tua yang dapat diamati pada daerah “FIP” adalah sesar normal arah timurlaut-baratdaya. Sesar normal terbentuk sebelum formasi Keutapang diendapkan sehingga dapat kita asumsikan bahwa usia sesar-sesar ini adalah sekira Miosen Tengah. Sistem Tegasan Andaman pada Holosen memicu terjadinya proses *wrenching* pada Pulau Sumatera, sehingga dampaknya dapat tercermin pada pola lipatan yang tergeserkan. Pola lipatan tersebut bergeser mengikuti arah manganan sesuai dengan arah gerak (*slip*) dari sesar ulir Sumatera (*Sumatran Wrench Fault*). Dengan adanya proses *wrenching* ini, sesar- sesar yang telah ada sebagian teraktifkan kembali dan membentuk konfigurasi struktur seperti yang terhampar saat ini.

III. TEORI DASAR

A. Ruang Lingkup Evaluasi Formasi

Evaluasi formasi batuan adalah suatu proses analisis ciri dan sifat batuan di bawah tanah dengan menggunakan hasil pengukuran lubang sumur (Harsono, 1997). Evaluasi formasi membutuhkan berbagai macam pengukuran dan analisis yang saling melengkapi satu sama lain. Tujuan utama dari evaluasi formasi adalah untuk mengidentifikasi reservoir, memperkirakan cadangan hidrokarbon, dan memperkirakan perolehan hidrokarbon (Harsono, 1997).

B. Metode – Metode Evaluasi Formasi

Evaluasi formasi umumnya dilakukan secara berurutan dan sistematis. Daerah yang dianggap berpotensi mengandung hidrokarbon awalnya ditentukan melalui survei seismik, gravitasi, dan magnetik (Bateman, 1985). Setelah daerah tersebut dibor selanjutnya dilakukan *mud logging* dan *measurements while drilling (MWD)* ; setelah itu bisa dilakukan pengambilan batu inti (Bateman, 1985). Saat mata bor tersebut telah mencapai kedalaman tertentu maka *logging* dapat dilakukan. Penjelasan mengenai metode – metode yang digunakan dalam evaluasi formasi adalah sebagai berikut :

1. *Mud Logging*

Mud logging merupakan proses mensiasikan dan memantau perpindahan *mud* dan *cutting* pada sumur selama pemboran (Bateman,

1985). Menurut (Darling, 2005) terdapat dua tugas utama dari seorang *mud logger* yaitu:

1. Memantau parameter pengeboran dan memantau sirkulasi gas/cairan/padatan dari sumur agar pengeboran dapat berjalan dengan aman dan lancar.
2. Menyediakan informasi sebagai bahan evaluasi bagi *petroleum engineering department*.

Mud-logging unit akan menghasilkan *mud log* yang akan dikirim ke kantor pusat perusahaan minyak. Menurut (Darling, 2005), *mud log* tersebut meliputi:

1. Pembacaan gas yang diperoleh dari detektor gas atau kromatograf.
2. Pengecekan terhadap ketidakhadiran gas beracun (H_2S , SO_2).
3. Laporan analisis *cutting* yang telah dideskripsi secara lengkap.
4. *Rate of Penetration (ROP)*.
5. Indikasi keberadaan hidrokarbon yang terdapat di dalam sampel.

Mud log merupakan alat yang berharga untuk petrofisis dan geolog di dalam mengambil keputusan dan melakukan evaluasi. (Darling, 2005) menyatakan bahwa *mud log* digunakan untuk hal – hal berikut ini:

1. Identifikasi tipe formasi dan litologi yang dibor.
2. Identifikasi zona yang *porous* dan *permeable*.
3. *Picking of coring, casing*, atau batas kedalaman pengeboran akhir.
4. Memastikan keberadaan hidrokarbon sampai pada tahap membedakan jenis hidrokarbon tersebut apakah minyak atau gas.

2. Deskripsi *Cutting*

Pekerjaan lain dari seorang *mud logger* adalah melakukan deskripsi *cutting*. *Cutting* merupakan material hasil hancuran batuan oleh mata bor

yang dibawa oleh lumpur pemboran ke permukaan (Bateman, 1985). Sebagian sampel dimasukkan ke dalam plastik *polyethene* sebagai sampel basah sementara sebagian sampel lain yang telah dicuci dan dikeringkan dikenal sebagai sampel kering. Sampel yang telah dibersihkan diamati di bawah mikroskop yang adadi mud- logging unit. Hasil deskripsi kemudian diserahkan ke kantor pusat pengolahan data. Agar informasi tersebut berguna maka ada standar deskripsi baku yang harus dilakukan. (Darling, 2005) menyatakan bahwa deskripsi tersebut harus meliputi:

- | | |
|---|---|
| 1. Sifat butir | 9. Kehadiran mineral jejak (misalnya pirit, kalsit, dolomit, siderit) |
| 2. Tekstur | |
| 3. Tipe | 10. Tipe partikel karbonat |
| 4. Warna | 11. Partikel skeletal (fosil, foraminifera) |
| 5. <i>Roundness</i> dan <i>sphericity</i> | 12. Partikel non-skeletal (lithoclast, <i>rounded particles</i>) |
| 6. Sortasi | |
| 7. Kekerasan | |
| 8. Ukuran | |

3. *Coring*

Coring merupakan metode yang digunakan untuk mengambil batu inti (*core*) dari dalam lubang bor (Bateman, 1985). *Coring* penting untuk mengkalibrasi model petrofisik dan mendapat informasi yang tidak diperoleh melalui log.

Setelah pengeboran, *core* (biasanya 0,5 m setiap 10 menit) dibungkus dan dijaga agar tetap awet. *Core* tersebut mewakili kondisi batuan tempatnya semula berada dan relatif tidak mengalami gangguan sehingga banyak informasi yang bisa didapat. Informasi penting yang bisa

didapat oleh seorang petrofisis dari data core tersebut menurut (Darling, 2005) antara lain:

1. Homogenitas reservoir.
2. Tipe sementasi dan distribusi dari porositas dan permeabilitas.
3. Kehadiran hidrokarbon dari bau dan pengujian dengan sinar ultraviolet.
4. Tipe mineral.
5. Kehadiran *fracture* dan orientasinya.
6. Kenampakan dip.

Data core tidak selalu akurat, menurut (Darling, 2005) ada sejumlah alasan yang menyebabkan hal tersebut yaitu:

1. Suatu core diambil pada water leg, dimana proses diagenesis mungkin saja terjadi, hal ini menyebabkan core tidak selalu dapat mewakili oil atau gas leg di reservoir.
2. *Coring* dan proses pemulihannya menyebabkan terjadinya perubahan tekanan dan suhu batuan sehingga bisa menyebabkan terjadinya perubahan struktur pada batuan tersebut
3. Proses penyumbatan, pembersihan, dan pengeringan dapat mengubah *wettability* dari sumbat sehingga membuatnya tidak bisa merepresentasikan kondisi di bawah lubang bor.
4. Pengukuran resistivitas sumbat pada suhu lingkungan dengan menggunakan udara sebagai fluida yang tidak basah (*nonwetting fluid*) bisa tidak merepresentasikan kondisi reservoir.

C. Macam – Macam Log

1. Log Gamma Ray

Sesuai dengan namanya, Log Gamma Ray merespon radiasi gamma alami pada suatu formasi batuan (Ellis dan Singer, 2008). Pada formasi batuan sedimen, log ini biasanya mencerminkan kandungan unsur radioaktif di dalam formasi. Hal ini dikarenakan elemen radioaktif cenderung untuk terkonsentrasi di dalam lempung dan serpih. Formasi bersih biasanya mempunyai tingkat radioaktif yang sangat rendah, kecuali apabila formasi tersebut terkena kontaminasi radioaktif misalnya dari debu vulkanik atau granit (Schlumberger, 1989).

Log GR dapat digunakan pada sumur yang telah di-*casing* (Schlumberger, 1989). *Log GR* juga sering digunakan bersama-sama dengan *log SP* (lihat gambar 4.1) atau dapat juga digunakan sebagai pengganti *log SP* pada sumur yang dibor dengan menggunakan *salt mud*, udara, atau *oil- base mud* (Schlumberger, 1989). *Log* ini dapat digunakan untuk korelasi sumur secara umum.

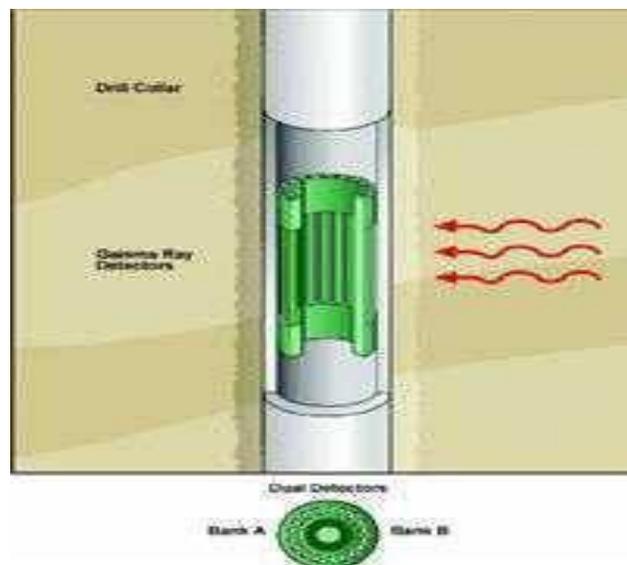
Gamma ray dihasilkan oleh gelombang elektromagnetik berenergi tinggi yang dikeluarkan secara spontan oleh elemen radioaktif (Schlumberger, 1989). Hampir semua radiasi gamma yang ditemukan di bumi berasal dari isotop potassium yang mempunyai berat atom 40 (K^{40}) serta unsur radioaktif uranium dan thorium (Schlumberger, 1989).

Setiap unsur tersebut menghasilkan gamma rays dengan jumlah dan energi yang berbeda untuk masing – masing unsur. Potassium (K^{40}) mengeluarkan gamma ray sebagai energi tunggal pada 1,46 MeV, sedangkan uranium dan thorium mengeluarkan berbagai variasi gamma ray (Ellis dan Singer, 2008).

Untuk melewati suatu materi, gamma ray bertumbukan dengan atom dari zat penyusun formasi (Ellis dan Singer, 2008). Gamma ray akan kehilangan energinya setiap kali mengalami tumbukan, Setelah energinya hilang, gamma ray diabsorpsi oleh atom formasi melalui suatu proses yang disebut efek

fotoelektrik (Ellis dan Singer, 2008). Jadi gamma ray diabsorpsi secara gradual dan energinya mengalami reduksi setiap kali melewati formasi. Laju absorpsi berbeda sesuai dengan densitas formasi (Schlumberger, 1989). Formasi dengan jumlah unsur radioaktif yang sama per unit volum tapi mempunyai densitas yang berbeda akan menunjukkan perbedaan tingkat radioaktivitas. Formasi yang densitasnya lebih rendah akan terlihat sedikit lebih radioaktif. Respon GR log setelah dilakukan koreksi terhadap lubang bor dan sebagainya sebanding dengan berat konsentrasi unsur radioaktif yang ada di dalam formasi (Schlumberger, 1989).

GR sonde memiliki detektor untuk mengukur radiasi gamma yang terjadi pada formasi di dekat sonde. Detektor *scintillation* umumnya digunakan untuk pengukuran ini (Schlumberger, 1989). Detektor ini lebih efisien dibandingkan dengan detektor Geiger-Mueller yang digunakan di masa lalu (Schlumberger, 1989). Panjang detektor ini hanya beberapa inci sehingga detail formasi bisa diperoleh dengan baik.



Gambar 3. Alat Log Gamma Ray (www.google.com/gamma-ray-tools)

2. *Log Resistivity*

Log Resistivity atau Resistivitas adalah rekaman tahanan jenis formasi ketika dilewati oleh kuat arus listrik, dinyatakan dalam ohmmeter (Schlumberger, 1989). Resistivitas ini mencerminkan batuan dan fluida yang terkandung di dalam pori-porinya. Reservoir yang berisi hidrokarbon akan mempunyai tahanan jenis lebih tinggi (lebih dari 10 ohmmeter), sedangkan apabila terisi oleh air formasi yang mempunyai salinitas tinggi maka harga tahanan jenisnya hanya beberapa ohmmeter (Schlumberger, 1989). Suatu formasi yang porositasnya sangat kecil (*tight*) juga akan menghasilkan tahanan jenis yang sangat tinggi karena tidak mengandung fluida konduktif yang dapat menjadi konduktor alat listrik (Schlumberger, 1989). Menurut jenis alatnya, log ini dibagi menjadi dua yaitu laterolog, dipakai untuk pemboran yang menggunakan lumpur pemboran yang konduktif dan induksi yang digunakan untuk pemboran yang menggunakan lumpur pemboran yang *fresh mud* (Harsono, 1997). Berdasarkan jangkauan pengukuran alatnya, log ini dibagi menjadi tiga yaitu dangkal (1-6 inci), medium (1,5-3 feet) dan dalam (>3 feet).

1. Alat Lateralog

Alat DLT memfokuskan arus listrik secara lateral ke dalam formasi dalam bentuk lembaran tipis (Harsono, 1997). Ini dicapai dengan menggunakan arus pengawal (*bucking current*) yang berfungsi untuk mengawal arus utama (*measured current*) masuk ke dalam formasi sedalam-dalamnya. Dengan mengukur tegangan listrik yang diperlukan untuk menghasilkan arus listrik utama yang besarnya tetap, resistivitasnya dapat dihitung dengan hukum Ohm (Schlumberger, 1989).

Sebenarnya alat DLT terdiri dari dua bagian, bagian pertama mempunyai elektroda yang berjarak sedemikian rupa untuk memaksa arus utama masuk

sejauh mungkin ke dalam formasi dan mengukur LLD, resistivitas laterolog dalam (Harsono, 1997). Bagian lain mempunyai elektroda yang berjarak sedemikian rupa membiarkan arus utama terbuka sedikit, dan mengukur LLS, resistivitas laterolog dangkal (Harsono, 1997). Hal ini tercapai karena arus yang dipancarkan adalah arus bolak-balik dengan frekuensi yang berbeda. Arus LLD menggunakan frekuensi 28kHz sedangkan frekuensi arus LLs adalah 35 kHz (Harsono, 1997).

Bila alat DLT mendekati formasi dengan resistivitas sangat tinggi atau selubung baja, bentuk arus DLT akan terpengaruh (Harsono, 1997). Hal ini akan mengakibatkan pembacaan yang terlalu tinggi pada LLD. Pengaruh ini dikenal dengan sebutan efek Groningen (Harsono, 1997).

DLT generasi baru telah dilengkapi dengan suatu rangkaian elektronik yang mampu mendeteksi dampak Groningen ini dengan menampilkan kurva LLG (Harsono, 1997). Bila terdapat efek Groningen biasanya pembacaan LLG tidak sama dengan LLD pada jarak antara titik sensor dan torpedo kabel *logging* (Harsono, 1997).

2. Alat Induksi

Terdapat beberapa jenis alat Induksi yaitu: IRT (*Induction Resistivity Tool*), DIT-D (*Dual Induction Type-D*), dan DIT-E (*Dual Induction Type-E*) (Harsono, 1997). Alat-alat tersebut menghasilkan jenis log yang berbeda pula. IRT menghasilkan ISF (*Induction Spherically Focussed*), DIT-D menghasilkan DIL (*Dual Induction Log*) sedangkan DIT-E menghasilkan PI (*Phasor Induction*) (Harsono, 1997).

3. Prinsip ISF Log

Sonde terdiri dari dua set kumparan yang disusun dalam batangan *fiberglass* non- konduktif (Harsono, 1997). Suatu rangkaian osilator menghasilkan arus konstan pada kumparan pemancar.

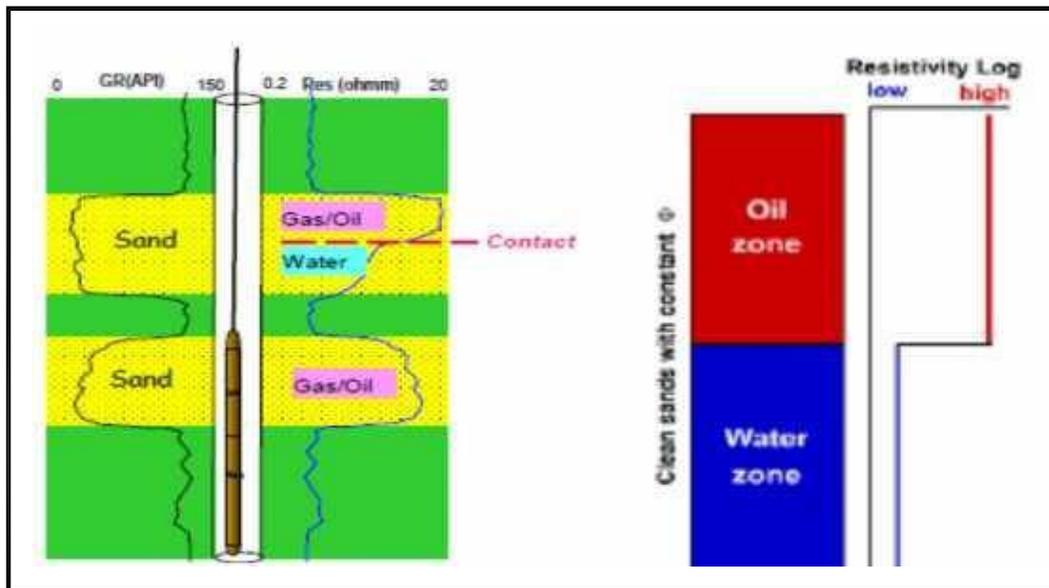
Berdasarkan hukum fisika kita tahu bahwa bila suatu kumparan dialiri arus listrik bolak-balik akan menghasilkan medan magnet, sebaliknya medan magnet akan menimbulkan arus listrik pada kumparan (Harsono, 1997). Hal ini menyebabkan arus listrik yang mengalir dalam kumparan alat induksi ini menghasilkan medan magnet di sekeliling sonde (Harsono, 1997). Medan magnet ini akan menghasilkan arus eddy di dalam formasi di sekitar alat sesuai dengan hukum Faraday.

Formasi konduktif di sekitar alat bereaksi seperti kumparan-kumparan kecil (Harsono, 1997). Bisa dibayangkan terdapat berjuta-juta kumparan kecil di dalam kumparan yang menghasilkan arus eddy terinduksi (Harsono, 1997). Arus eddy selanjutnya menghasilkan medan magnet sendiri yang dideteksi oleh kumparan penerima. Kekuatan dari arus pada penerima sebanding dengan kekuatan dari medan magnet yang dihasilkan dan sebanding dengan arus eddy dan juga konduktivitas dari formasi (Harsono, 1997).

Hampir setiap alat pengukur resistivitas saat ini dilengkapi dengan alat pemfokus. Alat tersebut berfungsi untuk mengurangi pengaruh akibat fluida lubang bor dan lapisan di sekitarnya (Harsono, 1997). Dua jenis alat pengukur resistivitas yang ada saat ini: induksi dan laterolog memiliki karakteristik masing-masing yang membuatnya digunakan untuk situasi yang berbeda (Harsono, 1997).

Log induksi biasanya direkomendasikan untuk lubang bor yang menggunakan lumpur bor konduktif sedang, non-konduktif (misalnya *oil-base muds*) dan pada lubang bor yang hanya berisi udara (Harsono, 1997). Sementara itu laterolog direkomendasikan pada lubang bor yang menggunakan lumpur bor sangat konduktif (misalnya *salt muds*) (Harsono, 1997). Alat induksi, karena sangat sensitif terhadap konduktivitas baik digunakan pada formasi batuan dengan resistivitas rendah sampai sedang (Harsono, 1997). Sedangkan

laterolog karena menggunakan peralatan yang sensitif terhadap resistivitas sangat akurat digunakan pada formasi dengan resistivitas sedang sampai tinggi (Harsono, 1997).



Gambar 4. Log Resistivity (www.google.com/resistivity-tools)

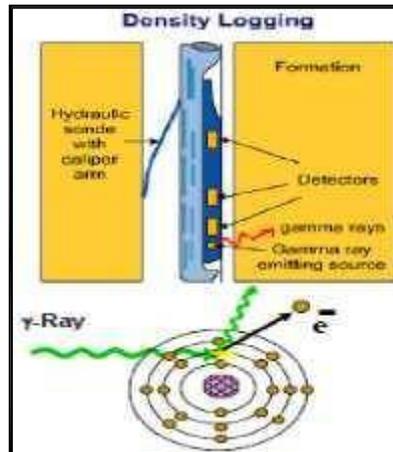
3. Log Density

Log densitas merekam *bulk density* formasi batuan (Schlumberger,1989). *Bulk density* merupakan densitas total dari batuan meliputi matriks padat dan fluida yang mengisi pori. Secara geologi, *bulk density* merupakan fungsi dari densitas mineral yang membentuk batuan tersebut dan volume fluida bebas yang menyertainya (Rider,1996). Sebagai contoh, batupasir tanpa porositas mempunyai *bulk density* $2,65\text{g/cm}^3$, densitasnya murni berasal dari kuarsa. Apabila porositasnya 10%, *bulk density* batupasir tersebut tinggal $2,49\text{g/cm}^3$, hasil rata – rata dari 90% butir kuarsa (densitasnya $2,65\text{g/cm}^3$) dan 10% air (densitasnya $1,0\text{g/cm}^3$) (Rider,1996).

Sebuah sumber radioaktif yang diarahkan ke dinding bor mengeluarkan sinar gamma berenergi sedang ke dalam formasi (Schlumberger,1989). Sinar gamma tersebut bertumbukan dengan elektron yang ada di dalam formasi. Pada tiap kali tumbukan, sinar gamma kehilangan sebagian energinya yang diserap oleh elektron (Schlumberger,1989). Sinar gamma tersebut terus bergerak dengan energinya yang tersisa. Jenis interaksi ini dikenal sebagai hamburan Compton (Schlumberger,1989). Hamburan sinar gamma tersebut kemudian ditangkap oleh detektor yang ditempatkan di dekat sumber sinar gamma. Jumlah sinar gamma yang kembali tersebut kemudian digunakan sebagai indikator dari densitas formasi (Schlumberger,1989).

Nilai hamburan Compton dipengaruhi oleh jumlah elektron yang di dalam formasi (Schlumberger,1989). Sebagai akibatnya, respon *density tool* dibedakan berdasarkan densitas elektronnya (jumlah elektron tiap centimeter kubik). Densitas elektron berhubungan dengan *true bulk density* yang bergantung pada densitas matriks batuan, porositas formasi, dan densitas fluida yang mengisi pori (Schlumberger,1989).

Untuk mengurangi pengaruh dari *mud column*, maka detektor dan *skidmounted source* harus dipasang perisai (Schlumberger,1989). Sebuah koreksi diperlukan ketika kontak antara *skid* dan formasi tidak sempurna. Jika hanya ada satu detektor yang digunakan, koreksi tidak mudah untuk dilakukan karena pengoreksian bergantung pada ketebalan, berat, dan komposisi *mudcake* atau *mud interposed* di antara *skid* dan formasi (Schlumberger,1989).



Gambar 5. *Log Density* (www.google.com/Density-tools)

4 Log Neutron

Log Neutron digunakan untuk mendelineasi formasi yang porous dan mendeterminasi porositasnya (Schlumberger,1989). Log ini mendeteksi keberadaan hidrogen di dalam formasi. Jadi pada formasi bersih dimana pori – pori telah terisi oleh air atau minyak, log neutron merefleksikan porositas yang terisi oleh fluida (Schlumberger,1989).

Zona gas juga dapat diidentifikasi dengan membandingkan hasil pengukuran log neutron dengan log porositas lainnya atau analisis *core* (Schlumberger,1989). Kombinasi log neutron dengan satu atau lebih log porositas lainnya dapat menghasilkan nilai porositas dan identifikasi litologi yang lebih akurat dibandingkan dengan evaluasi kandungan serpih (Schlumberger,1989).

Neutron merupakan bagian dari atom yang tidak memiliki muatan namun massanya ekuivalen dengan inti hidrogen (Schlumberger,1989). Neutron berinteraksi dengan material lain melalui dua cara, yaitu melalui kolisi dan absorpsi: kolisi umumnya terjadi pada tingkat energi tinggi sedangkan absorpsi terjadi pada tingkat energi yang lebih rendah (Schlumberger,1989).

Jumlah energi yang hilang setiap kali terjadi kolisi tergantung pada massa relatif inti yang bertumbukan dengan neutron tersebut (Schlumberger,1989). Kehilangan energi terbesar terjadi apabila neutron bertumbukan dengan material lain yang memiliki massa sama dengannya, misalnya inti hidrogen (Schlumberger,1989) . Tumbukan dengan inti yang berat tidak akan terlalu memperlambat laju dari neutron. Jadi, penurunan terbesar jumlah neutron yang kembali ditentukan oleh seberapa besar kandungan air di dalam formasi batuan tersebut (Schlumberger,1989).

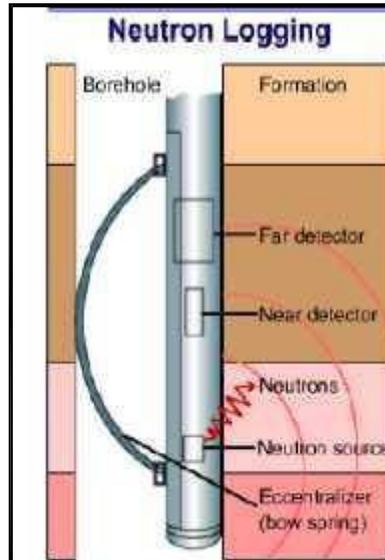
Saat konsentrasi hidrogen di dalam material yang mengelilingi sumber neutron besar, sebagian besar neutron akan bergerak semakin lambat dan dapat ditangkap pada jarak yang dekat dengan sumber (Schlumberger,1989). Sebaliknya, apabila konsentrasi hidrogennya sedikit, neutron akan bergerak jauh dari sumbernya baru kemudian ditangkap oleh inti atom lain (lihat gambar 4.6). Berdasarkan hal tersebut maka kandungan hidrogen di dalam suatu formasi batuan dapat ditentukan (Schlumberger,1989).

Peralatan *logging* neutron meliputi GNT (*gamma neutron tool*) *tool series*, dan SNP (*sidewall neutron porosity*) *tool* (Harsono, 1997). GNT merupakan detektor yang sensitif terhadap energi tinggi sinar gamma dan panas dari neutron. GNT dapat digunakan pada lubang bor dengan atau tanpa *casing* (Harsono, 1997). Meskipun perlengkapan ini respon utamanya adalah terhadap porositas, GNT juga bisa mendeteksi pengaruh akibat salinitas fluida, suhu, tekanan, ukuran lubang bor, *mudcake*, *standoff*, dan berat lumpur (Harsono, 1997).

Pada peralatan SNP, detektornya hanya mampu mendeteksi neutron yang memiliki energi sekitar 0,4 eV (epitermal). (Harsono, 2007) menyebutkan sejumlah keunggulan SNP dibandingkan dengan NGT yaitu:

1. Efek lubang bor lebih sedikit
2. Neutron yang diukur adalah neutron epithermal, hal ini mengurangi efek negatif dari penyerap neutron thermal kuat (seperti boron dan klorin) pada air formasi dan matriks.

3. Koreksi yang diperlukan dilakukan secara otomatis oleh instrumen yang ada di permukaan
4. SNP menghasilkan pengukuran yang baik pada lubang kosong



Gambar 6. Log Neutron (www.google.com/Neutron-tools)

D. Petrofisika

Secara kualitatif, praktisnya adalah dengan menganalisa karakteristik grafik data log, untuk langkah awal identifikasi dan zonasi reservoir hidrokarbon sedangkan Evaluasi secara kuantitatif membutuhkan beberapa data log, yang utamanya berupa Log *Gamma Ray*, Log Resistivitas, Log Densitas, Log Neutron, dan Log Sonik.

1. Volume Shale (Vsh)

Menghitung volume serpih (*shale*), yang merupakan jumlah kandungan serpih pada batuan reservoir. Karena serpih memiliki porositas non-efektif, maka akan mempengaruhi hasil pengukuran log Porositas/Neutron, dan menyebabkan nilai porositasnya menjadi lebih tinggi. Oleh karenanya,

perhitungan volume serpih dilakukan sebagai koreksi pada porositas total sehingga dapat diperoleh porositas efektif batuan reservoir.

$$I_{GR} = ((GR_{log} - GR_{min}) / (GR_{max} - GR_{min})) \times 100\% \dots (1)$$

I_{GR} = Indeks *Gamma Ray*

GR_{log} = Nilai *Gamma*

ray terbaca di Alat

GR_{min} = Nilai *Gamma*

ray terendah GR_{max} =

Nilai *Gamma ray*

tertinggi

2. Porositas

Porositas adalah fraksi ruang pori dalam batuan, atau dapat dikatakan sebagai kemampuan batuan reservoir untuk menyimpan fluida.

Porositas batuan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain ukuran butir, bentuk butir, sortasi, dan *fabrics*.

Terdapat dua macam porositas batuan, berdasarkan tingkat efektivitasnya, yaitu :

1. Porositas efektif; dimana tiap pori saling terhubung.
2. Porositas non-efektif; dimana tiap pori saling tertutup.

Berdasarkan data log Densitas, porositas (Φ_d) pada batuan dapat diperoleh dengan:

$$\Phi = ((\rho_{ma} - \rho_{log}) / (\rho_{ma} - \rho_{fl})) \dots (2)$$

Dimana : Φ = porositas, ρ_{ma} = nilai densitas matriks batuan, ρ_{log} = nilai densitas dari pembacaan data log, ρ_{ma} = nilai densitas fluida.

3. Saturasi

Saturasi air adalah persentasi volume pori batuan yang terisi air, dimana pada umumnya suatu reservoir dapat terisi oleh perpaduan air dan hidrokarbon.

Perhitungan saturasi air (S_w) secara sederhana, pada batuan *clean*, dapat dilakukan dengan persamaan Archie yaitu :

$$S_w = ((A \cdot R_w) / (\Phi^M \cdot R_T))^{(1/N)} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana : A = *Tortuosity Factor*, M = Faktor semetasi, N = Eksponen saturasi, Φ = Porositas, R_w = Resistivitas air formasi pada suhu formasi, R_T = Resistivitas formasi.

Untuk batuan *shaly*, perhitungannya dapat dilakukan dengan persamaan Simandoux :

$$S_w = \left(\frac{(V_{sh}/R_{sh})^2 + (4 \cdot \Phi_e^M) / (A \cdot R_w (1 - V_{sh}) \cdot R_T) - V_{sh}/R_{sh}}{(2 \Phi_e^M) / (A \cdot R_w (1 - V_{sh}))} \right)^{(1/2)} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana : V_{sh} = volume serpih, R_{sh} = resistivitas serpih.

IV. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 1 Januari 2020 – 31 Desember 2020, dan dilakukan di Laboratorium Mitigasi Bencana Geologi, Teknik Geofisika Universitas Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

a) Data Literatur Geologi Regional Daerah Penelitian

Data literatur meliputi peta geologi regional dan jurnal-jurnal penunjang mengenai daerah penelitian.

b) Data Analisis Lab

Data analisis lab antara lain data a (faktor *turtoisity*), m (faktor eksponen sementasi) dan n (faktor saturasi eksponen).

c) Data LAS sumur

Data LAS yakni format data sumur yang dapat diolah menggunakan perangkat computer.

d) Buku dan alat tulis lainnya

Buku dan alat tulis untuk melengkapi data yang tidak tersimpan di dalam perangkat komputer seperti data hasil analisis lapangan.

e) *Software (Interactive Petrophysic 3.5)*

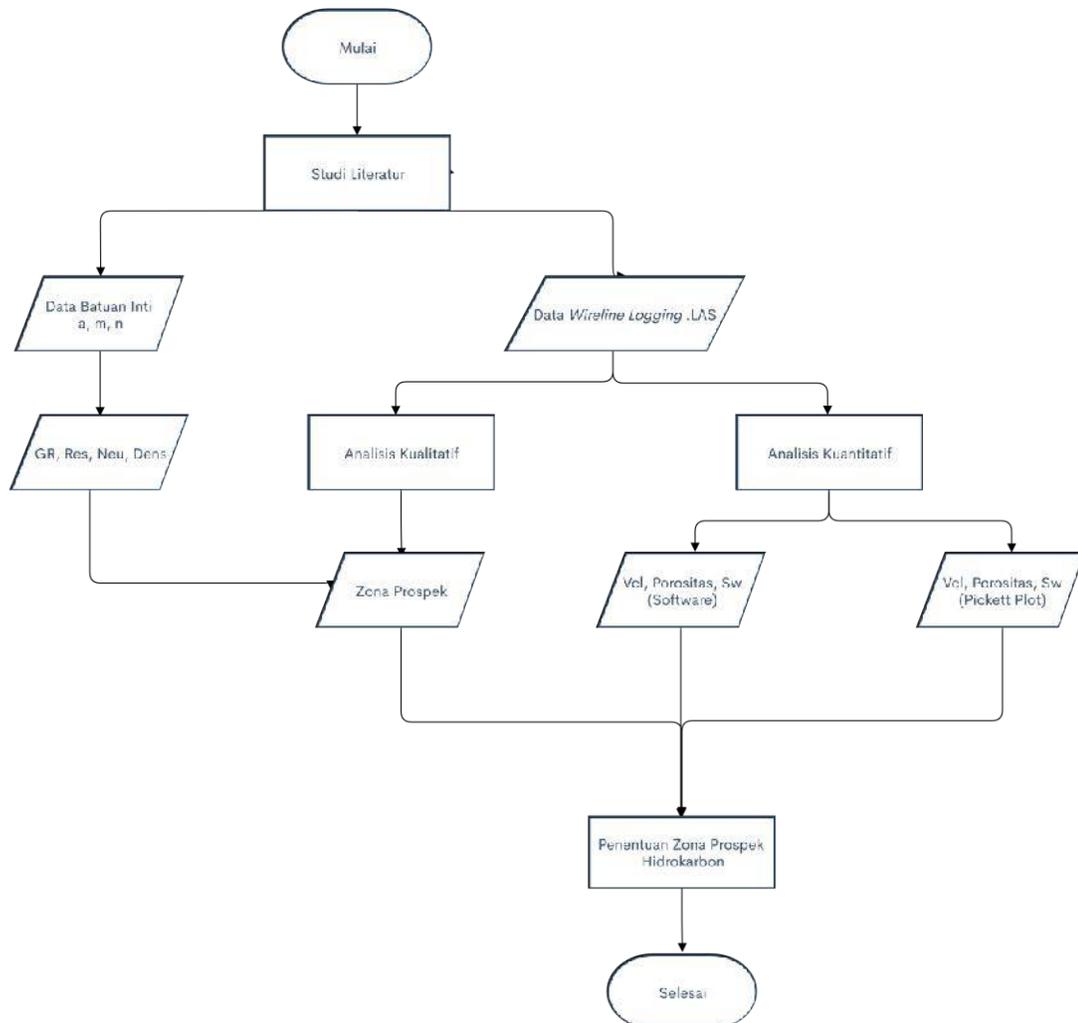
Software ini adalah perangkat yang digunakan perusahaan.

f) **Seperangkat Alat Komputer (PC)**

Seperangkat Alat Komputer untuk menunjang pengolahan data maupun pengerjaan laporan

C. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7



Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- a) Mempelajari kondisi dan penelitian-penelitian sebelumnya mengenai daerah penelitian, seperti geologi regional.
- b) Mempelajari hasil analisa tim lab mengenai data inti batuan atau *coring* seperti:
a (*factor tortoisity*), m (faktor sementasi) dan n (faktor saturasi).
- c) Melakukan analisa pola log untuk membuat peta kedalaman atau zona target yang akan dikorelasikan untuk membuat peta ketebalan formasi target.
- d) Melakukan perhitungan *property* petrofisika seperti:
 - 1) Volume Shale: menggunakan formula indeks *gamma ray*
 - 2) Porositas: menggunakan formula log density-neutron
 - 3) Saturasi: menggunakan persamaan Archie
- e) Melakukan penentuan zona *water bearing* dan melakukan plot nilai R_t dan Porositas di *Pickett Plot*.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang penulis dapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis secara kualitatif, Cekungan Sumatera Utara merupakan daerah yang cukup prospek dengan ditunjukkan adanya potensi kandungan minyak pada zona prospek yang terdapat pada 3 sumur daerah penelitian.
2. Nilai V_{clay} rata-rata adalah 0.49 pada *Software* dan 0.091 pada *Pickett Plot*, R_w rata-rata adalah 0.46 pada *Software* dan 0.233 pada *Pickett Plot*, porositas rata-rata adalah 0.339 pada *Software* dan 0.264 pada *Pickett Plot* dan nilai saturasi air adalah 0.458 pada *Software* dan 0.397 pada *Pickett Plot*
3. Litologi lapisan bawah permukaan pada 3 sumur penelitian berupa *Sandstone* sebagai reservoir dan *Clay* sebagai penyisip.
4. Perbedaan nilai antara perhitungan *Software* dan Manual terjadi dikarenakan adanya kesalahan teknis pada perhitungan atau *Human Error*.

6.2 Saran

Untuk menguatkan hasil perhitungan cadangan hidrokarbon diperlukan data pendukung lain seperti data seismik dan dilanjutkan dengan melakukan perhitungan *Netpay*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbot. S. T., 2011, Petroleum Geosciences from Mid-Pleistocene sequences, Wanganui Basin, New Zealand: *Journal of Sedimentary Research*, v.68., p.253-268.
- Allen, G. P., and Chambers, J. L. C., 2013, *Sedimentation in the modern and Miocene Mahakam Delta*: Jakarta, Indonesia petroleum Association, 236 p.
- Anonim^a. 2000. *Karakteristik Batu Pasir dan Batuan Sedimen Pembawanya, Formasi Talangakar, di daerah Lampung Tengah*. Tersedia pada www.docstoc.com. Diakses tanggal 12 September 2019.
- Anonim^b. 2011. *Logging for Geologist Guidance*. PT.Medco E&P. Tidak dipublikasikan
- Anonim^c. *Introduction to Borehole Geophysics*. Tersedia pada www.4shared.com. Diakses tanggal 13 September 2019.
- Anonim^d. *Stratigrafi Cekungan Sumatera*. Tersedia pada www.4shared.com. Diakses tanggal 13 September 2019.
- Bateman, R.M., 1985. *Open-hole Log Analysis and Formation Evaluation*. Amerika. ???
- Darling, T., 2005, *Well logging and Formation Evaluation*, Elsevier, USA.
- Dewanto, O., 2001, Analisa Hubungan Aliran Panas Bumi Terhadap Awal Maturasi Hidrokarbon pada Cekungan Minyak di Jawa Barat-Utara, *Jurnal Sains dan Teknologi Unila* ISSN 0853-733X Vol. 7 No. 3, Tahun 2001 hal. 29-42
- Dewanto, O., 2002, Analisa Hubungan Porositas Terhadap Konduktivitas Panas Batuan Hasil Pengukuran dan Perhitungan pada Sumur Minyak, *Jurnal Sains dan Teknologi Unila* ISSN 0853-733X Vol. 8 No. 2, Tahun 2002 hal. 27-41.
- Dewanto, O., 2003, Analisis Hubungan Kecepatan Rambat Gelombang Akustik dengan Porositas pada Batuan Reservoir, *Jurnal Sains dan Teknologi Unila* ISSN 0853-733X Vol. 8 No. 3, Tahun 2002.
- Harsono, A. 1989. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log, Edisi Revisi-8 Mei 1997*. Jakarta: Schlumberger Oilfield Service.
- Harsono, A., 1993, *Pengantar Evaluasi Log*, Schlumberger Data Services, Mulia Center L.17, Kuningan, Jakarta, p.19-21.
- Harsono, Adi., 1997, *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*, Schlumberger Oilfield Service, Jakarta.
- Horne. 2011 dalam Allen G.P Chambers. 1998. *Sedimentation in the Modern and Miocene Delta*. IPA.

- Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 4 No. 4 Desember 2011.
- Kusnama dan Panggabean, H. 2010. Karakteristik Batubara dan Batuan Sedimen Pembawanya, Formasi Talangakar, di daerah Lampung Tengah. *Jurnal Geologi Indonesia*. Pusat Survei Geologi. Bandung.
- Koesoemadinata. 1980. *Stratigrafi regional Indonesia*.
- Kenaith, J. F., and Flint, S. S., 2012, *Original Oil in Place Calculation Clastic Tidal Sedimentology*: Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir 16, p. 29-40.
- Mastoadji, E. 2013. *Basic Well Log Interpretation*. Handout of AAPG SC UNDIP Course.
- Rider. 1996. *Wireline log open hole well*. Houston, AAPG 2nd Edition.
- Schlumberger., 1989, *Log Interpretation Principles/Application*, Texas: Seventh Printing.
- Simanjuntak, T.O. dan Barber, A.J. 2013. *Contrasting tectonic styles in the Neogene Orogenic Belts of Indonesia*. Dalam: Hall, R. & Blundell, D. (eds.) *Tectonic Evolution of Southeast Asia*. Geological Society Special Publication.
- Sukandar Rumidi. 1995. *Batubara dan Gambut*. Jurusan Teknik Geologi UGM. Yogyakarta.
- Sukendar Asikin. 1998. *Geologi Struktur Indonesia*. Jurusan Teknik Geologi ITB. Bandung.