

BAB II TEORI DASAR

2.1. *Well Logging*

Well logging merupakan proses kegiatan dengan mengambil rekaman dengan melakukan pengukuran dari parameter sifat-sifat batuan pada suatu sumur untuk memperoleh kondisi dari suatu formasi batuan. Adapun sifat-sifat fisik yang diukur adalah radioaktif, resistivitas, potensial listrik, tahanan jenis, kerataan formasi, dan lain lain. Data *well log* yang memiliki kualitas baik sangat penting untuk karakteristik reservoir [6]. Pada eksplorasi minyak dan gas bumi, *logging* geofisika dapat digunakan untuk analisa kondisi geologi dan reservoir. Selain itu dari kegiatan eksplorasi *logging* geofisika dapat memberikan data lain seperti kedalaman, ketebalan lapisan, dan sifat geomekanika batuan. Data eksplorasi minyak dan gas bumi, log geofisika utama yang digunakan adalah log *gamma ray*, log *sp*, log *caliper*, log resistivitas, log densitas, log neutron, log sonik dan lainnya.

2.2.1. Konsep Dasar Berdasarkan Proses Kerja

Berdasarkan konsep kerjanya, logging dibagi menjadi dua jenis[7], yaitu:

1. *Wireline*

Well logging dilakukan dengan cara mengukur dari peralatan (alat *logging*) yang diturunkan pada kabel (*wireline*) ke dalam sumur. Hasil dari pengukuran ditransmisikan melalui kabel yang terhubung ke laboratorium permukaan atau unit komputer [19]. *Wireline log* dapat dilakukan dengan dua cara yaitu:

a. *Openhole Logging*

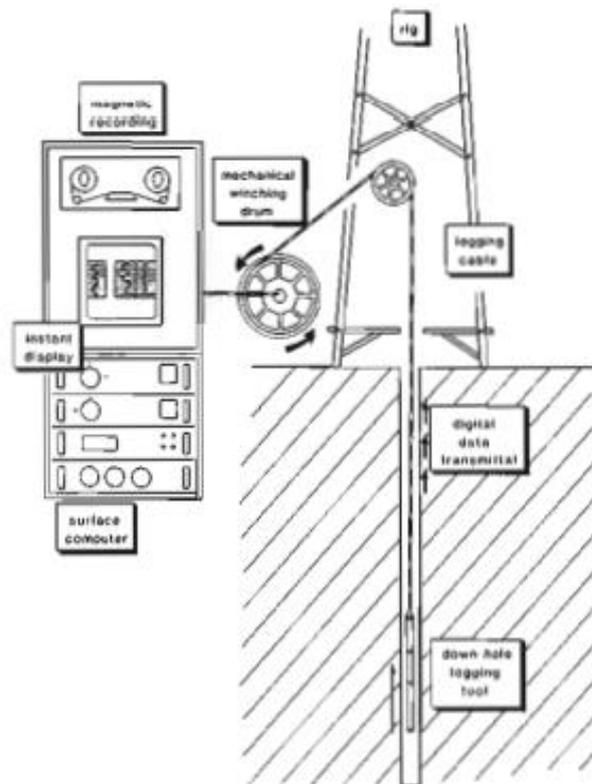
Openhole Logging dilakukan pada sumur bor yang belum dilakukan pemasangan *casing* dimana umumnya semua jenis log dapat dilakukan pada tahap ini.

b. *Casedhole Logging*

Casedhole Logging dilakukan pada sumur bor yang sudah dilakukan pemasangan *casing*, dimana tahap ini dilakukan logging seperti log *Gamma ray*, *Caliper* dan lainnya.

i. *Production Logs*

Production Logs dilakukan untuk menentukan jumlah minyak yang terdapat dalam sumur bor masih bisa diproduksi atau tidak dan juga untuk menentukan kualitas semen.



Gambar 2. 1. Skema Diagram Peralatan *Wireline Logging* [9]

c. *Logging While Drilling* atau LWD

Logging While Drilling dilakukan bersamaan dengan *Measurement While Drilling* atau MWD pada saat pemboran sumur. Pada MWD pengukuran dilakukan secara real time untuk memperoleh parameter fisik seperti temperatur, *azimuth* untuk sumur yang berbelok, dan *directional survey*. Sedangkan pada

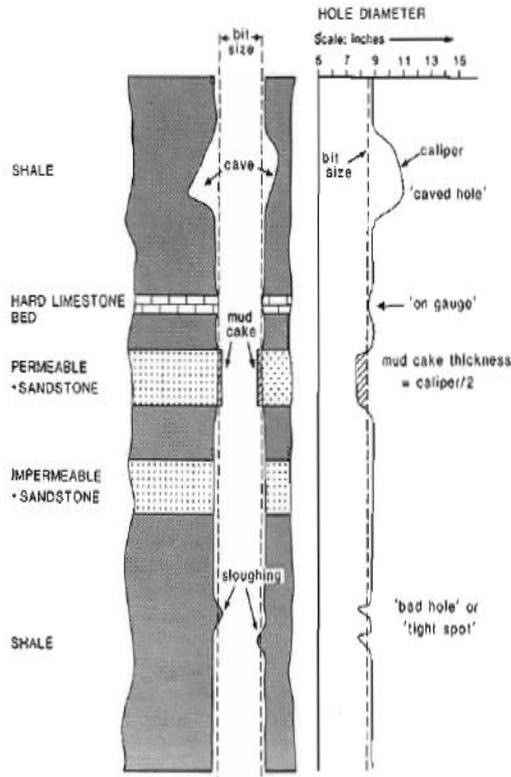
LWD, pengukuran dilakukan secara real time oleh MWD untuk memperoleh data *well log* pada sumur bor.

2.2. Tipe-tipe Log

2.3.1. Log *Caliper*

Log *Caliper* umumnya digunakan untuk mengukur ukuran lubang dan bentuknya. Dalam log tersebut dapat mengukur dengan *vertical diameter* lubang dimana dapat menghitung volume lubang bor dalam kegiatan *casing* nantinya. Dalam alat geometri yang lebih canggih dapat merekam dua simultan *caliper* dan memberikan bentuk orientasi lubang bor yang akurat. Kurva log *Caliper* saat melewati lapisan yang permeable, defleksi akan rendah. Hal tersebut disebabkan karena terbentuknya *mud cake* disekitar dinding lubang. Sedangkan pada lapisan yang impermeable, defleksi kurva akan ke kanan. Hal tersebut dipengaruhi oleh diameter lubang bor yang membesar akibat dinding yang runtuh (*vug*). Log *Caliper* memiliki beberapa fungsi antara lain:

- a) Untuk mengukur ukuran lubang bor,
- b) Untuk mendapatkan detail dari lubang bor,
- c) Untuk menghitung jumlah semen yang akan digunakan untuk selubung, dll.



Gambar 2. 2. Kurva log *Caliper* [8]

2.3.2. Log *Gamma ray*

Log *Gamma ray* merupakan alat yang mengukur tingkat radiasi sinar gamma yang dihasilkan oleh unsur-unsur radioaktif alami di sepanjang lubang bor. Radioaktif yang terdapat pada batuan formasi yang ditimbulkan oleh ionisasi yang terjadi karena adanya interaksi sinar gamma dari formasi dengan gas ideal yang terdapat di dalam ruang ionisasi yang ditempatkan pada sonde. Unsur radioaktif yang umumnya diukur yaitu *Thorium* (Th232), *Uranium* (U238), dan *Potassium* (K). Defleksi GR akan diukur dalam satuan API.

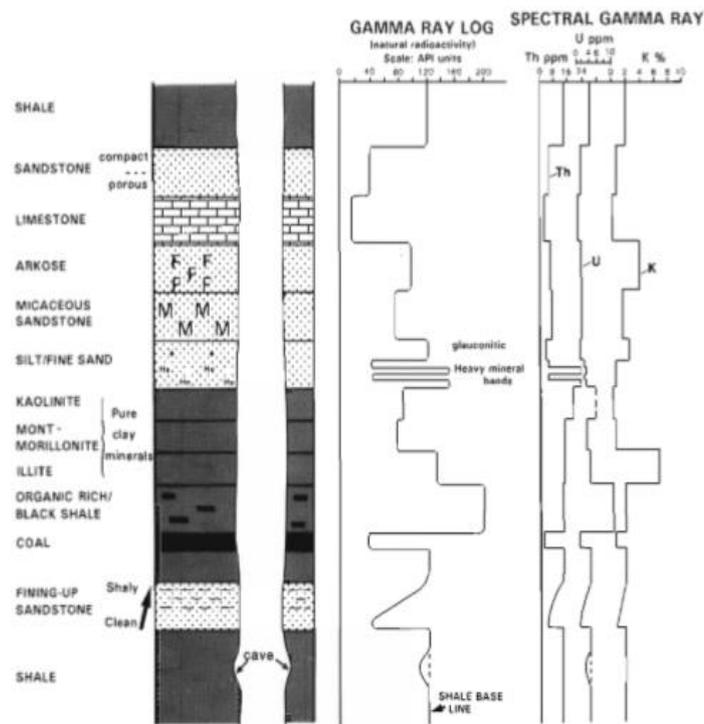
Defleksi kurva akan membesar ketika melewati lapisan *shale*, dikarenakan kadungan unsur radioaktif dalam *shale* sangatlah tinggi. Sedangkan pada lapisan batupasir yang bersih (*clean sand*) unsur radioaktif akan rendah sehingga defleksi akan ke kiri atau rendah.

Log *Gamma ray* memiliki beberapa fungsi antara lain [2]:

- a) Evaluasi kandungan volume *shale*,

- b) Determinasi lapisan *permeable*,
- c) Evaluasi mineral radioaktif,
- d) Evaluasi lapisan mineral radioaktif,
- e) Korelasi dan analisis fasies bawah permukaan,

Pengukuran log *Gamma ray* memiliki kelemahan, terutama apabila terdapat batuan selain serpih dan lempung yang memiliki radioaktivitas alami tinggi, seperti tuf. Sehingga identifikasi litologi umumnya diperkuat dengan melihat gambar dari data *core*.



Gambar 2. 3. Kurva log *Gamma ray* [8]

2.3.3. Log *Spontaneous Potential*

Log *Spontaneous Potential* merupakan alat *logging* yang mengukur beda potensial alami yang dihasilkan oleh interaksi air formasi yang muncul bersamaan dengan fluida pemboran yang konduktif dan ion-ion tertentu dari *shalestone*. Pengukuran log ini dilakukan dalam lubang bor dengan bantuan elektroda di permukaan dan elektroda dalam lubang. Log ini diukur dengan satuan milivolts (mV).

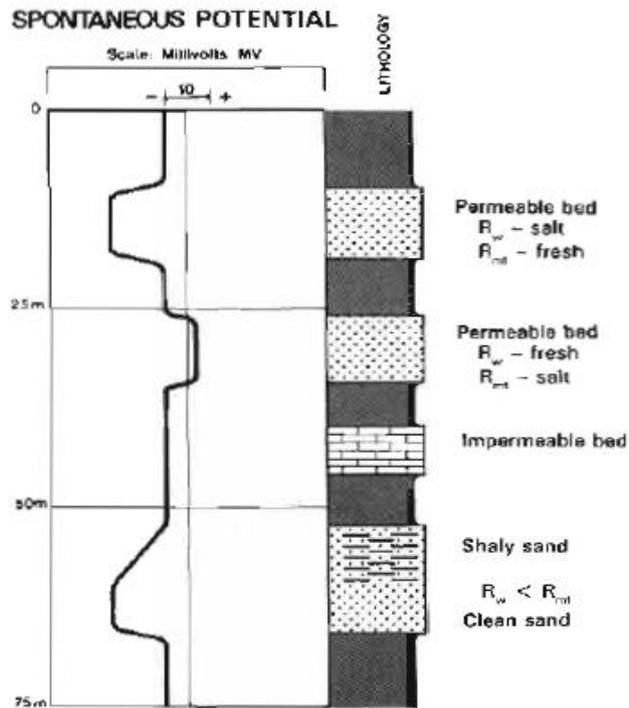
Defleksi kurva SP akan menunjukkan arus listrik yang mengalir pada lumpur di dalam lubang bor. SP tidak dapat digunakan untuk merekam lubang yang berisi dengan lumpur non-konduktif karena semua lumpur yang termasuk dalam jenis tersebut tidak akan memberikan kontinuitas arus listrik antara elektroda SP dan batuan formasi. Apabila resistivitas *filtrate* lumpur pengeboran dan resistivitas air formasi hampir sama, hasil defleksi kurva menjadi kecil dan terlihat lebih rata.

Kurva SP pada lapisan formasi yang *permeable*, defleksi kurva akan ke kiri dari *shale baseline*. Pada lapisan *shale*, defleksi kurva biasanya didefinisikan sebagai garis lurus pada log yang bisa disebut dengan *shale baseline*. Kurva SP sangat sensitif dengan salinitas air dan *filtrate* lumpur pemboran. Jika salinitas air formasi lebih besar dari salinitas *filtrate* lumpur, defleksi akan ke kiri. Dan sebaliknya ketika salinitas *filtrate* lumpur pemboran lebih besar dibandingkan dengan air formasi, defleksi akan ke kanan. Kurva log SP pada lapisan *permeable* bergantung pada beberapa hal, yaitu sebagai berikut:

- a. Kadar garam lumpur dan air formasi,
- b. Ketebalan lapisan *porous*,
- c. Adanya minyak atau gas mengurangi amplitudo kurva SP,
- d. Serpih dalam lapisan *porous*.

Faktor utama yang memengaruhi pengukuran SP adalah rasio filtrasi lumpur dengan resistivitas air (R_{mf}/R_w), ketebalan (h) dan resistivitas formasi (R_t) dari lapisan *permeable*, Resistivitas dari lumpur (R_m) dan diameter lubang bor (D_h). Log SP memiliki beberapa fungsi antara lain:

- 1) Estimasi resistivitas air lapisan,
- 2) Karakteristik batas lapisan,
- 3) Sebagai indikator permeabilitas,
- 4) Untuk perhitungan volume *shale*,
- 5) Menentukan arah migrasi fluida.



Gambar 2. 4. Kurva Log *Spontaneous Potential* [8]

2.3.1. Log Resistivitas

Log resistivitas merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur resistivitas batuan formasi dan fluida pengisi pori-pori batuan dari lubang bor dengan bantuan beberapa elektroda. Satuan dari resistivitas adalah ohm-meter (Ω -m). Resistivitas dari formasi diukur dengan mengirimkan arus listrik ke dalam formasi dan mengukur kemudahan aliran listrik melalui melalui batuan formasi atau untuk mengukur seberapa besar arus listrik menginduksi ke dalam formasi.

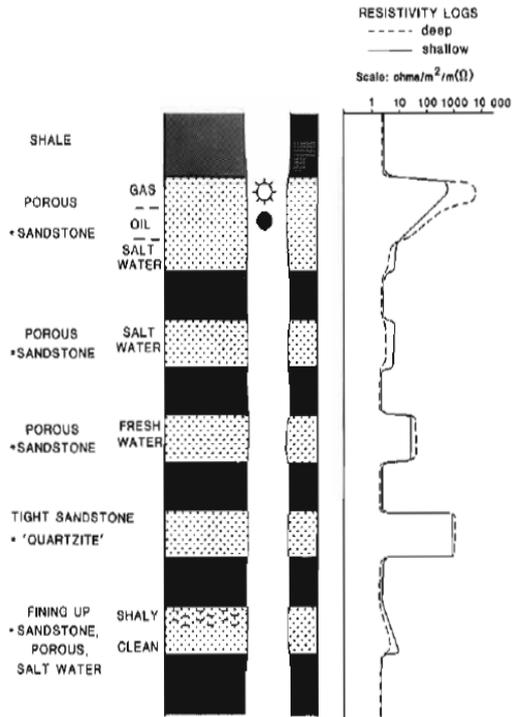
Resistivitas formasi bergantung pada resistivitas air formasi, banyaknya air yang terdapat pada formasi, dan struktur geometri pori-pori batuan. Pada batuan yang *permeable*, resistivitas batuan dipengaruhi oleh jenis batuan serta fluida pengisi pori-pori batuan tersebut.

Berdasarkan jangkauannya, log resistivitas dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu:

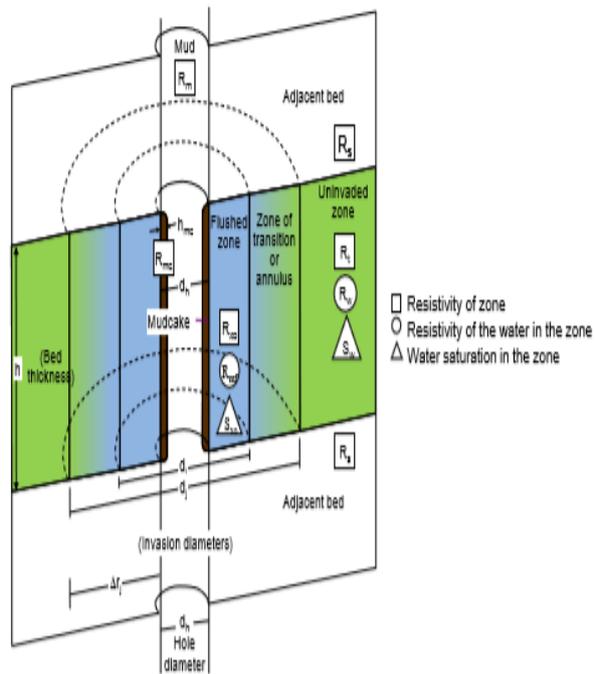
- a. *Shallow Investigation*, yaitu pengukuran dengan jangkauan dangkal. Hal ini dilakukan untuk mengukur harga resistivitas di daerah *flushed zone* (R_{xo}).
- b. *Medium Investigation*, yaitu pengukuran dengan jangkauan sedang. Hal ini dilakukan untuk mengukur harga resistivitas di daerah *transition zone*.
- c. *Deep Investigation*, yaitu pengukuran dengan jangkauan dalam. Hal ini dilakukan untuk mengukur harga resistivitas formasi yang berada di daerah *uninvaded zone*.

Resistivitas formasi batuan menjadi parameter dalam menentukan saturasi air yang digunakan untuk mencari kandungan saturasi hidrokarbon. Resistivitas formasi *borehole* biasanya dari 0,2 hingga 1.000 Ω -m. Terdapat beberapa prinsip untuk merekam resistivitas formasi, yaitu:

- 1) Mengirim arus ke dalam formasi (atau mengukur aliran listrik) digunakan ketika lumpur konduktif hadir ke dalam formasi. Karena arus listrik perlu koneksi antara elektroda dan formasi.
- 2) Menginduksi arus listrik ke dalam formasi (dan mengukur seberapa besar arus). Umumnya ini digunakan ketika lumpur formasi tidak konduktif, meskipun bisa bekerja di lumpur konduktif juga.
- 3) Pilihan induksi atau *laterolog* tergantung pada resistivitas formasi. Jika R_{mf} / R_w kurang dari tiga dapat menggunakan *laterolog*.
- 4) Gunakan log induksi jika R_{mf} / R_w lebih dari tiga atau induksi air atau lumpur dasar minyak atau R_t kurang dari 80-100 Ω -m.



Gambar 2. 5. Kurva Log Resistivitas [9]



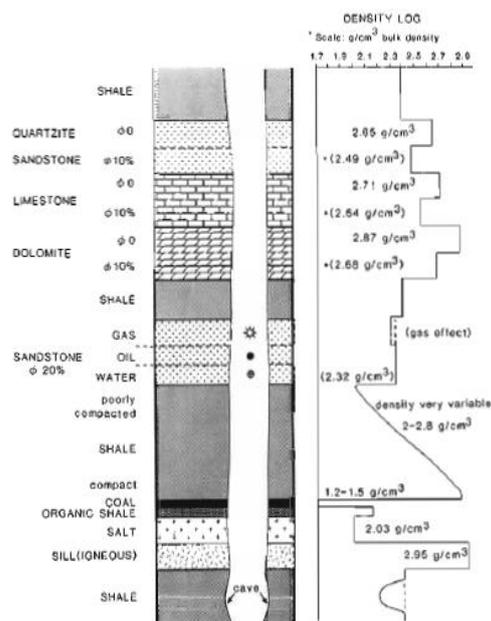
Gambar 2. 6. Simbol Yang Digunakan Dalam Interpretasi Log Resistivitas [9]

2.3.2. Log Densitas

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

Log densitas bekerja dengan menembakkan sinar gamma ke dalam batuan formasi, dan sinar gamma akan bertabrakan dengan semua elektron yang berada di dalam formasi. Akibat dari tabrakan, sinar gamma akan kehilangan energinya dan arahnya akan terburukkan. Sinar yang terburukkan akan terekam oleh detektor. Hasil pengukuran pantulan sinar gamma tergantung pada jenis litologi batuan yang ditembus oleh pancaran sinar gamma. Faktor yang memengaruhi penentuan berat jenis formasi (*bulk density*) dipengaruhi oleh:

- a) Berat jenis butir batuan (ρ_{ma}),
- b) Porositas batuan,
- c) Berat jenis fluida formasi,
- d) Ukuran lubang bor,
- e) Ketebalan kerak lumpur (*mud cake*).

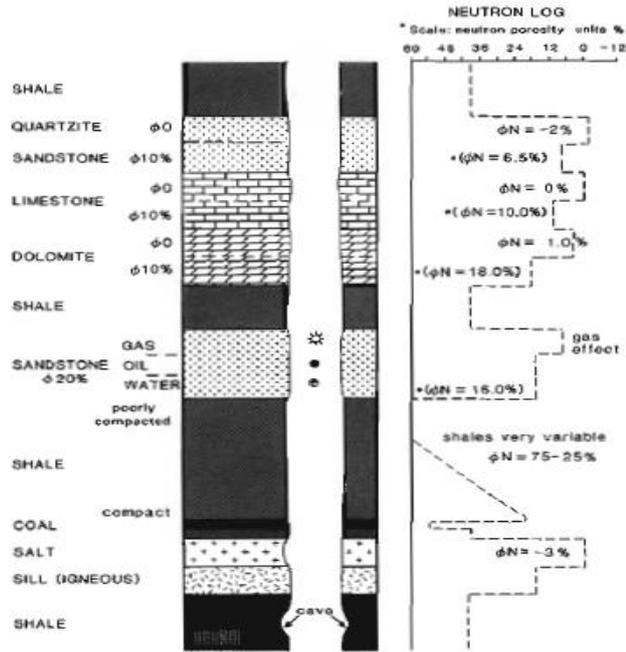


Gambar 2. 7. Kurva Log Densitas [9]

2.3.3. Log Neutron

Log neutron merupakan reaksi yang terbentuk dari formasi ketika neutron dengan densitas tinggi bertabrakan dalam formasi lubang bor dimana log ini dapat mengukur presentasi pori batuan dari intensitas atom hidrogennya, dengan asumsi bahwa pori batuan terisi oleh hidrogen sebagai air atau hidrokarbon. Reaksi tersebut tergantung dengan kandungan kekayaan hidrogen dalam formasi (*index hydrogen*). Indeks hidrogen terkait dengan % usia hidrogen dalam formasi. Jadi jika formasi ini diisi dengan log neutron air dapat bertindak sebagai indikator porositas.

Log neutron bekerja dengan mengukur konsentrasi atom hidrogen yang terkandung didalam lapisan batuan dengan memancarkan partikel neutron dengan kecepatan yang tinggi ketika sebuah neutron bertabrakan dengan partikel dengan ukuran yang sama (*H-nucleous*) hamburan elastis terjadi dan neutron kehilangan sebagian energinya. Jadi kita dapat mendeteksi keberadaan hidrogen dengan bantuan log neutron dengan merekam hilangnya energi dalam gelombang dan kembalinya neutron yang terdeteksi di detektor. Jumlah atom hidrogen yang berisi minyak dan air relatif sama sehingga pada suatu lapisan. Sedangkan pada formasi yang berisi gas, nilai neutron log akan lebih rendah dibandingkan dengan lapisan minyak atau air karena gas memiliki kandungan atom hidrogen yang lebih sedikit.



Gambar 2. 8. Kurva log Neutron [8]

2.3.4. Log Sonik

Log akustik atau sonik merupakan alat pengukuran perjalanan waktu dibuat yang diperlukan gelombang suara untuk merambat melalui batuan. Log ini bekerja dengan memancarkan bunyi dengan interval yang teratur dari sebuah sumber bunyi (*transmitter*), sehingga bunyi tersebut akan merambat melalui batuan formasi sejauh 1 ft dan bunyi akan diterima oleh alat penerima (*receiver*). Alat penerima akan mencatat lamanya waktu perambatan bunyi dalam batuan formasi.

Besarnya perambatan bunyi bergantung pada beberapa hal, yaitu litologi dan fluida pengisi pori-pori batuan formasi. Pada kurva log sonik, saat bunyi melewati *medium* cair seperti minyak dan air, akan menghasilkan kurva yang lebih besar dibandingkan dengan saat bunyi melewati *medium* padat seperti matriks batuan. Log ini memiliki beberapa fungsi, yaitu:

- a) Penentuan porositas (porositas primer),
- b) Indikasi litologi,
- c) Estimasi kualitatif permeabilitas,
- d) Mempelajari sifat mekanik,

- e) Kekuatan pembentukan dan karakterisasi fraktur,
- f) Memahami formasi anisotropi dan untuk perhitungan anisotropi (dengan bantuan log densitas) untuk korelasi seismik.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kecepatan V_p dari gelombang P yaitu [1]:

$$V_p = \sqrt{\frac{K + 1.33\mu}{\rho}}$$

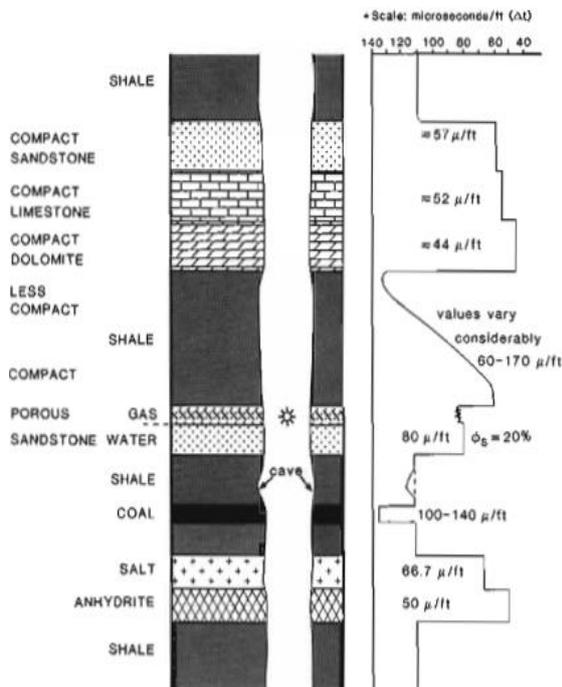
Dimana:

K : Bulk Modulus (GPa)

μ : Shear Modulus (GPa)

ρ : Densitas dari Media (gr/cm^3)

V_p : Kecepatan gelombang P (m/s)



Gambar 2. 9. Kurva Log Sonik [9]

2.3. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter yang paling cocok digunakan dalam proses pemisahan litologi maupun fluida didalam batuan reservoir. Analisis sensitivitas data log sumur umumnya dilakukan untuk mengetahui sudut yang paling sensitif dalam memisahkan litologi batupasir dan batulempung pada zona target. Penggunaan log Vp dan log neutron merupakan log yang dapat dipercaya untuk memisahkan litologi. Keterangan log yang berkaitan dengan *crossplot*, yaitu:

1. Log Sonik umumnya menggambarkan *secondary porosity* dengan baik. Semakin cepat nilai kecepatan menandakan batuan tersebut cenderung *tight* atau impermeable dan bila terlalu lambat lebih cenderung batubara. Log sonik sensitif terhadap kecepatan gelombang yang dipengaruhi oleh kompaksi dan porositas. Namun log ini sangat rentang terhadap perubahan *local* disekitar lubang bor seperti *washout zone* dan perubahan litologi tiba-tiba.
2. Log neutron umumnya sangat sensitif terhadap porositas, kondisi lubang bor, dan baik dalam menentukan porositas formasi *tight*, serta dapat memberikan informasi kandungan gas dalam formasi *shaly*.

2.4. Analisis Lingkungan Pengendapan

Pada penelitian tugas akhir ini, analisis lingkungan pengendapan digunakan untuk mengetahui dalam melakukan perhitungan porositas dan permeabilitas. Analisis lingkungan pengendapan ini dilakukan menggunakan analisis elektrofases berdasarkan pola-pola kurva log *gamma ray* yang dikombinasikan dengan log yang lainnya sebagai pendukung. Dari data log tersebut dapat dikenali beberapa bentuk dasar yang berkaitan dan merupakan karakteristik dari suatu lingkungan pengendapannya. Bentuk-bentuk log diatas dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 2. 10. Bentuk Bentuk Dasar Log Dalam Penentuan Fasies [19]

2.4.1. Cylindrical

Pada pola log ini merupakan bentuk yang stabil, dan umumnya diasosiasikan dengan endapan sedimen *fluvial channel*, *braided channel*, *estuarine*, pengisian alur pada *sub-marine*, *olian dune*, dan *tidal sand*. Pola log ini memiliki bentuk yang menunjukkan adanya sedimen tebal dan homogenitas yang dibatasi oleh pengisian *channel* (*channel-fills*) dengan kontak yang tajam.

2.4.2. Funnel

Pada pola log ini merupakan bentuk pola yang menunjukkan pengkasaran regresi atas. Bentuk ini diduga terbentuk dari regresi dan progradasi seperti *sub-marine fan lobes*, *regressive shallow marine bar*, *barrier islands* atau karbonat terumbu yang berprogradasi diatas *mudstone*, *delta front* (*distributary mounth bar*), *crevasse splay*, *beach* dan *barrier* (*barrier island*), *strandplain shoreface*, *prograding* (*shallow marine*), *Shelf sand* dan *submarine fan lobes*.

2.4.3. Bell

Pada pola log ini merupakan bentuk pola kebalikan dari bentuk *funnel*. Pola ini menunjukkan penghalusan ke atas, yang diduga terjadi akibat pengisian alur (*channel fills*). Bentuk ini dihasilkan oleh endapan *point bars*, *tidal deposits*, *transgressive Shelf sand* (*dominated tidal*), *sub-marine channel* dan endapan turbidit.

2.4.4. *Symmetrical*

Pada pola log ini merupakan bentuk pola kombinasi dari bentuk *bell-funnel* yang menunjukkan *crossing-Finishing upward* yang terbentuk pada proses bioturbasi. Bentuk ini dihasilkan dari *Shelf sand bodies*, *sub-marine fans* dan *sandy offshore bars*.

2.4.5. *Serrated*

Pada pola log ini merupakan bentuk pola dasar yang menunjukkan heterogenitas batuan. Bentuk bergerigi dari pola ini diasosiasikan dengan bentuk regresi *alluvial plain*, *flodplain*, *tidal sand*, *shelf* atau *back barriers*.

2.5. Analisis Petrofisika

Dalam bahasa latin "*petro*" berarti *rock* dan "*physic*" berarti ilmu alam. Petrofisika merupakan ilmu kebumihan yang mempelajari sifat-sifat batuan termasuk isi yang terdapat didalamnya meliputi cairan dan bahan pembentuk itu sendiri yang bertujuan untuk analisa formasi batuan atau mengetahui unsur kandungan batuan dengan memasukkan detektor elektronik dan radioaktif pada lubang sumur pada suatu lubang pemboran [8].

Analisis petrofisika pada penelitian tugas akhir ini dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisa kualitatif merupakan analisa yang dilakukan berdasarkan respon log yang ada pada saat pengukuran. Analisis kualitatif berguna untuk mengetahui litologi batuan, zona reservoir, dan jenis fluida dalam reservoir. Sedangkan analisa kuantitatif merupakan analisa dengan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan tertentu untuk identifikasi tahap lanjut terhadap tingkat porositas, permeabilitas batuan reservoir, dan saturasi air. Evaluasi kuantitatif membutuhkan beberapa data log, berupa log gr, log resistivitas, log densitas, log neutron, log sonik.

2.5.1. Zona Batuan Reservoir

Dalam menentukan zona batuan reservoir dapat dibedakan dengan menentukan batuan reservoir yang berpori dan zona batuan tidak memiliki porositas yang baik atau batuan *impermeable*. Adapun

beberapa cara dalam membedakan lapisan batuan berpori dan lapisan batuan yang tidak berpori, yaitu:

1. Zona batuan berporositas baik (seperti batupasir, batugamping)
 - a. Kurva GR defleksi kekiri atau rendah,
 - b. Defleksi kurva SP menjauhi *shale base line* yang merupakan indikasi adanya zona atau batuan yang berporositas baik. Besar defleksi tidak menunjukkan besarnya tingkat permeabilitas,
 - c. Terbentuk adanya kerak lumpur pemboran,
 - d. Kurva *microlog* terdapat separasi positif,
 - e. Harga defleksi kurva neutron dan kurva densitas menengah hingga tinggi.
2. Zona batuan berporositas tidak baik (seperti batulempung, serpih)
 - a. Defleksi kurva GR kekanan atau tinggi,
 - b. Kurva SP tidak menunjukkan defleksi yang menjauhi *shale base line* atau kurva SP relatif membentuk garis lurus
 - c. Diameter lubang kadang membesar (tidak selalu), tidak berbentuk kerak lumpur pemboran,
 - d. Pada kurva *microlog* defleksi kekiri atau rendah,
 - e. Kurva resistivitas pada zona terinvasi/*flushed zone* (Rxo) hampir sama dengan harga tahanan jenis formasi (Rt),
 - f. Kurva neutron lebih tinggi daripada kurva densitas.

2.5.2. Identifikasi Litologi

Dalam mengidentifikasi litologi sumur bor dapat ditentukan berdasarkan defleksi log tanpa melakukan perhitungan. Adapun beberapa jenis kenampakan dalam mengidentifikasi litologi, yaitu:

2. Batupasir
 - a. Umumnya defleksi kurva GR rendah, namun apabila terdapat kandungan radioaktif dalam batupasir maka defleksi harga batupasir akan tinggi,

- b. Defleksi kurva resistivitas akan tinggi, apabila terjadi separasi positif pada kurva resistivitas jenis mikro (dimana log *micronormal* 2” daripada *microinverse* 1x1”)
 - c. Defleksi kurva SP menjauhi *shale base line*,
 - d. Diameter lubang bor relatif lebih kecil karena membentuk kerak lumpur yang tebal.
3. Batuserpih/*Shale*
- a. Defleksi GR tinggi
 - b. Kurva neutron lebih besar daripada kurva densitas
 - c. Nilai kurva resistivitas rendah
 - d. Defleksi kurva SP tidak menunjukkan menjauhi *shale base line* atau membentuk garis lurus.

2.5.3. Jenis Fluida Reservoir

Dalam menentukan jenis fluida yang ada dalam sumur bor dapat dengan melihat log resistivitas dan gabungan log neutron serta log densitas, yaitu:

- i. Harga perbandingan R_{xo} dengan R_t akan maksimum dan hampir sama dengan harga $R_{mf}/R_w > 1$ pada zona air,
- ii. Nilai R_{xo}/R_t lebih rendah dari harga maksimum pada zona hidrokarbon (lebih kecil dari 1),
- iii. Log densitas dan log neutron digunakan untuk membedakan gas atau minyak yang terdapat dalam formasi,
- iv. Log neutron jauh lebih kecil dibandingkan log densitas pada zona gas,
- v. Log neutron dan log densitas akan membentuk separasi positif yang lebih sempit daripada zona gas pada zona minyak,
- vi. Zona minyak yang menunjukkan resistivitas tinggi (R_t) daripada zona air merupakan zona air.

2.5.4. Volume Serpih

Pada mulanya, analisa secara kuantitatif dilakukan dengan menghitung volume serpih yang merupakan jumlah dari kandungan serpih pada

batuan reservoir. Karena *shale* memiliki porositas non-efektif, maka akan memengaruhi hasil pengukuran log porosita/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.

$$I_{GR} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

Dimana:

GR_{log} : pembacaan log gamma ray pada kedalaman formasi (API)

GR_{max} : pembacaan maksimum log *gamma ray* pada kedalaman formasi (API)

GR_{min} : pembacaan minimum log *gamma ray* pada kedalaman formasi (API)

2.5.5. Porositas

Porositas merupakan fraksi ruang pori dalam batuan atau dapat dikatakan sebagai kemampuan batuan reservoir untuk menyimpan fluida. Porositas batuan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran butir, bentuk butir, sortasi, dan *fabrics*.

$$\phi(\%) = \frac{VolumePori}{VolumeBulk}$$

Tabel 2. 1. Klasifikasi tingkat kualitas porositas batuan [12]

No.	Nilai Porositas	Keterangan
1.	0 – 5 %	Diabaikan (<i>negligible</i>)
2.	5 – 10 %	Buruk (<i>poor</i>)
3.	10 – 15 %	Cukup (<i>fair</i>)
4.	15 – 20 %	Baik (<i>good</i>)
5.	20 – 25 %	Baik sekali (<i>very good</i>)
6.	> 25 %	Istimewa (<i>excellent</i>)

1. Log Densitas merupakan log yang mengukur densitas elektron suatu formasi. Log ini dapat berfungsi untuk mengidentifikasi mineral evaporit, mendeteksi zona yang mengandung gas,

menentukan densitas hidrokarbon, dan mengevaluasi reservoir *shaly sand* dan litologi yang kompleks [8]. Pembacaan kurva densitas yang diperoleh dapat diubah menjadi harga porositas dengan rumus:

$$\phi_d = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_{fluida}}$$

Keterangan:

ρ_{ma} : densitas matriks batuan (gr/cc)

ρ_b : densitas matriks batuan dari pembacaan log atau densitas bulk formasi (gr/cc).

2. Log Neutron

Penentuan porositas neutron harus mengetahui terlebih dahulu kandungan litologinya. Harga dari porositas neutron dapat dengan rumus (dalam *limestone unit*):

$$\phi_{Nlog} = (1,02 \times \phi_{Nlog}) + 0,0425$$

Keterangan:

ϕ_{Nlog} : porositas yang terbaca pada kurva neutron log (%)

0,0425: koreksi terhadap *limestone formation*

3. Log Densitas dan Log Neutron

- Pada zona minyak bumi

$$\phi_e = \frac{(\phi_n + \phi_d)}{2}$$

- Pada zona gas, selain itu rumus ini dapat dijadikan porositas efektif.

$$\phi_e = \sqrt{\frac{(\phi_n^2 + \phi_d^2)}{2}}$$

Keterangan:

Φ_n : nilai porositas dari perhitungan log neutron (%)

Φ_d : nilai porositas dari perhitungan log densitas (%)

4. Log Sonik

- Porositas efektif pada batuan *Clean*

$$\Phi_e = \frac{DT_{log} - DT_{ma}}{DT_{fluida} - DT_{ma}} \times \frac{1}{CP}$$

- Porositas efektif pada batuan Shale

$$\Phi_e = \left(\frac{DT_{log} - DT_{ma}}{DT_{fluida} - DT_{ma}} \times \frac{1}{CP} \right) - V_{sh} \left(\frac{DT_{sh} - DT_{ma}}{DT_{fluida} - DT_{ma}} \times \frac{1}{CP} \right)$$

Dimana:

Φ_e : porositas efektif (%)

DT: waktu transit gelombang dari data log sonik ($\mu s/m$)

DT_{ma}: waktu transit gelombang pada matriks batuan ($\mu s/m$)

DT_{fluida}: waktu transit gelombang pada fluida ($\mu s/m$)

DT_{sh}: waktu transit gelombang pada serpih ($\mu s/m$)

CP: faktor kompaksi (%) ; $CP = \frac{DT_{sh}}{100}$

2.5.6. Saturasi Air

Saturasi Air adalah presentase volume air yang terdapat didalam pori-pori batuan reservoir dibandingkan dengan volume total fluida yang mengisi pori-pori batuan reservoir tersebut. Menghitung saturasi air dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_w = 1 - S_h$$

Keterangan:

S_w: Saturasi air (%)

S_h: Saturasi hidrokarbon (%)

Dimana

$$S_w = \left(\frac{V_w}{V_p} \right)$$

Atau

Pada Batuan *Clean* (metode Archie)

$$S_w = \left(\frac{A x R_w}{\phi^M x R_w} \right)^{1/N}$$

Pada Batuan *Shale*

$$S_w = \sqrt{\frac{\left(\frac{V_{sh}}{R_{sh}}\right)^2 + \frac{4\phi_e^M}{AxR_w(1-V_{sh})R_t} - \frac{V_{sh}}{R_{sh}}}{\frac{2\phi_e^M}{AxR_w(1-V_{sh})}}}$$

Keterangan:

A: *Tortuosity Factor*

M: *Factor Sementation*

N: Eksponen Saturasi

Φ : Porositas (%)

R_w: Resistivitas Air Formasi (Ωm)

R_t: Resistivitas Formasi (Ωm)

V_{sh}: *Volume Shale (%)*

R_{sh}: Resistivitas Shale (Ωm)

2.5.7. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan kemampuan pori batuan untuk meloloskan fluida. Konsepnya diperkenalkan oleh [20]:

$$K = a \frac{\Phi^b}{S_w^c}$$

Dimana:

K: permeabilitas (*milidarcies*)

Φ : porositas (fraksi)

S_w: Saturasi Air (fraksi)

a,b,c: Konstanta Schlumberger (a = 10000, b = 4,5, c =2)

Skala kualitas dari permeabilitas suatu batuan [12]:

<5 mD : ketat (*tight*)

5 – 10 mD : cukup (*fair*)

10 – 100 mD : baik (*good*)

100 – 1000 mD : baik sekali (*very good*)

2.5.8. Lumping (pembungkalan)

Lumping dilakukan untuk mendapatkan nilai komulatif dari parameter petrofisika yang terdapat di sumur-sumur eksplorasi. Nilai komulatif sendiri merupakan jumlah dari parameter tertentu di setiap kedalaman cuplikan (sampling) dan dikalikan dengan nilai interval sampling. Nilai interval tersebut tergantung terhadap nilai penggal atau cut-off yang digunakan, sehingga nilai kandungan lempung, porositas, dan saturasi air akan digunakan. Nilai dari penggal tersebut dapat digunakan untuk menghilangkan bagian sumur yang dianggap tidak produktif, sehingga akan mendapatkan nilai zona net reservoir dan zona net pay.