

# KOREKSI PERHITUNGAN SATURASI AIR PADA LAPISAN *SHALY SAND* DI LAPANGAN X

Wisnu Rizkiawan\*

Ir. Hernansjah \*\*

---

## Sari Umum

Berbagai metode telah dikembangkan untuk perhitungan saturasi air dalam interpretasi log. Hal tersebut dikarenakan adanya perbedaan karakteristik reservoir, yakni salah satunya adalah adanya kandungan shale dalam formasi. Dimana kandungan *shale* ini akan mengganggu hasil interpretasi, sehingga dibutuhkan koreksi dan pendekatan lebih lanjut untuk memperoleh hasil interpretasi yang sesuai tujuan. Dimana perhitungan saturasi air merupakan faktor yang sangat penting dalam penentuan zona yang akan diproduksi, produktivitas hidrokarbon, selain itu juga dalam perhitungan cadangan hidrokarbon.

Metode perhitungan saturasi air yang telah ada, mempunyai karakter yang berbeda antara metode satu dengan lainnya. Dari berbagai metode tersebut digunakan untuk menentukan saturasi air dan dibandingkan metode-metode lainnya, sehingga hasil dari perhitungan tiap-tiap metode dapat dianalisis. Dan dari analisis yang telah dilakukan, maka secara empiris didapatkan persamaan usulan untuk perhitungan saturasi air di lapangan X.

Kata kunci : *shale*, interpretasi log, empiris, saturasi air.

## Abstract

*Several methods have been developed to determine water saturation in log interpretation. These are caused by differences of reservoir characteristic, one of them is the existing shale in formation. This shale content will make disturbance in interpretation result, so corrections and further approaching are needed to obtain interpretation result as wished. Water saturation determination is an important factor for determining producing zone, hydrocarbon productivity, and calculating hydrocarbon reserve.*

*The existing water saturation calculation methods have different characteristics between one and other methods. From those methods are used for calculating water saturation and compared with other methods, so the results from each method can be analyzed. And from previous analysis which has been done, so recommendation equation is empirically resulted for calculating water saturation in X field.*

**Keywords:** *shale, log interpretation, empiric, water saturation*

\*) Mahasiswa Program Studi Teknik Perminyakan ITB

\*\*) Dosen Pembimbing Program Studi Teknik Perminyakan – Institut Teknologi Bandung

---

## PENDAHULUAN

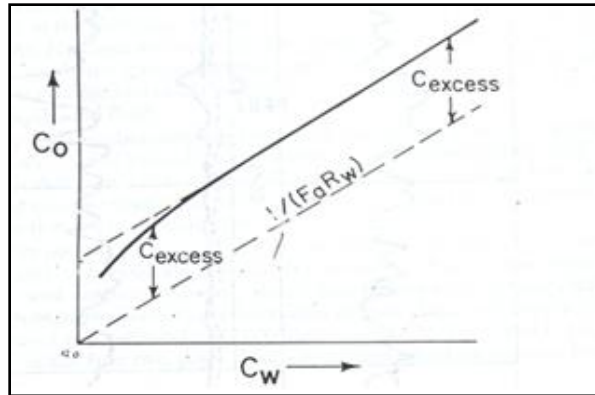
Pada dasarnya di setiap formasi pasti terdapat kandungan *shale*, namun kuantitas dan penyebaran shale yang membedakan metode interpretasi. Hal tersebut diakibatkan dari kecenderungan dari alat log dalam menerima informasi dari setiap formasi yang dilaluinya, baik berupa penyebaran lithologi maupun fluida yang mengisinya.

Terdapatnya kandungan *shale* di dalam reservoir merupakan pengganggu dalam melakukan evaluasi reservoir. Dimana *shale* terdiri partikel yang sangat halus, sehingga *shale* mempunyai luas permukaan yang lebih besar dan mampu mengikat partikel-partikel air (air

ikat) pada permukaannya. Pengaruh adanya *shale* ini akan mempengaruhi, antara lain<sup>2)</sup>:

1. Menurunkan porositas formasi
2. Merubah besarnya resistivitas
3. Memperkecil permeabilitas
4. Mengurangi zona produktif
5. Meningkatkan nilai saturasi air

Pengaruh lain dari adanya *shale* yakni dari air ikat, dimana air ikat memberikan kontribusi terhadap *electric conductivity*. Sehingga jika digambarkan pada plot antara konduktivitas *sandstone* ( $C_o$ ) dan konduktivitas air ( $C_w$ ).



Gambar 1. Plot  $C_o$  vs  $C_w$ <sup>2)</sup>

Apabila lapisan formasinya pasir bersih, maka plot membentuk garis lurus dengan slope " $1/F$ ". Sehingga dari persamaan Archie<sup>1)</sup> didapat.

$$S_w = \sqrt{F \cdot \frac{R_w}{R_t}} \dots \dots \dots (1)$$

$$1 = \sqrt{F \cdot \frac{R_w}{R_t}} \quad , \text{dimana } S_w = 100\% \text{ atau } 1$$

$$1 = F \cdot \frac{R_w}{R_t} \rightarrow R_o = F \cdot R_w \rightarrow R_t = R_o, \text{ jika } S_w = 1$$

dalam bentuk konduktivitas,

$$C_o = \frac{C_w}{F} = \phi^2 \cdot C_w \dots \dots \dots (2)$$

Dari gambar 1, apabila sebagian matriksnya diganti dengan *shale* dengan porositas efektif dianggap tetap, maka garisnya akan berubah lebih ke atas sejauh  $C_{\text{excess}}$ . Hal ini menunjukkan bahwa  $C_o$  menjadi lebih besar dengan adanya *shale*. Sehingga harga  $S_w$  juga akan berubah sesuai dengan persamaan,

$$S_w = \frac{c}{\phi} \cdot \sqrt{\frac{C_t}{C_w}} \dots \dots \dots (3)$$

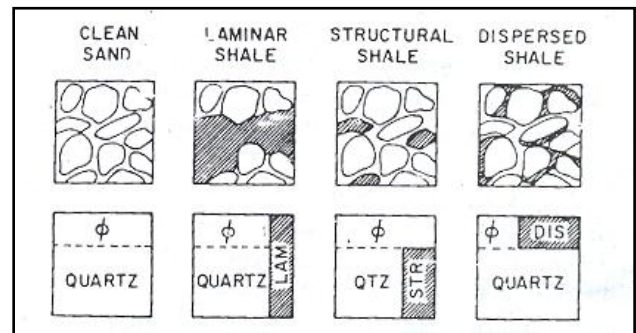
Dari persamaan tersebut, bila kita hubungkan dengan gambar 1, maka harga  $S_w$  akan semakin besar karena  $C_t$  bertambah. Untuk itu perlunya dilakukan modifikasi dari persamaan Archie untuk menentukan harga  $S_w$ .

## I. DISTRIBUSI SHALE

*Shale* merupakan campuran antara mineral *clay* dengan *silt*, terendapkan pada lingkungan pengendapan dengan energy yang rendah. *Silt* terdiri dari partikel-partikel halus terutama silika dengan sedikit carbonat dan mineral-mineral lain selain *clay*.

Distribusi *shale* dalam batu pasir dapat dibedakan menjadi tiga, antara lain:

1. *Laminated* atau berlaminasi,
2. *Dispersed* atau tersebar, dan
3. Struktural.



Gambar 2. Bentuk Distribusi *Shale*<sup>2)</sup>

Distribusi *shale* dalam bentuk berlaminasi ini dimana *shale* merupakan suatu lapisan tipis dengan ketebalan beberapa inch, dan terletak berupa sisipan dalam batu pasir. *Shale* dalam hal ini bisa dikatakan mempunyai porositas efektif dan permeabilitas efektif mendekati nol, dengan demikian besarnya porositas dan permeabilitas akan dipengaruhi oleh besarnya persentase *shale* dalam batu pasir.

Distribusi *shale* dalam bentuk *dispersed* ini tersebar didalam ruang pori dari batu pasir dan menggantikan ruang pori yang diisi fluida. Biasanya *shale* ini sebagian besar adalah *clay*. Tipe seperti ini akan mengakibatkan penyumbatan (*swelling*), sehingga dapat mengurangi permeabilitas karena ukuran *clay* yang sangat kecil dan dapat menurunkan porositas efektif, hingga ke nilai yang dianggap tidak produktif.

Sedangkan distribusi *shale* secara struktural butiran-butiran *shale* yang merupakan kumpulan dari partikel *clay* menempati sebagian dari butiran-butiran pasir. Sehingga porositas dan permeabilitas hanya sedikit terpengaruh.

## II. DATA LOG YANG DIPAKAI

Dalam penentuan parameter-parameter menggunakan interpretasi log, seperti porositas, volume shale, dan saturasi air. Maka membutuhkan data log yang digunakan dalam penentuan parameter tersebut. Dan penjelasannya adalah sebagai berikut.

**Gamma Ray Log<sup>7)</sup>** mengukur radio aktif alami dalam formasi, yang dipakai untuk identifikasi lithologi dan mengkorelasi antar zona. Respon Gamma ray log meningkat dengan bertambahnya kandungan shale, karena material radio aktif banyak terdapat dalam shale. Gamma ray log digunakan secara luas dalam interpretasi formasi shaly sand dan secara singkat kegunaan gamma ray adalah,

1. Evaluasi kandungan shale (Vsh)
2. Menentukan lapisan permeabel
3. Evaluasi mineral radioaktif
4. Korelasi antar sumur.

**Sonic Log<sup>7)</sup>** adalah log yang digunakan untuk mengukur porositas dan tekanan formasi. Namun dalam interpretasi ini, hanya digunakan untuk pengukuran porositas saja. Prinsip kerja dari log ini adalah mengukur *interval transit time* ( $\Delta t$ ) dari gelombang suara yang melewati setiap feet dari formasi. Karena hanya terdapat *log sonic*, maka porositas ditentukan dengan menggunakan *log sonic*.

**Resistivity Log<sup>7)</sup>** adalah log listrik yang digunakan untuk,

1. Menentukan hidrokarbon vs *water bearing zone*
2. Mengindikasikan zona permeabel
3. Menentukan resistivitas porositas.

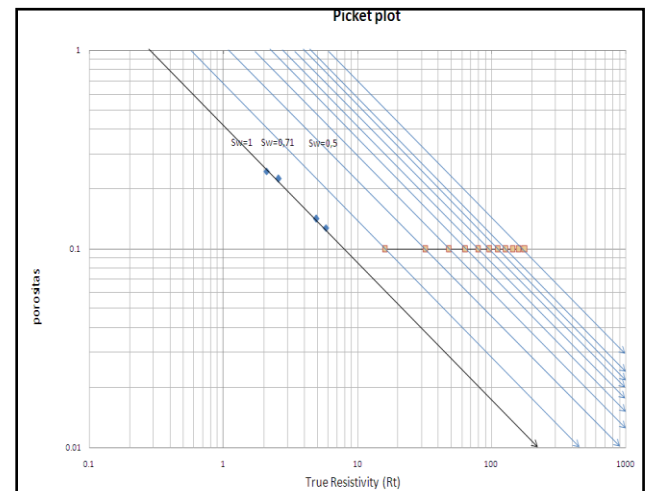
Biasanya log ini digunakan untuk penentuan hidrokarbon vs *water bearing zone*. Karena matriks batuan yang bersifat non-konduktif, kemampuan batuan menghantarkan listrik hampir semuanya merupakan fungsi dari air formasi. Hadirnya hidrokarbon yang juga non-konduktif menyebabkan resistivitas batuan akan bertambah.

Pada interpretasi ini, yakni menggunakan *Deep Lateral Log* (LLd). Dimana log jenis ini akan mengukur true resistivity ( $R_t$ ), yakni mengukur resistivitas sebenarnya atau *uninvaded zone* dengan media berupa *salt water*.

## III. PERHITUNGAN m, n dan $R_w$

Perhitungan saturasi air dengan interpretasi log, membutuhkan parameter yang nantinya digunakan ke dalam persamaan perhitungan saturasi air. Parameter tersebut adalah derajat sementasi (m), eksponen saturasi (n) dan *resistivity water* ( $R_w$ ). Dimana ketiga parameter itulah yang menggambarkan karakteristik batuan dan fluida yang ada dalam formasi. Perhitungan konstanta m, n dan  $R_w$  tersebut, dilakukan dengan metode *Picket Plot* (Picket, 1972) yang dikoreksi dengan data core. Metode Picket Plot ini sangat sederhana, namun cukup akurat dalam perhitungan parameter dan koreksi terhadap nilai  $S_w$ .

Gambar *Picket Plot*<sup>10)</sup> dibuat dengan memplot harga porositas dengan resistivitas dalam ( $R_{ILD}$  atau  $R_{LLd}$ ), dimana pada harga  $R_w$  dan m yang konstan, serta  $S_w = 100\%$ , akan membentuk sebuah garis lurus. Sehingga garis ini mewakili garis resistivitas basah ( $R_o$ ). Garis-garis yang berada sejajar di atasnya mewakili setiap harga  $S_w$  yang kurang dari 100% (pada harga  $R_w$  dan m yang konstan).



Gambar 3. Picket Plot<sup>10)</sup> ( $\Phi$  vs  $R_t$ )

Nilai m didapatkan dari kemiringan garis yang di-plot antara porositas dengan  $R_t$  dari zona dengan  $S_w = 100\%$ . Sedangkan nilai  $R_w$  dan n diturunkan dari persamaan berikut,

$$F = \frac{1}{\phi^m}, \text{ substitusikan ke persamaan } S_w^n = F \cdot \frac{R_w}{R_t}$$

$$S_w^n = \frac{1}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t} \dots\dots\dots(4)$$

kedua ruas di log-kan,

$$\log S_w^n = \log \phi^{-m} + \log R_w - \log R_t$$

bila nilai  $S_w = 1$ , maka  $R_t = R_o$  persamaannya menjadi,

$$\log \phi = -\frac{1}{m}(\log R_o - \log R_w) \dots \dots \dots (5)$$

$$\log R_o = \log R_w, \text{ maka } R_o = R_w \text{ dimana } \phi = 1$$

Dari persamaan tersebut, perpotongan garis  $R_o$  dengan garis  $\phi = 1$ , didapat nilai resistivitas sama dengan  $R_w$ . Selanjutnya adalah penentuan nilai  $n$ , yakni dengan mengambil satu zona interest dan di-plot ke dalam *Picket Plot*, sehingga dapat diperkirakan nilai  $S_w$ ,

dari persamaan (4),

$$S_w^n = \frac{1}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t}, \text{ kedua ruas di log-kan}$$

$$n \log S_w = \log\left(\frac{1}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t}\right)$$

maka nilai  $n$ ,

$$n = \frac{\log\left(\frac{1}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t}\right)}{\log S_w} = S_w \log\left(\frac{1}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t}\right) \dots \dots \dots (6)$$

Hasil dari perhitungan  $m, n$  dan  $R_w$  hasil dari *Picket Plot* dan data core adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai  $m, n$  dan  $R_w$

Parameter	Log	Core	error %
m	1.584659	1.631609	2.877513
n	1.765	1.798647	1.870684
Rw	0,28	-	-

#### IV. PENENTUAN VOLUME SHALE DAN POROSITAS KOREKSI <sup>7)</sup>

Perkiraan volume *shale* menggunakan *Gamma Ray Log* dilakukan dengan asumsi bahwa mineral radio aktif yang terdapat dalam formasi hanya *shale* dan *clay*. Melalui cara ini maka akan didapat suatu indeks yang disebut *Gamma Ray Index*, yang didefinisikan sebagai.

$$I_{GR} = \frac{GR_{\log} - GR_{clean}}{GR_{sh} - GR_{clean}} \dots \dots \dots (7)$$

Volume *shale* dapat ditentukan secara grafis dan matematis. Untuk metode matematis dalam perhitungan

ini menggunakan persamaan dari *Dresser Atlas* (1979) yakni,

Batuan Tua terkonsolidasi (Lorionov):

$$V_{sh} = 0,33(2^{(2 \cdot I_{GR})} - 1) \dots \dots \dots (8)$$

Batuan tersier, tak terkonsolidasi:

Persamaan *Lorionov*,

$$V_{sh} = 0,083(2^{(3,7 \cdot I_{GR})} - 1) \dots \dots \dots (9)$$

Persamaan *Stieber*,

$$V_{sh} = \frac{I_{GR}}{3 - 2 \cdot I_{GR}} \dots \dots \dots (10)$$

Persamaan *Clavier*,

$$V_{sh} = 0,7 - (3,38 - (I_{GR} + 0,7)^2)^{0,5} \dots \dots \dots (11)$$

Dari persamaan (8) sampai (11) digunakan dalam persamaan dalam perhitungan volume *shale*, dan nantinya digunakan perhitungan porositas yang dikoreksi terhadap *shale*.

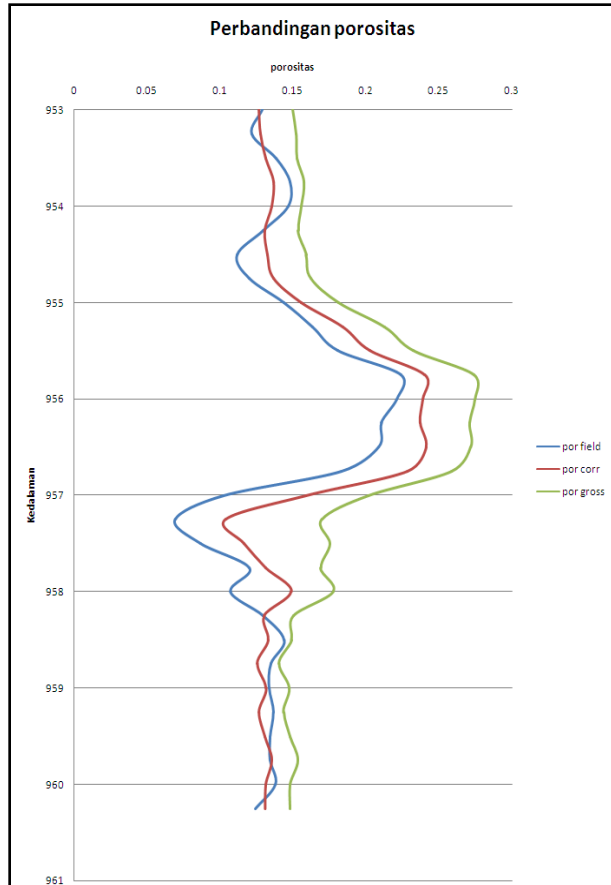
Persamaan *Wyllie et al* (1958) digunakan untuk menentukan porositas pada batu pasir terkonsolidasi dan karbonat. Dimana dalam hal ini porositas yang dipakai adalah batu pasir terkompaksi.

$$\phi_{sonic} = \frac{\Delta t_{\log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \dots \dots \dots (12)$$

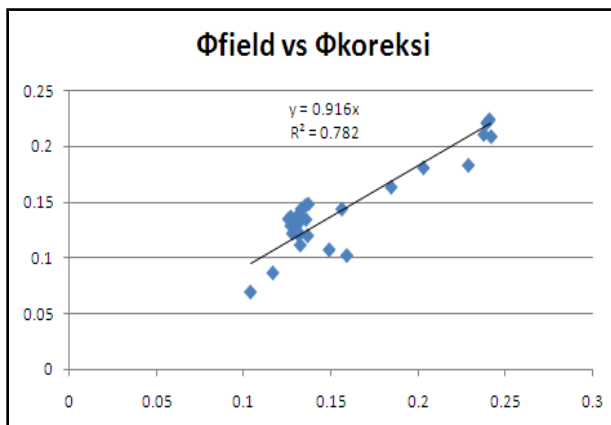
Dengan adanya kandungan *shale*, sehingga porositas tersebut dikoreksi oleh volume *shale* yang diperoleh dari perhitungan persamaan (8) sampai persamaan (11) dan koreksi terhadap *transit time* zona *shale* yang dibaca dari lapisan 100% *shale* terdekat dari formasi yang dianalisis, maka persamaannya menjadi:

$$\phi_{sonic\_corr} = \frac{\Delta t_{\log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} - V_{sh} \frac{\Delta t_{sh} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \dots \dots \dots (13)$$

Grafik di bawah ini menunjukkan perbandingan antara porositas yang dipakai di lapangan dengan porositas pembacaan log dan porositas hasil koreksi. Selain itu juga plot antara porositas lapangan dengan porositas yang paling mendekati nilai porositas lapangan, adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Perbandingan Porositas



Gambar 5. Plot  $\Phi$  Field vs  $\Phi$  Koreksi

Sehingga porositas yang menunjukkan hasil yang paling mendekati harga porositas lapangan yakni porositas dengan adanya koreksi dari *shale* dengan persamaan (8) yakni batuan tua terkonsolidasi (*Lorionov*), yang nantinya porositas koreksi ini dipakai dalam perhitungan saturasi air.

## V. PERHITUNGAN SATURASI AIR

Penggunaan persamaan standar *Archie* dalam perhitungan saturasi air pada lapisan *shaly sandstone* yang mengandung hidrokarbon akan memberikan harga yang terlalu besar dan kurang merepresentasikan keadaan sebenarnya. Hal tersebut terjadi karena dalam persamaan *Archie* digunakan untuk perhitungan *clean sand* atau tidak memperhitungkan kehadiran *shale* dalam formasi. Oleh karena itulah muncul persamaan-persamaan baru dalam penentuan saturasi air dengan memperhitungkan adanya *shale*. Persamaan-persamaan tersebut antara lain:

1. Persamaan *Poupon*
2. Persamaan *Simandoux*
3. Persamaan *Schlumberger*
4. Persamaan *Fertl Hammack*
5. Persamaan Usulan

**Persamaan *Poupon***<sup>11)</sup> digunakan dalam koreksi saturasi air terhadap *shale* yang terlamnisi. Waktu itu dimana sering terjadi perhitungan harga saturasi air yang terlalu tinggi. Setelah dianalisis lebih lanjut ternyata penyebabnya adalah adanya lapisan tipis *clay* yang terdapat di formasi. Persamaan ini diajukan oleh *Poupon* yakni,

$$S_w = \left( \frac{\left( \frac{1}{\phi_{corr}} \right)^m \cdot R_w \cdot \left( \frac{1}{R_t} - \frac{V_{cl}}{R_{cl}} \right)}{(1 - V_{cl})} \right)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots(14)$$

Karena *shale* terdiri dari *clay* sebagai penyusun dominannya, maka variabel  $V_{cl}$  dan  $R_{cl}$  dapat diganti dengan  $V_{sh}$  dan  $R_{sh}$ . Dimana  $V_{sh}$  diperoleh dari persamaan (8) sampai (11) dan  $R_{sh}$  didapatkan dari pembacaan harga  $R_{LLd}$  pada zona *shale* 100% didekatnya. Sedangkan harga  $R_w$  didapat dari *Picket Plot*.

**Persamaan *Simandoux***<sup>7)</sup> dalam perhitungan ini pada dasarnya menggunakan data porositas dari *neutron log* dan *density log* yang telah dikoreksi. Namun di sini harga porositas berasal dari *Sonic log* yang telah dikoreksi. Persamaan model *Simandoux* adalah sebagai berikut.

$$S_w = \frac{0,4 \cdot R_w}{\phi_{corr}^2} \left( \sqrt{\frac{5\phi_{corr}^2}{R_w \cdot R_t} + \left( \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right)^2} - \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right) \dots\dots\dots(15)$$

Dimana data-data yang dipakai, sama dengan data yang digunakan dalam persamaan *Poupon*.

**Persamaan Schlumberger<sup>7)</sup>** adalah persamaan secara matematis dan grafis, dimana keduanya untuk penentuan saturasi air. Sebenarnya metode *Schlumberger* hampir sama dengan metode *Simandoux*, yakni porositas yang dipakai adalah porositas dari *neutron log* dan *density log* yang dikoreksi terhadap *shale*. Persamaan *Schlumberger* secara matematis sebagai berikut.

$$S_w = \frac{-\frac{V_{sh}}{R_{sh}} + \sqrt{\left(\frac{V_{sh}}{R_{sh}}\right)^2 + \frac{\phi_{corr}^2}{(0,2).R_w.(1-V_{sh}).R_t}}}{\frac{\phi_{corr}^2}{(0,4).R_w.(1-V_{sh})}} \dots (16)$$

**Persamaan Fertl-Hamack<sup>6)</sup>** ini dapat menggunakan porositas dari *sonic log*, namun porositas *sonic* yang sudah dikoreksi terhadap *shale*. Persamaan *Fertl Hamack* adalah sebagai berikut.

$$S_w = \left( \frac{1}{\phi^m} \cdot \frac{R_w}{R_t} \right)^{1/n} - \left( \frac{V_{sh}.R_w}{(0,4).\phi_{corr}.R_{sh}} \right) \dots (17)$$

Dari persamaan-persamaan diatas tersebut sebenarnya cukup sederhana, yakni saturasi air dari persamaan *Archie* dikurangi dengan penambahan saturasi air yang disebabkan oleh adanya *shale*. Namun dengan perbedaan karakteristik formasi dan pendekatan empiris yang digunakan, sehingga antara persamaan satu dengan persamaan lainnya memberikan persamaan yang berbeda.

**Persamaan Usulan** dibuat untuk menyederhanakan koreksi terhadap *shale*, sehingga persamaan saturasi air yang dihasilkan diharapkan juga lebih sederhana namun tidak mengurangi tingkat keakurasian dari perhitungan itu sendiri. Penurunan persamaan usulan sebagai berikut:

$$S_w = S_w(\text{archie}^*) - \Delta S_w \dots (18)$$

dimana  $S_w(\text{archie}^*)$  adalah persamaan *Archie*, namun dengan perhitungan empiris, yakni mengganti porositas dengan dengan porositas yang terkoreksi,

$$S_w(\text{archie}^*) = \left( \frac{1}{\phi_{corr}^m} \cdot \frac{R_w}{R_t} \right)^{1/n}$$

dan dari pendekatan secara empirik untuk menentukan  $\Delta S_w$ , yakni dari variabel  $R_w$ ,  $R_t$  dan  $\Phi_{sh}$ . Persamaan  $\Delta S_w$  adalah sebagai berikut:

$$\Delta S_w = \frac{1}{\phi_{sh}} \cdot \frac{R_w}{R_t} \dots (19)$$

dimana porositas koreksi dirumuskan sebagai berikut,

$$\phi_{corr} = \phi_s - V_{sh} \cdot \phi_{sh}$$

$$\phi_{sh} = \frac{\phi_s - \phi_{corr}}{V_{sh}} \dots (20)$$

persamaan (20) disubstitusikan ke dalam persamaan (19) maka,

$$\Delta S_w = \frac{V_{sh}}{(\phi_s - \phi_{corr})} \cdot \frac{R_w}{R_t} \dots (21)$$

bila persamaan (4) dan (20) disubstitusikan ke dalam persamaan (18) maka,

$$S_w = \left( \frac{1}{\phi_{corr}^m} \cdot \frac{R_w}{R_t} \right)^{1/n} - \left( \frac{V_{sh}}{(\phi_s - \phi_{corr})} \cdot \frac{R_w}{R_t} \right) \dots (22)$$

dan bila dari persamaan (22) di atas diturunkan lebih lanjut, yakni dengan menstutitusikan persamaan (12) dan (13) ke dalam persamaan (22) maka,

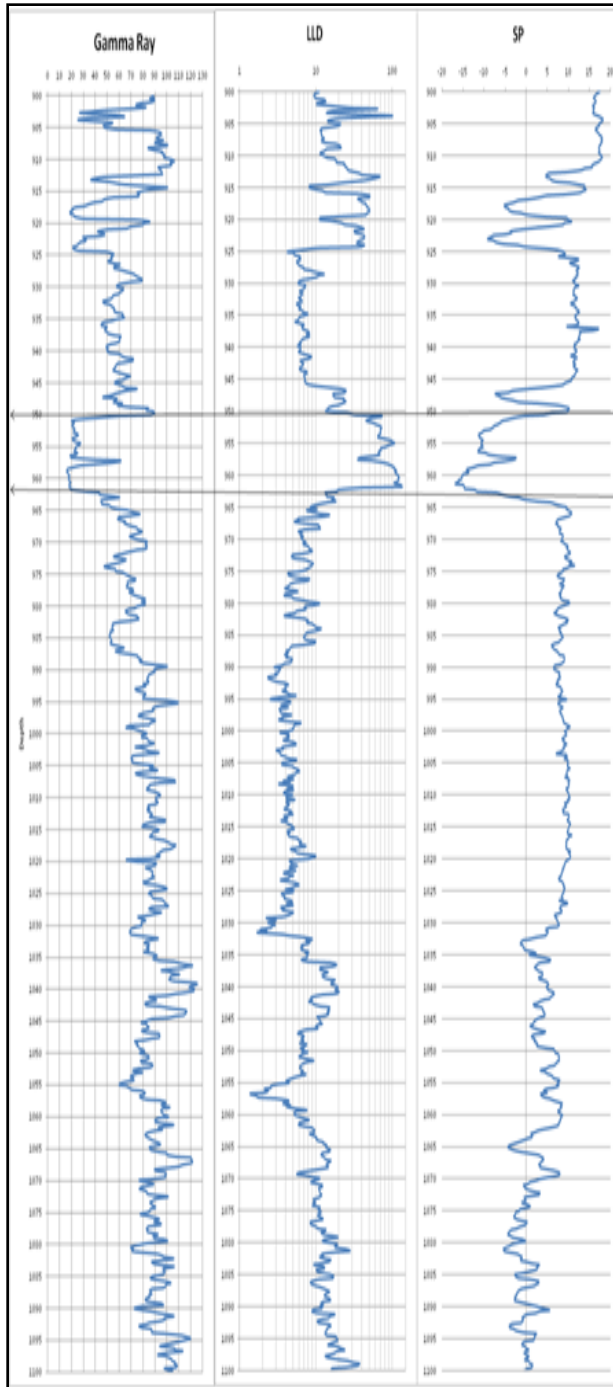
$$S_w = \left( \frac{1}{\phi_{corr}^m} \cdot \frac{R_w}{R_t} \right)^{1/n} - \left( \frac{(\Delta t_f - \Delta t_{ma})}{(\Delta t_{sh} - \Delta t_{ma})} \cdot \frac{R_w}{R_t} \right) \dots (23)$$

Persamaan (23) di atas merupakan persamaan usulan. Jika dibandingkan dengan persamaan-persamaan saturasi sebelumnya, terlihat lebih sederhana. Pada persamaan usulan tersebut, parameter yang mempengaruhi perubahan saturasi karena adanya *shale* hanyalah dari koreksi pembacaan *sonic log* terhadap *shale*, diharapkan bisa meminimalisir konstanta yang digunakan, sehingga keakurasian dalam penentuan saturasi air bisa ditingkatkan.

## VI. HASIL PERHITUNGAN SATURASI AIR

Berbagai persamaan perhitungan saturasi tersebut diaplikasikan pada sumur 1, Lapangan X. Pada sumur 1 ini penentuan saturasi dilakukan di satu zona, yakni pada kedalaman 953 meter sampai 961 meter, sehingga kedalaman zona ini sekitar 8 meter (26,25 feet). Dimana data log yang diberikan yakni *Gamma Ray log*, *LLd log* dan *SP log*.





Gambar 6. Data Log Sumur 1 di Lapangan X

Setelah data log dimasukkan ke dalam tiap-tiap persamaan penentuan saturasi air, maka hasilnya dapat dilihat di tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Penentuan Saturasi Air

Depth(m)	Field	Poupon	Simandoux	Schlumberger	Fertl-Hammack	Usulan
953	0.2587	0.2549	0.4243	0.4157	0.2234	0.2719
953.25	0.2659	0.2482	0.4172	0.4076	0.2171	0.2687
953.5	0.2475	0.2514	0.4135	0.4067	0.2219	0.2639
953.75	0.2465	0.2579	0.4148	0.4095	0.2285	0.2649
954	0.2488	0.2616	0.4209	0.4154	0.2313	0.2689
954.25	0.2487	0.2381	0.4002	0.3923	0.2106	0.2562
954.5	0.2381	0.1818	0.3422	0.3330	0.1702	0.2210
954.75	0.2205	0.1718	0.3224	0.3148	0.1625	0.2066
955	0.1893	0.1553	0.2804	0.2752	0.1466	0.1785
955.25	0.1825	0.1507	0.2592	0.2542	0.1397	0.1677
955.5	0.1792	0.1538	0.2519	0.2477	0.1403	0.1645
955.75	0.1580	0.1449	0.2282	0.2245	0.1312	0.1518
956	0.1563	0.1414	0.2279	0.2229	0.1283	0.1516
956.25	0.1703	0.1508	0.2367	0.2325	0.1359	0.1576
956.5	0.1807	0.1578	0.2393	0.2373	0.1424	0.1601
956.75	0.1980	0.1589	0.2459	0.2430	0.1434	0.1632
957	0.2641	0.1825	0.3431	0.3241	0.1599	0.2333
957.25	0.3138	0.3074	0.5616	0.5014	0.1722	0.4410
957.5	0.3111	0.3599	0.5602	0.5066	0.2099	0.4131
957.75	0.2500	0.2600	0.4421	0.4197	0.2081	0.2999
958	0.2627	0.1980	0.3441	0.3345	0.1773	0.2241
958.25	0.2238	0.2159	0.3675	0.3625	0.1954	0.2311
958.5	0.2101	0.2191	0.3594	0.3582	0.1991	0.2223
958.75	0.2131	0.2186	0.3624	0.3616	0.1989	0.2214
959	0.2139	0.2079	0.3445	0.3434	0.1893	0.2115
959.25	0.1996	0.2029	0.3445	0.3424	0.1855	0.2112
959.5	0.2050	0.2005	0.3397	0.3373	0.1833	0.2095
959.75	0.1997	0.1876	0.3192	0.3169	0.1721	0.1969
960	0.1927	0.1912	0.3245	0.3227	0.1752	0.1988
960.25	0.2098	0.1879	0.3227	0.3204	0.1728	0.1980

Setelah didapatkan hasil perhitungan dari masing-masing persamaan perhitungan saturasi air dapat dilihat bahwa harga saturasi air yang dihasilkan semuanya kurang dari 100% ( $S_w < 100\%$ ) sehingga hal ini membuktikan bahwa parameter-parameter yang dipakai (misalnya nilai  $m$ ,  $n$ , dan  $R_w$ ) yang didapatkan dari *picket plot* sudah sesuai atau valid dalam penentuan saturasi air.

Selanjutnya, untuk membuktikan persamaan mana yang paling mendekati harga saturasi yang digunakan di lapangan tersebut ( $S_w$  field), metode yang paling sederhana yakni dengan menentukan tingkat kesalahan (*error*) yang paling kecil dari masing-masing persamaan yang digunakan. Dan rumus yang digunakan dalam perhitungan *error* adalah

$$error = \left[ \frac{S_w - S_w(field)}{S_w(field)} \right]$$

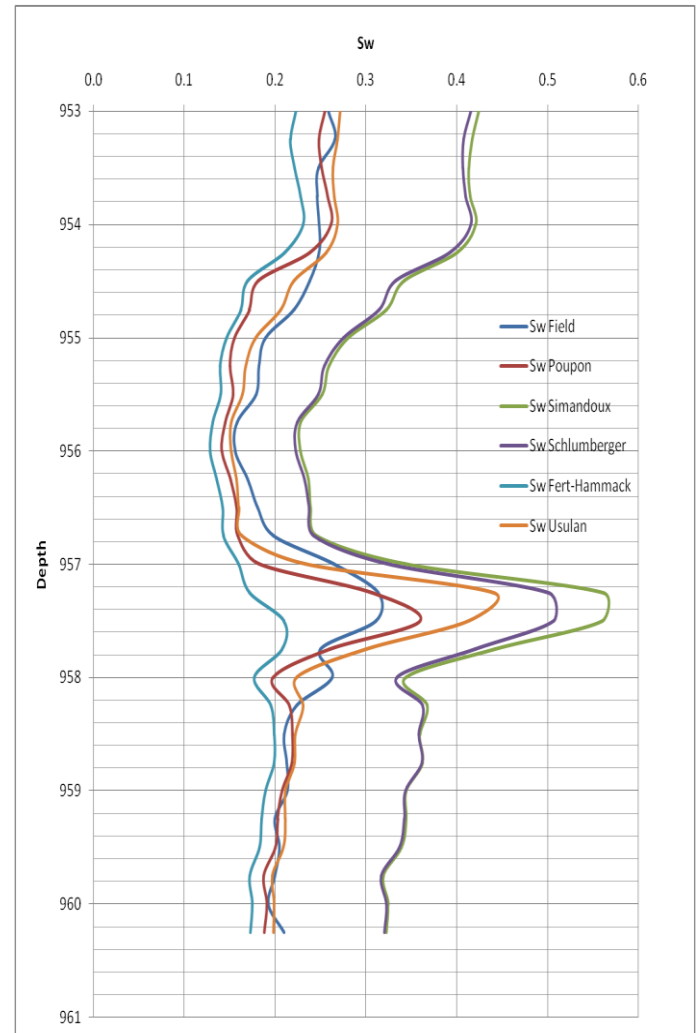
Sehingga dari tingkat kesalahan (*error*) tersebut nantinya didapatkan tingkat kesalahan rata-rata (*average error*). Hasil dari perhitungan tingkat kesalahan (*error*) dan tingkat kesalahan rata-rata (*average error*) adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Average Error*

Depth(m)	Poupon	Simandoux	Schlumberger	Fertl-Hammack	Usulan
953	0.0146	0.6401	0.6070	0.1365	0.0510
953.25	0.0666	0.5690	0.5330	0.1837	0.0104
953.5	0.0158	0.6708	0.6432	0.1032	0.0662
953.75	0.0462	0.6824	0.6612	0.0732	0.0747
954	0.0512	0.6915	0.6693	0.0705	0.0806
954.25	0.0428	0.6091	0.5772	0.1532	0.0299
954.5	0.2362	0.4375	0.3986	0.2849	0.0715
954.75	0.2210	0.4620	0.4273	0.2630	0.0632
955	0.1799	0.4809	0.4535	0.2256	0.0569
955.25	0.1742	0.4204	0.3928	0.2344	0.0809
955.5	0.1420	0.4056	0.3821	0.2172	0.0822
955.75	0.0828	0.4440	0.4203	0.1697	0.0394
956	0.0953	0.4586	0.4264	0.1792	0.0296
956.25	0.1142	0.3899	0.3655	0.2019	0.0744
956.5	0.1268	0.3245	0.3134	0.2116	0.1137
956.75	0.1974	0.2415	0.2272	0.2758	0.1760
957	0.3089	0.2990	0.2270	0.3947	0.1165
957.25	0.0205	0.7896	0.5977	0.4513	0.4055
957.5	0.1567	0.8005	0.6283	0.3255	0.3277
957.75	0.0403	0.7688	0.6792	0.1673	0.1998
958	0.2464	0.3097	0.2733	0.3252	0.1472
958.25	0.0357	0.6419	0.6196	0.1269	0.0324
958.5	0.0431	0.7106	0.7052	0.0522	0.0580
958.75	0.0257	0.7004	0.6964	0.0668	0.0386
959	0.0277	0.6110	0.6059	0.1147	0.0109
959.25	0.0166	0.7258	0.7151	0.0707	0.0582
959.5	0.0218	0.6570	0.6452	0.1060	0.0219
959.75	0.0606	0.5983	0.5868	0.1380	0.0139
960	0.0078	0.6844	0.6751	0.0908	0.0316
960.25	0.1045	0.5377	0.5269	0.1765	0.0566
Avg_Err	<b>0.0974</b>	<b>0.5588</b>	<b>0.5227</b>	<b>0.1863</b>	<b>0.0873</b>

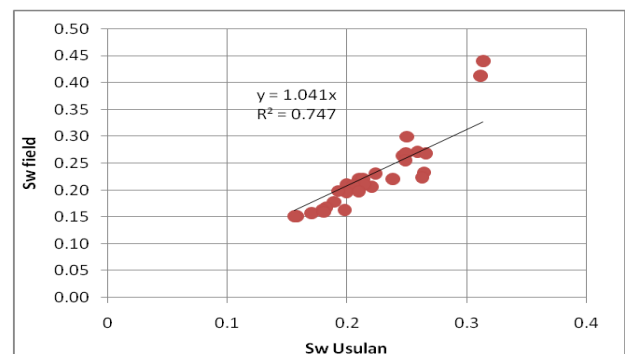
Dari hasil perhitungan *average error* di atas menunjukkan bahwa metode usulan memberikan nilai *average error* yang paling rendah dari persamaan-persamaan lainnya. Hal tersebut juga membuktikan bahwa metode ini sesuai digunakan dalam penentuan saturasi air dan dengan keakurasian yang memuaskan.

Dan dapat dilihat dari distribusi harga saturasi air terhadap kedalaman dari gambar di bawah ini. Hasil distribusi saturasi air dari persamaan usulan memberikan tren yang paling mendekati garis distribusi saturasi air lapangan.



Gambar 7. Distribusi  $S_w$  Terhadap Kedalaman

Selain dari gambar 7. Distribusi  $S_w$  terhadap kedalaman di atas, distribusi dari perbandingan antara harga saturasi air lapangan dan saturasi air usulan dapat dianalisis dengan mem-plot harga saturasi air lapangan dengan saturasi air usulan. Plot tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Plot  $S_w$  Field vs  $S_w$  Usulan



Dari gambar 8. Plot  $S_w$  field vs  $S_w$  usulan di atas menunjukkan tren garis yang sama, yakni dengan sudut mendekati 45 derajat, atau mempunyai kemiringan sebesar 1,041. Dimana kemiringan tersebut mendekati nilai 1,00 sehingga perhitungan saturasi air dengan persamaan usulan ini adalah sesuai atau valid.

## VII. DISKUSI

Perhitungan saturasi air dengan adanya shale dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai metode, antara lain dengan metode *Poupon*, *Simandoux*, *Schlumberger*, *Fertl-Hammack* dan metode usulan. Dimana tiap-tiap metode tersebut memberikan harga saturasi air yang bervariasi.

Dari hasil perhitungan bahwa dengan metode *Simandoux* dan metode *Schlumberger* memberikan harga saturasi air yang cukup tinggi yakni sekitar 0,3487 dan 0,3395. Dan bila kedua harga tersebut dibandingkan dengan harga rata-rata saturasi air lapangan, maka tingkat kesalahan rata-rata (*average error*) dari kedua metode tersebut adalah 0,5588 dan 0,5227. Hal ini disebabkan karena dari kedua metode tersebut tidak memperhatikan nilai  $m$  dan  $n$  yang digunakan, padahal nilai  $m$  dan  $n$  ini merepresentasikan karakteristik dari suatu formasi tersebut. Sedangkan hasil perhitungan saturasi air dengan metode *Poupon* dan *Fertl-Hammack* mendapatkan hasil yang lebih mendekati harga saturasi air lapangan, yakni dengan tingkat kesalahan rata-rata (*average error*) sebesar 0,0974 dan 0,1863. Hal ini disebabkan karena memperhatikan nilai  $m$  dan  $n$  yang merepresentasikan karakteristik dari suatu formasi. Dimana kedua metode ini dapat menggunakan input porositas dari *sonic log*, yakni porositas sonic ( $\phi_s$ ) yang telah dikoreksi terhadap adanya shale ( $\phi_{corr}$ ).

Hasil perhitungan saturasi air dengan metode usulan, memberikan hasil yang mendekati dengan metode *Poupon* dan *Fertl-Hammack*, karena metode usulan ini juga memperhitungkan nilai  $m$  dan  $n$  formasi. Dan metode ini jika dibandingkan dengan metode sebelumnya, mempunyai persamaan yang lebih sederhana, namun dengan hasil yang lebih akurat, yakni dengan tingkat kesalahan rata-rata (*average error*) terkecil sebesar 0,873. Sehingga persamaan ini sesuai dan valid digunakan dalam perhitungan saturasi air di formasi pasir berserpih (*shaly sand formation*) untuk lapangan X.

## VIII. KESIMPULAN DAN SARAN

Adanya *shale* dalam suatu formasi dapat menyebabkan gangguan dalam interpretasi log. Hal tersebut sangat mempengaruhi harga dari porositas dan saturasi air, dimana keduanya merupakan parameter yang sangat penting dalam penentuan cadangan hidrokarbon di reservoir. Sehingga koreksi adanya *shale* dalam penentuan porositas dan saturasi air sangat diperlukan.

Beberapa metode telah digunakan dalam penentuan saturasi air, antara lain secara grafik dengan *picket plot* yakni dengan memperkirakan harga saturasi air dari plot porositas dengan resistivitas *uninvaded zone* ( $R_t$ ). Dan juga didapatkan juga nilai  $m$ ,  $n$ , dan  $R_w$  formasi yang penting dalam perhitungan saturasi air, karena memberikan karakteristik dari setiap formasi tertentu.

Metode-metode yang digunakan dalam perhitungan saturasi air antara lain metode *Poupon*, *Simandoux*, *Schlumberger*, *Fertl-Hammack*, dan metode usulan. Dimana metode usulan ini memberikan harga saturasi air yang paling akurat, dibandingkan dengan metode-metode lainnya. Hal tersebut dapat dilihat dari :

- Tabel 3 (Hasil perhitungan *average error*)
- Gambar 7 (Distribusi  $S_w$  terhadap kedalaman)
- Gambar 8 (Plot  $S_w$  field vs  $S_w$  usulan)

Dimana semuanya menunjukkan bahwa metode usulan ini sesuai dan valid untuk digunakan. Dan metode usulan ini sangatlah sederhana, yakni dengan konstanta yang digunakan, sehingga asumsi yang digunakan juga lebih sedikit. Dan inilah metode usulan tersebut:

$$S_w = \left( \frac{1}{\phi_{corr}^m} \cdot \frac{R_w}{R_t} \right)^{1/n} - \left( \frac{V_{sh}}{(\phi_s - \phi_{corr})} \cdot \frac{R_w}{R_t} \right)$$

Namun persamaan usulan ini mempunyai batasan dan saran yang dapat dijadikan pertimbangan, antara lain:

1. Perhitungan porositas hanya dilakukan dari data *sonic log*. Bila terdapat data dari *neutron* dan *density log*, maka perhitungan sebaiknya menggunakan data *neutron* dan *density log*.
2. Masih terbatas untuk perhitungan saturasi air di Lapangan X, sehingga masih terbuka luas dalam pengembangan perhitungan saturasi air pada setiap lapangan.

3. Penurunan persamaan menggunakan metode empiris dan dapat dilakukan studi lebih lanjut dalam penurunan secara matematis.
4. Komposisi dan lithologi *shale* di zona tersebut diasumsikan sama.

## IX. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT yang memberikan segalanya, dan orang tua yang selalu mendukung sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Ucapan terima kasih kepada Mas Hernansjah, sebagai dosen pembimbing yang senantiasa membantu dan mendukung dalam tugas Akhir ini. Serta kepada orang tua, teman-teman satu bimbingan, dan saudara-saudara di teknik perminyakan ITB yang selalu memberi inspirasi.

## X. ISTILAH

$m$  = Faktor sementasi batuan  
 $n$  = Fungsi eksponen saturasi  
 $R_w$  = Resistivitas air,  $\Omega.m$   
 $F$  = Faktor resistivitas formasi  
 $\Phi_s$  = Porositas sonic  
 $\Phi_{cor}$  = Porositas sonic terkoreksi  
 $R_t$  = Resistivitas formasi yang mengandung air dan hidrokarbon,  $\Omega.m$   
 $R_o$  = Resistivitas formasi yang mengandung air 100%,  $\Omega.m$   
 $R_{sh}$  = Resistivitas air di zona shale paling dekat,  $\Omega.m$   
 $V_{sh}$  = Volume shale dari gamma ray  
 $\Delta t_{log}$  = Interval transit time formasi  
 $\Delta t_{ma}$  = Interval transit time matriks (sand = 55,5)  
 $\Delta t_f$  = Interval transit time fluida dalam sumur (*salt mud* = 185)

## XI. REFERENSI

1. Archie, G.E. *The Electrical Resistivity Log as An Aid in Determining Some Reservoir Characteristics*. Trans. AIME 146, 1942.
2. Afriyanto, Rio. *Analisis Zona Low Resistivity Menggunakan Analisis Well Log*. Teknik Perminyakan ITB, Bandung. 2005
3. Amyx, J.W., Bass, Jr., D.M., and Whiting, R.L. *Petroleum Reservoir Engineering*. McGraw-Hill. New York (1960)
4. Armstrong, Otis P. *Water Resistivity For Western Latvia Ordovician Zone*.
5. Dewan, John T. *Modern Open Hole Interpretation*. Penweell Publishing Company, Tulsa, Oklahoma
6. Fertl, W.H, and Hammack, G.W. *A Comparative Look at Water Saturation Computations in Shaly Pay Sands*. SPWLA Symposium
7. Hernansyah. *Diktat kuliah Well Log Analysis*. Teknik Perminyakan ITB. Bandung.
8. Kurniawan. *Evaluation The Hydrocarbon Potensial in Low Salinity Shaly Sand*. Institut Teknologi Bandung. 2002
9. El-Khatib, Noaman. A Fast Methode for Parameter Estimation of Archie Saturation Equation. SPE 37744. King Saud University
10. Picket, G.R. *Pattern Recognition as A Means of Formation Evaluation*. Transactions of 14<sup>th</sup> Annual Logging Symposium SPWLA, paper A
11. Poupon, A et al. *Log Analisis of Sand Shale Sequences –A Systematic Approach*. Paper SPE 2897, 11790
12. Schlumberger. *Log Interpretation Principles/ Applicatios*. 1987. New York
13. Western Atlas Logging Service. *Introduction to Wireline Analisis*. Western Atlas International Inc., Houston, Texas.