

# Ketidaktepatan dalam Pemakaian Model Saturasi Air dan Implikasinya

Oleh:

Bambang Widarsono

## S A R I

Saturasi air adalah besaran yang sangat penting dalam perhitungan akumulasi hidrokarbon di tempat dan cadangan. Saturasi air pada umumnya diperoleh melalui penerapan model saturasi air saat dilakukan analisis log *open hole* konvensional. Disebabkan oleh peran pentingnya data tersebut, berbagai model saturasi telah dikembangkan sesuai dengan kebutuhan. Dengan banyaknya jumlah model saturasi air maka pertanyaan yang masih selalu terdengar di kalangan praktisi adalah: model yang mana yang harus dipakai? Tulisan ini tidak bermaksud untuk memberikan jawaban yang konklusif tapi lebih sebagai usaha untuk mengaktualkan kembali problema yang telah dapat dianggap klasik ini. Dalam tulisan ini dibuktikan kembali diskrepansi estimasi saturasi air yang dapat terjadi dengan menggunakan lima model saturasi air. Demikian pula ditunjukkan efek dari diskrepansi tersebut pada estimasi akumulasi hidrokarbon. Hasil utama dari studi literatur dan hipotetikal ini adalah perlunya mengobservasi beberapa hal penting dengan tujuan untuk mereduksi diskrepansi dan ketidakpastian akibat kesalahan dalam pemilihan model saturasi air.

Kata kunci: saturasi air, model saturasi air, pemilihan model, ketidakpastian, cadangan.

## ABSTRACT

*Water saturation is a very important data in the estimation of original hydrocarbon in place. Water saturation is usually obtained through application of water saturation model on open-hole log data. It is exactly due to this importance that there have been various models in existence at present. Due to their large number in existence, it raises a very fundamental question about which of the models is the most valid one. This paper is not meant to be dedicated to answer that question, but it is the purpose of this paper to actualize this ever present issue. This paper shows the discrepancies that may be resulted through the use of five water saturation models. Also shown is how much these discrepancies may result in very different hydrocarbon in place. The main result of this literature and hypothetical study is the need to observe some important aspects with objectives of reducing the discrepancies and uncertainties caused by use of inappropriate water saturation model.*

*Key words: water saturation, water saturation model, choice of model, uncertainty, reserves.*

## I. PENDAHULUAN

Salah satu bagian penting dalam usaha karakterisasi dan pemodelan reservoir adalah penentuan sifat-sifat petrofisika seperti porositas, permeabilitas, dan saturasi air. Ketiga besaran

petrofisika tersebut secara mutlak diperlukan untuk mengestimasi jumlah akumulasi awal hidrokarbon di tempat (*original hydrocarbon in place*, OHIP) dan cadangannya (*reserves*). Secara umum dan sederhana OHIP ditulis sebagai

$$OHIP = \frac{V_b \phi (1 - S_w)}{B} \quad (1)$$

dan cadangan sebagai

$$Cadangan = OHIP \times RF \quad (2)$$

di mana  $V_b$ ,  $\phi$ ,  $B$ ,  $S_w$ , dan  $RF$  masing-masing adalah volume total (bulk) reservoir, porositas (fraksi dari reservoir yang berupa pori-pori), faktor volume formasi (pengkonversi dari volume hidrokarbon di reservoir ke volume hidrokarbon di permukaan, saturasi air (bagian dari pori yang ditempati air), dan *recovery factor* (bagian dari OHIP yang dapat diproduksi). Saturasi air dinyatakan dalam persen atau fraksi, sedangkan OHIP dan cadangan adalah volume yang biasa dinyatakan dalam barel, kaki kubik, meter kubik, atau ton.

Variabel-variabel di atas bukanlah besaran-besaran yang mudah untuk diperoleh karena dalam kenyataannya haruslah diperoleh dengan berbagai cara dan sering secara tidak langsung. Sebagai contoh perolehan  $V_b$  (komponen ketebalannya),  $\phi$  dan  $S_w$  sangat tergantung pada interpretasi atas data yang dihasilkan oleh survei log sumuran yang sebenarnya dapat dikategorikan sebagai data lunak (soft data). Kategori data lunak ini disebabkan oleh pelaksanaannya yang dilakukan dengan menggunakan indikator-indikator tidak langsung seperti tegangan listrik, tingkat keradioaktifan, dan cepat rambat gelombang suara. Dari ketiga variabel di atas saturasi air yang dapat dikatakan mengandung tingkat ketidakpastian yang tertinggi. Secara umum, ketebalan lapisan (merupakan komponen  $V_b$ ) dapat secara cukup akurat diberikan oleh log gamma ray dan porositas dapat ditentukan dengan menggunakan data percontoh batuan sebagai kalibrator, sedangkan saturasi air harus ditentukan dengan menggunakan model saturasi air tanpa adanya kalibrator yang dapat sepenuhnya diandalkan.

Berpangkal dari ketidakpastian yang dihadapi dalam penentuan saturasi air inilah maka tulisan ini menyoroti masalah laten dalam pemilihan model saturasi air, implikasi dari kesalahan dalam pemilihan, dan pertimbangan-pertimbangan apa yang sekiranya harus diambil sebelum memutuskan untuk memilih.

## II. MODEL SATURASI AIR: SEJARAH SINGKAT

Pada tahun 1942 Gustav E. Archie mengusulkan suatu model yang merupakan kontribusi yang sangat

penting kepada teknologi interpretasi log sumuran yang dikenal sampai sekarang dengan nama 'formula Archie' atau 'model Archie' (Archie, 1942). Dalam eksperimennya Archie menemukan suatu konstanta proporsionalitas yang diberi nama faktor formasi,  $F$ , dan merupakan rasio antara resistivitas batuan yang terisi/tersaturasi penuh oleh air ( $S_w = 100\%$  atau 1) dan resistivitas dari air itu sendiri.

$$F = \frac{R_o}{R_w} \quad (3)$$

Secara empiris ia menemukan bahwa faktor formasi ini akan tetap konstan untuk suatu batuan tertentu meskipun salinitas dari air berubah-ubah. Hal penting yang berkaitan dengan persamaan (3) adalah jika tingkat saturasi air diturunkan (misalnya dengan menginjeksikan udara atau hidrokarbon kedalam pori batuan) maka persamaan (3) menjadi

$$F_a = \frac{R_t}{R_w} \quad (4)$$

di mana  $R_t$  adalah resistivitas batuan yang tersaturasi secara parsial ( $S_w \neq 1$ ,  $S_w < 1$ ). Persamaan (4) inilah yang merupakan dasar utama dari perolehan saturasi air dari data log di mana  $R_t$  diperoleh dari log listrik. Dari hubungan-hubungan pada Persamaan (3) Archie menemukan bahwa untuk batuan karbonat dan batupasir kompak, hubungan empiris

$$S_w^2 = \frac{R_o}{R_t} \quad (5)$$

dapat mengkorelasikan antara  $S_w$  dan  $R_t$  dengan baik.

Secara terpisah, dalam penelitiannya Archie juga menemukan bahwa faktor formasi berkorelasi dengan porositas melalui

$$F = \frac{1}{\phi^m} \quad (6)$$

dengan 'm' suatu parameter yang ia beri nama faktor sementasi (cementation factor) yang pada dasarnya berhubungan erat dengan tingkat sementasi batuan, dan umumnya berkisar antara 1 dan 3. Persamaan (6) kemudian dibuat menjadi bentuk umum

$$F = \frac{a}{\phi^m} \quad (7)$$

dengan 'a' adalah suatu parameter yang disebut *tor-tuosity* yang merupakan faktor yang mengkompensasi variasi dalam hal kompaksi, struktur pori, dan distribusi butiran batuan. Secara singkat, dengan mensubstitusi  $R_o$  di Persamaan (5) menggunakan Persamaan (7) maka diperolehlah

$$S_w^n = \frac{a}{\phi^m} \frac{R_w}{R_t} \quad (8)$$

dengan 'n' menggantikan 2 dan diberi nama eksponen saturasi. Parameter ini mencerminkan tipe dan tingkat kebasahan (*wettability*) batuan dan umumnya berkisar antara 1,5 sampai 2,5. Persamaan (8) inilah yang dikenal secara umum sebagai formula Archie.

### III. MODEL-MODEL SATURASI AIR LAINNYA

Percontoh-percontoh batuan yang dipakai oleh Archie untuk membangun formulanya adalah mewakili batuan-batuan reservoir yang secara umum bebas lempung dan serpih. Model Archie berlaku dengan suatu asumsi dasar bahwa arus listrik mengalir hanya melalui fasa menerus air (baca: elektrolit) di dalam sistem pori-pori batuan dan matrix batuan bersifat non-konduktif secara total. Dengan demikian resistivitas batuan benar-benar dipengaruhi hanya oleh saturasi air.

Keadaan non-konduktif listrik secara total ini menjadi tidak berlaku dengan sering adanya mineral-mineral konduktif listrik di matrix maupun pori batuan. Pada reservoir-reservoir batu pasir lempung dan serpih sering hadir dan batupasir yang seperti demikian disebut batupasir serpihan atau *shaly sandstone*. Mineral-mineral lempung dan partikel-partikel serpih tersebut umumnya bersifat konduktif listrik karena adanya air yang terikat (*bound water*) di dalam struktur porinya yang sangat halus. Banyak tulisan yang menerangkan mengenai hal ini, dan Waxman & Smits (1968) adalah salah satunya yang menerangkan dengan singkat dan baik. Dengan kenyataan bahwa lempung dan serpih sering dijumpai di reservoir-reservoir hidrokarbon di seluruh dunia maka model Archie kemudian banyak mengalami modifikasi.

Salah satu hasil modifikasi awal dari model Archie adalah model lempung berlapis (*laminated shaly sand model*) yang diusulkan Poupon dkk. (1953)

$$S_w^n = \frac{a}{\phi^m} \left[ \left( \frac{1}{R_t} - \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right) \times \frac{R_w}{(1 - V_{sh})} \right] \quad (9)$$

dengan  $V_{sh}$  dan  $R_{sh}$  masing-masing adalah jumlah kandungan serpih (dalam fraksi) dalam batuan. Model lain adalah yang diusulkan oleh Hossin (1960), seperti yang dikutip dari Dresser Atlas (1982), yang didasarkan pada dua konduktor yang paralel (pasir dan lempung) adalah

$$S_w^n = \frac{a}{\phi^m} \left( \frac{1}{R_t} - \frac{V_{sh}^2}{R_c} \right) R_w \quad (10)$$

dengan resistivitas lempung terhambur (*dispersed clay*),  $R_c = 0,4 \times R_{sh}$ .

Model lain adalah model Simandoux (1963), seperti yang dikutip dari Dresser Atlas (1982), yang penurunannya dilakukan dengan mendasarkan pada persamaan parabolik dan lempung terhambur

$$S_w = \frac{0,4R_w}{\phi} \left[ -\frac{V_{sh}}{R_{sh}} + \sqrt{\left( \frac{V_{sh}}{R_{sh}} \right)^2 + 5 \left( \frac{\phi^2}{R_t R_w} \right)} \right] \quad (11)$$

dan dengan mengasumsi penggunaan model Tixier (yaitu Persamaan (7) dengan  $a = 0,81$  dan  $m = 2$ ) dan  $n = 2$ .

Model lain adalah yang diusulkan oleh Fertl (1975). Dengan mengintroduksi faktor-faktor koreksi log densitas ( $X_1$ ) dan log akustik ( $X_2$ ) dalam bentuk  $a\delta = (X_2 - X_1)$  di mana

$$X_1 = \frac{\rho_{ma} - \rho_{sh}}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad \text{dan}$$

$$X_2 = \frac{\Delta t_{sh} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}},$$

serta  $\rho$  dan  $\Delta t$  adalah respon log densitas dan akustik. Kode 'ma', 'sh', dan 'f' masing-masing menandakan matriks, serpih (*shale*), dan fluida. Dengan tidak mendasarkan pada model penyebaran serpih, seperti model-model lainnya di atas, model Fertl dikembangkan dari formula Archie menjadi (dengan menggunakan model Tixier)

$$S_w = \frac{1}{\phi} \left[ \sqrt{\frac{0,81 \times R_w}{R_t} + \left( \frac{\alpha V_{sh}}{2} \right)^2} - \frac{\alpha V_{sh}}{2} \right] \quad (12)$$

Parameter  $\alpha$  umumnya berkisar antara 0,15 sampai 0,36, tetapi 0,25 dapat dianggap sebagai menghasilkan hasil estimasi saturasi air yang cukup memuaskan.

Selain model-model dalam Persamaan (9) sampai (12) puluhan model-saturasi air lain telah diciptakan, terutama untuk mengakomodasi jenis-jenis log yang ada, ketidakhadiran log litologi yang dibutuhkan, pola distribusi serpih, dan keunikan kondisi lokal. Semua model-model tersebut akan kembali menjadi formula Archie apabila parameter-parameter yang dipakai bagi koreksi keberadaan serpih dihilangkan. Dengan kata lain, model-model tersebut akan bekerja persis seperti formula Archie pada batuan-batuan yang cukup bebas serpih ( $V_{sh} = 0$ )

#### IV. IMPLIKASI DARI PENERAPAN MODEL YANG BERBEDA

Untuk mengobservasi perbedaan-perbedaan dari keluaran yang dihasilkan oleh model-model saturasi air di atas satu set data hipotetik dipakai. Parameter-parameter tersebut mencakup:

Resistivitas air ( $R_w$ ) = 0,1 Ohm-m

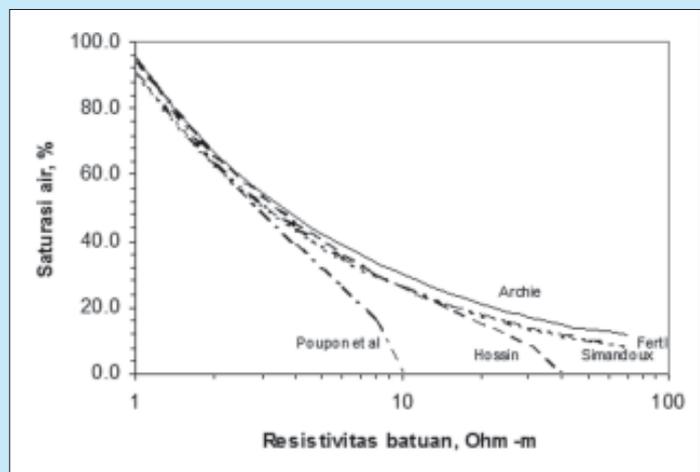
Tortuositas ( $a$ ) = 0,81 (Tixier)

Faktor sementasi ( $m$ ) = 2 (Tixier)

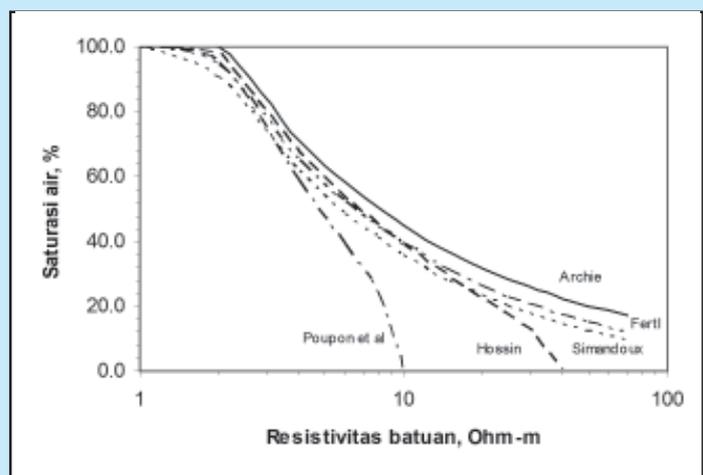
Eksponen saturasi ( $n$ ) = 2

Untuk porositas ( $\phi$ ) dan kandungan serpih ( $V_{sh}$ ) dipakai kombinasi 10%, 20%, dan 30%. Porositas dan kandungan serpih di atas tidak dipakai berdasarkan dua pertimbangan, pertama; porositas di atas 30% umumnya berasosiasi dengan kandungan serpih yang rendah (jauh di bawah 30%) dan kedua; kandungan serpih di atas 30% pada umumnya dianggap bukan merupakan batuan reservoir yang potensial dan produktif.

Gambar-gambar (1) sampai (9) memperlihatkan hasil perhitungan saturasi air dari kelima model (Archie, Fertl, Simandoux, Hossin, dan Poupon dkk) untuk resistivitas batuan dari 1 Ohm-m sampai 70 Ohm-m. Resistivitas rendah ( $R_t < 5$  Ohm-m) dimaksudkan untuk melihat potensi ke empat model batupasir serpihan (Fertl, Simandoux, Hossin, dan Poupon dkk) dalam mengoreksi model Archie dan resistivitas moderat dan tinggi ( $R_t > 10$  Ohm-m) untuk melihat potensi diskrepansi estimasi saturasi air yang dihasilkan.



**Gambar 1**  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 10% dan porositas 30%

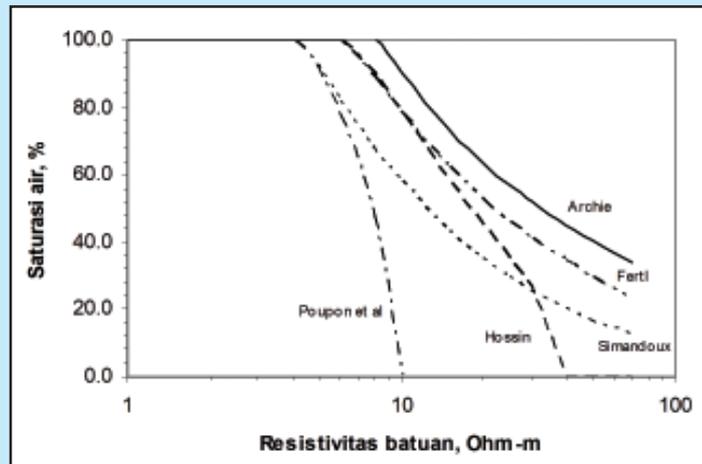


**Gambar 2**  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 10% dan porositas 20%

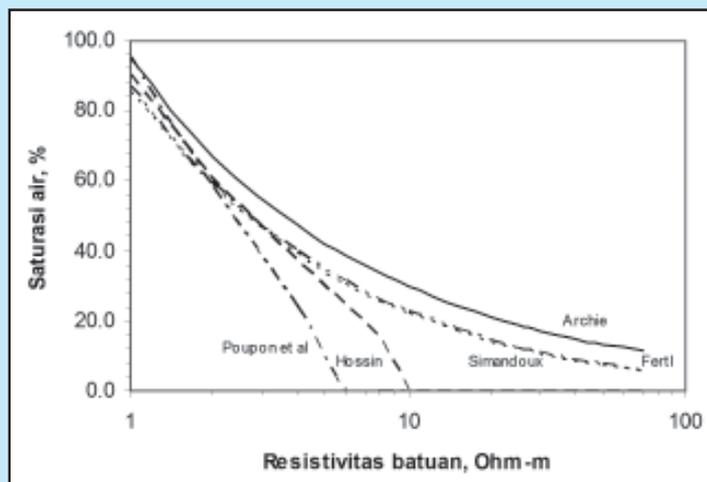
Dari plot-plot antara resistivitas batuan dan saturasi air terlihat bahwa pada resistivitas rendah maka efek koreksi dari keempat model batupasir serpihan terhadap model Archie masih belum cukup terlihat terutama untuk porositas moderat (20%) dan moderat-tinggi (30%). Kalau ada koreksipun masih tetap berada pada kisaran harga saturasi air pada *water-bearing zone* yaitu harga-harga saturasi air di atas 70%. Pada umumnya dianggap bahwa pada tingkat harga saturasi air setinggi itu maka zona ataupun interval reservoir yang diwakilinya hanya akan banyak memproduksi air formasi dan hidrokarbon yang ada biasanya cenderung akan tertinggal di dalam reservoir. Meskipun demikian keempat model saturasi tersebut telah memperlihatkan potensinya untuk mengoreksi formula Archie.

Untuk harga-harga resistivitas batuan moderat dan tinggi ( $R_t > 10$  Ohm-m) perbedaan di antara ke-empat model saturasi air batupasir serpihan dapat mencapai harga saturasi air manapun dalam spektrum harga saturasi air (0 – 100%). Sebagai contoh ekstrim adalah plot pada Gambar (9). Terlihat dengan jelas bahwa untuk resistivitas 11 Ohm-m model Simandoux memberikan saturasi air sekitar 20% sedangkan model Archie memberikan sekitar 70%. Lebih besar lagi adalah yang dihasilkan model Hossin dan Poupon dkk pada resistivitas yang lebih rendah.

Dari keempat model batupasir serpihan ini model Fertl dan Simandoux cenderung untuk memberikan hasil yang selaras meskipun perbedaan membesar pada porositas rendah ( $\phi = 10\%$ ) seperti yang disajikan pada Gambar (3), (6), dan (9). Meskipun adanya kemiripan diantara hasil dari kedua model, hal yang menarik dan patut untuk dicatat adalah bahwa pada dasarnya kedua model tersebut berbeda dalam prinsip penurunannya (lihat pembahasan pada bagian model-model saturasi air). Satu hal yang mungkin menjadi penyebab keselarasan antara kedua model adalah diambilnya parameter  $\alpha = 0,25$  untuk model Fertl meskipun



Gambar 3  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 10% dan porositas 10%



Gambar 4  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 20% dan porositas 30%

secara umum parameter tersebut berkisar antara 0,15 – 0,36. Kemiripan yang serupa terjadi antara model-model Poupon dkk dan Hossin.

Terlepas dari performa berbeda yang ditunjukkan oleh kelima model saturasi air yang dipakai, diskrepansi dari hasil estimasi saturasi air dapat mempengaruhi perhitungan akumulasi awal hidrokarbon di tempat (OHIP) dan cadangan secara sangat menentukan. Untuk melihat pengaruh tersebut Persamaan (1) dipakai dengan menggunakan dua kasus yaitu; kasus reservoir dengan volume pori to-

tal (total pore volume, total PV) berukuran ‘kecil’ (6 juta barel), dan kasus reservoir dengan total PV berukuran ‘moderat’ (20 juta barel). Gambar (10) memperlihatkan plot dari kedua kasus tersebut.

Dari Gambar (10) dapat dilihat potensi kesalahan yang dapat ditimbulkan oleh kesalahan dalam estimasi saturasi air yang berkisar antara 10% (setiap reservoir selalu mengandung air walaupun hanya *irreducible water saturation*) dan 80% (di atas angka ini suatu akumulasi hidrokarbon sama sekali bukan dianggap reservoir). Kesalahan estimasi bisa mencapai beratus-ratus persen dan bisa mencapai jutaan barel, atau kaki kubik untuk gas bumi, jika dilihat dari sisi volume hidrokarbon. Semakin besar total PV dari suatu reservoir akan semakin besar jumlah volume hidrokarbon yang ‘hilang’ maupun yang ‘ditambahkan’ dibanding yang sebenarnya ada di reservoir. Belum lagi jika dipertimbangkan sumber-sumber potensi kesalahan lain seperti dalam penentuan distribusi porositas dan penentuan volume *bulk* dari reservoir.

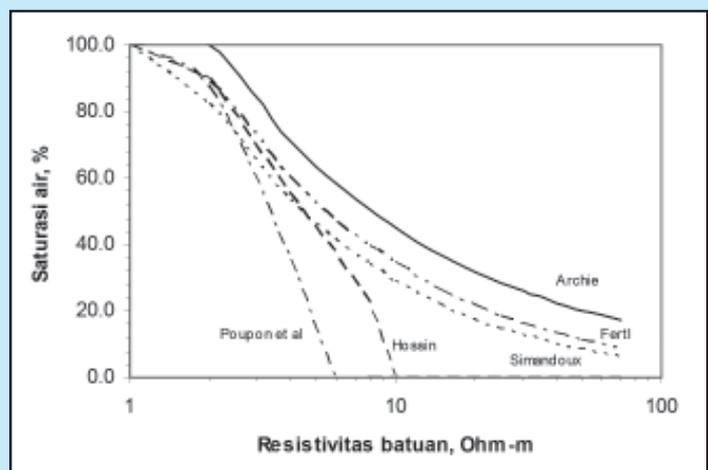
Hal yang sebenarnya terjadi tentu saja tidak sesederhana pembuktian yang dikemukakan di sini karena banyak hal-hal yang berpotensi mereduksi kesalahan di atas. Contohnya adalah kelengkapan data pendukung yang memadai dan jumlah sumur yang cukup banyak sehingga kesalahan dapat diharapkan bervariasi. Meskipun demikian kesalahan dalam estimasi saturasi air yang disebabkan oleh pemilihan model saturasi air yang tidak sesuai ini jelas semakin memperbesar resiko keekonomian dan investasi yang memang sudah dikenal sebagai tinggi di dunia perminyakan. Untuk mengurangi potensi dari kesalahan ini perlu diperhatikan beberapa langkah praktis dalam analisis log sumur, terutama dalam pemilihan model saturasi air.

## V. BEBERAPA HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN

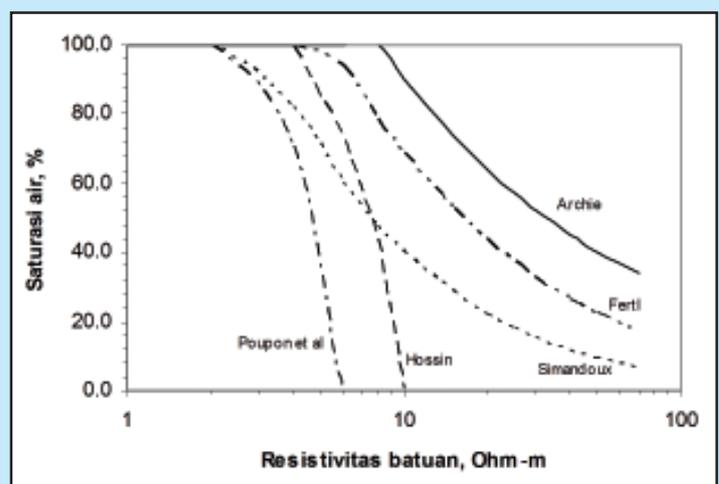
Pemilihan model saturasi air yang tepat dalam analisis log *open hole* konvensional tidak lepas dari tingkat pengembangan suatu lapangan minyak

dan/atau gas bumi (migas). Pada tingkat awal, pada tahap penemuan (*discovery*) dan deliniasi, umumnya sangat jarang informasi yang dapat dipakai sebagai pendukung, sedangkan pada tahap pengembangan umumnya sudah semakin banyak informasi yang dapat membantu. Dengan mempertimbangkan hal di atas maka beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan model saturasi air mencakup, tetapi tidak terbatas pada:

- Litologi harus diketahui (paling tidak dari serpih bor). Formula Archie dapat dipakai dengan cukup



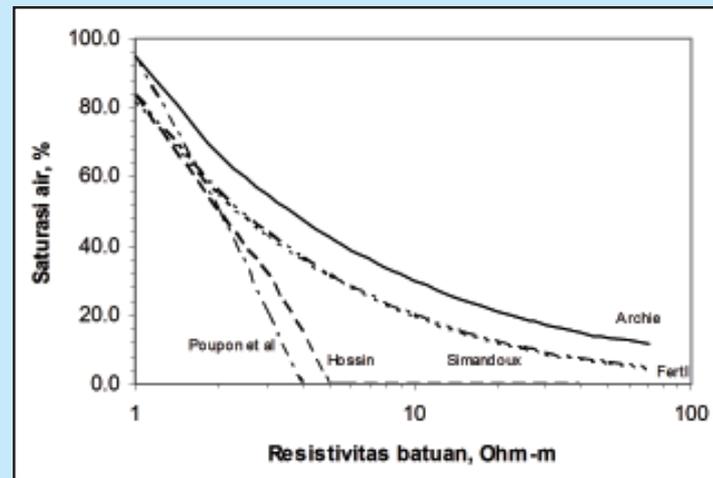
Gambar 5  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 20% dan porositas 20%



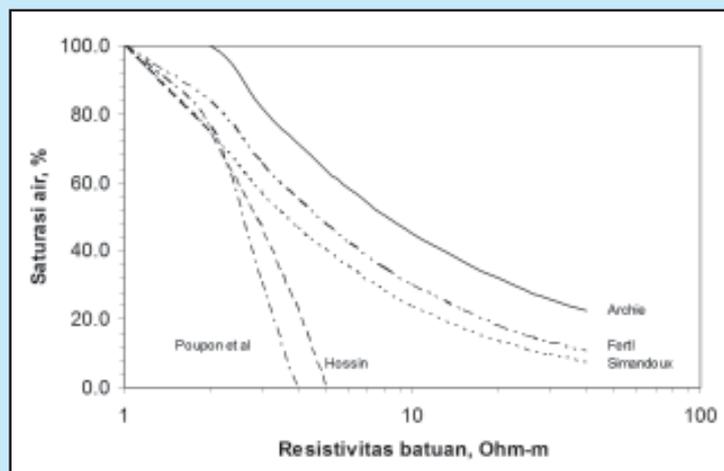
Gambar 6  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 20% dan porositas 10%

baik pada batuan karbonat terumbu dan batupasir sangat kompak.

- Informasi mengenai pola distribusi lempung, apakah didominasi lempung terhambur (*dispersed clays*) atau lempung berlaminasi (*laminated clays*). Informasi yang terbaik tentulah dari pengamatan visual langsung atas percontohan batuan. Model-model Poupon dkk dan Patchett adalah contoh untuk lempung berlaminasi sedangkan model-model seperti Simandoux dan Waxman & Smits adalah contoh untuk lempung terhambur. Ada pula model seperti model Patchett – Herrick, yang merupakan kombinasi dari model Poupon dkk dan Waxman & Smits, untuk campuran antara lempung terhambur dan berlaminasi. Ada pula model seperti model Air Ganda (dual water model) jika diketahui adanya dua macam porositas (makro- dan mikro-porositas) lengkap dengan tipe airnya tersendiri.
- Jika pola distribusi lempung tidak bisa diketahui maka dapat digunakan model-model yang tidak diturunkan berdasarkan pola distribusi lempung, seperti model-model Fertl dan Alger dkk (Alger dkk, 1963). Kedua model tersebut diturunkan dengan membangun suatu faktor koreksi atas formula Archie dengan menggunakan log densitas dan akustik.
- Kelengkapan data pendukung. Sebagai contoh, meskipun model Waxman & Smits oleh sementara praktisi dianggap dapat diandalkan tetapi model tersebut membutuhkan data kapasitas pertukaran ion (*cation exchange capacity*) yang harus diperoleh dengan pengujian di laboratorium. Pengasumsian suatu angka tertentu dapat menimbulkan kesalahan.
- Pengetahuan atas kecenderungan performa dari model-model tertentu. Sebagai contoh, model Doll (tidak dipublikasikan, dikutip dari Dresser Atlas, 1982) dan deWitte (deWitte, 1950) cenderung



**Gambar 7**  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 30% dan porositas 30%



**Gambar 8**  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 30% dan porositas 20%

memberikan hasil yang optimistik (yaitu saturasi air yang terlalu rendah) sedangkan model-model Hossin dan Poupon dkk dapat *breakdown* karena koreksi berlebihan (*overcorrection*) pada resistivitas batuan yang cukup tinggi.

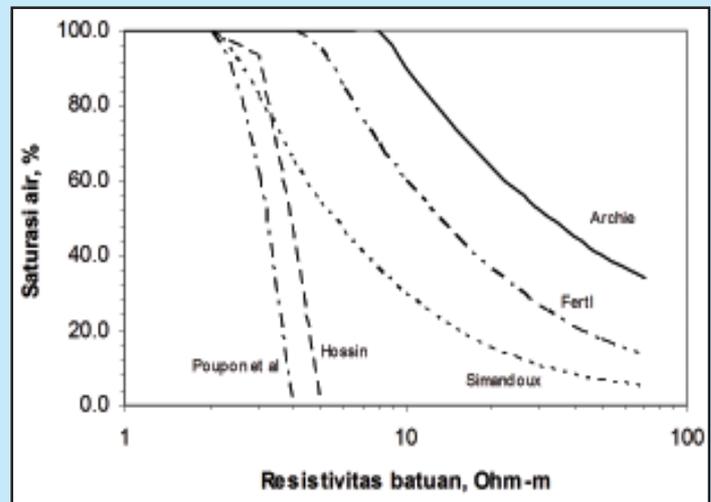
- Untuk *low resistivity reservoirs* ( $R_t < 5 \text{ Ohm-m}$ ), sering juga disebut sebagai *overlooked zones*, tampaknya pemilihan model saturasi air tidak sekrusial pada batuan dengan resistivitas yang lebih tinggi. Pada tingkat *resistivity* rendah perbedaan dalam pemakaian model-model umumnya

berdampak pada dapat atau tidaknya dideteksi zona-zona yang *overlooked* ini, sedangkan pada batuan beresistivitas relatif tinggi kesalahan dalam pemakaian model berdampak pada kesalahan yang sangat besar dalam mengestimasi OHIP.

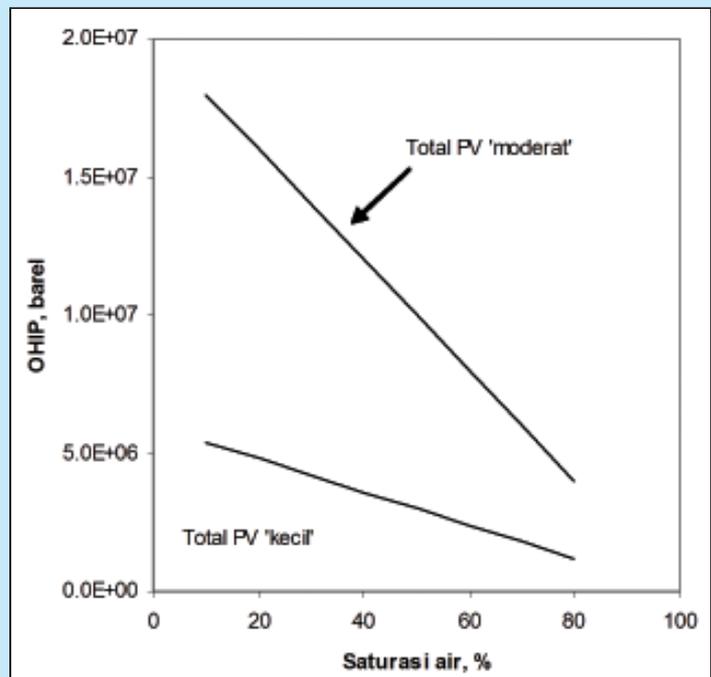
- Pada saat data pendukung seperti data geologi, uji sumur, dan uji percontohan batuan dianggap memadai, maka dilakukan analisis log terintegrasi di mana didalamnya dilakukan uji silang antara hasil penerapan model saturasi dengan indikator-indikator yang diberikan oleh data pendukung (mis: struktur pori dari analisis sayatan tipis, kadar air dari pengujian sumur, dan kurva permeabilitas relatif). Meskipun keadaan yang ideal ini jarang ditemui tetapi bila satu atau dua sumur pada suatu lapangan memiliki keadaan ideal tersebut maka hal ini akan sangat membantu dalam menentukan pilihan atas model saturasi secara tepat.

Ulasan penuh terhadap seluruh model yang ada (sekitar 40an menurut sebuah sumber verbal) dapat dikatakan tidak mungkin karena tidak semua model dapat dilacak sumber literturnya. Banyak model yang bersifat 'lokal' yaitu modifikasi atas formula Archie dan model-model turunanannya dengan tujuan untuk mengakomodasi fenomena lokal. Banyak juga modifikasi yang bersifat empiris semata. Tidak lebih dari sepuluh model, termasuk yang dibahas dalam tulisan ini, yang sering dipakai oleh para praktisi secara meluas.

Setelah dengan baik memilih suatu model saturasi tertentu, tidak berarti hasil estimasi saturasi air akan bebas dari kesalahan dan ketidakpastian karena masih ada sumber-sumber kesalahan lain seperti pemilihan parameter-parameter pendukung yang tepat, kualitas data log, dan pemodelan penyebaran saturasi air secara tiga dimensi pada skala yang lebih besar. Meskipun demikian, pemilihan model saturasi air yang paling tepat atau



Gambar 9  
Plot performa kelima model saturasi air.  
Kandungan serpih 30% dan porositas 10%



Gambar 10  
Pengaruh variasi saturasi air terhadap akumulasi hidrokarbon di tempat (original hydrocarbon in place, OHIP). Dua kasus dipakai: kasus reservoir berukuran kecil dan kasus reservoir berukuran sedang

paling sedikit sesuai dengan keadaan yang ada akan sedikit banyak berkontribusi terhadap pengurangan kesalahan dan ketidakpastian dalam mengestimasi saturasi air.

## VI. KESIMPULAN

Dari studi ini dapat ditarik beberapa kesimpulan utama, yaitu:

1. Kesalahan dalam pemilihan model saturasi air dapat menimbulkan kemelesetan estimasi hingga ratusan persen atau jutaan bahkan puluhan juta barel (atau ratusan juta kaki kubik untuk gas bumi) jika dilihat dari segi volume.
2. Semakin besar volume pori total (total PV) dari suatu reservoir maka makin besar potensi kesalahan, dilihat dari segi volume akumulasi awal hidrokarbon di tempat dan cadangan, jika terjadi kesalahan dalam penerapan model saturasi air.
3. Kesalahan pada pemilihan model saturasi air berdampak lebih besar terhadap estimasi OHIP pada batuan beresistivitas relatif tinggi ( $R_t > 10$  Ohm-m) dibanding pada batuan reservoirs beresistivitas rendah ( $R_t < 5$  Ohm-m). Hal ini karena diskrepansi dalam kinerja antara model-model bertambah dengan meningkatnya resistivitas batuan.
4. Praktisi analisis log harus mengenal dengan baik model-model saturasi air yang ada dalam hal-hal asumsi dasar penurunannya dan kecenderungan serta performanya dalam menghasilkan estimasi saturasi air.
5. Praktisi analisis log harus menggunakan seluruh informasi relevan yang tersedia untuknya, pada tingkat pengembangan apapun lapangan yang sedang ia tangani.
6. Sejauh mungkin dihindari analisis log yang bersifat *stand alone*.

## KEPUSTAKAAN

1. Alger, R.P. dkk (1963). *Formation Density Log Application in Liquid Filled Borehole*. Journal of Petroleum Technology, March.
2. Archie, G.E. (1942). *The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics*. Petroleum Technology, Vol. 5.
3. deWitte, L. (1950). *Relations between Resistivities and Fluid Contents of Porous Rocks*. Oil and Gas Journal, August 24.
4. Dresser Atlas (1982). *Well Logging and Interpretation Techniques – Course for Home Study*. Dresser Atlas, Dresser Industries Inc., p: 211.
5. Fertl, W.H. (1975). *Shaly Sand Analysis in Development Wells*. Transaction, Society of Well Log Analysts.
6. Hossin, A. (1960). *Calcul des Saturation Eneau par la Methode Cu Ciment Argileux (Formule d'Archie Generalisse)*. Bulletin, AFTP.
7. Poupon, A., Loy, M.E. & Tixier, M.P. (1954). *A Contribution to Electric Interpretation in Shaly Sands*. Journal of Petroleum Technology, August, pp: 29 – 34.
8. Simandoux, P. (1963). *Mesures Dielectriques en Millieu Poreux, Application a Mesure des Saturations en Eau, Etude du Comportement des Massifs Argileux*. Revue de l'Institut Français du Petrole, Supplementary Issue.
9. Waxman, M.H. & Smits, L.J.M. (1968). *Electrical Conductivity in Oil-bearing Shaly Sands*. Society of Petroleum Engineers Journal, June.