

SEMINAR SEHARI IATMI KOMISARIAT JATENG & DIY

“Pemberdayaan Masyarakat dalam Pengelolaan Lapangan Migas Tua yang Sudah Ditinggalkan”

Yogyakarta
27 Agustus 2004



ConocoPhillips



DOH JABATI

PetroChina

中国 石油

JOB PERTAMINA PETROCHINA SALAWATI



KONDUR PETROLEUM S.A.



ExxonMobil

Menghadapi Tantangan Energi Dunia

IMECO

Santos



PROSIDING

**SEMINAR SEHARI IATMI
KOMISARIAT JATENG & DIY 2004**

UPN "Veteran" Yogyakarta 27 Agustus 2004

**"Pemberdayaan Masyarakat dalam Pengelolaan Lapangan Migas Tua
yang Sudah Ditinggalkan"**

Editor :

**Aris Buntoro
Bambang Bintarto
IB. Jagranatha
Sayoga Heru
Bernadeta
Amara
R. Bagus Swasono
M. Lazuardi Fajar D.**

**IKATAN AHLI TEKNIK PERMINYAKAN INDONESIA
KOMISARIAT JATENG & DIY**

**Sekretariat : Jur. Tek. Perminyakan, Fakultas Teknologi Mineral,
UPN "Veteran" Yogyakarta,
Jl. SWK 104 (Lingkar Utara) Condong Catur, Yogyakarta**
Telepon/Faximile : (0274) 487815
e-mail : iatmi-yogya@ygy.centrin.net.id

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
DAFTAR ISI	ii
KATA PENGANTAR	v
SUSUNAN PANITIA	vi
IATMI 2004-01 <i>Reservoir Surveillance: Konsep Pemelajaran Reservoir Terpadu untuk Kepentingan Perencanaan Pengembangan Lanjutan Lapangan Gas Lepas Pantai L-Parigi, PERTAMINA DOH JBB, Andrie Haribowo / Chalid Said Salim / Tubagus Nasirrudin, (PT. PERTAMINA (PERSERO) DOH JBB)</i>	1
IATMI 2004-02 <i>Peran Pelayanan Data dan Informasi Migas Lapangan-lapangan Tua yang Sudah Ditinggalkan Bagi Calon Investor, Sudarmoyo (Jur. Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta)</i>	10
IATMI 2004-03 <i>Efek Laju Alir Terhadap Pembentukan Water Cresting dan Strategi Produksi Sumur Horisontal Dengan Model Media Berpori, Hariyadi, Jur. Teknik Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta)</i>	16
IATMI 2004-04 <i>Usaha Penentuan Model Perembesan Air dan Peramalan Perilaku Reservoir Dengan Metoda Caret Pada Lapangan X, Sunindyo / Dyah Rini R / Reny Dina Sari (Jur. Tek Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta)</i>	27
IATMI 2004-05 <i>Re-Evaluasi Cadangan Gas Pada Struktur Gebang - Area Operasi Pangkalan Susu PT. PERTAMINA (PERSERO) DOH NAD SUMBAGUT, Joko Pamungkas (Jur. Teknik Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta) / Budiyo / Rachmad Wijaya (PT. PERTAMINA (PERSERO) DOH NAD SUMBAGUT)</i>	36
IATMI 2004-06 <i>Perkiraan Harga Saturasi Air (Sw) Dari Data Produksi dan Analisa Core, Suranto (Jur. Teknik Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta)</i>	45
IATMI 2004-07 <i>Prediksi Permeabilitas Relatif Air-Minyak pada Batupasir Berdasarkan Data Resistivitas, Avianto Kabul P. (Jur. Tek Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta)</i>	48

PLOT DIAGNOSTIK DATA PRODUKSI AIR UNTUK INTERPRETASI MEKANISME SUPLAI AIR KE SUMUR-SUMUR PRODUKSI LAPANGAN "X"

oleh

M. Th. Kristiati, EA dan Bambang Bintarto
Jurusan Teknik Perminyakan UPN "Veteran" Yogyakarta

ABSTRAK

Persoalan umum yang dijumpai pada sumur-sumur yang sudah lama berproduksi adalah laju produksi air tinggi. Hal ini dapat terjadi, disebabkan oleh beberapa keadaan seperti batas kontak air sudah mendekati lubang perforasi, terjadi problem water coning atau channeling maupun keadaan lain yang kesemuanya menghasilkan laju produksi air tinggi dipermukaan.

Paper ini akan membahas tentang interpretasi yang dilakukan terhadap plot data produksi air di permukaan, yaitu Water Oil Ratio (WOR) dan atau fraksi air f_w sumur-sumur lapangan "X" terhadap waktu. Interpretasi ini dimaksudkan untuk mengetahui bagaimana mekanisme suplai air yang masuk ke lubang sumur. Fluida diasumsi sebagai kondisi aliran pseudo steady state. Hasil plot data produksi lapangan akan dibandingkan dengan model-model plot dari Chan, K.S. (1995) yang masing-masing sudah divalidasi dan dikembangkan menggunakan sejumlah kasus lapangan dan memberikan representasi tren data WOR atau f_w sangat baik untuk setiap kasus.

Hasil interpretasi plot data WOR atau f_w pada lapangan "X" menunjukkan beberapa keragaman mekanisme suplai air pada setiap sumur. Hasil interpretasi akan bermanfaat dalam menentukan prioritas kandidat sumur yang akan dilakukan "treatment", serta mengoptimalkan "treatment" yang dilakukan dengan harapan "return of investment" meningkat.

Kata Kunci : WOR, f_w , time

1. PENDAHULUAN

Lapangan "X" adalah lapangan tua, banyak sumur sudah berumur belasan bahkan puluhan tahun. Sebagian besar diantaranya sudah ditutup, karena tidak ekonomis lagi untuk diproduksi.

Salah satu persoalan yang umum dijumpai pada sumur-sumur di lapangan "X", adalah laju produksi air tinggi. Hal ini menjadi sebab tidak hanya laju produksi minyak berkurang, tetapi juga dapat berakibat sumur ditutup atau ditinggalkan sebelum waktunya. Efek selanjutnya, kandungan air tinggi pada minyak yang diproduksi, maka proses pengolahan juga semakin sulit.

Paper ini akan menyajikan suatu teknik interpretasi yang dikemukakan oleh Chan, K.S (1995), yaitu menggunakan plot diagnostik WOR atau f_w atau GOR terhadap waktu, yang diterapkan pada data sejarah produksi sumur-sumur lapangan "X".

Menurutnya plot log-log WOR atau f_w atau GOR terhadap waktu akan memberikan kecenderungan yang berbeda untuk mekanisme yang berbeda. *Derivative* terhadap waktu dari plot diatas ternyata dapat digunakan untuk membedakan apakah sumur terjadi gas atau *water coning*, atau *channelling* didekat lubang sumur akibat adanya lapisan dengan permeabilitas tinggi.

Sumur yang diamati berjumlah 16 buah. Data produksi sumur-sumur pada seluruh periode produksi berupa data WOR diplot pada skala log-log terhadap waktu. Hasil plot akan dibandingkan dengan model-model plot diagnostik dari Chan, K.S. (1995). Masing-masing model plot yang ada sudah divalidasi dan

dikembangkan menggunakan sejumlah kasus lapangan dan memberikan representasi tren data WOR atau f_w sangat baik untuk setiap kasus.

2. KARAKTERISTIK RESERVOAR

Prinsip utama dalam memproduksi minyak dari reservoir ke permukaan meliputi dua hal, yaitu aliran fluida dari reservoir ke dasar sumur dan aliran fluida dari dasar sumur ke permukaan. Dua proses aliran ini akan memberikan kontribusi terhadap harga laju produksi yang dihasilkan.

Faktor-faktor yang menentukan kemampuan aliran fluida dari reservoir ke dasar sumur adalah :

- a. Karakteristik batuan dan fluida reservoir.
- b. Gradien tekanan antara reservoir dan lubang sumur.

Sedangkan aliran dari dasar sumur ke permukaan melalui media pipa akan dipengaruhi oleh penurunan tekanan yang terjadi selama fluida mengalir didalamnya.

Pada lapangan-lapangan dimana mekanisme pendorong utamanya air, sering terjadi problem kelebihan produksi air menjadi persoalan yang sangat serius sehingga memerlukan perhatian khusus untuk menanganinya.

Kenyataan di lapangan menunjukkan, sangat sulit untuk menganalisis dan memprediksi perilaku aliran dua fasa dari suatu reservoir bermekanisme pendorong air ke sumur produksi. Kelebihan produksi air ini dapat terjadi oleh beberapa hal antara lain seperti batas kontak air sudah mendekati lubang perforasi, terjadi problem

water coning atau *channeling* maupun keadaan lain yang kesemuanya menghasilkan laju produksi air tinggi dipermukaan.

Pada prinsipnya batuan reservoir harus bersifat porous dan permeabel. Sifat ini akan dipenuhi oleh dua kelompok karakteristik batuan yaitu :

1. Karakteristik batuan (porositas, permeabilitas, distribusi ukuran pori dan luas permukaan)
2. Kombinasi sifat batuan dan fluida, yaitu tekanan kapiler (statis) dan permeabilitas relatif (aliran).

2.1. Porositas

Porositas adalah fraksi dari volume ruang pori terhadap bulk volumenya.

$$\text{Porositas} = \frac{V_p}{V_b} \dots\dots\dots(1)$$

Distribusi ruang pori akan tergantung pada beberapa hal baik pada saat pengendapan maupun sesudahnya, antara lain :

- Keseragaman ukuran butir (sortasi)
- Kebundaran butiran (roundness)
- Susunan butir (packing)
- Sementasi
- Kompaksi, dll

Menurut cara terbentuknya, terdapat dua jenis porositas, yaitu porositas primer dan porositas sekunder.

- a. Porositas Primer adalah porositas yang terjadinya bersamaan dengan proses pengendapan batuan, misal porositas matrik pada batupasir.
- b. Porositas Sekunder adalah porositas yang terjadinya setelah proses pengendapan batuan, misal akibat proses pelarutan, rekahan dan dolomitisasi.

2.2. Permeabilitas

Permeabilitas adalah kemampuan batuan berpori untuk mengalirkan fluida., pertama kali dikembangkan oleh Darcy (1865). Persamaan yang biasa digunakan adalah :

$$k = \frac{-q\mu L}{A} (P_1 - P_2) \dots\dots\dots(2)$$

Asumsi yang digunakan oleh Darcy adalah :

- a. Aliran laminar
- b. Fluida satu fasa inkompresible
- c. Viskositas fluida konstan
- d. Kondisi aliran isothermal
- e. Formasi homogen

Parameter statis dan sifat aliran tersebut diatas tergantung distribusi mikroskopis fasa fluida didalam pori-pori batuan. Distribusi ini dikontrol oleh wettability, yaitu derajat kebasahan permukaan batuan terhadap berbagai fasa fluida.

2.3. Wettability

Wettability didefinisikan sebagai kecenderungan suatu fluida untuk menyebar atau mengumpul diatas suatu

permukaan padat dengan adanya fluida lain yang tidak saling bercampur. Berikut ini adalah gambaran gaya-gaya yang bekerja pada sistem minyak-air-padatan. Energi permukaan yang bekerja pada setiap sistim memiliki hubungan berikut ini :

$$\sigma_{os} - \sigma_{ws} = \sigma_{ow} \cos \theta \dots\dots\dots(3)$$

Sudut kontak θ dapat digunakan sebagai ukuran dari wettability. Seperti diperlihatkan pada **Gambar 1**, sudut kontak berkisar dari batas harga 0° sampai 180° . Sudut kontak kurang dari 90° diukur dalam fasa cair, mengindikasikan kondisi *water wet*. Untuk sudut kontak lebih besar dari 90° kondisi *oil-wet*. Sedang bilamana sudut kontak mendekati 90° disebut *intermediate wettability*.

Di dalam *reservoir engineering*, diketahui bahwa semua formasi basah oleh air. Sebagai contoh, formasi batupasir kondisi awal terbentuknya adalah pada lingkungan yang berair dan pada periode selanjutnya minyak bermigrasi kedalamnya. Demikian juga dengan batuan karbonat, pada mulanya semua pori-pori berisi air dan kemudian ditempati minyak yang datang belakangan. Oleh karenanya, reservoir batuan sedimen secara alamiah adalah *water wet*. Namun demikian Nutting (1934), mengemukakan bahwa beberapa formasi produktif adalah *oil wet*.

2.4. Tekanan Kapiler

Tekanan kapiler umumnya dinyatakan sebagai tekanan didalam *nonwetting phase* dikurangi dengan tekanan didalam *wetting phase*, sebagai berikut :

$$P_c = P_o - P_w \dots\dots\dots(4)$$

Seperti sudah disebutkan diatas, bahwa batuan dapat bersifat *oil wet* ataupun *water wet*. Oleh karenanya harga tekanan kapiler dapat berharga positif maupun negatif tergantung kepada harga wettability batuan.

Distribusi fluida didalam ruang pori batuan dengan wettability tertentu, akan tergantung pada arah dari perubahan saturasi fluida atau disebut "histerisis". **Gambar 2** memperlihatkan karakteristik tekanan kapiler pada sampel *strongly water wet*. Harga tekanan didalam fasa minyak harus melebihi tekanan didalam fasa air sebelum minyak masuk kedalam batuan yang mula-mula tersaturasi air. Tekanan ini disebut sebagai *displacement pressure*, dimana harganya tergantung pada derajat wettability batuan, tegangan permukaan minyak-air, diameter ruang pori terbesar pada bagian luar dari sampel batuan. Harganya akan tinggi pada derajat wettability tinggi atau ukuran pori-pori kecil atau kedua-duanya. Slope kurva tekanan kapiler akan dipengaruhi oleh distribusi ukuran pori didalam batuan. Semakin seragam ukuran pori maka bentuk kurva tekanan kapiler semakin mendekati horisontal.

2.5. Permeabilitas Relatif

Karakteristik permeabilitas relatif adalah ukuran langsung kemampuan sistem pori-pori batuan melewati satu fluida bilamana terdapat satu atau lebih fluida. Sifat ini dipengaruhi oleh geometri pori-pori, wettabilitas, distribusi fluida dan sejarah saturasinya.

Permeabilitas relatif didefinisikan permeabilitas efektif fluida tertentu dibagi dengan suatu permeabilitas absolut. Karena sejarah saturasi berpengaruh terhadap distribusi fluida dan menyebabkan histerisis pada karakteristik tekanan kapiler, maka dapat juga dilihat adanya efek histerisis yang serupa pada karakteristik permeabilitas relatif, seperti pada Gambar 3.

3. HETEROGENITAS RESERVOAR

Ahli Geologi mengatakan bahwa sebagian besar reservoir terbentuk didalam sebuah badan air oleh proses yang sangat panjang, melalui berbagai variasi lingkungan pengendapan. Selama kurun waktu itu, endapan akan mengalami perubahan fisik dan kimia seperti kompaksi, pelarutan, dolomitisasi, dan sementasi, dengan demikian karakteristik reservoir akan terus berubah. Oleh karenanya heterogenitas reservoir tergantung pada lingkungan pengendapan dan kejadian-kejadian sesudahnya terhadap partikel-partikel penyusun batuan.

Pada periode pengendapan tertentu, akan terjadi kemiripan ukuran partikel dalam suatu daerah yang luas. Sedangkan variasi sifat batuan terhadap kedalaman, sebagian besar disebabkan oleh perbedaan lingkungan pengendapan atau oleh pemisahan karena perbedaan ukuran partikel atau kedua-duanya.

Faktor-faktor yang mengontrol heterogenitas didalam reservoir adalah :

- a. Sedimentasi Tektonik Reservoir, yang menyebabkan ketidak seragaman reservoir oleh adanya berbagai macam lingkungan pengendapan. Ketidak seragaman ini akan menyebabkan variasi porositas dan permeabilitas.
- b. Komposisi Batuan dan Tekstur, mengontrol ketidak seragaman reservoir terutama antar partikel penyusun batuan. Karena perubahan yang terjadi merupakan perubahan komposisi, dan mineral dari litologi yang berpengaruh terhadap ketidak seragaman reservoir
- c. Geometri pori-pori, berupa ukuran rongga pori, ukuran tubuh pori, peretakan dan permukaan butir mempengaruhi besar kecilnya porositas dan permeabilitas.

Skala heterogenitas paling besar yaitu skala megaskopis, maksudnya bahwa pada setiap bagian dari lingkungan pengendapan terdapat beberapa perangkap, litologi stratigrafi, kelakuan fasa dan lainnya, dimana masing-masing mempunyai sifat tersendiri. Sebagai contoh pengaruh parameter tersebut diatas terhadap kelakuan air pada lingkungan pengendapan yang berbeda :

- a. Terjadinya coning
- b. Perilaku air akibat pengaruh gravitasi
- c. Kelakuan air karena ketinggian dan perlapisan

Pada skala megaskopis, heterogenitas vertikal akan dipengaruhi oleh lingkungan pengendapan yang berlainan, diagenesa dan struktur dari reservoir. Hal ini nampak pada perbedaan komposisi, mineralogi (butiran, matrik dan semen), serta tekstur (ukuran butir, sortasi, kekompakan, kemas) sehingga berpengaruh pada variasi geometri pori-pori batuan, dan hasilnya adalah terjadinya variasi porositas dan permeabilitas secara vertikal.

Pada skala yang sama, heterogenitas horisontal disebabkan oleh karena luas reservoir terbatas, adanya struktur tertentu dan terjadinya diagenesa, sehingga secara horisontal akan terjadi ketidak seragaman dari satu tempat ke tempat yang lain. Hal ini menyebabkan ketidak seragaman baik untuk ukuran butir sortasi, porositas, permeabilitas, saturasi air dan kontinuitas reservoir.

Heterogenitas skala megaskopis akan mengendalikan perilaku reservoir yaitu kontinuitas lateral dan komunikasi vertikal. Secara fisik aspek-aspek ini ditentukan oleh dimensi satuan pengendapan, yaitu perbedaan yang jelas antara beberapa lingkungan pengendapan. Sedangkan heterogenitas skala mikro memainkan peranan penting dalam menentukan jumlah minyak yang tersimpan dan dalam proses eksploitasinya.

4. WATER CONING

Water coning dapat terjadi apabila dibawah lapisan minyak adalah zona air. Air kemudian bergerak kearah vertikal memotong bidang perlapisan menuju lubang sumur. Gerakan air ini dapat terjadi karena perbedaan gradien tekanan yang tinggi antara tekanan alir dasar sumur (P_{wf}) dengan tekanan pada batas air minyak (WOC). Pada keadaan ini gradien tekanan aliran menjadi cukup besar sehingga melebihi gaya gravitasi. Kerucut air yang terbentuk oleh proses produksi menjadi tidak stabil, yang terjadi kemudian air masuk ke lubang sumur.

Agar tidak terjadi coning, bentuk kerucut air akan dijaga stabil dan sehingga tidak menimbulkan masalah dengan cara :

- a. Sumur diproduksi pada laju konstan
- b. Gradien tekanan pada daerah pengurasan dijaga konstan
- c. Gradien tekanan aliran lebih kecil dari gaya gravitasi

Laju produksi yang dimaksudkan diatas tidak boleh melebihi laju produksi kritis, yaitu laju produksi maksimum tanpa air, pada saat ini kerucut dalam keadaan stabil. Diantas laju produksi ini akan menyebabkan air mengalir ke lubang sumur, Gambar 4.

5. CHANNELLING

Produksi air berlebih pada sumur minyak dapat juga disebabkan oleh karena terjadinya water channelling, yaitu adanya gerakan air yang mengalir sepanjang bidang perlapisan akibat stratifikasi lapisan reservoir yang memungkinkan air membentuk suatu celah saluran (*channel*), seperti diperlihatkan pada Gambar 5.

Water channelling atau biasa disebut *water fingering* dapat terjadi pada zona berlapis-lapis yang diproduksi bersama-sama pada suatu sumur. Adanya aliran air yang mendahului minyak disebabkan perbedaan permeabilitas pada masing-masing lapisan. Zona dengan permeabilitas yang tinggi cenderung mengalirkan fluida lebih cepat dibandingkan dengan lapisan-lapisan yang lain.

6. PLOT DIAGNOSTIK DATA PRODUKSI AIR

Saat ini telah dikembangkan satu teknik sederhana dan relatif cepat yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dan menginterpretasi perilaku kelebihan produksi air suatu sumur yang dilakukan oleh Chan, K.S. (1995).

Chan, K.S. melakukan serangkaian studi simulasi-numerik menggunakan simulator *black oil*, tiga dimensi, tiga fasa suatu model *water-control*. Hasilnya adalah suatu seri model-model plot diagnostik WOR vs Waktu, yang menggambarkan perilaku reservoir dengan kondisi mekanisme pendorong yang berbeda.

Plot log-log data WOR vs Waktu ternyata lebih efektif dalam mengidentifikasi kecenderungan produksi dan problem yang terjadi. Ditemukan juga bahwa *derivative* WOR dapat digunakan untuk membedakan apakah kelebihan produksi air disebabkan oleh *coning* atau *multilayer channelling*.

Bersama-sama dengan hasil tes sumur dan logging, teknik ini akan menjadi perangkat untuk memilih kandidat sumur-sumur yang akan dilakukan *treatment* selanjutnya.

7. DISKUSI

Data yang digunakan pada paper ini adalah data produksi 15 sumur pada lapangan "X". Lapangan "X", yang termasuk dalam kategori lapangan tua, karena sebagian besar sumur-sumur yang ada pada lapangan ini sudah lama ditutup. Sedangkan sejumlah sumur yang sampai saat ini masih diproduksi hampir bisa dipastikan mempunyai produksi air berlebihan

Tiga kemungkinan penyebab *water cut* tinggi adalah:

- Terjadinya *water coning*
- *Multilayer channelling*
- Kondisi didasar sumur

Pada kenyataannya, seringkali sulit untuk mendeteksi mekanisme mana yang sesungguhnya bekerja dalam menghasilkan produksi air yang berlebihan dari suatu sumur produksi.

Teknik yang diusulkan oleh Chan, K.S. ini dicoba untuk diterapkan pada sejarah produksi lapangan "X", hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 19.

Melihat dari plot log-log WOR vs Waktu dan *derivative*-nya untuk setiap sejarah produksi, maka dapat dilihat beberapa kecenderungan yang sama. Untuk itu diskusi dilakukan terhadap gambar-gambar yang mempunyai kecenderungan serupa.

Pada Gambar 6, 8, 13, 15, 17 kurva WOR pada periode awal produksi dipengaruhi oleh saturasi air mula-mula dan distribusinya pada seluruh lapisan sebagai fungsi dari permeabilitas relatif. Proses ini bekerja berdasarkan mekanisme pendorong airnya dan berhenti pada saat kurva mulai naik. Nampak bahwa produksi air naik sangat cepat. Menurut Chan.K.S, dengan melihat *derivative* kurva WOR nya maka mekanisme yang selanjutnya bekerja pada sumur-sumur ini adalah *multilayer channelling*.

Selanjutnya dapat dilihat kecenderungan yang sama dari Gambar 7, 10, dan 16. Serupa dengan lima sumur sebelumnya, pada periode awal produksi air yang dihasilkan dari saturasi mula-mula didalam reservoir dan distribusinya didalam lapisan sebagai fungsi permeabilitas relatif lapisan produktif. Tidak lama menjelang kurva berbelok, terjadi *coning* pada sumur-sumur ini dalam tempo yang tidak terlalu lama. Segera sesudah kurva berbelok ke atas, maka laju produksi air naik dengan sangat cepat yang berasal dari *multilayer channelling*. Untuk dapat terjadi *channelling*, tidak harus terdapat lapisan dengan permeabilitas sangat besar, yang paling dominan adalah distribusi saturasi air mula-mula didalam reservoir.

Kelompok berikutnya adalah Gambar 11, 18, 19. Ketiga gambar ini mempunyai kecenderungan yang serupa. Pada awal produksi, air dihasilkan terutama dari kombinasi terjadinya *coning* dan sedikit *channelling*, sementara itu peran dari distribusi saturasi awal dan permeabilitas relatif tidak dominan sebagaimana biasanya pada awal masa produksi suatu sumur. Hal ini dapat terjadi disebabkan oleh proses produksi yang tidak sesuai dengan kondisi reservoir, sehingga melebihi laju produksi kritis. Pada saat yang bersamaan terjadi *multilayer channelling*. Tetapi kemudian mendekati akhir periode laju produksi air meningkat tajam. Artinya bahwa air yang dihasilkan dari proses *channelling* sekarang menjadi dominan.

Berikutnya pada Gambar 10, 12 dan 14, terlihat kemiripan antara ketiganya. Sejak awal periode produksi laju produksi sudah tinggi. Peran paling dominan disini adalah *channelling* yang berlangsung cepat. Lain halnya dengan yang diperlihatkan pada Gambar 9, bentuknya sangat spesifik. Sumur ini pada pertengahan periode produksi dilakukan remedial, karena produksi air terus meningkat. Nampak hasil yang sangat signifikan karena laju produksi air turun drastis. Tetapi beberapa waktu kemudian kembali mengalami kenaikan produksi air sangat cepat. Dengan melihat

derivative-nya, dapat dijelaskan bahwa kontribusi air dipermukaan kemudian didominasi oleh terjadi *water coning*.

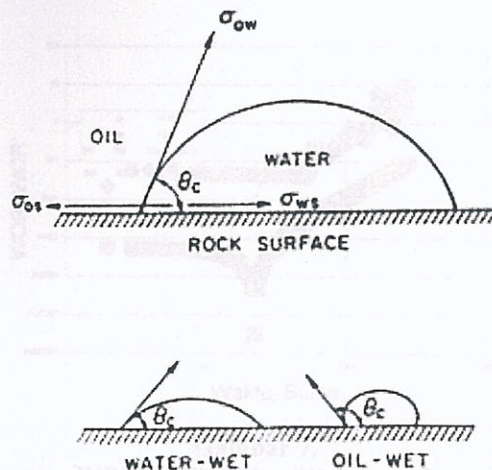
5. KESIMPULAN

Evaluasi yang dilakukan pada seluruh periode produksi dari 15 sumur pengamatan dapat dijelaskan bahwa :

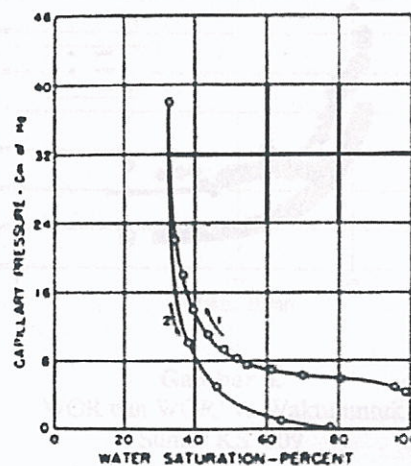
1. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa dari semua sumur pengamatan, pada akhir periode produksi 14 diantaranya menunjukkan mekanisme yang dominan bekerja adalah akibat *channeling*.
2. Hanya satu sumur dimana suplai air berlebih terjadi akibat adanya *coning*, yaitu sumur KS-072.
3. Hasil interpretasi ini ditambah dengan data tes sumur dan log yang ada, akan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam memilih kandidat sumur-sumur, untuk dilakukan *treatment* guna pengontrolan air yang berlebihan.

DAFTAR PUSTAKA

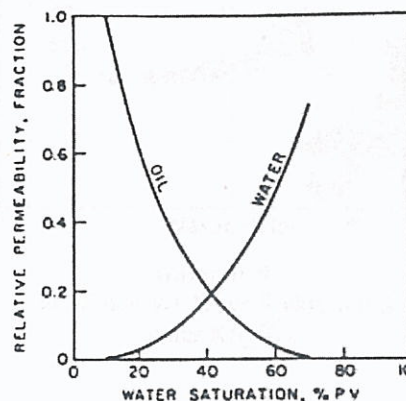
1. Allen, T.O. and Robert, A.P., *Production Operation Volume 2*, Second Edition, Oil & Gas Consultants International, Inc., Tulsa, Oklahoma, 1982.
2. Bondar, V.V., *Analysis and Interpretation of Water-Oil-Ratio Performance*, paper SPE 77569, presented at the Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, 29 September – 2 October 2002.
3. Brown, K.E., *The Technology of Artificial Lift Methods, Volume 4*, PennWell Publishing Company, Tulsa Oklahoma, 1984.
4. Chan, K.S., *Water Control Diagnostic Plots*, paper SPE 30775, presented at the 1995 Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, TX, 22-25 October.
5. Craig, F. F. Jr., *The Reservoir Engineering Aspects of Waterflooding*, SPE of AIME, New York, Dallas, 1971.
6. Pirson, S.J., *Oil Reservoir Engineering, Second Edition*, McGraw Hill Book Company, Inc. New York, 1958.



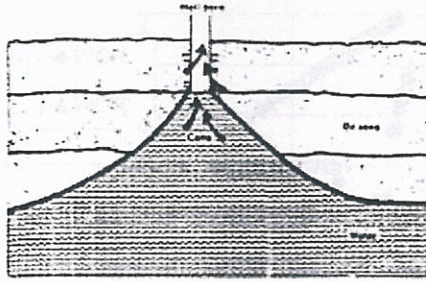
Gambar 1
Wettabilitas pada Sistem Minyak-Air-Padatan



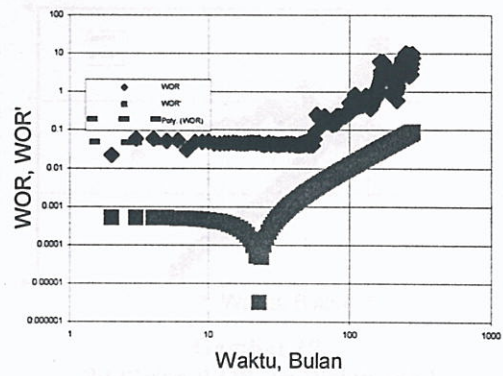
Gambar 2
Karakteristik Tekanan Kapiler pada *Strongly Water Wet*



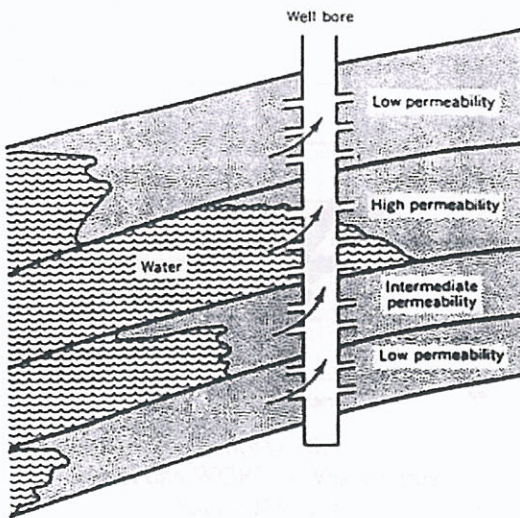
Gambar 3
Tipikal Permeabilitas Relatif Air-Minyak Pada Batuan *Oil-Wet*



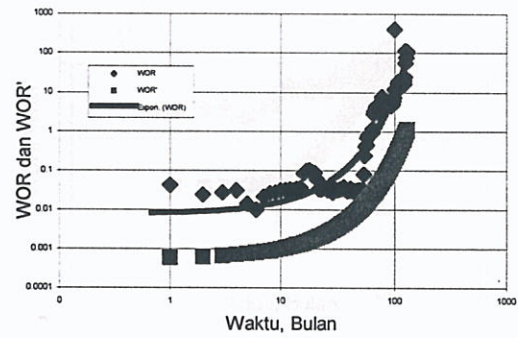
Gambar 4.
Water Coning pada Kondisi Tembus Air



Gambar 7.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_007



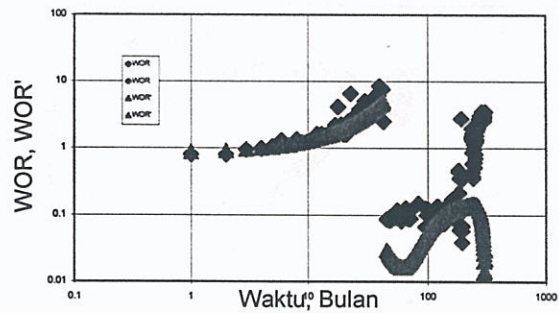
Gambar 5.
Pendesakan Air yang Tidak Seragam pada Reservoir Heterogen, Memberikan Produksi Air Lebih Dini



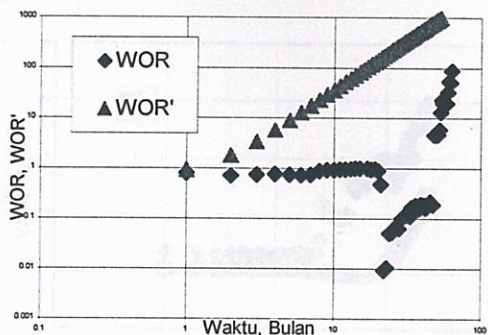
Gambar 8.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_009



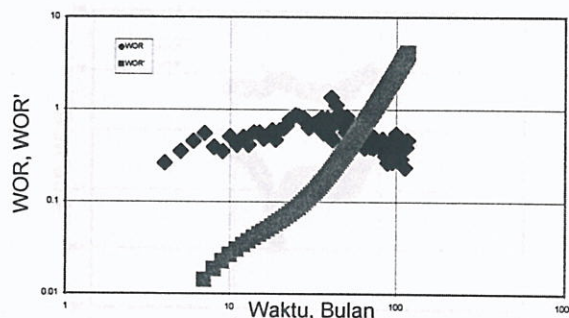
Gambar 6.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_005



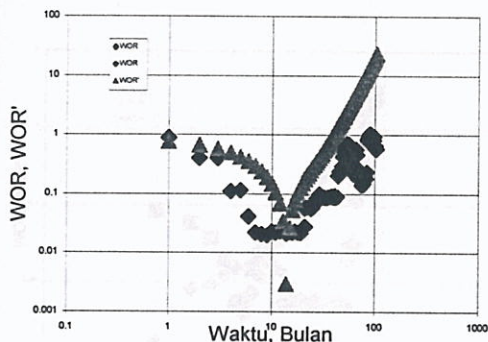
Gambar 9.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_072



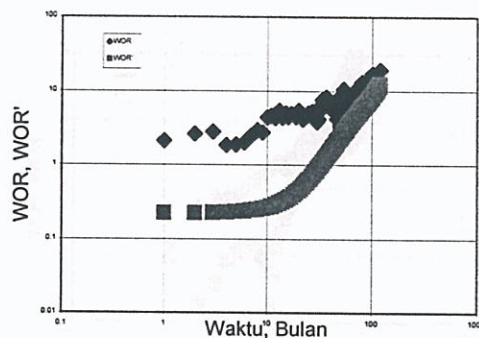
Gambar 9.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_075



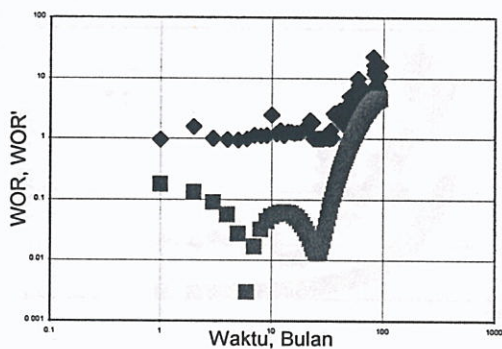
Gambar 12.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_055



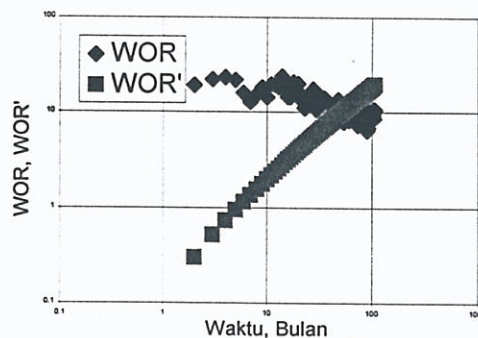
Gambar 10.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_011



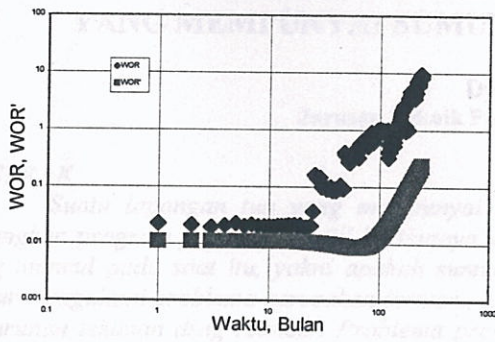
Gambar 13.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_065



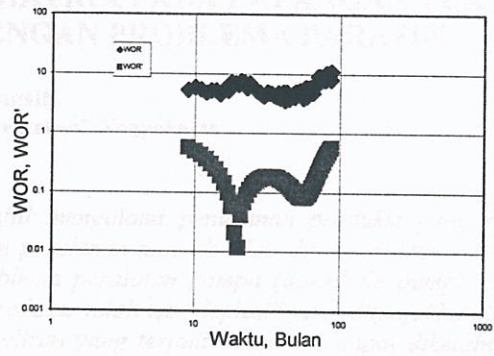
Gambar 11.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_021



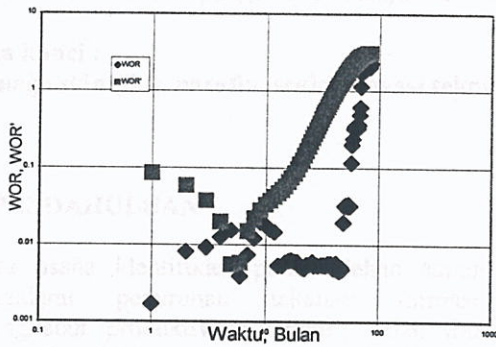
Gambar 14.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_096



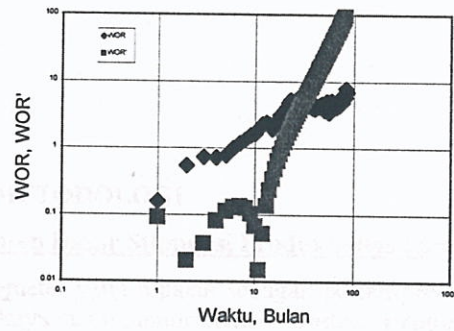
Gambar 15.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_006



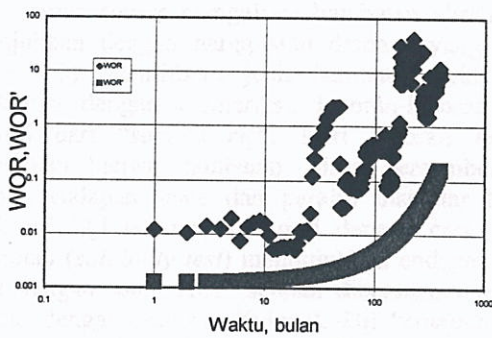
Gambar 18.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_P2



Gambar 16.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_22



Gambar 19.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_P3



Gambar 17.
WOR dan WOR' vs Waktu untuk Sumur KS_003