

Monitoring Perubahan Saturasi Minyak Residual dengan Metode Pemodelan *Single Well Tracer Test*

Aznil Arif Rahman, dan Dike Fitriansyah Putra

Prodi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau
Jl. Kaharuddin Nasution No. 113 KM 11, Pekanbaru, Riau 28284

Artikel Info:

Naskah Diterima:
2 Februari 2021
Diterima setelah perbaikan:
7 April 2021
Disetujui terbit:
30 April 2021

Kata Kunci:

SWTT
saturasi minyak residual
CMG
Sor

ABSTRAK

Saturasi minyak residual secara kuantitatif dapat ditentukan dengan metode *logging* dan *coring* akan tetapi metode tersebut mempunyai keterbatasan radius investigasi yang kecil. Oleh karena itu, metode *Single Well Tracer Test* (SWTT) menjadi alternatif yang lebih baik karena memiliki radius investigasi 10-30 ft dari lubang sumur. Namun pengukuran S_{or} dengan metode SWTT menjadi tidak efektif apabila parameter yang digunakan tidak optimal sehingga menimbulkan keliruan dalam interpretasi. Observasi parameter untuk mengetahui pengaruh hasil pengukuran hasil S_{or} terhadap konsentrasi *chemical tracer* pada SWTT perlu dilakukan. Konsentrasi MeOH pada *overflush* serta *shut-in time* digunakan sebagai acuan untuk mengetahui efektivitas injeksi surfaktan, yaitu perubahan S_{or} sebelum dan setelah injeksi surfaktan. Prinsip SWTT adalah menginjeksikan *Ethyl Acetate* (EtAc) ke dalam lubang sumur, kemudian berdasarkan reaksi hidrolisis antara EtAc dan H_2O menghasilkan produk berupa *Ethyl Alkohol* (EtOH) sebagai *secondary tracer*. Reaksi ini terjadi hingga titik kesetimbangan. EtAc Yang tersisa akan larut di dalam minyak dan tidak dapat larut di dalam air sedangkan EtOH akan larut di dalam air. Akibatnya EtOH akan lebih mudah bergerak daripada EtAc sehingga kumulatif produksi EtAc dan EtOH pada *peak concentration* berbeda (*retardation factor*). Perbedaan ini menjadi indikator pengukuran S_{or} apabila semakin besar *retardation factor* maka semakin besar pula S_{or} yang didapatkan. Begitupun sebaliknya, apabila *retardation factor* kecil maka S_{or} juga akan kecil. Simulator STARS merupakan produk yang dikeluarkan oleh *Computer Modeling Group* (CMG), pemodelan dapat mencakup *multicomponent*, *multiphase*, *chemical flooding*, *chemical reaction model* dan *single well tracer test*, simulator ini dapat mengetahui tingkah laku fluida reservoir pada media berpori yang homogen maupun heterogen. Setelah dilakukan analisis yang mengacu pada kurva permeabilitas relatif, maka skenario 1 case 10 merupakan skenario terbaik karena didapatkan kan S_{or} 0,4. Adapun parameter yang digunakan adalah konsentrasi EtAc , 0,0025 *mole fraction*, MeOH 0,011 *mole fraction* dan *shut in time* 2,5 hari. Setelah injeksi surfaktan diperoleh S_{or} 0,26. Ini berarti terjadi perubahan 14% S_{or} menurun setelah injeksi surfaktan yang membuktikan kesuksesan metode SWTT dalam memonitor efektivitas injeksi surfaktan. berdasarkan *peak concentration* EtAc diikuti oleh penurunan S_{or} . sebaliknya penurunan konsentrasi EtOH diikuti oleh kenaikan S_w .

© LPMGB - 2021

PENDAHULUAN

Saturasi minyak residual (S_{or}) diartikan sebagai saturasi minyak yang tersisa di reservoir

Korespondensi:

E-mail: arifrahmanaznil@gmail.com (Aznil Arif Rahman);
dikefp@eng.uir.ac.id (Dike Fitriansyah Putra)

setelah diproduksi dengan metode *primary recovery* maupun *secondary recovery* oleh sebab itu pengukuran nilai S_{or} sangat berpengaruh dalam tahapan *recovery* selanjutnya (Chang, dkk., 1988). Pengukuran S_{or} dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti *logging*, *coring*, dan *single well tracer test*. Akan tetapi metode *logging* dan *coring*

mempunyai keterbatasan radius pengukuran. Selain itu metode *logging* maupun *coring* membutuhkan waktu interpretasi yang lama dengan biaya yang lebih mahal (Mechergui, dkk., 2013). Untuk mengatasi kelemahan ini munculah sebuah inovasi dengan metode *tracer test* yang akurat dan radius investigasi yang luas dalam mengukur S_{or} . Metode ini dikenalkan oleh penelitian (Tomich, dkk., 1973) dimana pengujian S_{or} dengan metode *single well tracer test* (SWTT) sukses dilakukan pada lapangan Handil, Mahakam Indonesia. Pada penelitian ini tidak dijelaskan pengaruh konsentrasi *tracer*, serta penambahan MeOH pada *overflush* dan *shut-in time*. Hal ini dapat menyebabkan kesalahan dalam interpretasi metode SWTT sehingga S_{or} yang diperoleh tidak akurat. Keterbatasan metoda *logging*, *coring* serta hasil observasi pengaruh parameter SWTT yang tidak tepat dalam menginvestigasi S_{or} menjadi alasan kuat untuk melakukan penelitian SWTT ini.

Tracer test dalam penerapannya dibagi menjadi dua yaitu *Inter-Well Tracer Test* (IWTT) digunakan untuk mengetahui konektifitas antar sumur (Mursyidah, dkk., 2020; Putra, dkk., 2021), dan *Single well tracer test* untuk pengukuran nilai S_{or} menggunakan *Partitioning tracer* (Apriandi & Rubiandini, 2011). *Inter-Well Tracer Test* (IWTT) memiliki kelebihan dalam mengidentifikasi komunikasi antara sumur injeksi dan sumur produksi serta *transmissibility* pada reservoir yang heterogen (Putra, dkk., 2021). Sedangkan SWTT mempunyai kelebihan dapat mengukur S_{or} di sekitar lubang sumur (10 - 30 ft) dengan jumlah volume pengukuran yang besar dan dapat di kontrol (Khaledialidusti, dkk., 2015).

Partitioning tracer dalam metode SWTT merupakan *chemical tracer* yang apabila diinjeksikan kedalam reservoir maka *chemical tracer* tersebut akan terpartisi ke dalam fasa minyak dan air. *Partitioning coefficient* merupakan suatu parameter yang menggambarkan tingkat kelarutan *chemical tracer* antara fasa minyak dan air. Tingkat kelarutan *chemical tracer* di fasa minyak lebih besar dibandingkan kelarutan di fasa air (Paskvan, dkk., 2018). *Chemical tracer* yang digunakan adalah *Ethyl Acetate*. Ketika *Ethyl Acetate* diinjeksikan ke dalam sumur kemudian berinteraksi secara fisik maupun kimia dengan fluida reservoir maka *Ethyl Acetate* akan larut dalam fasa minyak dan air. Makin tinggi nilai *partitioning coefficient* maka makin kecil S_{or} (Callegaro, dkk., 2014).

Prinsip dari SWTT adalah kelarutan *Ethyl Acetate* dalam minyak dan air formasi ketika *Ethyl Acetate* diinjeksikan ke dalam sumur. Apabila kontak dengan air akan terjadi reaksi sampai pada kondisi *equilibrium* sehingga terjadi hidrolisis membentuk produk berupa *Ethyl Alkohol* (Khaledialidusti, dkk., 2015). Reaksi ini terjadi selama periode *shut-in time* berlangsung. Ketika *tracer* diproduksi mobilitas *Ethyl Acetate* akan lebih lambat dibandingkan *Ethyl Alkohol*. Dari proses tersebut dapat ditentukan *retardation factor* yang menggambarkan perbandingan *reactive tracer* dan *product tracer* pada *peak concentration* dalam interpretasi nilai S_{or} yang digunakan (Bu, dkk., 2014).

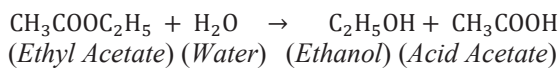
Untuk mendapatkan hasil pengukuran S_{or} yang optimal dengan metode SWTT maka dalam penelitian ini perlu dilakukan sensitivitas parameter seperti pengaruh konsentrasi *tracer* terhadap pengukuran S_{or} , pengaruh *overflush* terhadap mobilitas *tracer* dan pengaruh *shut-in time* terhadap S_{or} serta produk *tracer* yang dihasilkan. Pengukuran S_{or} dilakukan sebelum dan sesudah injeksi surfaktan, yang bertujuan memvalidasi hasil *tracer* dengan melihat perubahan kurva permeabilitas relatif. Dengan adanya teknologi SWTT yang memiliki radius investigasi 10 - 30 ft dan jumlah volume yang besar dan dapat dikontrol maka pengukuran S_{or} semakin akurat sehingga keekonomisan suatu proyek dapat dianalisis sebelum maupun sesudah proyek (Karimi, 2018)1990; Divine & McDonnell, 2005. Teknologi SWTT ini mampu mengganti dan menunjukkan hasil lebih baik dari metode *logging* dan *coring*.

BAHAN DAN METODE

SWTT merupakan metode yang di gunakan untuk menginvestigasi saturasi minyak sisa yang berada di sekitar lubang sumur (Bu, dkk., 2014). SWTT dapat digunakan untuk estimasi S_{or} sebelum dan sesudah penerapan metode EOR di sekitar lubang sumur. *Chemical* yang digunakan adalah *ester* (Tian, 2017a). Menurut Sheely dkk., (1982) keunikan dari SWTT adalah investigasi yang luas 10 - 40 ft dan juga luas jangkauan investigasi yang dapat diobservasi dan dikontrol (Khaledialidusti, dkk., 2015). Oleh karena itu metode ini sangat akurat dalam menentukan S_{or} karena banyaknya jumlah *volume tracer* yang diperoleh di sumur produksi (Paskvan, dkk., 2018).

Prinsip metode SWTT adalah memanfaatkan reaksi kimia yang terjadi antara Ester dan H_2O yang menghasilkan hidrolisis berupa alkohol dan *Acid*

Acetate, di mana ester akan larut dalam minyak dan juga dalam air, akan tetapi alkohol hanya larut dalam air dan tidak dapat larut dalam minyak (Dizayee, 2016). Ketika *Ethyl Acetate* kontak dengan air maka akan terjadi hidrolisis membentuk *secondary tracer* yaitu *Ethanol* yang dapat larut ke dalam air sampai pada titik jenuh dan tidak dapat larut ke dalam minyak. Semakin tinggi konsentrasi *Ethanol* yang di hasilkan dari hidrolisis merefleksikan S_{or} yang besar, apabila konsentrasi *Ethanol* rendah menggambarkan nilai S_{or} yang kecil. *Ethyl Acetate* yang tidak bereaksi dengan air akan larut dan tertinggal didalam minyak (Apeiranthitis, 2015).



Partitioning coefficient adalah rasio konsentrasi tracer yang larut dalam fasa minyak dan air pada kondisi equilibrium (Bu, dkk., 2014). Parameter ini sangat penting dalam metode SWTT untuk mengukur S_{or} . Semakin besar nilai *portioning coefficient*, semakin kecil nilai S_{or} .

$$K = \frac{\text{Konsentrasi Ester dalam minyak (mole)}}{\text{Konsentrasi Ester dalam air (mole)}} \quad (1)$$

Kriteria reservoir untuk aplikasi metode SWTT menurut (Zakaria, dkk., 2016) yaitu sebagai berikut:

- Permeabilitas > 50 mD
- *Water cut* > 60 %
- Ketebalan reservoir 10 – 50 ft
- GOR < 5000 scf/stb

Interprestasi S_{or} dapat dihitung dengan persamaan berikut (Deans, 2007):

$$\beta = \frac{Qr}{QP} - 1 \quad (2)$$

$$S_{or} = \frac{\beta}{\beta + K} \quad (3)$$

Model reservoir dibangun dengan menggunakan simulator CMG STARS version 2015. Model reservoir yang digunakan dalam penelitian ini adalah semi aktual yang diperoleh dari sumber data sekunder. Kualitas dan karakter dari formasi adalah homogen.

Data yang digunakan dalam pembuatan model simulasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1
Data pemodelan reservoir

Parameter	Value	Unit
<i>Number of Reservoir Girds</i>	737,1,1	I J K
<i>Reservoir Radius, r</i>	21624	ft
<i>Partitioning Coefficient, K</i>	1,5	-
<i>Top Reservoir</i>	6415	ft
<i>Reservoir Thickness, h</i>	16	ft
<i>Porosity, ϕ</i>	0.19	frac
<i>Permeability, k</i>	1000	md
<i>Temperature, T</i>	219	°F
<i>Initial Reservoir Pressure</i>	4925	psi
<i>Water Compressibility, C_w</i>	2.90E-06	psi ⁻¹
<i>Oil Compressibility, C_o</i>	3.50E-06	psi ⁻¹

Sumber : (Tian, 2017b)

Adapun parameter yang diuji meliputi;

- Pengaruh konsentrasi EtAc terhadap S_{or} , yaitu pengujian terhadap pengaruh konsentrasi EtAc pada berbagai konsentrasi terhadap saturasi minyak sisa.
- Pengaruh MeOH (overflush) terhadap S_{or} , yaitu pengujian yang dilakukan pada injeksi MeOH (overflush) terhadap saturasi minyak sisa.
- Pengaruh shut-in time terhadap S_{or} dilakukan untuk menguji sensitivitas waktu penutupan sumur yang tepat.

Model SWTT tersebut menggunakan chemical tracer berupa *Ethyl Acetate* (EtAc). Tabel 2 menunjukkan parameter data input yang digunakan dalam model base case dengan *pre-flush* 2 PV, *chemical tracer* 0,75 PV, dan *overflush* 0,25 PV.

Gambar 1 dan Tabel 3 menunjukkan beberapa skenario yang dilaksanakan pada penelitian ini dengan tiga parameter penting, yaitu konsentrasi EtAc, Konsentrasi MeOH, dan *Shut-in time*.

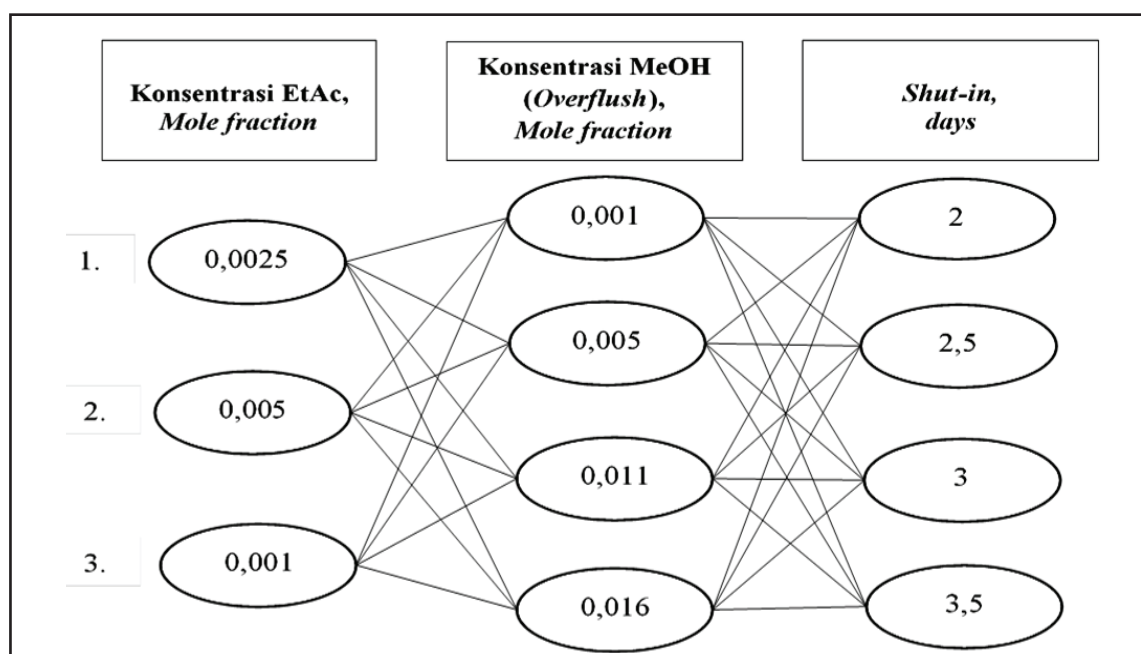
HASIL DAN DISKUSI

Hasil simulasi *base-case* yang terlihat pada Gambar 2 merupakan input parameter *base case* yang ada di Table 2. Memperlhatikan perbedaan mobilitas EtAc dan EtOH ketika tracer tersebut diproduksi. Kedatangan EtAc (warna kuning) ke lubang sumur cenderung lebih lama dibandingkan EtOH.

Tabel 2
Input *parameter base case*

Parameter	Value
<i>Pre-flush (PV)</i>	2
<i>Pre-flush Injection Time (days)</i>	2
<i>Chemical Tracer (PV)</i>	0,75
<i>Chemical Tracer Injection Time (days)</i>	1,5
<i>Chemical Tracer Con. (mole fraction)</i>	0,0025
<i>Overflush Time (days)</i>	0,5
<i>Overflush (PV)</i>	0,25
<i>MeOH Con. / Overflush (mole fraction)</i>	0,01
<i>Shut-in Time (days)</i>	1
<i>Injection Rate (bbl/d)</i>	775
<i>Production Rate (bbl/d)</i>	775
<i>Production Time (days)</i>	3

Sumber : (Tian, 2017a) (Mechergui dkk., 2013)



Gambar 1

Skenario penelitian pada berbagai konsentrasi EtAc, MeOH, dan *shut in time*.

Dua warna kuning di gambar EtAc menjelaskan keterlambatan warna kuning di radius jauh menuju ke tengah radius, hal ini disebabkan EtAc yang terlarut didalam minyak terlambat bergerak kembali ke lubang sumur. Sedangkan, EtOH larut didalam air menyebabkan lebih mudah untuk bergerak ke tengah lubang sumur, sehingga tidak ada lagi konsentrasi EtOH pada radius jauh. (Dizayee, 2016).

Profil produksi *tracer* setelah dilakukan penutupan sumur selama 1 hari dan diproduksi selama 3 hari, terlihat pada gambar 3, kumulatif produksi pada *peak concentration* EtOH sebesar 387 bbl sedangkan EtAc 678 bbl dengan konsentrasi EtAc 0,0090 dan EtOH 0,0057 *mass fraction* (lihat Tabel 3). Setelah mengetahui *peak concentration* dari profil produksi maka dengan persamaan (2) dan (3)

Monitoring Perubahan Saturasi Minyak Residual dengan Metode Pemodelan *Single Well Tracer Test*
(Aznil Arif Rahman, dan Dike Fitriansyah Putra)

Tabel 3
Skenario penelitian pada berbagai konsentrasi EtAc, MeOH, dan *Shut-in time*

Skenario	Case	Konsentrasi EtAc, Mole Fraction	MeOH (Overflush), Mole Fraction	Shut-in Time, Days
Skenario 1	case 1	0.0025	0.001	2
	case 2	0.0025	0.001	2.5
	case 3	0.0025	0.001	3
	case 4	0.0025	0.001	3.5
	case 5	0.0025	0.005	2
	case 6	0.0025	0.005	2.5
	case 7	0.0025	0.005	3
	case 8	0.0025	0.011	3.5
	case 9	0.0025	0.011	2
	case 10	0.0025	0.011	2.5
	case 11	0.0025	0.011	3
	case 12	0.0025	0.011	3.5
	case 13	0.0025	0.016	2
	case 14	0.0025	0.016	2.5
	case 15	0.0025	0.016	3
	Skenario 2	case 16	0.0025	0.016
case 17		0.005	0.001	2
case 18		0.005	0.001	2.5
case 19		0.005	0.001	3
case 20		0.005	0.001	3.5
case 21		0.005	0.005	2
case 22		0.005	0.005	2.5
case 23		0.005	0.005	3
case 24		0.005	0.005	3.5
case 25		0.005	0.011	2
case 26		0.005	0.011	2.5
case 27		0.005	0.011	3
case 28		0.005	0.011	3.5
case 29		0.005	0.016	2
case 30		0.005	0.016	2.5
Skenario 3		case 31	0.005	0.016
	case 32	0.005	0.016	3.5
	case 33	0.001	0.001	2
	case 34	0.001	0.001	2.5
	case 35	0.001	0.001	3
	case 36	0.001	0.001	3.5
	case 37	0.001	0.005	2
	case 38	0.001	0.005	2.5
	case 39	0.001	0.005	3
	case 40	0.001	0.005	3.5
	case 41	0.001	0.011	2
	case 42	0.001	0.011	2.5
	case 43	0.001	0.011	3
	case 44	0.001	0.011	3.5
	case 45	0.001	0.016	2
	case 46	0.001	0.016	2.5
case 47	0.001	0.016	3	
case 48	0.001	0.016	3.5	

EtAc Peak Con, mass fraction	EtAc Cum, bbl	EtOH peak Con, mass fraction	EtOH Cum, bbl	β	Sor
0.0090	678	0.0057	387	0.75	0.33

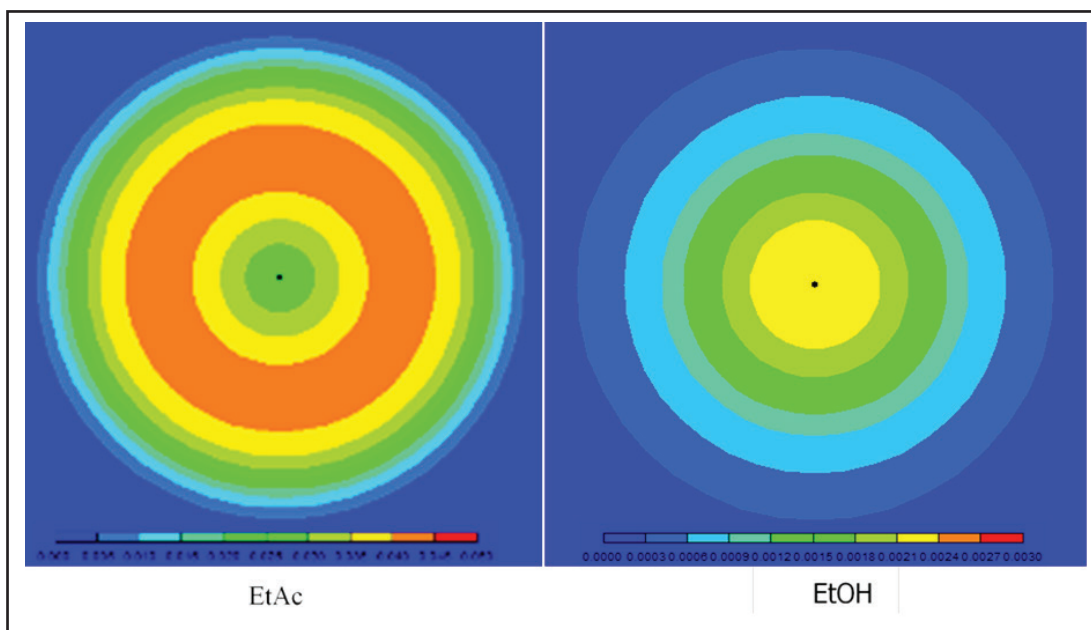
didapatkan *retardation factor* sebesar 0,75 dan S_{or} 0,33.

A. Hasil Simulasi SWTT pada Berbagai Skenario

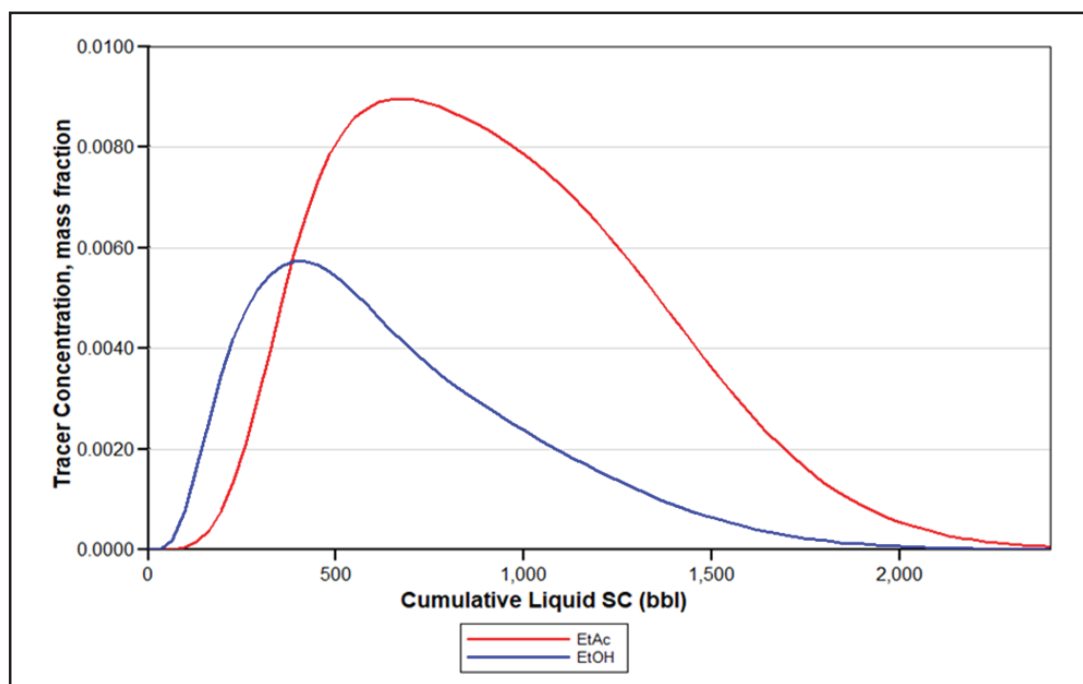
Setelah dilakukan percobaan dengan berbagai skenario didapatkan hasil profil produksi seperti pada Gambar 4. Pada kumulatif produksi *tracer* yang sama, *peak concentration* daripada *tracer* pada

setiap skenario terlihat sedikit berbeda. Akan tetapi konsentrasi tertinggi EtAc dan EtOH menunjukkan perbedaan yang dipengaruhi oleh konsentrasi *chemical tracer* yang digunakan. Semakin tinggi konsentrasi *chemical tracer* yang digunakan maka semakin besar puncak konsentrasi EtAc dan EtOH yang diperoleh.

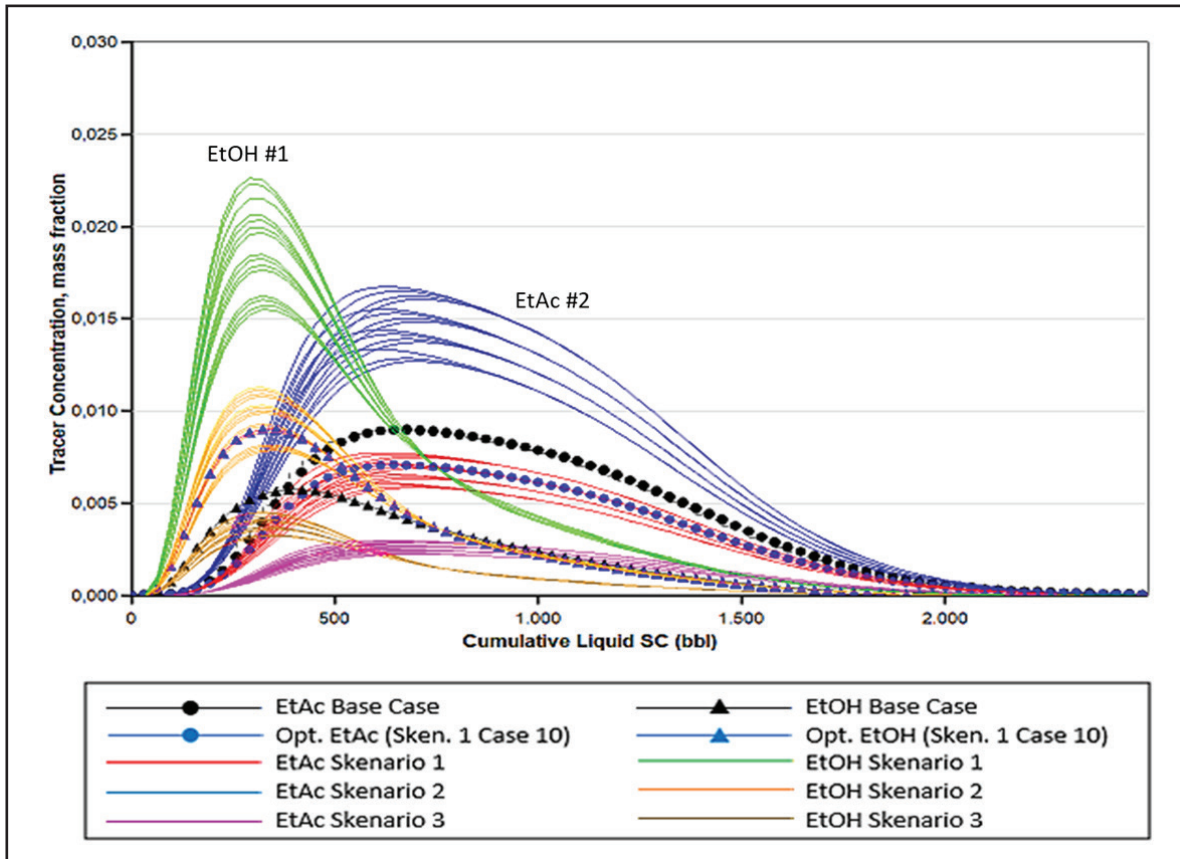
Setelah dilakukan analisis pada profil produksi *tracer* didapatkan hasil pengukuran dimana S_{or} yang



Gambar 2
Perbedaan mobilitas EtAc dan EtOH pada saat sumur di produksikan.

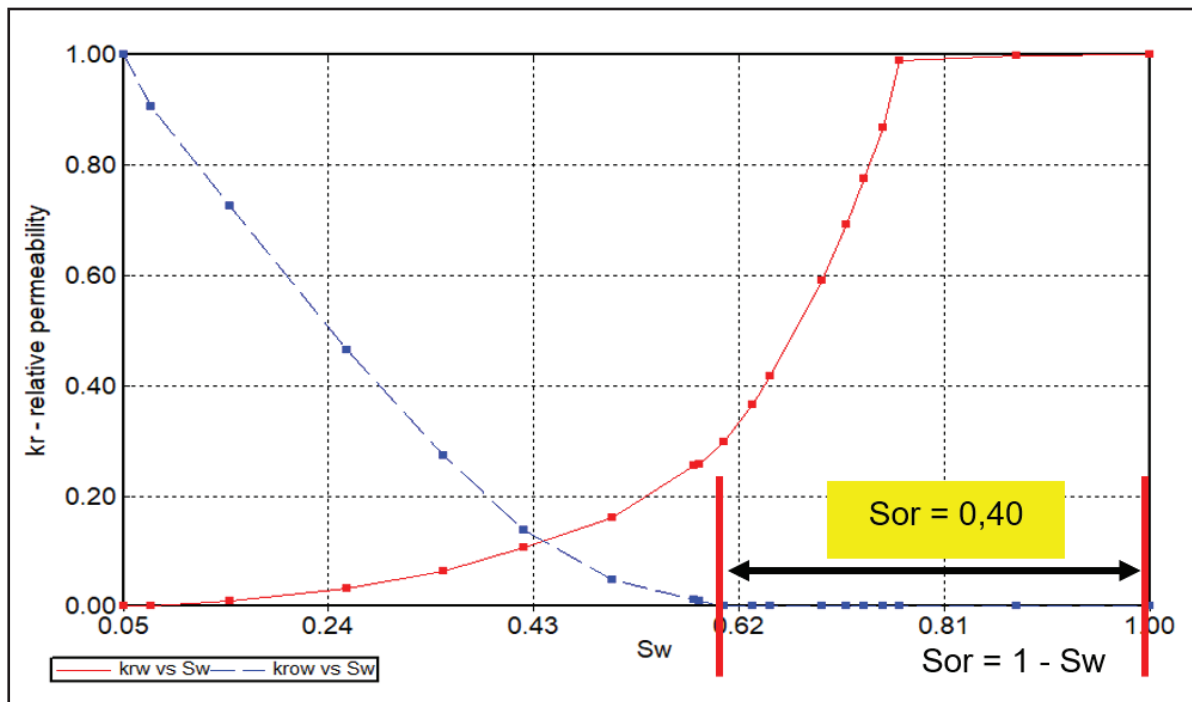


Gambar 3
Profil produksi *tracer* (EtAc dan EtOH) pada *base-case*.



Gambar 4

Profil produksi *tracer* pada berbagai skenario konsentrasi EtAc, konsentrasi MeOH, dan pengaruh *shut in time*.



Gambar 5

Kurva permeabilitas relatif dari hasil terbaik dari skenario 1, 2, dan 3 (Tian, 2017b).

dihasilkan sangat bervariasi yaitu 0,33 - 0,49. Adanya perbedaan ataupun kesamaan ini disebabkan oleh

pengaruh konsentrasi EtAc, konsentrasi MeOH pada *overflow* dan *shut-in time*. Pada skenario 1, 2, dan 3

memperlihatkan penurunan nilai S_{or} yang disebabkan bertambahnya konsentrasi MeOH pada *overflush*. S_{or} skenario 3 terlihat sedikit berbeda dibandingkan skenario 1 dan 2 hal ini dikarenakan konsentrasi EtAc yang sangat rendah yaitu 0,001 *mole fraction*. Perbedaan S_{or} yang signifikan juga terlihat pada skenario 1 (*case* 5, 9, dan 13), scenario 2 (*case* 21, 25, dan 29), dan 3 (*case* 37, 41, dan 45). Hal ini dipengaruhi oleh periode penutupan sumur yang terlalu singkat yaitu 2 hari. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang valid maka dalam penelitian ini mengacu pada profil produksi *tracer* yang dihasilkan (Gambar 4) dan kurva permeabilitas relatif (Gambar 5). Dari kurva tersebut didapatkan S_{or} 0,40. Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Tian, 2017c) S_{or} yang diperoleh yaitu 0,33 dimana terdapat perbedaan sebesar 0,07 (7%). Kemungkinan perbedaan ini disebabkan karena perbedaan parameter tertentu.

Berdasarkan profil produksi *tracer* S_{or} 0,40 didapatkan kumulatif produksi pada *peak concentration* yang sama yaitu EtAc 645 bbl dan EtOH 323 bbl. Akan tetapi konsentrasi *tracer* yang dihasilkan berbeda. Setelah dilakukan analisis pada Gambar 4 skenario 1 *case* 10 merupakan skenario terbaik berdasarkan profil produksi EtAc dan EtOH yang diperoleh yaitu 0,0071 dan 0,009 *mass fraction*. Adapun parameter yang digunakan adalah konsentrasi EtAc 0,0025 *mole fraction*, konsentrasi MeOH (*overflush*) 0,011 *mole fraction* dan *shut-in time* 2,5 hari.

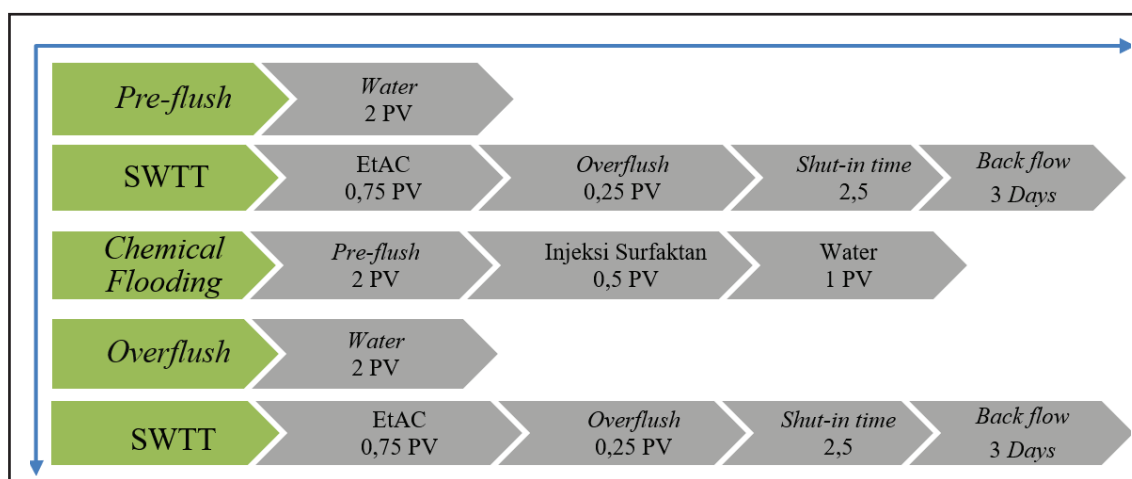
Menurut Bu, dkk. (2014) konsentrasi produk *tracer* yang rendah dapat mengakibatkan kesalahan dalam interpretasi karena keterbatasan peralatan dalam mendeteksi konsentrasi *tracer*.

B. Pengukuran S_{or} Sebelum dan Sesudah Injeksi Surfaktan

Program SWTT dalam penelitian ini memiliki radius investigasi 30ft. Adapun program ini mencakup pengukuran sebelum dan sesudah injeksi surfaktan. Volume injeksi surfaktan yang digunakan sebanyak 0,5 *Pore Volume* (PV). Tujuan injeksi surfaktan dalam hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa efektif parameter yang digunakan pada metode SWTT. Oleh karena itu peneliti tidak membahas secara spesifik mekanisme surfaktan karena hanya bersifat sebagai data pendukung kesuksesan metode SWTT ini. Gambar 6 merupakan *schedule* operasi SWTT. SWTT dijadualkan dilakukan sebanyak 2 kali yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar perubahan S_{or} sebelum dan sesudah injeksi surfaktan. (Bu, dkk., 2014).

C. Interpretasi S_{or}

SWTT sebelum injeksi surfaktan bertujuan untuk mengetahui nilai S_{or} base-line. Dan setelah injeksi surfaktan dilakukan kembali pengujian SWTT yang bertujuan untuk mengetahui perubahan S_{or} setelah proses injeksi surfaktan (Zakaria, dkk., 2016). Gambar 7 merupakan profil produksi *tracer* sebelum dan sesudah injeksi surfaktan. Adapun kumulatif produksi EtAc pada *peak concentration* sebelum injeksi surfaktan 645 bbl dan sesudah injeksi surfaktan 645 bbl. Sedangkan kumulatif produksi EtOH pada *peak concentration* sebelum injeksi surfaktan 323 bbl dan sesudah injeksi surfaktan 419 bbl. Apabila dilihat dari *peak concentration* sebelum injeksi surfaktan konsentrasi EtAc 0,0071 *mass fraction* dan setelah injeksi surfaktan 0,0075 *mass fraction*, artinya



Gambar 6
Skema tahapan program operasional SWTT.

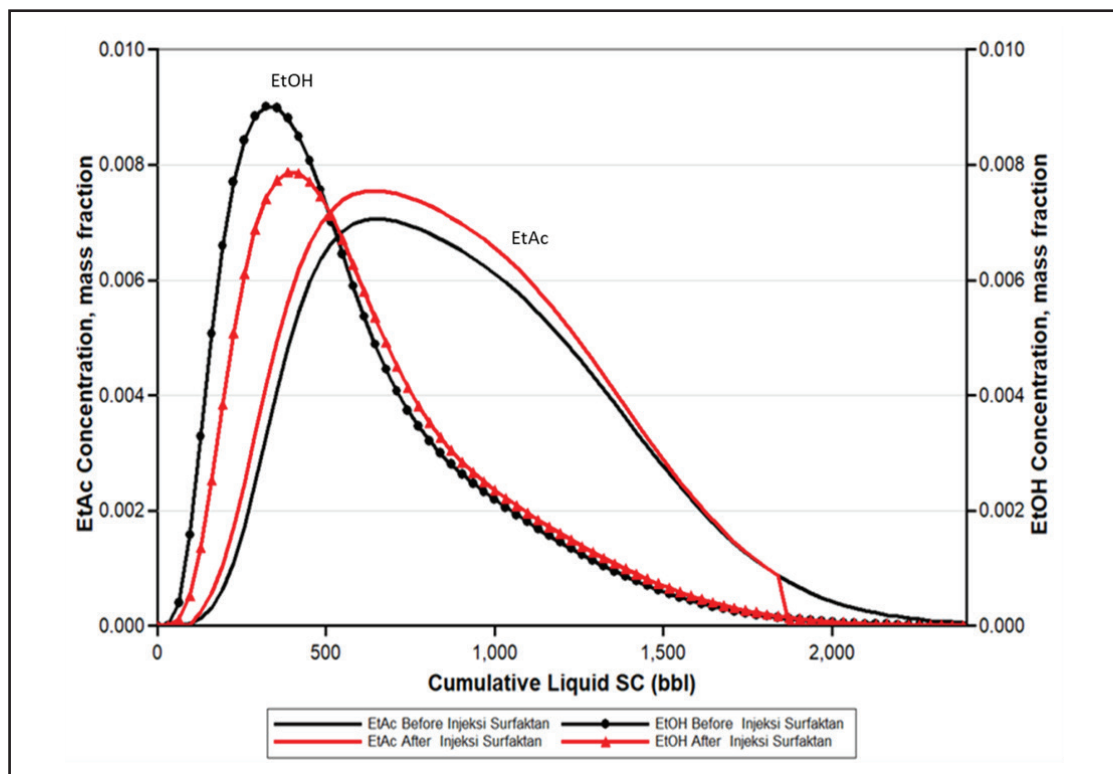
terjadi peningkatan konsentrasi EtAc setelah injeksi surfaktan. Peningkatan konsentrasi EtAc dipengaruhi oleh perubahan S_{or} yang semakin kecil. Apabila dilihat dari *peak concentration* EtOH yang diperoleh sebelum injeksi surfaktan 0,009 *mass fraction*, setelah injeksi surfaktan 0,0079 *mass fraction* yang menunjukkan penurunan konsentrasi EtOH setelah injeksi surfaktan hal ini terjadi karena kenaikan S_w . Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya ketika, EtAc kontak H_2O maka akan terjadi hidrolisis membentuk *secondary tracer* (EtOH). EtAc yang tersisa larut didalam fasa minyak dan tidak dapat larut didalam fasa air, EtOH akan larut dalam fasa air dan tidak larut pada minyak. Semakin tinggi produk EtOH yang di hasilkan dari hidrolisis merefleksikan S_{or} yang besar, apabila konsentrasi EtOH rendah menggambarkan nilai S_{or} yang kecil (Apeiranthitis,

2015). Berdasarkan *peak concentration* EtAc dan EtOH pada Gambar 7 dapat disimpulkan kenaikan konsentrasi EtAc diikuti oleh penurunan S_{or} dan penurunan konsentrasi EtOH diikuti oleh kenaikan S_w .

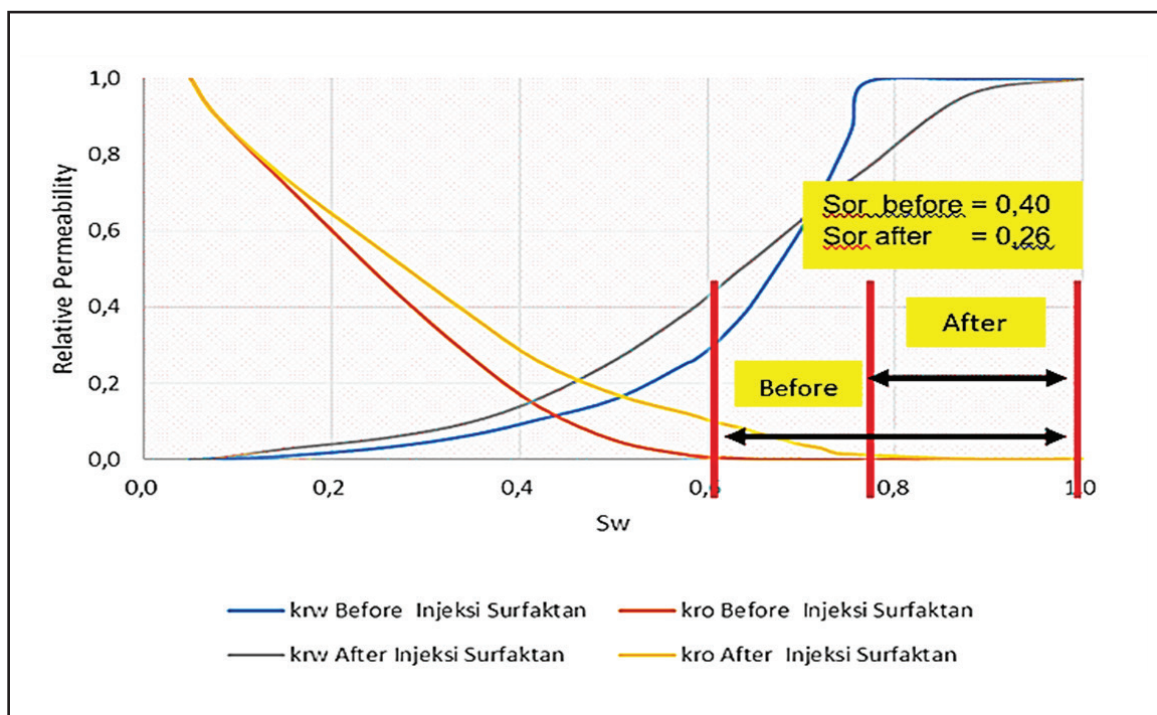
Setelah mengetahui *peak concentration tracer* dari profil produksi sumur kemudian dilakukan analisis pada Tabel 4 dengan menggunakan persamaan 2 dan 3 didapatkan S_{or} sebesar 0,40 sebelum injeksi surfaktan dan 0,26 setelah injeksi surfaktan. Ini berarti ada perubahan S_{or} sebesar 14 % setelah injeksi surfaktan, hal tersebut menggambarkan kesuksesan metode SWTT dalam menginvestigasikan nilai S_{or} untuk mendukung keberhasilan dalam injeksi surfaktan. Berdasarkan kurva permeabilitas relatif yang diperoleh pada Gambar 8 juga mengkonfirmasi nilai S_{or} 0,40 sebelum injeksi surfaktan dan 0,26 setelah injeksi surfaktan.

Tabel 4
Interpretasi S_{or} Sebelum Dan Sesudah Injeksi Surfaktan

SWTT	EtAc <i>peak Concentration</i> , <i>mass fraction</i>	EtAc Cum, bbl	EtOH <i>peak Concentration</i> , <i>mass fraction</i>	EtOH Cum, bbl	β	S_{or}
Before EOR	0,0071	645	0,009	323	1,00	0,40
After EOR	0,0075	645	0,0079	419	0,54	0,26



Gambar 7
Perbedaan konsentrasi profil produksi tracer (EtAc dan EtOH) sebelum dan sesudah injeksi surfaktan.



Gambar 8
Validasi hasil pengukuran S_{or} dengan metode SWTT dan perbandingan kurva permeabilitas relatif sebelum dan sesudah injeksi surfaktan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesuksesan metode SWTT terlihat dari adanya perubahan S_{or} yang signifikan antara sebelum dan sesudah injeksi surfaktan. Adapun S_{or} yang diperoleh sebelum injeksi surfaktan 0,40 dan setelah injeksi surfaktan S_{or} 0,26. Artinya ada perubahan S_{or} setelah injeksi surfaktan sebesar 14%. Nilai S_{or} yang diperoleh juga tervalidasi oleh kurva permeabilitas relatif (lihat Gambar 8).

Setelah dilakukan analisis pada profil produksi, maka konsentrasi EtAc 0,0025 *mole fraction* merupakan konsentrasi paling optimal terlihat dari reaktan dan produk yang dihasilkan yang dapat mendukung kinerja peralatan di lapangan, konsentrasi MeOH pada *overflow* 0,011 *mole fraction* terbukti dapat menjenuhi fluida *overflow* dan tidak merubah karakteristik fluida reservoir. Secara modeling metode SWTT mampu memonitor perubahan residual oil saturasi dibandingkan metode *logging* dan *coring*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada *Center of Energy, Sciences, and Simulation (CESS)* Departemen Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau atas dukungan teknis dan analisisnya, serta

Computer Modeling Group (CMG) yang mendukung fasilitas penelitian berupa *software* perangkat lunak.

DAFTAR ISTILAH / SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
Sor	<i>Residual Oil Saturation</i>	Fraksi
Sw	<i>Water Saturation</i>	Fraksi
K	<i>Partitioning Coefficient</i>	mole
Qr	<i>Konsentrasi EtAc (reaktan) pada puncak produksi kumulatif</i>	bbl
Qp	<i>Konsentrasi EtOH (produk) pada puncak produksi kumulatif</i>	bbl
β	<i>Reterdation factor</i>	
EtAc	<i>Ethyl Acetate</i>	
EtOH	<i>Ethyl Alcohol</i>	
SWTT	<i>Single Well Tracer Test</i>	

KEPUSTAKAAN

- Apeiranthitis, N.**, 2015. Single - Well Tracer Test for Sor Estimatio. Chania, Greece: School of Mineral Resources Engineering, Technical University of Crete, Chania, Greece.
- Apriandi, R. & Rubiandini, R.**, 2011. Studi Reservoir Chemical Tracer Di Lapangan X, Bandung: ITB.
- Bu, P. X., Alsofi, A.M., Liu, J., Benedek, L., & Han, M.**, 2014. Simulation of single well tracer tests for surfactant-polymer flooding. Al-Khobar, Saudi Arabia, SPE.
- Callegaro, C., Masserano, F., Bartosek, M., Buscaglia, R., Visintin, R., Hartvig, S.K., & Huseby, O.K.**, 2014. Single Well Chemical Tracer Tests to Assess Low Salinity Water and Surfactant EOR Processes in West Africa. Kuala Lumpur, Malaysia, SPE.
- Chang, M., Maerefat, N., Tomutsa, L. & Honarpour, M.**, 1988. Evaluation and Comparison of Residual Oil Saturation Determination Techniques. s.l., SPE, pp. 251-262.
- Deans, C.**, 2007. The Single-Well Chemical Tracer Test-A Method For Measuring Reservoir Fluid Saturations In Situ. Richardson, TX: Society of Petroleum Engineers.
- Dizayee, S.**, 2016. Single-Well Chemical Tracer Tests in Heterogeneous Reservoirs. London: Imperial College London.
- Karimi, M.**, 2018. Single Well Tracer Test for Residual Oil Estimation. Chania, Greece: Technical University of Crete, Chania, Greece.
- Khaledialidusti, R., Kleppe, J. & Skrettingland, K.**, 2015. Numerical interpretation of Single Well Chemical Tracer (SWCT) tests to determine residual oil saturation in Snorre reservoir. Madrid, Spain, SPE.
- Mechergui, A., Agenet, N., Romero, C., Nguyen, M., & Bastias, J.**, 2013. Design, Operation, and Laboratory Work for Single-Well Tracer Test Campaign in Handil Field Indonesia. Kuala Lumpur, Malaysia, SPE.
- Mursyidah, M., Putra, D. & Futur, L.**, 2020. Re-design waterflood pattern by utilizing the tracers test technique and interwell streamline simulator. s.l., American Institute of Physics.
- Paskvan, F., Blas, P.S., Young, J., Bakun, F., Carlisle, C., & Pope, G.**, 2018. Single Well Chemical Tracer Tests Provide Rapid, In-Situ Saturation and Fractional Flow Measurements in the Aurora Oil Field, Alaska. Garden Grove, California, USA, SPE.
- Putra, D. F., Futur, L. V. & Umar, M.**, 2021. A Tracer Streamline Practice For Re-Evaluation Waterflood Pattern To Introduce A Cyclic Water Injection Scheme. Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology (JGEET), 6(3), pp. 131-140.
- Putra, D. F., Umar, M., Futur, L. V. & Rahman, A. A.**, 2021. Benefits of the Tracers Test Technique in Improving the Performance of Group Wells. Journal of Earth Energy Engineering, 10(2), pp. 75-83.
- Tian, W.**, 2017a. Improved Method of Moments to Determine Mobile Phase Saturations With Single Well Chemical Tracer Test. San Antonio, Texas, USA, SPE.
- Tian, W.**, 2017b. Improved Method of Moments to Determine Mobile Phase Saturations with Single Well Chemical Tracer Test. San Antonio, Texas, USA, SPE.
- Tian, W.**, 2017c. Quantifying Particle Transportation For Unconventional Reservoir Characterization. Oklahoma: University Of Oklahoma.
- Tomich, J., Dalton, Jr., R., Deans, H. & Shallenberger, L.**, 1973. Single-Well Tracer Method To Measure Residual Oil Saturation.. Journal of Petroleum Technology, 25(02), p. 211–218.
- Zakaria, N., Ghadami, N., Berok, S.M.J., Sedaralit, M. Raub, M., Zulkifli, N., & Manap, A.A.**, 2016. An Integrated Approach in Designing an Optimum Single Well Chemical Tracer Test of Hardness Tolerance Surfactant-Polymer First in Offshore Malaysia. Bangkok, Thailand, SPE.
- Zarruk, G. A., Huseby, O. & Callegaro, C.**, 2016. Assessing oil saturation from single well chemical tracer tests by assisted history matching. Muscat, Oman, SPE.