

## SIMULASI PERCOBAAN *COREFLOODING* INJEKSI SURFAKTAN POLIMER PADA BATUAN RESERVOIR

### ( *Surfaktan - Polymer Core Flooding Experiments Simulation in Reservoir* )

Edward ML Tobing

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”  
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan  
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

email: [etobing@lemigas.esdm.go.id](mailto:etobing@lemigas.esdm.go.id)

Teregistrasi I tanggal 15 Maret 2016; Diterima setelah perbaikan tanggal 21 April 2016;  
Disetujui terbit tanggal: 29 April 2016.

#### ABSTRAK

Dalam beberapa tahun belakangan ini injeksi surfaktan-polimer banyak diterapkan untuk dapat meningkatkan produksi lapangan minyak tua, karena mempunyai efek sinergis dari penurunan tegangan antar muka dan kontrol mobilitas dengan efek samping yang minimal. Tulisan ini membahas tentang pengembangan model simulasi injeksi surfaktan-polimer dengan menggunakan data percobaan di laboratorium, dan validasi dari model simulasi tersebut dilakukan dengan cara menyelaraskan terhadap hasil uji *coreflooding*. Percobaan *coreflooding* surfaktan-polimer dilakukan pada *core* batupasir dalam kondisi reservoir. Injeksi surfaktan-polimer dilakukan sampai tahap produksi tersier dengan konsentrasi surfaktan  $1.067 \times 10^{-3}$  fraksi mol, polimer  $1.393 \times 10^{-7}$  fraksi mol, anion klorida air injeksi  $5.08 \times 10^{-3}$  fraksi mol, dan *slug* injeksi surfaktan-polimer sebanyak 0.207 *pore volume*. Dari hasil uji *core flooding* menunjukkan perolehan minyak sebesar 57.09% *original in place* dari saturasi minyak tersisa setelah injeksi air, untuk formulasi surfaktan-polimer yang diselidiki. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengkombinasikan penambahan maupun pengurangan dari konsentrasi surfaktan, polimer, dan anion klorida air formasi, serta ukuran *slug* injeksi surfaktan-polimer untuk memperkirakan adanya penambahan perolehan dengan serangkaian ‘*run*’ model simulator. Berdasarkan hasil uji sensitivitas tersebut, maka perolehan minyak maksimum yang didapat adalah sebesar 87.28% *original in place* dari saturasi minyak tersisa untuk kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing 10% dan 25% serta pengurangan konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 10%, dan ukuran *slug* injeksi surfaktan-polimer 0.3 *pore volume*.

**Kata Kunci:** model simulasi, *core flooding*, injeksi surfaktan-polimer.

#### ABSTRACT

*In recent years the injection of surfactant-polymer widely applied in order to increase the production of old oil field, because it has a synergistic effect on the decrease interfacial tension and mobility control with minimal side effects. This paper focuses on constructing a surfactant-polymer simulation model using laboratory data and validating it by matching core flooding results. Surfactant-polymer core flooding experiments were performed in sandstone cores under reservoir conditions. Surfactant-polymer injection is done to tertiary production stage with surfactant concentration  $1.067 \times 10^{-3}$  mole fraction, polymer  $1.393 \times 10^{-7}$  mole fraction, chloride anion injection water  $5.08 \times 10^{-3}$  mole fraction, and the slug injection of surfactant-polymer as much as 0.207 pore volume. Core flooding of test results showed 57.09 % recovery of original in place under conditions*

*residual oil saturation after the injection of water, surfactant - polymer for formulations investigated. Sensitivity analysis performed by combining the addition or subtraction of a concentration of surfactant, polymer, and chloride anion from the water formation, as well as slug size of the surfactant-polymer injection to estimate the additional recovery with a series of run the model simulator. Based on the results of the sensitivity test, the maximum oil recovery is obtained by 87.28% original in place at residual oil saturation, for case the addition of surfactant and polymer concentrations of respectively 10 % and 25 % and the reduction of the chloride anion injection water concentration as much as 10%, and the size of the surfactant slug injection-polymer 0.30 pore volume.*

**Keywords:** *simulation model, core flooding, surfactant-polymer injection.*

---

## I. PENDAHULUAN

Setelah energi alami dari reservoir minyak tidak mampu lagi mendorong minyak ke sumur produksi atau produksi pengurasan tahap primer berakhir, kemudian dapat diterapkan teknik produksi pengurasan tahap sekunder yaitu dengan menginjeksikan air kedalam reservoir untuk dapat menaikkan perolehan minyak. Akan tetapi sebagian minyak masih tersisa di dalam reservoir karena terperangkap. Sisa minyak tersebut tertinggal dalam fasa diskontinyu dalam bentuk tetes-tetes minyak yang terjebak karena adanya gaya kapiler. Salah satu metode *enhanced oil recovery* (EOR) yang diterapkan pada pengurasan tahap tertier yaitu injeksi surfaktan-polimer telah terbukti secara efektif dapat mengurangi minyak tersisa tersebut dalam skala percobaan di laboratorium maupun skala proyek di lapangan, dengan cara menurunkan tegangan antar muka dan perbandingan mobilitas antara fase air dan minyak. Injeksi surfaktan-polimer dalam beberapa tahun belakangan ini banyak diterapkan karena mempunyai efek sinergis dari penurunan tegangan antar muka dan kontrol mobilitas dengan efek samping yang minimal (Wu dkk 2015), sehingga memberi sumbangan yang signifikan dalam peningkatan perolehan minyak.

Pada proses injeksi larutan surfaktan-polimer kedalam reservoir minyak, surfaktan berperan untuk menurunkan tegangan antar muka antara fase minyak dan air sehingga dapat meningkatkan mobilitas minyak yang terperangkap. Sedangkan peran polimer adalah untuk menaikkan viskositas fluida pendesak dan menurunkan perbandingan mobilitas antara fluida pendesak dan fluida yang didesak, sehingga akan memperbaiki efisiensi penyapuan volumetrik (Sheng dkk 2015). Dalam merancang proses injeksi surfaktan-polimer tersebut harus dicapai tiga tujuan utama yaitu: penyebaran bahan kimia, jumlah injeksi bahan kimia yang memadai, dan tercapainya penyapuan maksimal dari daerah yang menjadi sasaran. Tercapai atau tidaknya tujuan tersebut akan

dipengaruhi oleh pemilihan bahan kimia, konsentrasi masing-masing larutan surfaktan-polimer serta ukuran *slug* injeksi surfaktan-polimer.

Metodologi dalam penelitian ini merupakan integrasi dari proses *screening* reservoir, uji laboratorium, dan pemodelan reservoir minyak. Keseluruhan proses tersebut merupakan tahapan yang harus dilalui sebelum teknologi injeksi surfaktan-polimer dapat diterapkan. Pemodelan injeksi surfaktan-polimer pada reservoir minyak dikembangkan berdasarkan hasil uji laboratorium *core flooding* dengan menggunakan simulator numerik tiga dimensi dan tiga fasa CMG-STAR Version 2015. Kemudian model simulasi yang telah dikembangkan tersebut dilakukan kalibrasi (AISof dkk 2012) melalui penyesuaian parameter perolehan minyak dan *water cut* dengan hasil uji laboratorium *coreflooding*. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki sensitivitas pengaruh perubahan konsentrasi surfaktan, polimer, dan anion klorida dari air formasi serta ukuran *slug* injeksi surfaktan-polimer terhadap faktor peningkatan perolehan minyak, berdasarkan hasil uji laboratorium *core flooding* injeksi surfaktan-polimer setelah produksi pengurasan tahap sekunder berakhir.

## II. BAHAN DAN METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah integrasi dari tiga proses yaitu *screening* reservoir, uji laboratorium fluida injeksi surfaktan-polimer dan pemodelan simulasi *coreflooding* injeksi surfaktan-polimer.

### a. *Screening* Metode EOR Reservoir

*Screening* metode EOR adalah proses pemilihan atau seleksi dalam menentukan reservoir yang dapat diinjeksikan larutan surfaktan-polimer. Proses ini merupakan tahap awal dan penting sebelum proses uji laboratorium dan pemodelan simulasi reservoir dilakukan. *Screening* metoda EOR pada reservoir 'A' dilakukan dengan cara membandingkan data

karakteristik fluida dan batuan reservoir terhadap kriteria penyaringan metode EOR (Aladasani dkk, 2010). Karakteristik fluida dan batuan reservoir yang digunakan sebagai parameter pembanding adalah  $^{\circ}$ API *gravity* minyak, viskositas minyak, saturasi minyak, jenis batuan reservoir, permeabilitas rata-rata batuan, kedalaman formasi, suhu reservoir, tekanan reservoir, porositas, dan saturasi air. Data karakteristik fluida dan batuan reservoir tersebut dibandingkan dengan parameter screening kriteria yang dikembangkan oleh Aladasani dkk. Berdasarkan uji *screening* tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa reservoir ‘A’ memadai untuk diterapkan metoda EOR injeksi kimia surfaktan-polimer.

### c. Uji Laboratorium

Tujuan dilakukannya uji laboratorium fluida injeksi kimia surfaktan-polimer difokuskan pada desain fluida injeksi untuk mendapatkan konsentrasi polimer dan surfaktan yang optimum agar dapat menaikkan mobilitas fluida injeksi serta menurunkan tegangan antar muka *interfacial tension* (IFT) antara air formasi dan minyak, sehingga dapat meningkatkan perolehan minyak pada produksi pengurasan tahap *tertier*. Sedangkan cakupan uji

laboratorium tersebut terdiri atas:

- Uji kompatibilitas antara air injeksi dan air formasi dengan larutan surfaktan dan polimer
- Screening surfaktan meliputi pengukuran tegangan antar muka
- Pemilihan polimer dengan kajian reologi dan filtrasi
- Uji stabilitas termal dan uji adsorpsi batuan
- Penentuan formulasi surfaktan-polimer dan
- *Core flooding*.

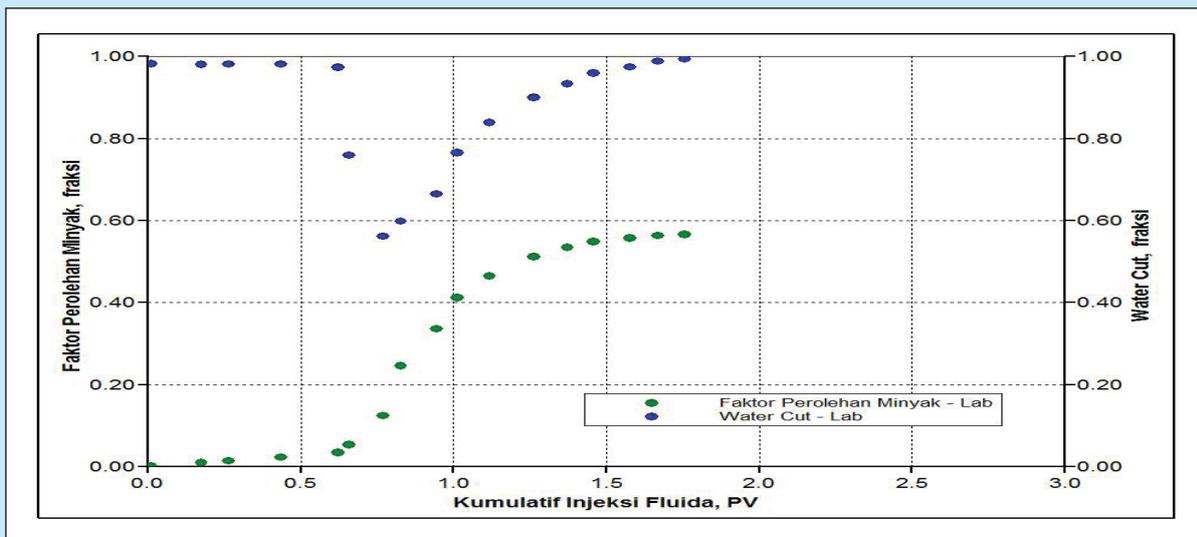
Dari uji laboratorium yang telah dilakukan, maka beberapa parameter hasil uji tersebut dapat dilihat pada Tabel-1.

Uji *core flooding* dilakukan dengan cara menginjeksikan larutan surfaktan-polimer ke dalam *core plug standard* (*Berea sand stone*), untuk mengetahui berapa banyak penambahan perolehan minyak pada produksi pengurasan tahap *tertier*. Langkah kerja *core flooding* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Core* disiapkan sehingga telah tersaturasi sepenuhnya dengan air formasi dan kemudian disimpan dalam *core holder* dengan suhu yang sama dengan suhu reservoir yaitu sebesar 61°C. Kemudian dapat ditentukan permeabilitas absolut *core* yaitu sebesar 503 mD.
2. *Core* diinjeksikan dengan beberapa *pore volume* (PV) minyak yang mempunyai tujuan untuk menetapkan oil in place (OIP) dalam *core* dan *connate water saturation* ( $S_{wi}$ ), serta *original oil saturation* ( $S_{oi}$ ).
3. Kemudian dilakukan injeksi air dengan laju injeksi sebesar 0.3cc/menit, yang menggambarkan produksi pengurasan tahap sekunder sehingga dicapai saturasi minyak tersisa ( $S_{or}$ ) sebesar 35.0% dan saturasi air ( $S_w$ ) sebesar 65.0%.
4. Sebelum dilakukan injeksi surfaktan-polimer, terlebih dahulu diinjeksikan air sebagai *preflush* sebanyak 0.207 PV, sehingga didapat penambahan perolehan minyak sebanyak 1.08% oil in place (OIP) pada saturasi minyak tersisa ( $S_{or}$ ).
5. Kemudian dilakukan injeksi *slug* surfaktan-polimer masing-masing dengan konsentrasi  $1.067 \times 10^{-3}$  fraksi mol dan  $1.393 \times 10^{-7}$  fraksi mol, sebanyak 0.207 PV dan didapat penambahan perolehan minyak sebanyak 2.44 % OIP@ $S_{or}$ .
6. Langkah berikutnya menginjeksikan polimer ”drive” dengan konsentrasi  $1.351 \times 10^{-7}$

**Tabel 1**  
Karakteristik fluida dan core

Parameter	
Densitas Minyak, gmol/m <sup>3</sup>	9240.0
Densitas Air Injeksi, gmol/m <sup>3</sup>	55555.6
Densitas khlorida, gmol/m <sup>3</sup>	28208.7
Densitas Polimer, gmol/m <sup>3</sup>	10.0
Densitas Surfaktan, gmol/m <sup>3</sup>	1824.82
Viskositas air, cp	0.6
Viskositas minyak, cp	3.2
Adsorpsi polimer, gmol/m <sup>3</sup>	443.64
IFT, dyne/cm	0.0189
Porositas Core, %	25.0
Permeabilitas absolut, mD	503.0
Panjang Core, cm	30.0
Diameter Core, cm	4.468
Pore Volume Core, cm	117.612
Oil in Place@ $S_{o1}$ , cm <sup>3</sup>	41.164



Gambar 1

Plot faktor perolehan minyak dan water cut terhadap kumulatif injeksi fluida dari uji *core flooding*.

fraksi mol sebanyak 0.414 PV sehingga dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 20.89 % OIP@S<sub>or</sub>.

7. Selanjutnya diinjeksikan kembali polimer "taper" dengan konsentrasi  $6.75 \times 10^{-8}$  fraksi mol sebanyak 0.207 PV, sehingga dapat menaikkan kembali perolehan minyak sebanyak 7.22 % OIP@S<sub>or</sub>.
8. Pada bagian akhir injeksi dilakukan injeksi air kembali sebanyak 2.277 PV, sehingga dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 14.35 % OIP@S<sub>or</sub>.

Sehingga hasil seluruh tahap *coreflooding* surfaktan-polimer tersebut dapat dilihat pada Gambar-1, berupa plot *water cut* dan perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi (PV), dengan kumulatif perolehan minyak dicapai sebanyak 57.09% OIP@S<sub>or</sub>.

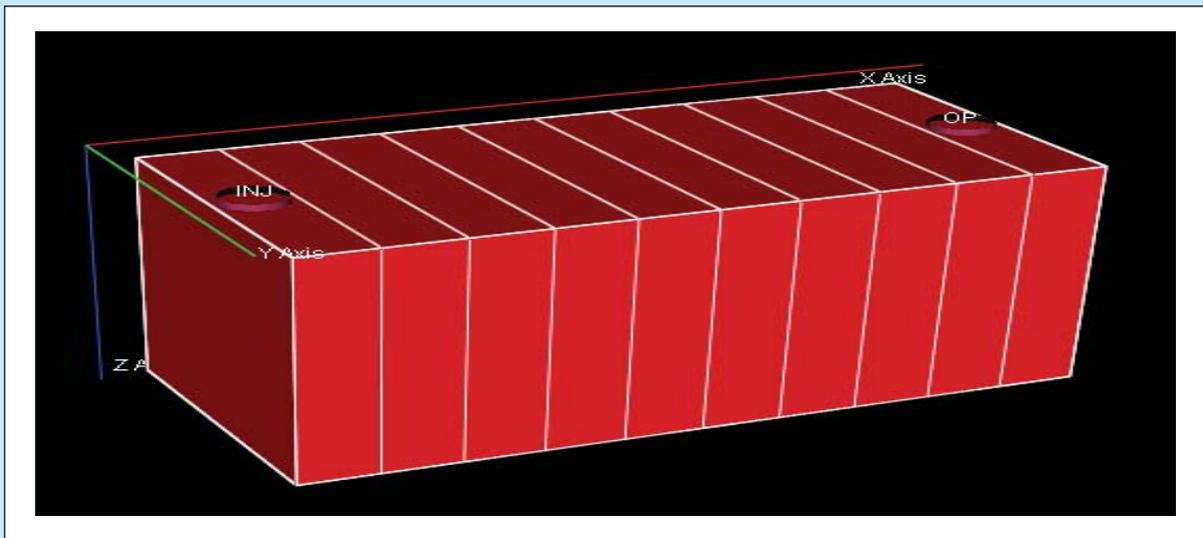
### c. Pemodelan Simulasi *Core Flooding* Injeksi Surfaktan Polimer

Untuk memodelkan kondisi dinamik suatu reservoir minyak dapat digunakan simulator

numerik reservoir. Dalam kajian ini simulator yang digunakan adalah *CMG-STAR Version 2015* yang dikembangkan oleh *Computer Modelling Group Ltd*, Calgary, Canada. Simulator *CMG-STAR* merupakan simulator injeksi kimia tiga dimensi (3-D), yang dapat diaplikasikan untuk multikomponen (air, minyak, surfaktan, polimer, anion klorida, kation divalen : Ca<sup>++</sup>, kation divalen : Mg<sup>++</sup>, karbonat, sodium, ion hidrogen dan fluida multifasa (air, minyak dan microemulsi). Model ini dikembangkan berdasarkan model *compositional* yang memperhitungkan berbagai *phase behavior* yang kompleks, perubahan sifat fisik dan kimia, keberagaman sifat media berpori, dan menggunakan "advanced concepts in high-order numerical accuracy and dispersion control and vector and parallel processing". Pada simulator ini, persamaan aliran dan *mass-transfer* dijabarkan dalam bentuk berbagai macam zat kimia (air, zat-zat organik, surfaktan, alkohol, polimer, klorida, kalsium, elektrolit dan lainnya). Zat-zat tersebut dapat berwujud menjadi 4 fasa (gas, air, minyak, dan *microemulsion*) dan juga dalam wujud padat, tergantung dari komposisi penyusunnya.



Gambar 2  
Core Plug.

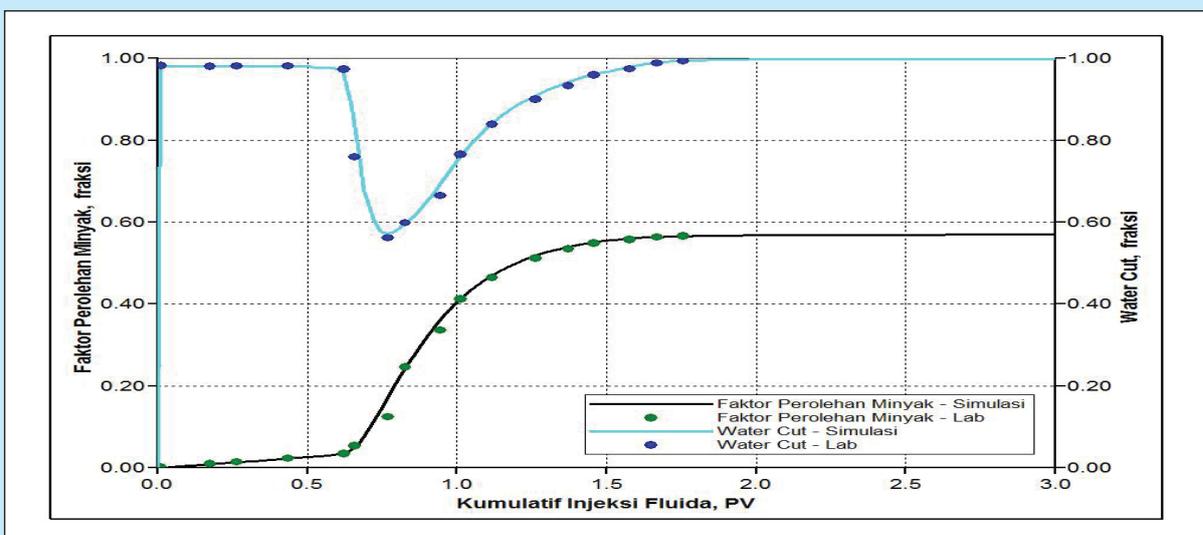


Gambar 3  
Pemodelan *core plug*.

Selain itu yang turut diperhitungkan adalah model reaksi kimia dan keheterogenan serta *multiphase petroleum reservoir*. Aplikasi CMG-STAR *Version 2015* untuk reservoir minyak dapat mensimulasikan injeksi air, injeksi polimer, injeksi surfaktan, injeksi surfaktan polimer dan injeksi alkalin surfaktan polimer.

Untuk dapat memodelkan hasil *core flooding* terlebih dahulu harus menyesuaikan dimensi dari *core* dengan dimensi pada model simulator (AISofi dkk, 2012). Karakteristik *core* (ditunjukkan pada Gambar-2) terdiri dari porositas sebesar 25 % dan permeabilitas absolut 503 mD. *Grid core* (panjang

30 cm dan diameter 4.468 cm) dimodelkan dalam 1-dimensi, dengan jumlah grid untuk arah sumbu x, y dan z masing masing 10 x 1 x 1. Dimensi grid arah 'x' dengan panjang 3.0 cm dan arah 'y' dan 'z' masing-masing 3.96 cm. Model *core* dalam simulator ditunjukkan pada Gambar-3 berikut ini. Pada blok *grid* pertama dan ke-10 masing-masing ditempatkan sebagai *grid* yang merepresentasikan sel *injector* dan *producer*. *Bulk volume core* sebanyak 470.45 cm<sup>3</sup>, sehingga pore volume (PV) adalah sebanyak 117.612 cm<sup>3</sup>. Kondisi awal pemodelan *core plug* ini adalah  $S_{or} = 35.0\%$  dan  $S_w = 65.0\%$ , yang menunjukkan kondisi akhir dari tahap *secondary recovery*. Sedangkan suhu



Gambar 4  
Plot faktor perolehan minyak dan *water cut* terhadap kumulatif injeksi fluida Berdasarkan penyelarasan antara uji *core flooding* dan model reservoir

selama *core flooding* berlangsung dikondisikan tetap sebesar 61°C. Semua parameter dasar *core* dimasukkan sebagai input, dan juga hasil uji laboratorium yang telah dijelaskan sebelumnya, sehingga dapat menggambarkan model multi fasa dan multi komponen yang menunjukkan adanya interaksi surfaktan-polimer pada tingkat molekuler.

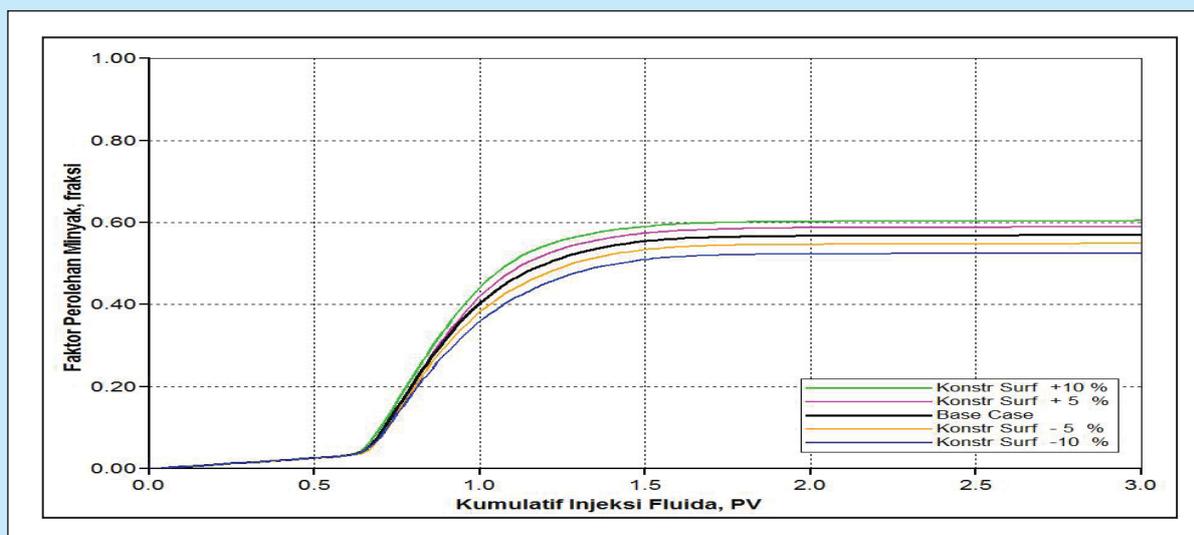
Tujuan utama mengembangkan simulasi reservoir minyak model *core flooding* adalah untuk memperkirakan kinerja dari model *core flooding* tersebut terhadap berbagai cara produksi dan menghitung perolehan minyaknya. Dengan telah dapat dikembangkannya model *coreflooding*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan validasi atau mengkalibrasi antara kinerja model simulasi dengan kinerja hasil uji laboratorium, agar diperoleh kinerja yang sama (Computer Modeling Group, 2013). Langkah ini disebut sebagai *history matching* atau penyesuaian antara kinerja model simulasi dengan kinerja hasil uji di laboratorium. Penyesuaian tersebut dilakukan terhadap dua parameter dinamik yaitu *water cut* dan kumulatif produksi atau perolehan minyak selama uji *core flooding* injeksi surfaktan-polimer berlangsung. Langkah yang dilakukan dalam penyesuaian ini diantaranya merubah kurva permeabilitas relatif dan *end point* serta faktor eksponen dari kurva tersebut. Akan tetapi *end point* saturasi tidak diubah karena harus sesuai dengan hasil data uji di laboratorium. Plot antara faktor perolehan minyak dan *water cut* terhadap kumulatif injeksi fluida dari hasil uji di laboratorium

dan model simulasi ditunjukkan pada Gambar-4. Hasil kalibrasi atau validasi model ini menunjukkan adanya keselarasan antara model simulasi dan data hasil uji laboratorium *core flooding*, sehingga model tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk memperkirakan kinerja dalam hal ini perolehan minyak dari model *core flooding* dalam berbagai skenario injeksi, yang kemudian dinyatakan sebagai model “*Base Case*”.

### III. HASIL DAN DISKUSI

Dalam penelitian ini akan dibahas tentang uji sensitivitas terhadap beberapa parameter injeksi diantaranya: fraksi mol dari surfaktan, polimer, dan anion klorida air injeksi untuk mengetahui pengaruh parameter tersebut terhadap perolehan produksi minyak dengan cara me “run” model simulasi yang telah dikalibrasi dengan berbagai skenario. Uji sensitivitas ini juga dapat membantu menentukan skenario mana yang optimun sehingga didapat perolehan minyak yang maksimal. Adapun data model “*Base Case*” untuk parameter injeksi tersebut adalah: konsentrasi surfaktan ( $1.067 \times 10^{-3}$ , fraksi mol), polimer ( $1.393 \times 10^{-7}$ , fraksi mol), anion klorida air injeksi ( $5.08 \times 10^{-3}$ , fraksi mol), dan air injeksi (0.99385, fraksi mol) dalam injeksi *slug* surfaktan-polimer sebanyak 0.207 Pore Volume, dan perolehan minyak didapat sebesar 57.09% OIP @ $S_{or}$ .

Berdasarkan data model “*Base Case*” tersebut, dalam penelitian ini dikembangkan 6 (enam) kasus uji sensitivitas terhadap beberapa perubahan, yaitu:



Gambar 5  
Plot Faktor Perolehan Minyak terhadap Kumulatif Injeksi Fluida.  
(Uji Sensitivitas-1)

- Konsentrasi surfaktan (Uji Sensitivitas-1)
- Konsentrasi polimer (Uji Sensitivitas-2)
- Konsentrasi klorida (Uji Sensitivitas-3)
- Konsentrasi surfaktan dan polimer (Uji Sensitivitas-4)
- Konsentrasi surfaktan, polimer dan anion klorida air formasi (Uji Sensitivitas-5A dan 5B)
- Ukuran *slug* injeksi surfaktan polimer (Uji Sensitivitas-6)

Jumlah “run” model simulasi yang telah dilakukan dari 6 (enam) uji sensitivitas tersebut adalah sebanyak 28 dan kemudian dapat dilakukan analisis untuk menentukan skenario injeksi mana yang optimum untuk mendapatkan perolehan minyak yang maksimal.

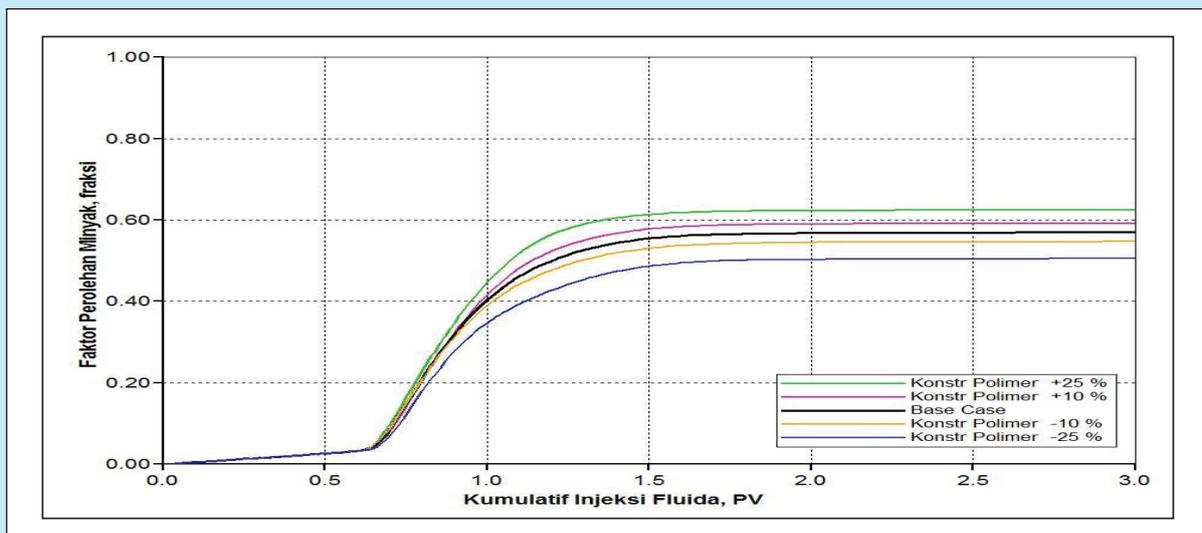
#### a. Konsentrasi Surfaktan (Uji Sensitivitas-1)

Mengacu pada data model “Base Case”, konsentrasi surfaktan yang digunakan adalah  $1.067 \times 10^{-3}$  fraksi mol. Uji sensitivitas terhadap konsentrasi surfaktan tersebut dilakukan dengan menambahkan sebanyak 5% dan 10% serta mengurangi 5% dan 10% konsentrasi surfaktan berdasarkan data model “Base Case”, sementara konsentrasi polimer dan anion klorida air injeksi dipertahankan tetap. Untuk kasus pengurangan konsentrasi surfaktan sebanyak 5% dari data model “Base Case”, perolehan minyak didapat sebesar 54.97% OIP@S<sub>or</sub> atau mengalami penurunan sebanyak 2.12% OIP@S<sub>or</sub>. Dan untuk kasus pengurangan konsentrasi surfaktan sebanyak 10% dari data model “Base Case”, perolehan

minyak didapat sebesar 52.63% OIP@S<sub>or</sub> atau mengalami penurunan sebanyak 4.46% OIP@S<sub>or</sub>. Hal tersebut dapat dipahami, karena dengan mengurangi konsentrasi surfaktan maka akan mengakibatkan naiknya harga IFT antara fase minyak dan air, sehingga akan mengurangi mobilitas minyak yang terperangkap (She dkk, 2013). Untuk kasus penambahan konsentrasi surfaktan 5% dari data model “Base Case”, perolehan minyak didapat sebesar 59.0% OIP@S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 1.91% OIP@S<sub>or</sub>. Sedangkan perolehan minyak maksimum didapat pada kasus penambahan 10% konsentrasi surfaktan, yaitu 60.52% OIP@S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 3.43% OIP@S<sub>or</sub> dibandingkan perolehan minyak berdasarkan data model “Base Case”. Hal tersebut dimungkinkan karena dengan menambah konsentrasi surfaktan, maka parameter IFT antara fase minyak dan air akan menurun, dan mendekati harga critical micelle concentration (CMC), dimana surfaktan pada konsentrasi tersebut mempunyai harga IFT terendah (She, 2013). Dengan demikian maka akan menaikkan bilangan kapiler serta meningkatkan mobilitas minyak yang terperangkap. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida berdasarkan uji sensitivitas-1 tersebut dapat dilihat pada Gambar-5 dibawah ini.

#### b. Konsentrasi Polimer (Uji Sensitivitas-2)

Konsentrasi polimer yang digunakan pada data “Base Case” adalah sebesar  $1.393 \times 10^{-7}$  fraksi mol. Uji



Gambar 6  
Plot faktor perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida.  
(Uji sensitivitas-2)

sensitivitas terhadap perubahan konsentrasi polimer dilakukan dengan cara menambah dan mengurangi konsentrasi polimer masing-masing sebanyak 10% dan 25% dari konsentrasi polimer pada data “*Base Case*”, serta konsentrasi surfaktan dan anion klorida air injeksi. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida berdasarkan uji sensitivitas-2 tersebut dapat dilihat pada Gambar-6 berikut ini. Untuk kasus penambahan konsentrasi polimer sebanyak 10% dari data “*Base Case*”, perolehan minyak didapat sebesar 59.28% OIP@S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan

minyak sebanyak 2.19% OIP@Sor. Dan dari uji sensitivitas-2 tersebut, perolehan minyak maksimum didapat pada kasus penambahan konsentrasi polimer sebanyak 25% dari data awal “*Base Case*”, yaitu 62.55% OIP@S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 5.46% OIP@S<sub>or</sub> dibandingkan perolehan minyak berdasarkan data “*Base Case*”. Hal tersebut dapat dicapai karena dengan bertambahnya konsentrasi polimer, maka akan menyebabkan naiknya viskositas polimer yang dalam hal ini bertindak sebagai fluida pendesak, sehingga akan

**Tabel 2**  
Ringkasan hasil uji sensitivitas terhadap konsentrasi surfaktan, polimer dan klorida.

No Run	Kasus	Perolehan Minyak (% OIP@S <sub>or</sub> )	? Perolehan Minyak (% OIP@S <sub>or</sub> )
0	“Base Case”	57.09	0.00
1	Konsentrasi Surfaktan - 10%	52.63	-4.46
2	Konsentrasi Surfaktan - 5%	54.97	-2.12
3	Konsentrasi Surfaktan + 5%	59.00	1.92
4	Konsentrasi Surfaktan + 10%	60.52	3.43
5	Konsentrasi Polimer - 25%	50.63	-6.46
6	Konsentrasi Polimer - 10%	54.77	-2.31
7	Konsentrasi Polimer + 10%	59.28	2.19
8	Konsentrasi Polimer + 25%	62.55	5.47
9	Konsentrasi Klorida - 10%	58.09	1.00
10	Konsentrasi Klorida - 5%	58.00	0.91
11	Konsentrasi Klorida + 5%	56.90	-0.19
12	Konsentrasi Klorida + 10%	56.02	-1.06
13	Konsentrasi Surfaktan -10%, Polimer + 25%	58.77	1.68
14	Konsentrasi Surfaktan - 5%, Polimer + 25%	60.71	3.63
15	Konsentrasi Surfaktan + 5%, Polimer + 25%	64.28	7.20
16	Konsentrasi Surfaktan + 10%, Polimer + 25%	65.43	8.34
17	Konsentrasi Surfaktan - 10%, Polimer +25%, Klorida - 10%	57.91	0.82
18	Konsentrasi Surfaktan - 5%, Polimer + 25%, Klorida -10%	60.51	3.42
19	Konsentrasi Surfaktan + 5%, Polimer +25%, Klorida -10%	64.27	7.19
<b>20</b>	<b>Konsentrasi Surfaktan + 10%, Polimer + 25%, Klorida -10%</b>	<b>65.79</b>	<b>8.71</b>
21	Konsentrasi Surfaktan -10%, Polimer+ 25%, Klorida + 10%	58.57	1.48
22	Konsentrasi Surfaktan - 5%, Polimer + 25%, Klorida + 10%	60.36	3.28
23	Konsentrasi Surfaktan + 5%, Polimer + 25%, Klorida + 10%	64.60	7.51
24	Konsentrasi Surfaktan + 10%, Polimer + 25%, Klorida + 10%	64.69	7.60

? **Perolehan Minyak** = Perbedaan Perolehan Minyak terhadap “*Base Case*”

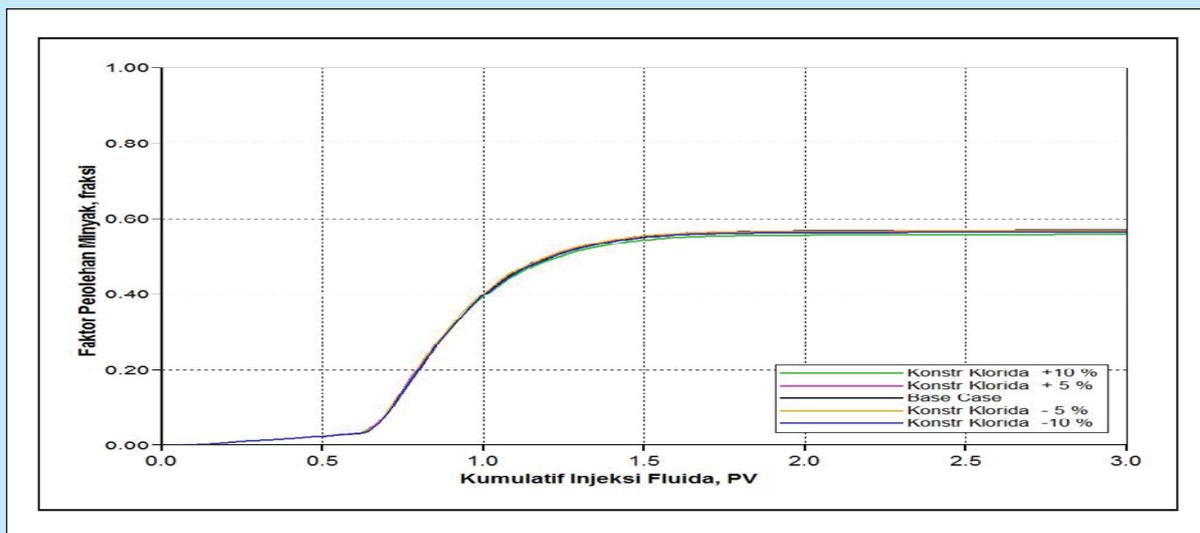
menurunkan perbandingan mobilitas (permeabilitas/viskositas) antara fluida pendesak dan fluida yang didesak (minyak). Sehingga dengan demikian akan memperbaiki efisiensi penyapuan secara volumetrik. Kenaikkan konsentrasi polimer dibatasi juga dengan pertimbangan, jika konsentrasi polimer semakin tinggi maka kebutuhan polimer akan semakin banyak sehingga nilai proyek EOR akan semakin mahal. Disamping itu, jika konsentrasi polimer semakin tinggi, maka ukuran molekul polimer akan semakin besar sehingga dapat menyebabkan penyumbatan pada lubang pori-pori batuan, yang mana hal tersebut harus dihindari (Han dkk, 2014). Kondisi sebaliknya justru akan terjadi, apabila konsentrasi polimer diturunkan maka perolehan minyak akan turun juga. Untuk kasus pengurangan konsentrasi polimer sebanyak 10% dari data “Base Case”, perolehan minyak didapat sebesar 54.77% OIP@S<sub>or</sub> atau mengalami penurunan sebanyak 2.32% OIP@S<sub>or</sub>. Dan untuk kasus pengurangan konsentrasi polimer sebanyak 25% dari data “Base Case”, perolehan minyak didapat yang terkecil yaitu sebesar 50.63% OIP@S<sub>or</sub> atau mengalami penurunan sebanyak 6.46% OIP@S<sub>or</sub>.

### c. Konsentrasi Anion Klorida Air Injeksi (Uji Sensitivitas-3)

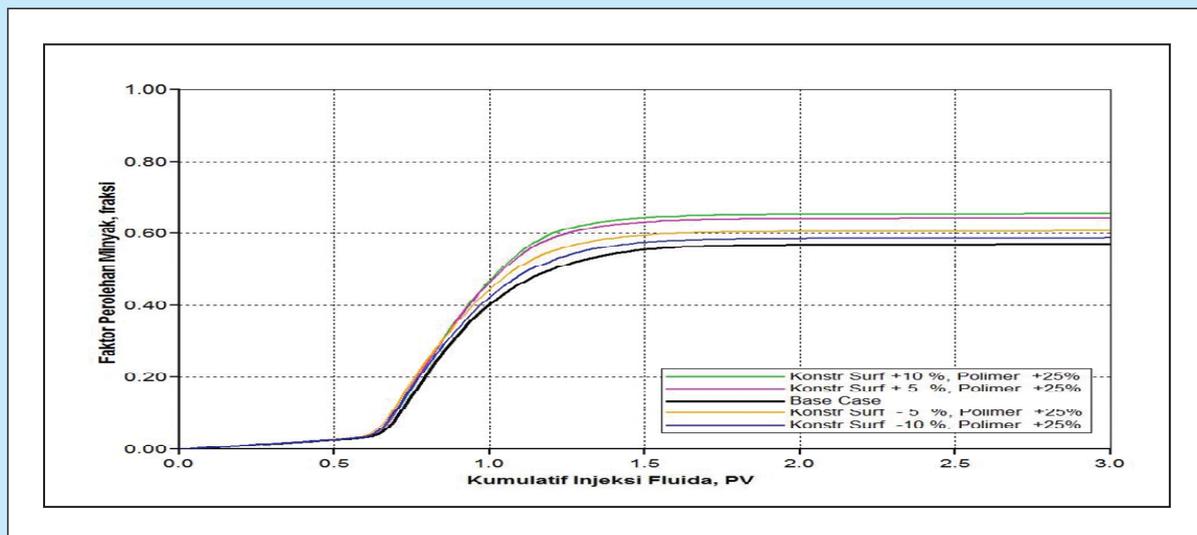
Berdasarkan data “Base Case” konsentrasi anion klorida air injeksi yang digunakan adalah sebesar  $5.08 \times 10^{-3}$ , fraksi mol. Pada uji sensitivitas terhadap konsentrasi anion klorida air injeksi

tersebut dilakukan perubahan konsentrasi yaitu menambah 5% dan 10% serta mengurangi 5% dan 10% dari data “Base Case”, akan tetapi konsentrasi surfaktan dan polimer dipertahankan tetap. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida berdasarkan uji sensitivitas-1 tersebut terdapat pada Gambar-7 dibawah ini. Bila ditambahkan konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 5% dari data “Base Case”, maka perolehan minyak didapat sebesar 56.90% OIP@S<sub>or</sub> atau perolehan minyak turun sebanyak 0.19% OIP@S<sub>or</sub>. Dan untuk kasus penambahan konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 10% dari data “Base Case”, perolehan minyak didapat sebesar 56.02% OIP@S<sub>or</sub> atau mengalami penurunan sebanyak 1.07% OIP@S<sub>or</sub>.

Dengan menurunkan konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 5% dari data “Base Case”, maka perolehan minyak didapat sebesar 58.0% OIP@S<sub>or</sub> atau bertambah sebanyak 0.91% OIP@S<sub>or</sub>. Dari uji sensitivitas-3 tersebut, perolehan minyak maksimum didapat pada kasus pengurangan konsentrasi anion klorida air injeksi 10% dari data awal “Base Case”, yaitu sebesar 58.09% OIP@S<sub>or</sub>, atau naik sebanyak 1.0% OIP@S<sub>or</sub>. Hal tersebut dapat terjadi karena bila konsentrasi klorida dikurangi (Wang dkk, 2015), maka akan mengubah sifat kebasahan batuan reservoir yang semula *oil wet* (minyak membasahi batuan) cenderung akan menjadi *water wet* (air membasahi batuan). Dengan demikian maka minyak yang menempel pada batuan reservoir akan mudah lepas dan digantikan oleh air, sehingga akan menaikkan perolehan minyak (Battistutta dkk, 2015).



Gambar 7  
Plot faktor perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida.  
(Uji sensitivitas-3)



**Gambar 8**  
Plot faktor perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida.  
(Uji sensitivitas-4)

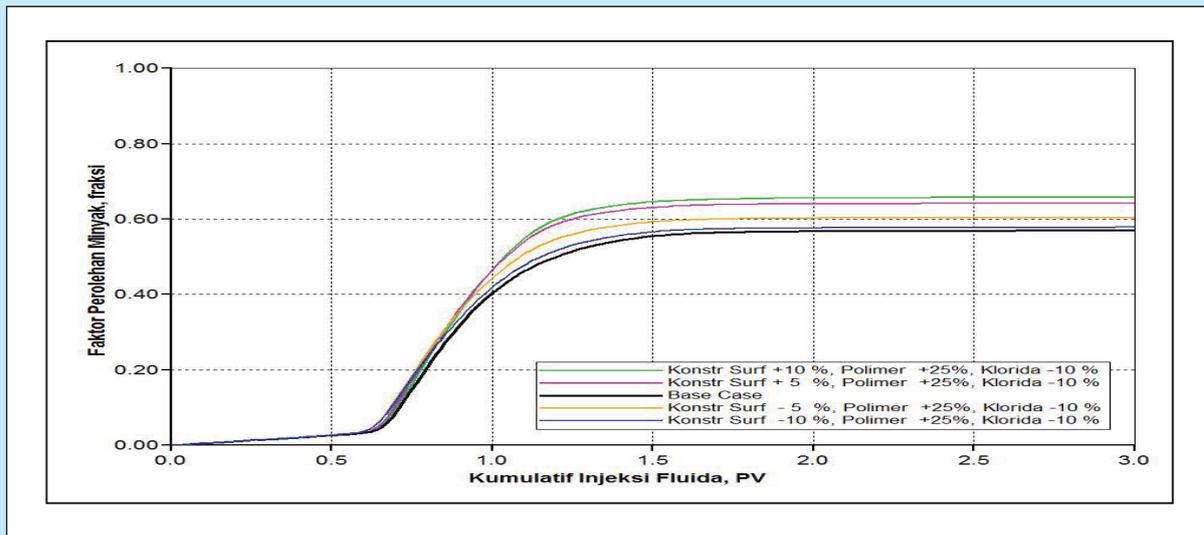
#### d. Konsentrasi Surfaktan dan Polimer (Uji Sensitivitas-4)

Uji sensitivitas terhadap perubahan konsentrasi surfaktan dan polimer dilakukan secara serempak, yaitu penambahan dan pengurangan konsentrasi surfaktan masing-masing sebanyak 5% dan 10%, yang diikuti masing-masing dengan penambahan polimer sebanyak 25% dari data “Base Case”, sementara konsentrasi anion klorida air injeksi dipertahankan tetap. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida berdasarkan uji sensitivitas-4 tersebut dapat dilihat pada Gambar-8 dibawah ini. Untuk kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing sebanyak 5% dan 25% dari data “Base Case”, perolehan minyak didapat sebesar 64.28% OIP@ $S_{or}$  atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 7.19% OIP@ $S_{or}$ . Sedangkan untuk kasus pengurangan konsentrasi surfaktan sebanyak 5% dan penambahan konsentrasi polimer sebanyak 25% dari data “Base Case”, perolehan minyak didapat sebesar 60.71% OIP@ $S_{or}$  atau mengalami kenaikan sebanyak 3.62% OIP@ $S_{or}$ . Dan untuk kasus pengurangan konsentrasi surfaktan 10% dan penambahan konsentrasi polimer 25% dari data “Base Case”, perolehan minyak didapat sebesar 58.77% OIP@ $S_{or}$  atau mengalami penambahan sebanyak 1.68% OIP@ $S_{or}$ . Dari uji sensitivitas-4 tersebut, perolehan minyak maksimum didapat pada kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing 10% dan 25% dari data “Base Case”, yaitu 65.43% OIP@ $S_{or}$  atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 8.34% OIP@

$S_{or}$  dibandingkan perolehan minyak berdasarkan data “Base Case”. Hal tersebut dapat dijelaskan, karena dengan menaikkan konsentrasi surfaktan maka tegangan antar muka antara fase minyak dan air akan turun, sehingga dapat meningkatkan mobilitas minyak yang terperangkap. Sedangkan bila konsentrasi polimer ditambah maka akan menaikkan viskositas fluida pendesak dan akan menurunkan perbandingan mobilitas antara fluida pendesak dan fluida yang didesak, yang akan mengakibatkan perbaikan efisiensi penyapuan volumetrik (Shiran dkk, 2015). Disamping itu, sejak polimer dan surfaktan berada dalam satu larutan maka akan berinteraksi pada tingkat molekuler, sehingga sifat dan kinerja dari campuran surfaktan polimer akan berbeda bila dibandingkan dengan sifat dan kinerja dari masing-masing komponennya (Wu dkk, 2015).

#### e.1 Konsentrasi Surfaktan, Polimer dan Klorida Air Injeksi (Uji Sensitivitas- 5A)

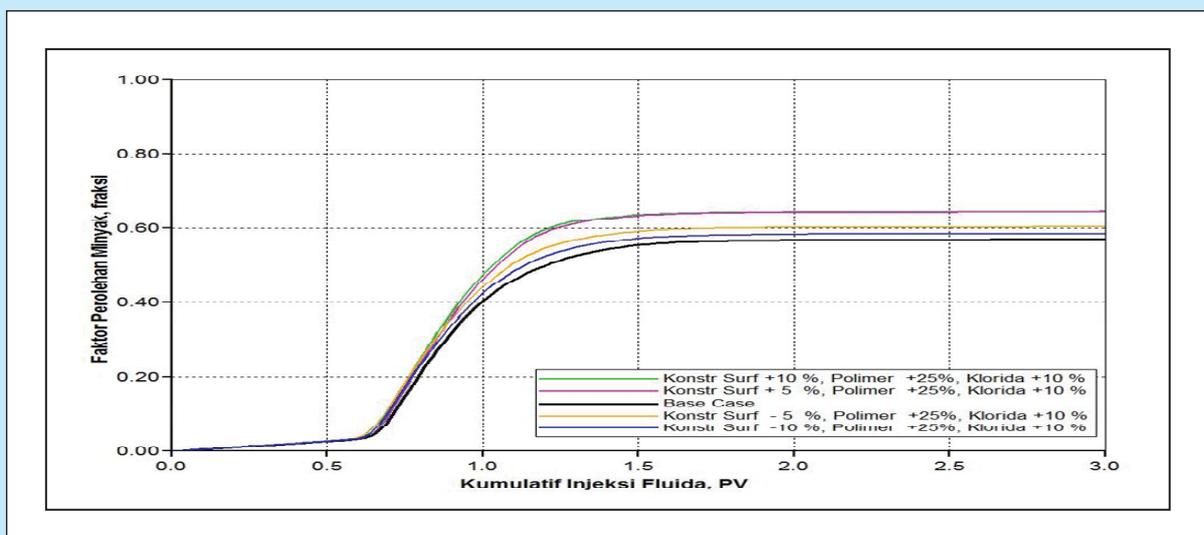
Langkah yang dilakukan pada uji sensitivitas-5A ini adalah mengulangi seperti pada uji sensitivitas-4, akan tetapi dengan masing-masing mengurangi konsentrasi anion klorida air injeksi sebesar 10% dari data “Base Case”. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida berdasarkan uji sensitivitas-5A tersebut dapat dilihat pada Gambar-9 berikut ini. Berdasarkan uji sensitivitas-5A tersebut perolehan minyak maksimum yang didapat dari kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing 10% dan 25%, serta



**Gambar 9**  
**Plot faktor perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida.**  
*(Uji sensitivitas-5a)*

mengurangi konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 10% dari data “Base Case”, yaitu 65.79%  $OIP@S_{or}$  atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 8.70%  $OIP@S_{or}$  dibandingkan perolehan minyak berdasarkan data “Base Case”. Untuk kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing sebanyak 5% dan 25% serta mengurangi konsentrasi anion klorida air injeksi 10%, perolehan minyak didapat sebesar 64.27%  $OIP@S_{or}$  atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 7.18%  $OIP@S_{or}$ . Sedangkan untuk kasus

pengurangan konsentrasi surfaktan sebanyak 5% dan penambahan konsentrasi polimer sebanyak 25%, serta menurunkan konsentrasi anion klorida air injeksi 10%, perolehan minyak didapat sebesar 60.51%  $OIP@S_{or}$  atau mengalami kenaikan sebanyak 3.42%  $OIP@S_{or}$ . Dan untuk kasus pengurangan konsentrasi surfaktan 10% dan penambahan konsentrasi polimer 25% serta mengurangi konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 10%, maka perolehan minyak didapat sebesar 57.91 %  $OIP@S_{or}$  atau mengalami penambahan sebanyak 0.82%  $OIP@S_{or}$ .



**Gambar 10**  
**Plot faktor perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida.**  
*(Uji sensitivitas-5b)*

### e.2 Konsentrasi Surfaktan, Polimer dan Klorida Air Injeksi (Uji Sensitivitas-5B)

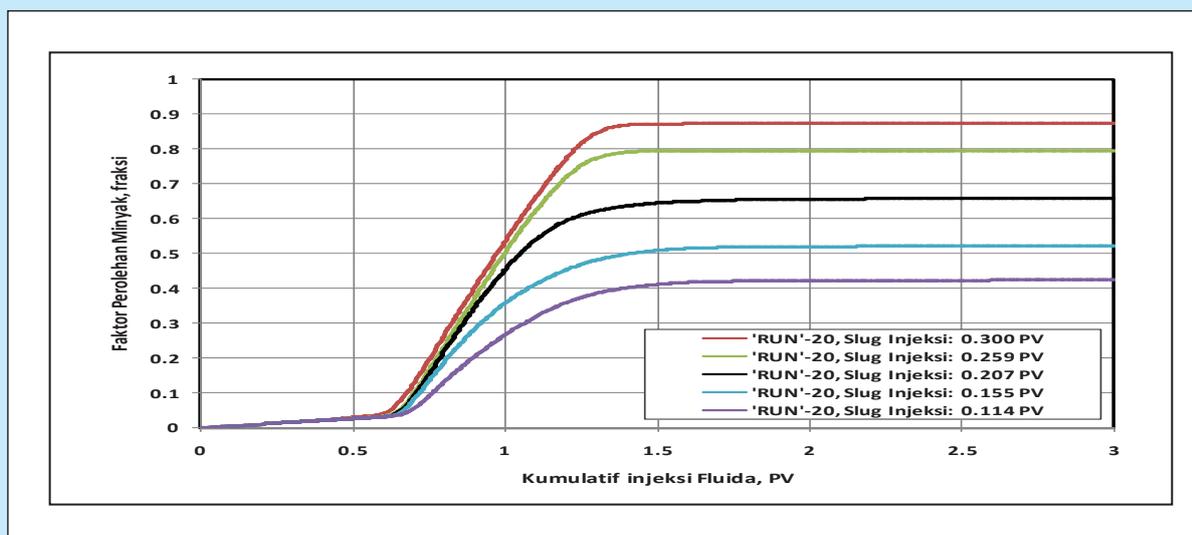
Demikian halnya pada uji sensitivitas-5A, langkah yang dilakukan dalam uji ini adalah mengulangi seperti pada uji sensitivitas-4, akan tetapi masing-masing dengan menambahkan konsentrasi anion klorida air injeksi sebesar 10% dari data “*Base Case*”. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida berdasarkan uji sensitivitas-5B tersebut dapat dilihat pada Gambar-10 berikut ini. Berdasarkan uji sensitivitas-5B tersebut perolehan minyak maksimum yang didapat dari kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing 10% dan 25%, serta menambahkan konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 10% dari data “*Base Case*”, yaitu 64.69% OIP@S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 7.60% OIP@S<sub>or</sub> dibandingkan perolehan minyak berdasarkan data “*Base Case*”. Untuk kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing sebanyak 5% dan 25% serta menambahkan konsentrasi anion klorida air injeksi 10%, perolehan minyak didapat sebesar 64.60% OIP@S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 7.51% S<sub>or</sub>. Sedangkan untuk kasus pengurangan konsentrasi surfaktan sebanyak 5% dan penambahan konsentrasi polimer sebanyak 25%, serta menambahkan konsentrasi anion klorida air injeksi 10%, maka perolehan minyak didapat sebesar 60.36% OIP@S<sub>or</sub> atau mengalami kenaikan sebanyak 3.27% OIP@S<sub>or</sub>. Dan untuk kasus pengurangan konsentrasi surfaktan 10% dan penambahan konsentrasi polimer 25%

serta menaikkan konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 10%, maka perolehan minyak didapat sebesar 58.57% OIP@S<sub>or</sub> atau mengalami penambahan sebanyak 1.48% OIP@S<sub>or</sub>.

Berdasarkan hasil uji sensitivitas terhadap penambahan maupun pengurangan konsentrasi surfaktan, polimer dan anion klorida air injeksi (dari uji sensitivitas 1 sampai dengan uji sensitivitas -5B) maka perolehan maksimum yang dicapai yaitu pada kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing 10% dan 25%, serta mengurangi konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 10% (“*run*” nomor 20), yaitu sebesar 65.79% OIP@S<sub>or</sub> atau perolehan minyak bertambah sebanyak 8.71% OIP@S<sub>or</sub> jika dibandingkan dengan perolehan minyak berdasarkan data “*Base Case*” dengan ukuran slug surfaktan-polimer yaitu sebesar 0.207 PV.

### f. Ukuran Slug Injeksi Surfaktan Polimer (Uji Sensitivitas-6)

Mengacu pada kasus “*run*” nomor 20 tersebut, kemudian dilakukan kembali uji sensitivitas terhadap perubahan ukuran *slug* surfaktan polimer. Perubahan ukuran *slug* tersebut dilakukan yaitu dengan cara menaikkan dan menurunkan masing-masing sebesar 25% dan 45% terhadap ukuran *slug* pada kasus “*run*” nomor 20 (0.207 PV), sehingga masing masing ukuran *slug* berubah menjadi 0.114 PV, 0.155 PV, 0.259 PV dan 0.300 PV. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif injeksi fluida berdasarkan uji sensitivitas-6 tersebut dapat dilihat pada Gambar-11. Untuk kasus pengurangan injeksi *slug* surfaktan



Gambar 5  
Plot faktor perolehan minyak terhadap ukuran *slug* injeksi surfaktan-polimer.  
(Uji sensitivitas-6)

polimer masing-masing menjadi 0.155 PV (atau  $0.75 \times 0.207$  PV) dan 0.114 PV ( $0.55 \times 0.207$  PV), perolehan minyak masing-masing dicapai sebesar 52.29% OIP@S<sub>or</sub> dan 42.50% OIP@S<sub>or</sub>. Atau masing-masing perolehan minyak turun sebanyak 4.8% OIP@S<sub>or</sub> dan 14.58% OIP@S<sub>or</sub> dibandingkan perolehan minyak terhadap kasus "Base Case". Dan untuk kasus penambahan injeksi *slug* surfaktan polimer menjadi 0.259 PV ( $1.25 \times 0.207$  PV), perolehan minyak didapat sebesar 79.48% OIP@S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 22.39% OIP@S<sub>or</sub> dibandingkan perolehan minyak terhadap kasus "Base Case". Dari uji sensitivitas-6 tersebut, perolehan minyak maksimum didapat pada kasus penambahan injeksi *slug* surfaktan polimer menjadi 0.3 PV (atau  $1.45 \times 0.207$  PV), yaitu sebesar 87.28 OIP@S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 30.19% OIP@S<sub>or</sub> dibandingkan perolehan minyak terhadap kasus "Base Case".

Penambahan ukuran *slug* pada fluida injeksi surfaktan-polimer berakibat langsung dengan penambahan perolehan minyak karena secara serempak dengan menambah jumlah surfaktan yang berperan untuk menurunkan tegangan antar muka antara fase minyak dan air sehingga dapat meningkatkan mobilitas minyak yang terperangkap. Disamping itu dengan menambah jumlah polimer maka akan menaikkan viskositas fluida pendesak dan menurunkan perbandingan mobilitas antara fluida pendesak dan fluida yang didesak, sehingga akan memperbaiki efisiensi penyapuan volumetrik. Meskipun ukuran *slug* dapat ditambah, namun pada keempat pengujian ini ukuran *slug* injeksi surfaktan polimer tidak melebihi 0.3 PV karena pertimbangan masalah keekonomian. Jika ukuran *slug* melebihi angka tersebut, maka proyek EOR kemungkinan menjadi tidak ekonomis, karena biaya bahan kimia surfaktan dan polimer mempunyai porsi yang cukup signifikan dalam proyek tersebut. Selain itu juga sangat tergantung pada tingkat harga minyak di pasar dunia saat pelaksanaan proyek tersebut berlangsung.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dengan telah dikembangkannya model simulasi *coreflooding* injeksi surfaktan-polimer berdasarkan uji laboratorium, maka dapat disimpulkan beberapa hal berikut ini:

Berdasarkan hasil uji *coreflooding* dengan menginjeksikan surfaktan-polimer yang

menggambarkan tahap teknik produksi tertier (yang dinyatakan sebagai "Base Case"), maka total perolehan minyak didapat sebesar 57.09% *original* OIP dari S<sub>or</sub>.

Dengan telah dilakukannya kalibrasi atau validasi antara hasil uji laboratorium *core flooding* injeksi surfaktan-polimer dengan model simulasi numerik melalui proses *history matching*, maka model simulasi *core flooding* tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan potensi penambahan faktor perolehan minyak.

Berdasarkan hasil uji sensitivitas model simulasi *coreflooding* injeksi surfaktan-polimer terhadap penambahan maupun pengurangan konsentrasi surfaktan, polimer dan anion klorida air formasi maka perolehan maksimum yang dicapai yaitu pada kasus penambahan konsentrasi surfaktan dan polimer masing-masing 10% dan 25%, serta mengurangi konsentrasi anion klorida air injeksi sebanyak 10%, yaitu sebesar 65.79% OIP pada S<sub>or</sub> atau perolehan minyak bertambah sebanyak 8.71% OIP pada S<sub>or</sub> jika dibandingkan dengan perolehan minyak berdasarkan uji "Base Case". Perolehan minyak maksimum didapat pada kasus *slug* injeksi surfaktan polimer 0.3 PV, yaitu sebesar 87.28 OIP pada S<sub>or</sub> atau dapat menaikkan perolehan minyak sebanyak 30.19% OIP pada S<sub>or</sub> dibandingkan perolehan minyak terhadap uji "Base Case".

Hasil kajian pemodelan simulasi percobaan *coreflooding* injeksi surfaktan polimer ini dapat digunakan untuk memperkirakan kinerja reservoir pada skala lapangan dengan cara melakukan *upscale* dari hasil pemodelan uji laboratorium tersebut.

#### DAFTAR SIMBOL

IFT = *interfacial tension*, dyne/cm

PV = *pore volume*, cm<sup>3</sup>

S<sub>w</sub> = saturasi air,%

S<sub>or</sub> = saturasi minyak tersisa (*residual oil saturation*),%

OIP = *oil in place*, cm<sup>3</sup>

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan banyak terima kasih terutama kepada Bapak Fakhriyadi Saptono atas bantuan teknis dan saran yang diberikan selama penelitian ini berlangsung.

## KEPUSTAKAAN

- Aladasani, A., and Bai, B., 2010,** "Recent Development and Updated Screening Criteria of Enhanced Oil Recovery Techniques", SPE 130726, pp:1-24.
- AlSofi, A.M., Liu, S. Jim., and Han, Ming, 2012,** "Numerical Simulation of Surfactant-Polymer Coreflooding Experiments for Carbonate", paper SPE 154659 presented at SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia held in Muscat, Oman.
- Battistutta, E., Zitha, P.L.J, 2015,** "Alkaline Surfactant Polymer (ASP) Flooding of Crude Oil at Under Optimum Salinity Conditions". SPE Enhanced Oil Recovery Conference in Kuala Lumpur, Malaysia, SPE-174666-MS.
- Han, M., Fuseni, A., Zahrani, B., Wang, J. 2014,** "Laboratory Study on Polymers for Chemical Flooding", SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia in Muscat, Oman, SPE-169724-MS.
- She, J. J., 2013,** "A comprehensive review of alkaline-surfactant-polymer (ASP) flooding". SPE Western Regional & AAPG Pacific Section meeting, SPE-165358.
- Sheng, J.J., Leonhardt, B., Azri, N., 2015,** "Status of Polymer-Flooding Technology", paper (SPE 174541), Journal of Canadian Petroleum Technology.
- Shiran, B.S and Skauge, A., 2015,** " Wettability and Oil Recovery by Polymer and Polymer Particles", SPE Enhanced Oil Recovery Conference in Kuala Lumpur, SPE-174568-MS.
- Tutorial, 2013,** "Chemical EOR Simulation Course Using Builder, STARS & CMOST, V.2013.11, Computer Modeling Group Ltd, Calgary, Canada, 2013.
- User Guide STARS, 2015,** "Advanced Process and Thermal Reservoir Simulator" Version. 2015, Computer Modeling Group Ltd, Calgary, Canada.
- Wang, J., Han, M., Fuseni, A.B., et al., 2015,** "Surfactant adsorption in surfactant-polymer flooding". SPE 172700 presented at the SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference, Manama, 2015.
- Wu, X., Han, M., Zahrani, B. Hasan., Guo, Lijuan, 2015,** "Effect of Surfactant Polymer Interaction Properties for Chemical EOR", SPE Middle East Oil & Gas Show and Conference in Manama, Bahrain, SPE-172706-MS, 2015.