

Injeksi Surfaktan Polimer dengan Pola *Quartered Five Spot* pada Reservoir Minyak

Edward ML Tobing

Peneliti Madya pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

Teregistrasi I Tanggal 27 Mei 2011; Diterima setelah perbaikan tanggal 28 Juli 2011

Disetujui terbit tanggal: 26 Agustus 2011

SARI

Hasil *screening* metoda *Enhanced Oil Recovery* (EOR) pada reservoir minyak "Q" menunjukkan bahwa metoda EOR yang cocok diterapkan adalah injeksi kimia surfaktan-polimer. Uji terhadap air formasi, minyak, surfaktan dan polimer, serta penentuan campuran surfaktan-polimer untuk injeksi pada reservoir tersebut telah dilakukan. Campuran konsentrasi optimum yang diperoleh terdiri atas 0.005% berat surfaktan dan 0.05% berat polimer. Pemodelan simulasi injeksi surfaktan-polimer ke dalam reservoir minyak dengan pola *quartered five spot* telah dilakukan menggunakan simulator injeksi kimia tiga dimensi UTCHEM. Model tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh injeksi surfaktan-polimer tersebut terhadap peningkatan perolehan minyak. Dengan menggunakan konsentrasi surfaktan-polimer tersebut di atas, yang kemudian dinyatakan sebagai *base case* dengan rancangan urutan injeksi terdiri atas 0.65 PV air formasi yang dilanjutkan dengan 0.4 PV Surfaktan-Polimer dan kembali dilakukan injeksi 1.45 PV air formasi, dan menghasilkan kumulatif perolehan minyak sebesar 79.52% OOIP. Berdasarkan model *base case* tersebut, selanjutnya dilakukan uji sensitivitas perolehan minyak terhadap parameter volume kumulatif injeksi air dan surfaktan-polimer, konsentrasi surfaktan dan polimer. Dari hasil uji sensitivitas, kemudian dipilih dari ketiga parameter tersebut yang optimum dan menghasilkan kumulatif perolehan minyak sebesar 85.1% OOIP.

Kata kunci : injeksi surfaktan polimer, *quartered five spot*

ABSTRACT

Screening Enhanced Oil Recovery (EOR) method test results show that the best method for oil reservoir "Q" is surfactant polymer injection. Analysis of water, oil, surfactant, and polymer were performed as well as determination of the injected surfactant-polymer mixture. The optimum mixture concentration contained 0.005 percentage of surfactant and 0.05 percentage of polymer. Simulation model of surfactant-polymer injection with quartered inverted five spot pattern has been developed by using 3-Dimension chemical injection UTCHEM simulator prior to investigate effect of surfactant-polymer injection to the oil recovery. By using optimum mixture concentration as base case, the procedure of injection has been designed as following sequence, at first inject with 0.65 PV formation water then continue with 0.4 PV surfactant polymer, finally inject with 1.45 PV water formation resulted cumulative oil recovery valued 79.52% of OOIP. Based on base case model, sensitivity tests regarding oil recovery were run three parameters which were toward cumulative volume water and surfactant-polymer injection, surfactant concentration and also polymer concentration. The results show the optimum three parameters that produced cumulative oil recovery value at 85.1 % OOIP.

Keywords : surfaktan polimer injection, *quartered five spot*

I. PENDAHULUAN

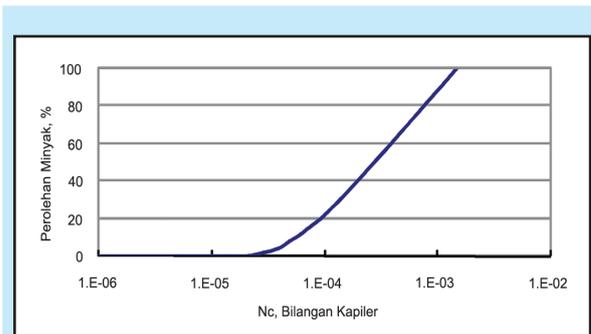
Setelah proses injeksi air secara konvensional berlangsung, sisa minyak yang ada di dalam reservoir kurang lebih sebanyak 70 % dari awal isi minyak¹⁾. Sisa minyak tersebut tertinggal dalam fasa diskontinyu dalam bentuk tetes-tetes minyak yang terperangkap atau terjebak karena adanya gaya kapiler. Metoda *Enhanced Oil Recovery* (EOR) injeksi surfaktan-polimer telah terbukti efektif menurunkan saturasi minyak tersisa dalam skala percobaan di laboratorium maupun skala proyek di lapangan dengan cara menurunkan tegangan antar muka dan perbandingan mobilitas antara fase minyak dan air. Dari beberapa uji pilot yang telah dilaporkan menunjukkan bahwa perolehan minyak mencapai lebih dari 60 % dari awal isi minyak¹⁾.

Surfaktan dapat menurunkan tegangan antar muka antara air formasi dan minyak tersisa sehingga dapat menaikkan bilangan kapiler. Bilangan kapiler (N_c) digunakan untuk menyatakan peran gaya yang bekerja dalam tetes minyak yang terperangkap dalam media berpori. N_c merupakan fungsi dari kecepatan interstitial (v) untuk bergerak dalam fase terjebak, viskositas (μ) dari fase bergerak, dan tegangan antar

muka (σ) antara fase bergerak dan fase minyak yang terjebak. Persamaan (1) di bawah ini menunjukkan hubungan antara kecepatan Darcy, viskositas dan tegangan antar muka dan sudut kontak terhadap Bilangan Kapiler.

$$N_c = \frac{v\mu}{\sigma} \dots\dots\dots (1)$$

Bilangan kapiler mempunyai harga sekitar 10^{-6} yang didapat setelah selesai injeksi air dan bilangan



Gambar 1
Plot Perolehan Minyak terhadap Bilangan Kapiler

Tabel 1
Hasil Screening EOR Injeksi Surfaktan-Polimer pada Reservoir “Q”

No.	Karakteristik Fluida dan Batuan Reservoir			Kriteria Penyaringan Metoda Surfaktan Polimer	Keterangan
1.	Gravity Minyak	°API	45.6	>20 ↗ <u>35</u> ↗	Memadai untuk Injeksi Surfaktan Polimer
2.	Viskositas Minyak	cp	1.25	<35 ↘ <u>13</u> ↘	
3.	Saturasi Minyak	%	85.3	>35 ↗ <u>53</u> ↗	
4.	Jenis Formasi		SS	Disukai SS	
5.	Permeabilitas rata-rata	mD	451.0	>10 ↗ <u>450</u> ↗	
6.	Kedalaman	ft, ss	6197.2	<9,000 ↘ <u>3250</u>	
7.	Suhu Reservoir	°F	156.2	<200 ↘ <u>80</u>	
8.	Tekanan Reservoir	psig	3771.0		
9.	Porositas rata-rata	%	33.3		
10.	Saturasi air rata-rata	%	14.7		

↗ = Disarankan untuk harga karakteristik reservoir yang lebih tinggi
 ↘ = Disarankan untuk harga karakteristik reservoir yang lebih rendah
35 = Harga rata-rata karakteristik reservoir yang digunakan

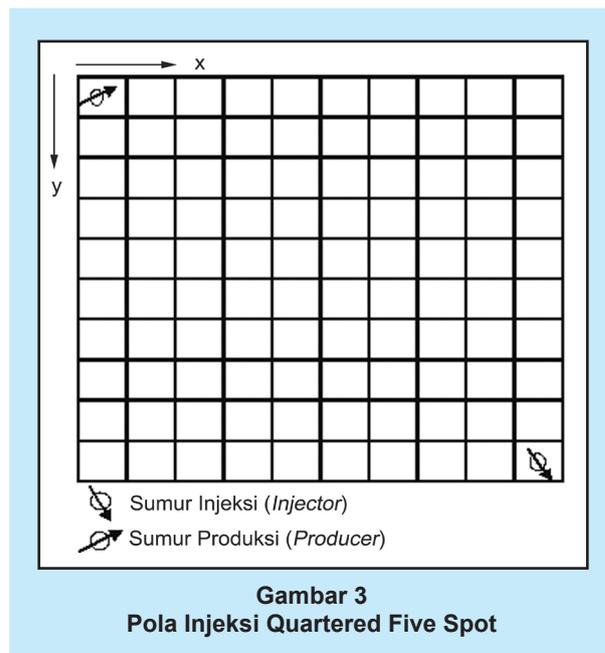
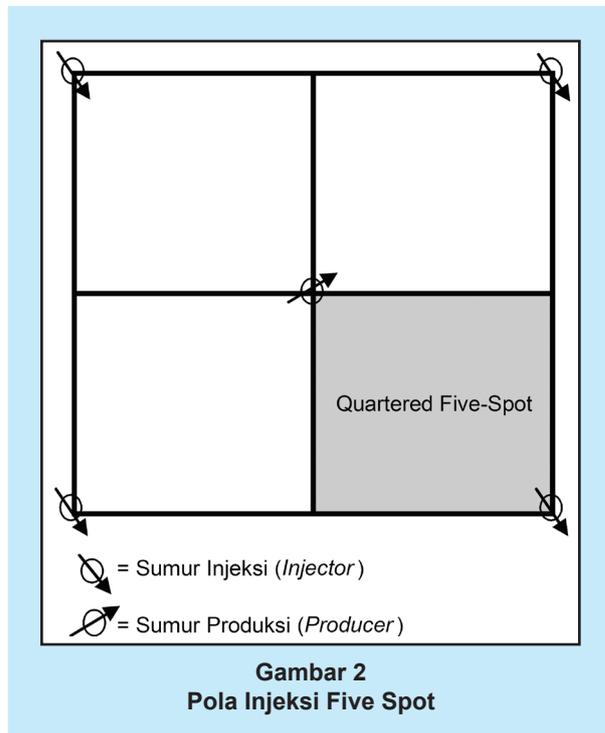
ini minimal dua atau tiga kali lipat diperlukan agar dapat meningkatkan efisiensi pendesakan minyak. Tegangan antar muka antara minyak dan air selama injeksi air berlangsung berkisar antara 1 sampai 10 mN/m. Menggunakan surfaktan yang memadai dapat menurunkan tegangan antar muka hingga 10^{-2} mN/m atau lebih kecil, sehingga menghasilkan peningkatan bilangan kapiler sekitar dua atau tiga kalinya. Plot perolehan minyak terhadap bilangan kapiler dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada proses injeksi surfaktan-polimer, surfaktan berperan untuk menurunkan tegangan antar muka antara fase minyak dan air sampai pada tingkat yang dapat meningkatkan mobilitas minyak yang terperangkap. Sedangkan peran polimer adalah untuk menaikkan viskositas fluida pendesak, menurunkan perbandingan mobilitas antara fluida pendesak dan fluida yang didesak sehingga akan memperbaiki efisiensi penyapuan volumetrik. Dalam merancang proses injeksi surfaktan polimer harus dicapai tiga tujuan utama yaitu: penyebaran bahan kimia, jumlah bahan kimia injeksi yang cukup, dan tercapai penyapuan maksimal dari daerah yang menjadi sasaran. Tercapainya tujuan tersebut dipengaruhi oleh pemilihan bahan kimia, konsentrasi larutan surfaktan polimer, dan ukuran slug. Penerapan injeksi surfaktan-polimer di lapangan minyak jumlahnya semakin bertambah karena memberi sumbangan dalam peningkatan perolehan minyak.

Penelitian ini meliputi: (1) *screening* metoda EOR terhadap reservoir "Q", (2) uji laboratorium terhadap fluida reservoir (minyak dan air formasi), surfaktan -polimer yang akan digunakan dan (3) pemodelan numerik injeksi kimia menggunakan simulator (UTCHEM-9). Dengan simulator tersebut dilakukan simulasi injeksi surfaktan polimer pada skala pilot dengan pola injeksi sumur *quartered five spot*. Selanjutnya dilakukan uji sensitivitas terhadap kumulatif injeksi serta konsentrasi surfaktan-polimer untuk mendapatkan desain fluida yang optimal.

II. SCREENING METODA EOR UNTUK RESERVOIR "Q"

Screening metoda EOR pada reservoir "Q" dilakukan dengan cara membandingkan data karakteristik fluida dan batuan reservoir terhadap kriteria penyaringan metode EOR yang dikembangkan oleh J.J Taber dan F.D Martin²⁾. Karakteristik fluida dan batuan reservoir yang digunakan sebagai



parameter pembanding adalah °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 "Q" ditampilkan pada Tabel 1. Data ini dibandingkan dengan parameter screening kriteria yang dikembangkan oleh J.J Taber dan F.D Martin.

Berdasarkan uji screening tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa pada reservoir "Q" memadai untuk diterapkan metoda injeksi kimia surfaktan polimer.

III. UJI LABORATORIUM FLUIDA INJEKSI SURFAKTAN POLIMER

Tujuan dilakukan uji laboratorium fluida injeksi kimia surfaktan polimer difokuskan pada desain fluida injeksi untuk mendapatkan konsentrasi polimer dan surfaktan yang optimum supaya dapat menaikkan mobilitas fluida injeksi serta menurunkan tegangan antar muka (*interfacial tension, IFT*) antara fluida injeksi dan minyak, sehingga dapat meningkatkan perolehan minyak pada tahap *tertier recovery*. Disamping itu, uji laboratorium ini juga untuk memperoleh parameter dasar dari fluida reservoir "Q" dan fluida injeksi. Tegangan antar muka minyak dan air 1.477 dyne/cm, serta viskositas air dan minyak pada suhu reservoir 156.2 °F, masing-masing 0.42 cp dan 1.25 cp. Salinitas air formasi 0.627 meq/ml yang didominasi oleh kandungan *Chloride* dan *Kalsium*. Sedangkan densitas air formasi 0.4368 psi/ft. Surfaktan yang dilarutkan dalam air formasi dengan konsentrasi 0.005 % berat atau sama dengan 50 ppm dengan densitas 0.433 psi/ft, membentuk fase air-mikroemulsi dan minyak-mikroemulsi, yang masing-masing harga tegangan antar muka pada suhu reservoir 0.007 dyne/cm dan 0.1 dyne/cm. Polimer yang dilarutkan dalam air formasi dengan konsentrasi 0.05 % berat atau sama dengan 500 ppm, diperoleh harga viskositas pada suhu reservoir 1.8429 cp.

IV. SIMULASI RESERVOIR INJEKSI SURFAKTAN POLIMER

Untuk memodelkan kondisi dinamik suatu reservoir dapat digunakan simulator numerik reservoir. Dalam kajian ini simulator yang digunakan adalah UTCHEM-9.82 yang merupakan simulator injeksi kimia tiga dimensi (3-D), dan dapat diaplikasikan untuk multikomponen (air, minyak, Surfaktan, Polimer, Anion Chloride, Kation divalen : Ca^{++} , Kation divalen : Mg^{++} , Karbonat, Sodium, Ion hydrogen, Oil acid) dan multi fase (air, minyak dan mikroemulsi). Model ini dikembangkan berdasarkan model komposisional yang memperhitungkan berbagai sifat fase yang kompleks, perubahan sifat fisik dan kimia serta keberagaman sifat media berpori. Skema solusi yang digunakan adalah: parameter tekanan dipecahkan secara implisit dan parameter konsentrasi dan saturasi dipecahkan secara eksplisit.

Pada simulator ini, persamaan aliran dan perpindahan massa dijabarkan dalam bentuk berbagai macam zat kimia (air, zat-zat organik, surfaktan, alkohol, polimer, chloride, calcium, elektrolit, zat microbiological, penerima elektron, dst). Zat-zat tersebut dapat berwujud menjadi 4 fase (gas, air, minyak, dan mikroemulsi) dan juga dalam wujud padat, tergantung dari komposisi penyusunnya. Interaksi surfaktan polimer dimodelkan dengan menggunakan reaksi *in situ generated* surfaktan, pengendapan dan *dissolution* mineral, perpindahan kation pada mineral lempung dan micelle, serta adsorpsi secara kimiawi. Selain itu juga turut diperhitungkan adalah model reaksi kimia, keheterogenan karakteristik batuan serta reservoir hidrokarbon yang terdiri dari fase ganda.

A. Injeksi Surfaktan Polimer dengan Pola Quartered Five Spot

Injeksi surfaktan polimer pada reservoir minyak dalam skala pilot proyek dimodelkan dengan pola injeksi *five spot* yang berbentuk bujur sangkar, yaitu satu sumur produksi dan empat sumur injeksi dengan luas area 9.0 acre, yang dapat dilihat pada Gambar 2. Ketebalan lapisan sebesar 50 ft dan reservoir dianggap homogen berdasarkan karakteristik batuan reservoir. Untuk dapat menyederhanakan dalam model simulator, maka diambil seperempat dari pola injeksi *five spot* atau disebut *quartered five spot* (Gambar 3), dengan luas 2.25 acre atau 98010 ft² dan dirancang untuk satu sumur injeksi dan satu sumur produksi. Pola ini masing-masing dibagi dalam 10 sel untuk arah sumbu "x" dan sumbu "y" dengan panjang setiap sel sebesar 31.31 ft. Dan pada sumbu "z" terdiri dari 7 lapisan dengan masing-masing lapisan setebal 7.143 ft. Dan dengan demikian jumlah sel model ini adalah 10 x 10 x 7. Puncak reservoir "Q" terdapat pada kedalaman 6197.15 ft bawah permukaan laut, dengan tekanan awal dan saturasi air awal masing-masing sebesar 3771.04 psi dan 14.7 %. Sedangkan awal isi minyak ditempatkan (*Original Oil Inplace, OOIP*) reservoir ini sebesar 247.77 Mbbl.

Berdasarkan model yang dikembangkan, dirancang injeksi surfaktan-polimer sebanyak 2.5 PV (*pore volume*). Injeksi ini dibagi menjadi tiga langkah dimana untuk setiap langkah terdapat perbedaan baik dalam laju injeksi, konsentrasi surfaktan, konsentrasi polimer, dan volume injeksi. Pada langkah – I adalah penginjeksian air. Air yang diinjeksikan adalah air formasi sebanyak 0.65 PV dengan laju injeksi sebesar

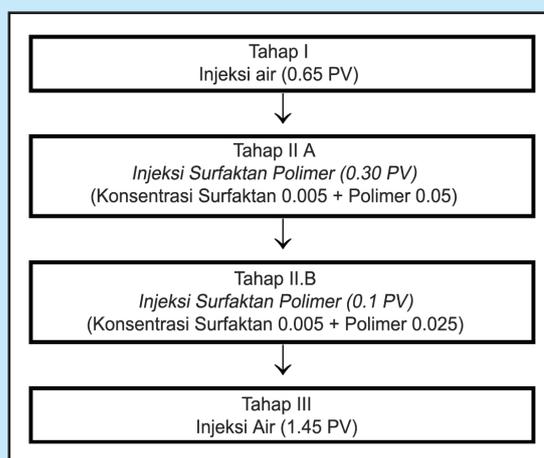
2000 cuft/hari. Tujuan injeksi air formasi ini adalah sebagai *pre-flush* sebelum diinjeksikannya larutan surfaktan-polimer, dan mengetahui perolehan minyak maksimum akibat injeksi air yang merepresentasikan tahap *secondary recovery*.

Selanjutnya pada langkah-II yang terbagi atas langkah – II.A dan II.B adalah penginjeksian air formasi yang telah dicampur dengan surfaktan dan polimer dengan kumulatif volume injeksi surfaktan-polimer sebesar 0.4 PV, dengan rincian berikut ini. Pada langkah – II.A diinjeksikan air formasi yang telah dicampur surfaktan dengan konsentrasi 0.005 % berat (50 ppm) dan polimer dengan konsentrasi 0.05 % berat (500 ppm) sebanyak 0.3 PV, dengan laju alir sebesar 2666.935 cuft/hari. Kemudian pada langkah – II.B diinjeksikan kembali air formasi yang telah dicampur dengan surfaktan dengan konsentrasi yang sama seperti sebelumnya juga yaitu 0.005 % berat (50 ppm) dan polimer dengan konsentrasi yang lebih kecil dari sebelumnya yaitu 0.025 % berat (250 ppm), sebanyak 0.1 PV dengan laju alir sebesar 2666.935 cuft/hari. Langkah-III penginjeksian air formasi tanpa surfaktan-polimer, sebanyak 1.45 PV dengan laju alir 2666.935 cuft/hari, sehingga kumulatif volume injeksi dari ketiga langkah diatas sebanyak 2.5 PV. Secara skematik ketiga langkah tersebut dapat dilihat pada Gambar 4, yang selanjutnya disebut sebagai “*Base Case*”. Perolehan minyak dari pemodelan “*Base Case*” ini sebesar 79.52 % OOIP atau sebanyak 197.020 Mbbl selama 713 hari, di mana plot perolehan minyak terhadap volume injeksi dapat dilihat pada Gambar 5.

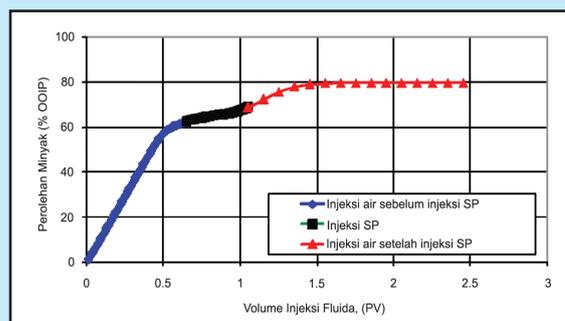
B. Uji Sensitivitas Injeksi Surfaktan Polimer

Uji sensitivitas terhadap beberapa parameter injeksi surfaktan polimer pada model “*Base Case*”, dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh parameter tersebut terhadap perolehan minyak. Uji sensitivitas dapat membantu menentukan skenario optimun yang menghasilkan produksi minyak maksimal. Berdasarkan data pada model “*Base Case*” di atas, maka dikembangkan uji sensitivitas terhadap lima parameter berikut ini:

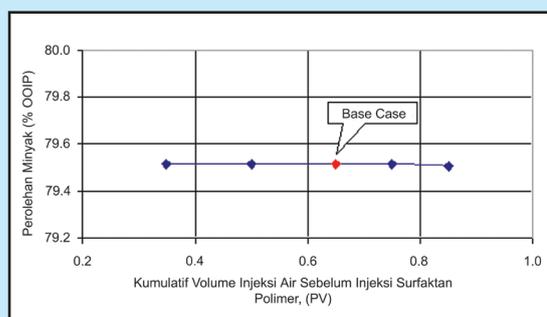
1. Kumulatif volume injeksi air sebelum injeksi surfaktan polimer.
2. Kumulatif volume injeksi surfaktan polimer.
3. Kumulatif volume injeksi air setelah injeksi surfaktan polimer.



Gambar 4
Skema Injeksi Surfaktan Polimer Base Case



Gambar 5
Perolehan Minyak terhadap Volume Injeksi (Base Case)



Gambar 6
Perolehan Minyak terhadap Kumulatif Volume Injeksi Air sebelum Injeksi Surfaktan Polimer

4. Konsentrasi surfaktan, dan
5. Konsentrasi polimer.

1. Kumulatif Volume Injeksi Air sebelum Injeksi Surfaktan Polimer

Dari model "Base Case" menunjukkan bahwa kumulatif volume injeksi air sebelum injeksi surfaktan polimer adalah sebanyak 0.65 PV dengan perolehan minyak sebesar 79.52%. Uji sensitivitas terhadap kumulatif volume air sebelum injeksi surfaktan polimer dilakukan dengan mengubah kumulatif volume injeksi air pada rentang 0.35 PV sampai dengan 0.85 PV, dengan batasan *water cut* tidak melebihi 95%. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan mengurangi atau menambah volume injeksi air sebelum injeksi surfaktan polimer, mempunyai pengaruh yang kecil terhadap perolehan minyak, karena saturasi residual minyak tidak berubah akibat penambahan volume injeksi air. Sehingga didapat volume injeksi air sebelum injeksi surfaktan polimer yang optimum adalah sebesar 0.35 PV dengan total oil recovery sebesar 79.52%. Dengan demikian dapat mengurangi injeksi air sebanyak 0.30 PV dan didapat perolehan minyak yang sama yaitu sebesar 79.52%. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif volume injeksi air ditunjukkan pada Gambar 6.

2. Kumulatif Volume Injeksi Air setelah Injeksi Surfaktan Polimer

Kumulatif volume injeksi air setelah injeksi surfaktan polimer pada model "Base Case" adalah sebanyak 1.45 PV, dengan perolehan minyak sebesar 79.52 %. Uji sensitivitas terhadap kumulatif volume injeksi air setelah injeksi surfaktan polimer, dilakukan perubahan kumulatif volume injeksi air pada rentang 0.0 PV sampai dengan 1.75 PV. Perolehan minyak berdasarkan uji sensitivitas tersebut dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan mengurangi volume injeksi air setelah injeksi SP, mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap perolehan minyak terutama jika volume air injeksi lebih kecil dari 0.6 PV. Volume injeksi air setelah injeksi surfaktan polimer yang optimum adalah sebesar 1.35 PV dengan perolehan minyak sebesar 79.52%, karena pengaruh penyapuan yang optimum pula. Dengan demikian dapat mengurangi injeksi air sebanyak 0.10 PV dan memperoleh perolehan minyak yang sama sebesar 79.52%.

3. Kumulatif Volume Injeksi Surfaktan Polimer

Mengacu pada model "Base Case" kumulatif volume injeksi surfaktan polimer adalah sebanyak

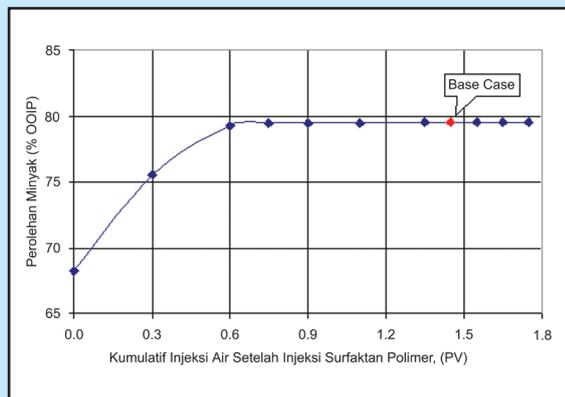
0.40 PV. Uji sensitivitas terhadap kumulatif volume injeksi surfaktan polimer dilakukan perubahan volume injeksi surfaktan polimer pada rentang 0.0 PV sampai dengan 1.20 PV. Plot perolehan minyak terhadap kumulatif volume injeksi surfaktan polimer dapat dilihat pada Gambar 8. Perolehan minyak meningkat sejalan dengan bertambahnya volume injeksi surfaktan polimer karena efektivitas peran surfaktan menurunkan tegangan antar muka dan peran polimer meningkatkan efisiensi penyapuan volumetrik. Volume optimum injeksi surfaktan polimer pada 0.6 PV dengan perolehan minyak sebesar 85.06 %.

4. Konsentrasi Surfaktan

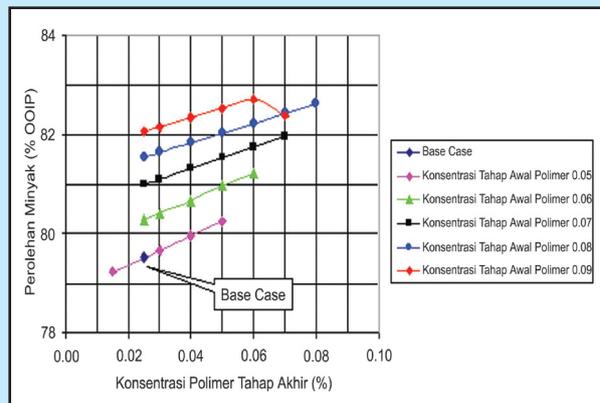
Pada model "Base Case", konsentrasi surfaktan yang digunakan adalah 0.005% berat atau 50 ppm. Pada uji sensitivitas terhadap konsentrasi surfaktan dilakukan perubahan konsentrasi surfaktan pada rentang 0.0 sampai dengan 0.04. Plot perolehan minyak terhadap konsentrasi surfaktan ditunjukkan pada Gambar 9. Perolehan minyak meningkat sejalan dengan bertambahnya konsentrasi surfaktan dan menurunnya harga tegangan antar muka. Konsentrasi optimum surfaktan terletak pada titik belok yaitu sebesar 0.012% berat dengan perolehan minyak sebanyak 85.43%.

5. Konsentrasi Polimer

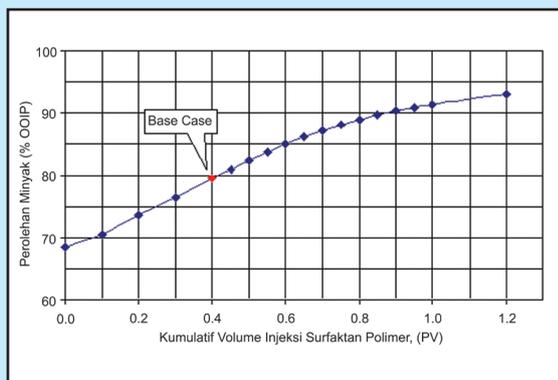
Konsentrasi polimer yang digunakan pada model "Base Case" terdiri dari dua tahap. Tahap pertama konsentrasi polimer adalah sebesar 0.05% berat, dan selanjutnya pada tahap kedua dengan konsentrasi 0.025% berat. Pada uji sensitivitas ini, dilakukan perubahan terhadap konsentrasi polimer. Perubahan konsentrasi polimer tahap pertama pada rentang 0.05 % berat sampai dengan 0.09% berat. Dan perubahan konsentrasi polimer tahap dua pada rentang 0.15 % berat sampai dengan 0.07% berat. Plot perolehan minyak terhadap konsentrasi polimer dapat dilihat pada Gambar 10. Terlihat disini bahwa pada konsentrasi tahap awal polimer sebesar 0.09% berat dan konsentrasi tahap akhir 0.07% berat, perolehan minyak menurun mencapai 82.39% yang menunjukkan efektivitas polimer berkurang akibat partikel polimer yang melebihi lubang pori batuan. Konsentrasi polimer yang optimum dicapai pada tahap awal sebesar 0.08 % berat dan tahap akhir sebesar 0.08% berat, dengan perolehan minyak sebesar 82.62%.



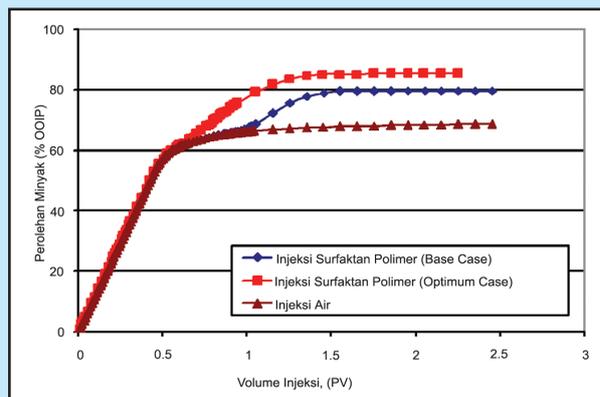
Gambar 7
Perolehan Minyak terhadap Kumulatif Volume Injeksi Air setelah Injeksi Surfaktan Polymer



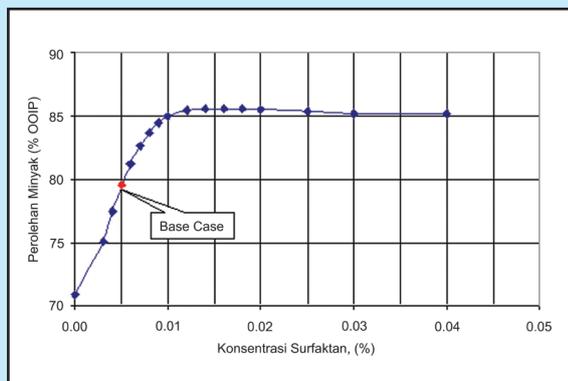
Gambar 10
Perolehan Minyak terhadap Konsentrasi Polymer



Gambar 8
Perolehan Minyak terhadap Kumulatif Volume Injeksi Surfaktan Polymer



Gambar 11
Perolehan Minyak terhadap Volume Injeksi (Optimum Case)



Gambar 9
Perolehan Minyak terhadap Konsentrasi Surfaktan

Tabel 2
Hasil Uji Sensitivitas Pemodelan Injeksi Surfaktan Polymer (*Quartered Five Spot*)

Parameter Uji Sensitivitas	Base Case	Optimum Case
Volume Injeksi Air sebelum Injeksi SP, PV	0.65	0.35
Volume Injeksi Air setelah Injeksi SP, PV	0.4	0.6
Volume Injeksi SP, PV	1.45	1.35
Kumulatif Volume Injeksi, PV	2.5	2.3
Konsentrasi Surfaktan, % berat	0.005	0.012
Konsentrasi Polymer (Tahap-I), % berat	0.05	0.07
Konsentrasi Polymer (Tahap-II), % berat	0.025	0.06
Perolehan Minyak, (% OOIP)	79.52	85.1
Perolehan Minyak, Mbbl	197.02	210.86
Kumulatif waktu Injeksi, hari	712.6	654.35

C. Optimalisasi Uji Sensitivitas Injeksi Surfaktan Polimer

Berdasarkan model “*Base Case*”, perolehan minyak setelah diinjeksikan Surfaktan-Polimer adalah sebesar 79.51% OOIP atau sebesar 197020 BBL. Dari hasil lima uji sensitivitas yang telah dilakukan, maka dipilih 5 parameter optimum yang menghasilkan perolehan minyak maksimum, yang kemudian disebut sebagai “*Optimum Case*”, dan data parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel-2. Hasil run “*Optimum Case*” menunjukkan perolehan minyak sebesar 85.1% atau 210.86 MBbl, selama 654.35 hari. Penambahan perolehan minyak pada “*optimum case*” dibandingkan “*base case*” adalah sebesar 5.58% atau 13.84 MBbl. Plot perolehan minyak terhadap volume injeksi dari “*Optimum Case*” ditunjukkan pada Gambar 11.

V. KESIMPULAN

1. Berdasarkan pemodelan simulasi reservoir quartered five spot dari reservoir “Q” dengan menginjeksikan surfaktan (0.005 % berat) dan polimer (0.05 % berat) pada “*Base Case*”, perolehan minyak sebesar 79.52 % OOIP atau sebanyak 197.02 MBbl, dengan total waktu injeksi selama 712.6 hari.
2. Hasil run pada “*Optimum Case*” menunjukkan perolehan minyak meningkat menjadi 85.1 % OOIP (210.86 MBbl) dengan kumulatif waktu injeksi yang lebih singkat yaitu selama 654.35 hari.

VI. DAFTAR SIMBOL

N_c = Bilangan kapiler

σ = Tegangan permukaan, dyne/cm

v = Darcy velocity, m/s

μ = Viskositas, cp

KEPUSTAKAAN

1. **D.O. Shah**, 1998, “Chemical Flooding : Fundamental Aspects of Surfactant-Polymer Flooding Process”, Departement of Chemical Engineering and Anesthesiology, University of Florida, Gainesville, Florida.
2. **Green W. Don dan Willhite, G. Paul**, 2003, “Enhanced Oil Recovery”, Society of Petroleum Engineers Richardson, Texas, USA.
3. **J.J. Taber, F.D. Martin , R.S. Seright**, 1997, “ EOR Screening Criteria Revisited Part 1 : Introduction to Screening Criteria and Enhanced Oil Recovery Field Projects”, SPE Reservoir Engineering Paper, Mexico, Agust.
4. **Lake, Larry.W.**, 1989, Enhanced Oil Recovery, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1989).
5. **Luis E. Zerpa et al.**, 2004, “An Optimization Methodology of Surfactant-Polymer Flooding Processes Using Field Scale Numerical Simulation and Multiple Surrogates”, paper SPE 89387 presented at the 2004 SPE/DOE Fourteenth Symposium on Improve Oil Recovery held in Tulsa, Oklahoma, USA, 17-21 April.
6. UTCHEM-9.0 A Three-Dimensional Chemical Flood Simulator, Vol. 1 and 2, Reservoir Engineering Research Program, Center for Petroleum and Geosystems Engineering, The University of Texas at Austin, July 2000.