

KAJIAN METODE BUCKLEY LEVERETT UNTUK PREDIKSI PENINGKATAN PEROLEHAN MINYAK DI SUMUR MT-02 LAPANGAN X

Margaretha Marissa Thomas, Siti Nuraeni, Rini Setiati
Jurusan Teknik Perminyakan Universitas Trisakti
E-mail : margaretha_thomas@yahoo.com

Abstrak

Lapangan X adalah lapangan minyak yang terletak di Blok YZ, Provinsi Jawa Timur. Lapangan ini memiliki 24 sumur minyak, salah satunya adalah sumur minyak MT-02. Puncak produksi Lapangan X telah dicapai pada bulan Oktober 2011 dan selanjutnya perolehan minyak terus menurun secara perlahan. Sumur yang juga ikut menurun perolehan minyaknya adalah sumur minyak MT-02. Dengan demikian injeksi air direncanakan untuk dilakukan di sumur minyak MT-02 dalam rangka meningkatkan perolehan minyak di sumur tersebut. Adapun dalam perencanaan injeksi air tersebut digunakan sumur MT-06 sebagai sumur injeksi tunggal. Dalam tugas akhir ini, kajian metode Buckley-Leverett yang merupakan metode prediksi yang klasik dipakai untuk memprediksi peningkatan perolehan minyak pada sumur minyak MT-02. Sebelum dilakukan kajian terlebih dahulu dilakukan perhitungan awal untuk menentukan harga *Recovery Factor* (RF) sebelum injeksi air, sisa cadangan minyak yang dapat diambil dengan injeksi air (*Remaining Reserve* atau RR) dan tekanan serta laju injeksi air yang akan digunakan. Buckley-Leverett membagi prediksi kinerja injeksi air tersebut menjadi 2 periode yaitu periode *prior* hingga *breakthrough* dan periode *after breakthrough*. Dengan menghitung beberapa parameter kinerja injeksi air seperti perbandingan mobilitas, efisiensi penyapuan areal, efisiensi pendesakkan, kumulatif air yang diinjeksikan, kumulatif produksi minyak, kumulatif produksi air, laju produksi minyak, laju produksi air dan *surface water oil ratio* pada kedua periode tersebut maka dapat diprediksi kinerja injeksi air di sumur minyak MT-02. Selanjutnya dengan menggunakan nilai kumulatif produksi minyak hasil perhitungan Buckley Leverett pada kedua periode injeksi maka dapat diprediksikan besarnya peningkatan perolehan minyak dan faktor peningkatan perolehan minyak (*Efficiency RF*) melalui injeksi air pada sumur minyak MT-02. Berdasarkan hasil perhitungan awal, diperoleh harga RF sebelum injeksi air atau *primary RF* sebesar 14 % dari cadangan awal minyak di tempat dan cadangan minyak sisa yang dapat diambil dengan injeksi air sebesar 592,295 MSTB. Dengan menggunakan laju injeksi air sebesar 220 BBL/hari, maka, diprediksikan waktu *breakthrough* adalah 3,9 tahun dan total waktu yang diperlukan sampai injeksi berakhir yaitu 12 tahun terhitung sejak injeksi air dimulai. Adapun dengan perencanaan injeksi air di sumur minyak MT-02 maka prediksi peningkatan perolehan minyak yang diperoleh adalah senilai 278,705 MSTB dengan nilai *Efficiency RF* melalui injeksi air di sumur tersebut sebesar 40,47 % dari cadangan awal minyak di tempat. Selanjutnya, dengan menjumlahkan harga *Primary RF* dengan *Efficiency RF* maka didapatkan harga *Final RF* sebesar 54,47 % yang merupakan keseluruhan faktor perolehan minyak yang diperoleh melalui *primary recovery* dan injeksi air di sumur minyak MT-02.

Kata kunci : Buckley Leverett, metode prediksi, Injeksi air, *waterflooding*, *enhanced oil recovery*, fraksi aliran

Pendahuluan

Dalam memproduksi minyak dari suatu reservoir dengan tenaga dorong alamiahnya (*primary recovery*), seiring dengan bertambahnya waktu produksi, maka produksi minyak dari reservoir tersebut akan semakin berkurang bersamaan dengan semakin turunnya tekanan reservoir. Oleh karena itu perlu dilakukan suatu usaha untuk meningkatkan perolehan minyak yang dapat dilakukan dengan metode *secondary recovery*.

Waterflooding atau injeksi air adalah salah satu metode perolehan minyak tahap kedua yang banyak digunakan dalam industri perminyakan. Dalam sejarahnya, *waterflooding* pertama kali terjadi sebagai suatu hasil dari injeksi air yang tidak disengaja pada daerah Pithole City Pennsylvania di tahun 1865. Pada tahun 1880, John F. Carll menyimpulkan bahwa air tanah

dari lapisan yang lebih dangkal mampu mendorong minyak dari reservoir dan memberi manfaat dalam membantu peningkatan produksi minyak.

Waterflooding merupakan injeksi tak tercampur yang dilakukan dengan menginjeksikan air dari sumur injeksi ke dalam reservoir minyak untuk menambah energi reservoir sehingga didapatkan tambahan perolehan minyak yang bergerak dari reservoir minyak menuju ke sumur produksi. Injeksi air mempunyai banyak keuntungan antara lain air tersedia dalam jumlah yang melimpah, air relatif mudah diinjeksikan, air mampu menyebar melalui formasi *bearing* minyak, dan air lebih efisien dalam mendesak minyak.

Dalam tugas akhir ini, metode Buckley-Leverett dipakai untuk memprediksi peningkatan perolehan minyak dari injeksi air pada sumur minyak MT-02. Lebih khusus, maksud dan tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui hasil kajian metode Buckley-Leverett dalam memprediksi peningkatan perolehan minyak di sumur minyak MT-02 yang meliputi kelakuan produksi pada saat berlangsungnya injeksi yaitu laju produksi minyak (Q_o), laju produksi air (Q_w), kumulatif produksi minyak (N_p), faktor peningkatan perolehan minyak dari injeksi air atau *efficiency recovery factor*, *final recovery factor*, perbandingan produksi air dan minyak (WOR_s) serta waktu *breakthrough*. Berdasarkan perhitungan Buckley-Leverett maka akan diperoleh nilai *Efficiency Recovery Factor* injeksi air yang merupakan besarnya faktor peningkatan perolehan minyak di sumur minyak MT-02 dari injeksi air.

Studi Pustaka

Hingga saat ini injeksi air merupakan salah satu metoda *secondary recovery* yang paling banyak dilakukan di industri perminyakan. Air diinjeksikan ke dalam reservoir untuk mendesak minyak sehingga didapatkan tambahan perolehan minyak yang bergerak dari reservoir minyak menuju ke sumur produksi. Air yang diinjeksikan akan mengalir melalui media berpori dimana alirannya akan dipengaruhi oleh media yang dialirinya..

Persamaan fraksi aliran merupakan persamaan dasar pada proses pendorongan fluida di dalam media berpori untuk menghitung efisiensi pendesakan dan menggambarkan pendesakan *immiscible* (tak tercampur) satu dimensi. Persamaan fraksi aliran menggambarkan fraksi dari air yang mengalir terhadap aliran total fluida dalam reservoir yang linear. Berikut adalah persamaan fraksi aliran :

$$f_w = \frac{1}{1 + \frac{\mu_w k_{ro}}{\mu_o k_{rw}}} \quad (1)$$

Dimana :

f_w : fraksi air yang mengalir di setiap titik batuan, fraksi

k_{ro} : permeabilitas relatif minyak, mD

k_w : permeabilitas efektif air, mD

μ_o : viskositas minyak, cp

μ_w : viskositas air, cp

Persamaan (1) ini diaplikasikan untuk sistem aliran horizontal dan karakteristik permeabilitas relatif minyak dan air yang diberikan batuan, sehingga harga f_w tergantung pada besarnya viskositas minyak dan air serta nilai permeabilitas relatif minyak dan air. Fraksi aliran merupakan fungsi dari saturasi air sepanjang variasi permeabilitas relatif (termasuk permeabilitas minyak dan air di dalamnya). Plot antara fraksi aliran (f_w) terhadap saturasi air (S_w) disebut kurva fraksi aliran (*Fractional Flow Curve*). Kurva fraksi aliran ini biasanya berbentuk kurva S dengan harga saturasi antara S_{wc} hingga $(1 - S_{or})$, dimana fraksi aliran bertambah dari nol sampai satu.

Pada tahun 1942 Buckley-Leverett mengembangkan sebuah pendekatan matematika untuk menjelaskan pendesakan tak tercampur (*immiscible displacement*) dua fasa pada sistem linear. Pendekatan ini dikenal sebagai konsep pendesakan kemajuan front (*frontal advance theory*).

Secara sederhana persamaan Buckley-Leverett dapat ditulis sebagai berikut:

$$x = \frac{5.615 \times q_t \times t}{A \times \Phi} \left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_w} \quad (2)$$

Dimana :

x : jarak dari saturasi, ft

5.615 : faktor konversi, ft³/RB

q_t : laju alir total dalam sistem, RB/Hari

t : waktu selama aliran, hari

Φ : porositas, fraksi

A : luas penampang (jarak antara sumur injeksi – sumur produksi dikali terhadap ketebalan), ft²

$\left(\frac{df_w}{dS_w} \right)_{S_w}$: slope dari kurva fraksional pada nilai tiap saturasi air, fraksi

Persamaan diatas selanjutnya dikembangkan untuk memprediksi kinerja injeksi air.

Asumsi-asumsi yang dikembangkan dari persamaan *frontal advance* (kemajuan *front*) adalah sebagai berikut :

Pendesakan adalah linear : aliran fluida satu arah, model 1 dimensi dengan tidak mempertimbangkan aliran *streamlines*.

Single layer, reservoir homogen (efisiensi penyapuan vertikal = 100 %)

Fluida *incompressible* : kondisi *steady state* dengan perbedaan tekanan konstan antara sumur injeksi dan produksi.

Pendesakan tak tercampur (*immiscible displacement*)

Tekanan kapiler diabaikan

Tidak terjadi *cross flow*

Tidak terdapat saturasi gas bebas di reservoir

Adapun *Buckley-Leverett* membagi peramalan perilaku injeksi air untuk kondisi reservoir *undersaturated* dan tidak ada saturasi gas bebas menjadi dua periode, antara lain :

Periode *prior hingga breakthrough* :

Pada periode ini, air akan mendorong minyak untuk sampai ke sumur produksi. Pada saat *breakthrough*, air telah bergerak sepanjang blok reservoir dimana pada saat ini $X=L$, yaitu panjang dari blok reservoir. Saturasi air pada front $S_{wf} = S_{wBT}$ telah mencapai sumur produksi, demikian juga dengan *water cut* yang meningkat dengan cepat dari nol hingga $f_w = f_{wf}|_{S_{wf}}$.

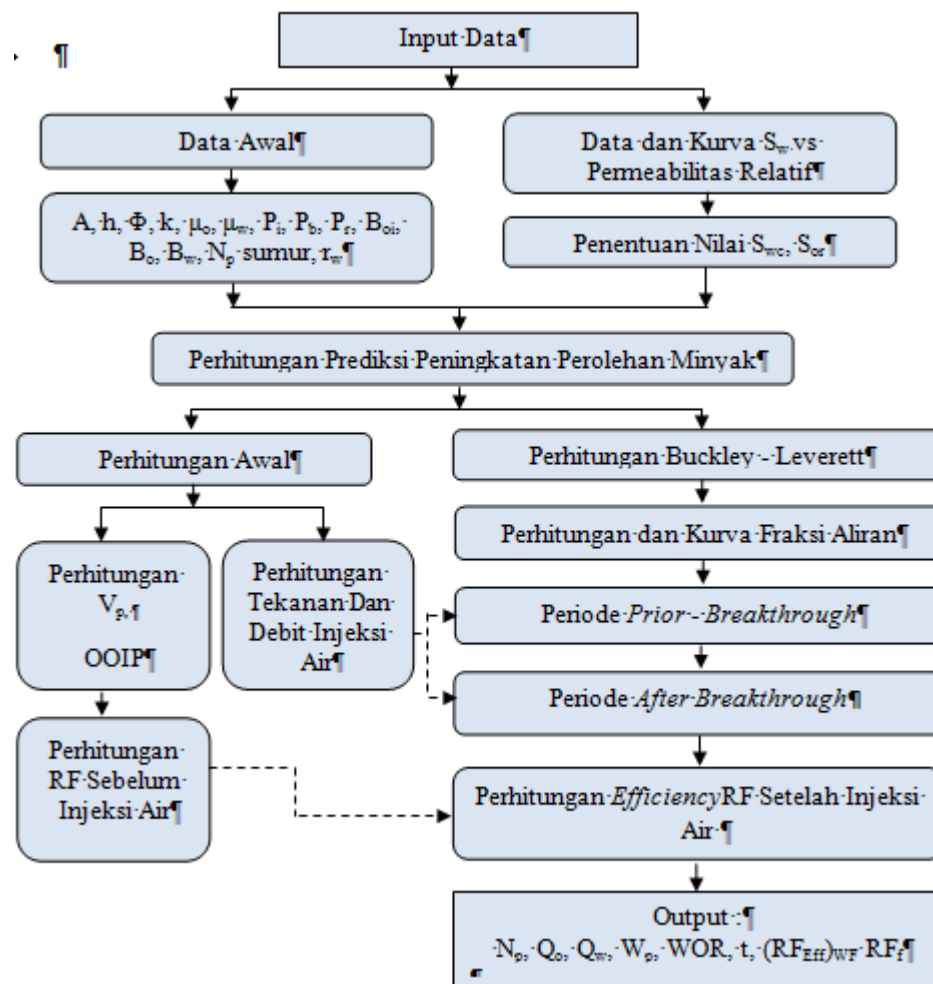
Periode *After breakthrough* :

Welge mengembangkan persamaan yang dibuat oleh Buckley –Leverett untuk memprediksi kinerja injeksi air setelah *breakthrough*. Periode prediksi setelah *breakthrough* tidak jauh berbeda dengan periode prediksi sebelum *breakthrough*. Perbedaan yang pokok dari kedua periode tersebut adalah adanya perubahan saturasi rata-rata air di belakang front (\bar{S}_w) yang harganya akan terus meningkat sesuai dengan bertambahnya waktu sampai dengan

tercapainya saturasi minyak residual (S_{or}). Secara grafik, $\overline{S_w}$ dapat dihitung dengan menggambarkan garis tangensial kurva *fractional flow* pada saat saturasi air S_{w2} . Ekstrapolasi dari garis tangensial hingga $f_w=1$ memberikan harga S_w rata-rata. Pengetahuan saturasi ini akan memberikan *recovery* minyak pada waktu tertentu.

Metodologi Penelitian

Dalam menghitung prediksi peningkatan perolehan minyak di sumur minyak MT-02 digunakan metode prediksi Buckley Leverett. Metode ini mencakup langkah-langkah perhitungan yang sistematis yang berguna untuk mendapatkan hasil perhitungan yang baik. Prosedur perhitungan untuk memprediksi peningkatan perolehan minyak terbagi menjadi dua kelompok yaitu perhitungan awal dan perhitungan Buckley Leverett. Adapun diagram alir prosedur perhitungan peningkatan perolehan minyak di sumur minyak MT-02 ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Perhitungan

Sebelum dilakukan perhitungan Buckley-Leverett, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan awal yang bertujuan untuk menghitung harga *Recovery Factor* sumur minyak MT-02 sebelum injeksi air, cadangan sisa yang dapat diambil dengan injeksi air dan menghitung tekanan serta laju alir air yang akan diinjeksikan (i_w).

Dalam perhitungan yang didasarkan pada konsep Buckley-Leverett dengan metoda pendesakan front diperlukan data permeabilitas relatif dari minyak dan air (k_{ro} dan k_{rw})

karena data permeabilitas relatif ini menyatakan secara langsung sifat karakteristik dari aliran kedua fluida yang mengalir secara serempak di dalam rongga pori-pori batuan reservoir dan harganya akan selalu berubah sesuai dengan perubahan saturasi fluidanya. Berdasarkan data permeabilitas relatif tersebut kemudian dilakukan perhitungan dan pembuatan kurva *fractional flow* sebagai bagian dari perhitungan Buckley Leverett untuk memprediksi kinerja pendesakan injeksi air dalam peningkatan perolehan minyak. Selanjutnya, perhitungan prediksi *Buckley Leverett* dibagi atas dua periode perhitungan yaitu periode *prior* sampai *water breakthrough*, dan periode *after breakthrough*.

Dalam periode *prior* hingga *breakthrough* parameter kinerja injeksi air yang dihitung antara lain perbandingan mobilitas (M), efisiensi penyapuan areal pada saat *breakthrough* (E_{ABT}), kumulatif air yang diinjeksikan pada saat *breakthrough* (W_{iBT}), waktu tercapainya *breakthrough* (t_{BT}), kumulatif produksi minyak (N_p), laju produksi minyak (Q_o), *surface water oil ratio* (WOR_s), laju produksi air (Q_w), dan kumulatif produksi air (W_p). Sedangkan dalam periode *after breakthrough* parameter-parameter kinerja injeksi air yang dihitung tidak jauh berbeda dengan parameter yang dihitung pada periode sebelumnya, antara lain W_i , t , E_A , E_D , N_p , W_p , WOR_s , Q_o , dan Q_w . Parameter-parameter kinerja injeksi air *after breakthrough* diatas dihitung untuk setiap harga S_{w2} setelah *breakthrough* sampai batasan harga S_{w2} sama dengan harga $(1-S_{or})$ yang merupakan akhir dari periode *after breakthrough* dan sekaligus akhir dari periode injeksi air itu sendiri.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh harga cadangan awal minyak di tempat (OOIP) Lapangan X sebesar 688,661 MSTB. RF sebelum injeksi air senilai 14 % dari cadangan awal minyak di tempat, sehingga jumlah cadangan minyak sisa yang masih dapat diambil melalui injeksi air sebesar 592,295 MSTB. Selanjutnya, dengan terlebih dahulu menghitung harga tekanan injeksi maka diperoleh nilai laju injeksi air yang akan digunakan sebesar 220 BBL per hari dengan tekanan injeksi sebesar 2084,7 Psia.

Adapun berdasarkan analisa kualitatif pada kurva *fractional flow* yang terdapat pada gambar 2 diperoleh hasil bahwa reservoir Lapangan X memiliki harga S_{wBT} senilai 0,62 pada saat f_{wBT} bernilai 0,83 dengan S_{wBT} sebesar 0,68.

Periode pertama dalam prediksi Buckley Leverett adalah periode *prior* hingga *breakthrough*. Pada periode ini air akan mendorong minyak untuk sampai ke sumur produksi, dan pada saat *breakthrough* air akan terproduksi kembali melalui sumur produksi yaitu sumur minyak MT-02. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh harga *mobility ratio* (M) senilai 3,2 yang menunjukkan bahwa pada injeksi air, mobilitas air lebih besar dari mobilitas minyak sehingga penyapuan minyak kurang menguntungkan. Hal ini terlihat juga dari nilai efisiensi penyapuan areal saat *breakthrough* (E_{ABT}) yang rendah yaitu sebesar 0,55. Harga efisiensi penyapuan areal yang rendah tersebut memberikan arti bahwa dengan harga *mobility ratio* yang besar maka hanya sebagian areal reservoir saja yang tersapu oleh air pada saat *breakthrough*. Dengan harga perbandingan mobilitas yang besar tersebut maka kondisi *breakthrough* dicapai dalam waktu 3,9 tahun. Pada saat *breakthrough* tersebut kumulatif air yang diinjeksikan sebesar 311,642 MBBL. Pada kondisi *prior*, kumulatif minyak yang didesak terus bertambah hingga kondisi *breakthrough*, dimana pada saat *breakthrough* menghasilkan kumulatif produksi minyak sebesar 189,218 MSTB. Untuk kondisi *prior*, laju alir minyak bernilai konstan yaitu sebesar 133,58 BBL per hari dan pada saat *breakthrough* laju alir minyak tersebut turun menjadi 68,95 BBL per hari. Adapun pada kondisi *prior* belum ada air yang terproduksi sehingga harga laju produksi air sama dengan nol, sedangkan pada saat *breakthrough* air sudah terproduksi kembali melalui sumur produksi sehingga nilai laju produksi air sebesar 100,9 STB per hari. Perbandingan laju produksi air dan laju produksi minyak pada saat *breakthrough* tersebut memberikan harga *surface water oil ratio* sebesar 1,5. Pada saat *breakthrough* kumulatif air yang terproduksi bernilai sama dengan 989 STB.

Setelah terjadi kondisi *breakthrough*, maka harga S_{w2}) dan \bar{S}_w terus meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa injeksi air telah memasuki periode *after breakthrough*. Berdasarkan hasil perhitungan diprediksikan bahwa total waktu yang dibutuhkan sampai akhir periode injeksi air adalah selama 12 tahun terhitung sejak dimulainya injeksi air, dimana kumulatif air yang diinjeksikan sampai dengan akhir periode tersebut sebesar 987,857 MBBL. Harga efisiensi penyapuan areal (E_A) *after breakthrough* terus meningkat dari 0,729 hingga mencapai 0,869 pada akhir periode injeksi. Begitu pula dengan harga efisiensi pendesakkan (E_D) setelah *breakthrough* yang terus meningkat dari 0,5234 hingga mencapai harga 0,5415 pada akhir periode injeksi. Adapun kumulatif produksi minyak (N_p) yang diprediksikan terus meningkat dan pada akhir periode injeksi N_p yang dihasilkan sebesar 278,705 MSTB. Hal yang sama terjadi pula dengan kumulatif produksi air (W_p) dimana harga W_p diprediksikan terus meningkat dan pada akhir periode injeksi W_p yang dihasilkan sebesar 449,515 MSTB. Sedangkan untuk laju produksi minyak (Q_o) terus menurun hingga harga 15 STB per hari pada akhir periode injeksi air. Hal yang sebaliknya terjadi pada laju produksi air (Q_w) dimana harga Q_w terus meningkat hingga mencapai harga 186 STB per hari pada akhir periode injeksi air. Adapun kelakuan parameter *surface water oil ratio* (WOR_s) tidak berbeda dengan kelakuan laju produksi air (Q_w) dimana harga WOR_s terus meningkat dan mencapai harga 12,8 pada akhir periode injeksi air.

Adapun dari hasil perhitungan diperoleh bahwa seiring bertambahnya waktu injeksi maka harga kumulatif produksi minyak dan harga *efficiency recovery factor* juga terus mengalami peningkatan sejak awal hingga akhir periode injeksi. Adapun sampai dengan akhir periode injeksi diperoleh besarnya peningkatan perolehan minyak di sumur minyak MT-02 senilai 278,705 MSTB atau sebesar 40,47 % dari cadangan awal minyak di tempat. Harga 40,47 % tersebut merupakan nilai *efficiency recovery factor* atau faktor peningkatan perolehan minyak dari injeksi air di sumur MT-02. Selanjutnya, dengan menjumlahkan harga faktor perolehan sebelum injeksi air ($RF_{Primary}$) dengan *efficiency recovery factor* ($(RF_{Eff})_{WF}$) maka didapatkan harga *final recovery factor* (RF_f) sebesar 54,47 % yang merupakan keseluruhan faktor perolehan minyak yang diperoleh melalui *primary recovery* dan injeksi air di sumur minyak MT-02.

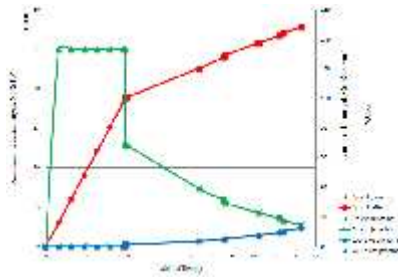
Berikut adalah tabel dan gambar yang memperlihatkan hasil kajian metode Buckley Leverett untuk memprediksi peningkatan perolehan minyak di sumur MT-02.

Tabel 1. Rangkuman Hasil Prediksi Kinerja Injeksi Air Periode *Prior – Breakthrough*

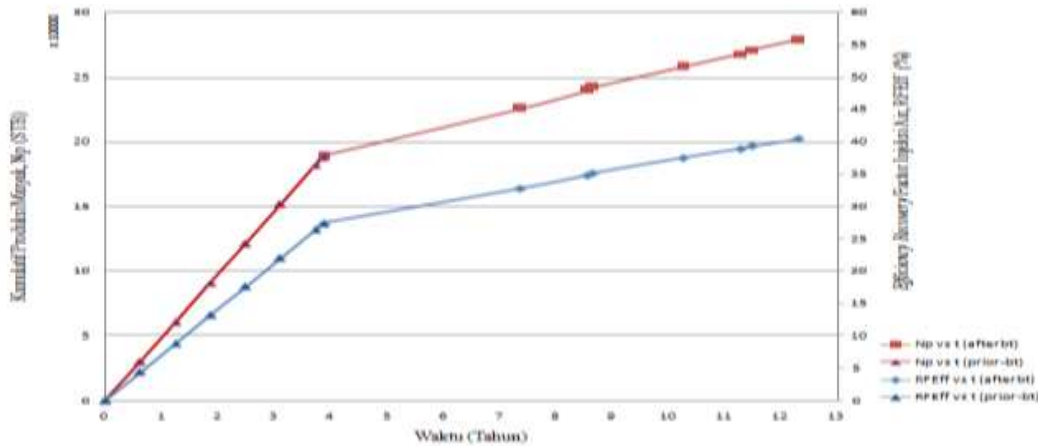
N_i	t	N_p	Q_o	WOR_s	Q_w	W_p	$(RF_{Eff})_{WF}$	RF
M BBL	Tahun	M STB	STB/Hari		STB/Hari	STB	%	%
0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0,52	50,560	133,55	0	0	0	4,61	10,4
100	1,26	101,116	133,55	0	0	0	8,82	22,82
150	1,97	151,675	133,55	0	0	0	13,22	27,22
200	2,7	202,235	133,55	0	0	0	17,63	31,63
250	3,41	252,794	133,55	0	0	0	22,04	36,04
300	4,14	303,353	133,55	0	0	0	26,45	40,45
350	4,87	353,912	133,55	1,5	100,34	988	27,66	45,66

Tabel 2. Rangkuman Hasil Prediksi Kinerja Injeksi Air Periode *After Breakthrough*

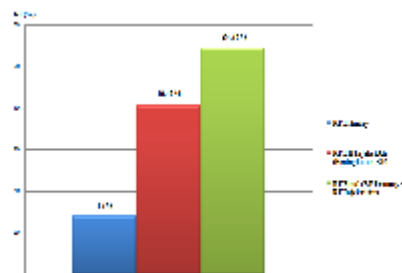
N_i	t	N_p	Q_o	WOR_s	Q_w	W_p	$(RF_{Eff})_{WF}$	RF
M BBL	Tahun	M STB	STB/Hari		STB/Hari	STB	%	%
211,543	5,9	404,858	68,21	2,06	1,5	56,58	12	27,48
322,719	7,4	516,024	54,72	15,284	2,94	23	14	32,38
433,895	8,8	627,190	41,23	27,567	5,3	34	19	34,28
545,071	10,3	738,356	27,74	39,850	7,7	57	18	39,17
656,247	11,8	849,522	14,25	52,133	10,1	80	17	41,06
767,423	13,3	960,688	7,76	64,416	12,5	103	16	42,95
878,599	14,8	1071,854	4,27	76,699	14,9	126	15	44,84
989,775	16,3	1183,020	0,78	88,982	17,3	149	14	46,73
1100,951	17,8	1294,186	0,29	101,265	19,7	172	13	48,62
1212,127	19,3	1405,352	0,00	113,548	22,1	195	12	50,51
1323,303	20,8	1516,518	0,00	125,831	24,5	218	11	52,40
1434,479	22,3	1627,684	0,00	138,114	26,9	241	10	54,29
1545,655	23,8	1738,850	0,00	150,397	29,3	264	9	56,18



Gambar 2. Grafik Hubungan N_p , Q_o , WOR_s Terhadap Waktu Injeksi Air Di Sumur Minyak MT-02



Gambar 3. Grafik Hubungan N_p , $(RF_{Eff})_{WF}$ Terhadap Waktu Injeksi Air Di Sumur Minyak MT-02



Gambar 4. Grafik Faktor Peningkatan Perolehan Minyak Di Sumur Minyak MT-02

Kesimpulan

Setelah melakukan kajian metode Buckley Leverett maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

Berdasarkan hasil perhitungan awal diperoleh :

Harga *recovery factor* sebelum injeksi air atau *recovery factor primary* sumur minyak MT-02 adalah sebesar 14 % dari cadangan awal minyak di tempat.

Cadangan minyak sisa atau *remaining reserve* yang dapat diambil dengan injeksi air adalah sebesar 592,295 MSTB.

Laju injeksi air yang digunakan adalah sebesar 220 BBL/hari dengan tekanan injeksi sebesar 2804,7 Psia.

Hasil prediksi kinerja injeksi air berdasarkan perhitungan Buckley Leverett untuk periode *prior* hingga *breakthrough* adalah :

Harga perbandingan mobilitas pada saat *breakthrough* sebesar 3,2 sehingga memberikan harga efisiensi penyapuan areal pada saat *breakthrough* sebesar 0,55. Nilai perbandingan mobilitas yang besar dan efisiensi penyapuan areal yang kecil kurang menguntungkan dalam proses penyapuan minyak.

Kumulatif air yang diinjeksikan pada saat *breakthrough* sebesar 311,643 MBBL dimana waktu *breakthrough* dicapai dalam 3,9 tahun.

Kumulatif produksi minyak pada saat *breakthrough* sebesar 189,218 MSTB dengan laju produksi minyak saat *breakthrough* sebesar 68,95 STB/hari.

Kumulatif air yang terproduksi pada saat *breakthrough* sebesar 989 STB dengan laju produksi air saat *breakthrough* senilai 100,9 STB/hari.

Surface water-oil ratio pada saat *breakthrough* adalah sebesar 1,5.

Hasil prediksi kinerja injeksi air berdasarkan perhitungan Buckley Leverett untuk periode *after breakthrough* adalah :

Pada akhir periode *after breakthrough* atau akhir periode injeksi air, harga efisiensi penyapuan areal sebesar 0,869 dengan harga efisiensi pendesakan senilai 0,5415.

Kumulatif air yang diinjeksikan sampai dengan berakhirnya periode *after breakthrough* adalah 987,859 MBBL dimana total waktu yang dibutuhkan sampai dengan berakhirnya periode injeksi air adalah selama 12 tahun terhitung sejak injeksi air dimulai.

Kumulatif produksi minyak pada akhir periode injeksi sebesar 278,705 MSTB dengan laju produksi minyak pada saat tersebut sebesar 15 STB/hari.

Kumulatif air yang terproduksi pada akhir periode injeksi sebesar 449,515 MSTB dengan laju produksi air pada saat tersebut senilai 186 STB/hari.

Surface water-oil ratio pada saat akhir periode injeksi air adalah sebesar 12,8.

Melalui injeksi air diperoleh peningkatan perolehan minyak di sumur minyak MT-02 sebesar 278,705 MSTB sehingga *efisiensi recovery* atau faktor peningkatan perolehan minyak di sumur tersebut sebesar 40,47 % terhadap cadangan awal minyak di tempat.

Keseluruhan faktor perolehan minyak dari *primary recovery* dan injeksi air atau *final recovery factor* di sumur minyak MT-02 adalah sebesar 54,47 %

Daftar Simbol

E_A	=	Effisiensi penyapuan areal, fraksi
E_{ABT}	=	Effisiensi penyapuan areal saat <i>breakthrough</i> , fraksi
E_D	=	Efisiensi pendesakan, fraksi
f_w	=	Fraksi aliran air, fraksi
d_{fw}/d_{sw}	=	Turunan fraksi aliran saat <i>breakthrough</i>
I_w	=	Laju injeksi air, BBL/Hari
M	=	<i>Mobilityratio, dimensionless</i>
N_p	=	Kumulatif produksi minyak, STB
$OOIP$	=	<i>Original Oil In Place</i> , STB
P_{in}	=	Tekanan injeksi, Psia
Q_o	=	Laju produksi minyak, BBL/Hari
Q_w	=	Laju produksi air, BBL/hari
$R_{E_{ffWF}}$	=	Efisiensi <i>Recovery Factor</i> , injeksi air, %
RF	=	<i>Recovery Factor</i> , %
RF_f	=	<i>Final Recovery Factor</i> injeksi air, %
S_{or}	=	Saturasi minyak residual, fraksi
S_w	=	Saturasi air, fraksi

S_{wBT}	=	Saturasi air rata-rata saat <i>breakthrough</i> , fraksi
S_{wc}	=	Saturasi air <i>connate</i> , fraksi
S_{wf}	=	Saturasi air saat di belakang <i>flood front</i> , fraksi
S_{wi}	=	Saturasi air mula-mula, fraksi
t	=	Waktu injeksi, Hari
t_{BT}	=	Waktu <i>breakthrough</i> , Hari
W_i	=	Kumulatif air yang diinjeksikan, BBL
W_p	=	Kumulatif air yang diproduksi, STB
WOR_s	=	<i>Surface Water- Oil Ratio, dimensionless</i>
ϕ	=	Porositas, fraksi

Daftar Pustaka

Ahmed, Tarek, 2001 "Reservoir Engineering Handbook", Publishing Company, Houston, Texas.

Craft B.C, dan Hawkins M.P., 1959, "Applied Petroleum Reservoir Engineering", Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.

Dake, L. P., 1978. "Fundamentals Of Reservoir Engineering", Elsevier science B. V., Amsterdam.

Green dan Willhite, 1998, "Enhanced Oil Recovery", SPE Textbook Series, Texas.

Higgins, R. V., "Application Of Buckley Leverett Techniques In Oil Reservoir Analysis", U. S. Dept. Of Interior – Bureau Of Mines, Washington.

Willhite, G. Paul., 1986, "Waterflooding", University of Kansas.