

**PENGEMBANGAN METODE SIMULASI RESERVOIR
UNTUK *MICROBIAL ENHANCED OIL RECOVERY*
MENGUNAKAN DATA LABORATORIUM**

TESIS

Karya tulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Magister dari
Institut Teknologi Bandung

Oleh:

LASKARY ANDALY METAL BITTICACA

NIM: 222 10 074

Program Studi Teknik Perminyakan



INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

2013

**PENGEMBANGAN METODE SIMULASI RESERVOIR
UNTUK *MICROBIAL ENHANCED OIL RECOVERY*
MENGUNAKAN DATA LABORATORIUM**

TESIS

Oleh

LASKARY ANDALY METAL BITTICACA

NIM: 222 10 074

Program Studi Teknik Perminyakan
Institut Teknologi Bandung

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing Tesis,

Tanggal:

Ir. Tutuka Ariadji, M.Sc., Ph.D.

NIP: 196 408 261 990 011 001

ABSTRAK

PENGEMBANGAN METODE SIMULASI RESERVOIR UNTUK *MICROBIAL ENHANCED OIL RECOVERY* MENGUNAKAN DATA LABORATORIUM

Oleh

LASKARY ANDALY METAL BITTICACA

NIM: 222 10 074

*MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery) merupakan salah satu metode peningkatan perolehan minyak bumi (Enhanced Oil Recovery/EOR) dengan menggunakan senyawa kimia yang dihasilkan oleh mikroba. Dengan kurangnya bukti data lapangan di Indonesia, sedangkan kondisi reservoir Indonesia jauh lebih ekstrem dibandingkan lapangan lain yang telah mengaplikasikan MEOR, tidak ada alasan yang cukup kuat untuk memilih MEOR dibandingkan metode EOR yang lain. Berbagai penelitian telah mengindikasikan bahwa diperlukan prosedur teknis yang tepat untuk kesuksesan pengujian proyek pilot. Pada penelitian ini kinerja biosurfaktan yang dihasilkan oleh mikroba indigen Lapangan X, yaitu bakteri *Geobacillus toebii* diprediksi menggunakan simulator sesuai dengan model heterogen reservoir Lapangan X. Dengan metode pendekatan simulasi MEOR pada simulator reservoir komersial oleh Kurnia, hasil penelitian di laboratorium dapat digunakan sebagai input simulator. Modifikasi penjadwalan dalam simulator juga dilakukan untuk memodelkan metode huff-and-puff. Hasil simulasi reservoir kemudian digunakan sebagai kontrol pengembangan metodologi penelitian MEOR di laboratorium. Hasil simulasi menunjukkan adanya peningkatan total produksi minyak sebesar 3,94% terhadap tahap produksi sekunder. Peningkatan total produksi merupakan akibat perubahan tekanan setelah penutupan sumur dan perubahan viskositas minyak setelah aktivitas mikroba. Hasil simulasi menunjukkan kemampuan efektif MEOR dalam meningkatkan produksi minyak bertahan sekitar 3 bulan. Konsentrasi optimum biosurfaktan adalah nilai CMC nya, dapat diprediksi bahwa penurunan tegangan antarmuka efektif oleh biosurfaktan indigen adalah sebesar 9,2%, yang meningkatkan produksi kumulatif minyak sebesar 1784 STB.*

Kata Kunci: MEOR, biosurfaktan, peramalan, metodologi, huff-and-puff, simulasi, model heterogen, reservoir, ECLIPSE100

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF RESERVOIR SIMULATION METHOD FOR MICROBIAL ENHANCED OIL RECOVERY BASED ON LABORATORY DATA

By

LASKARY ANDALY METAL BITTICACA

NIM: 222 10 074

MEOR (Microbial Enhanced Oil Recovery) is a method for increasing oil recovery (Enhanced Oil Recovery/EOR) using chemical compounds produced by microbes. With the lack of evidence of data field in Indonesia, while Indonesia reservoir condition is far more extreme than any other field that have applied MEOR, there is no reason to choose MEOR than any other EOR methods. There are many studies have indicated the proper technical procedures is necessary for the success of a pilot project testing. In this study the performance of biosurfactants produced by indigenous microbes of Field X, called Geobacillus toebii, is predicted using the simulator in accordance with the model of heterogeneous reservoir of Field X. Using Kurnia's MEOR simulation approach on a commercial reservoir simulator, the results of research in the laboratory can be used as input data for the simulator. Modification on simulator schedule also conducted to model the huff-and-puff method. Reservoir simulation results are then used as a control methodology development of MEOR research in laboratory scale. Simulation results show an increase in cumulative oil production by 3.94% of incremental oil recovery after the secondary production phase. Increase in total production is a result of pressure maintenance after closing the well and the oil viscosity changes caused by microbial activity. Simulation results show the effective ability of MEOR in increasing oil production last about 3 months. The optimum concentration of biosurfactants is its CMC value. It can be predicted that the effective interfacial tension reduction by biosurfactants of indigenous microbes is 9.2%, which increases the cumulative oil production for 1784 STB.

Keywords: MEOR, biosurfactant, forecasting, methodology, huff-and-puff, simulation, heterogenous model, reservoir, ECLIPSE100

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dengan mengikuti aturan HAKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan dengan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan alamiah untuk menyebutkan sumbernya.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis dengan judul: **PENGEMBANGAN METODE SIMULASI RESERVOIR UNTUK MICROBIAL ENHANCED OIL RECOVERY MENGGUNAKAN DATA LABORATORIUM.**

Penyusunan tesis ini merupakan salah satu persyaratan dalam menyelesaikan program studi Magister Teknik Perminyakan Institut Teknologi Bandung.

Atas bantuan dan dukungan yang secara langsung, maupun tidak langsung yang telah diterima, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua dan saudara penulis, yang tiada henti memberikan semangat dan doa selama ini.
2. Bapak Ir. Tutuka Ariadji, M.Sc., Ph.D selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membantu penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Septorotno Siregar, selaku pimpinan *Oil and Gas Recovery for Indonesia* (Ogrindo), yang telah mendukung penulis untuk terus mengembangkan penelitian MEOR.
4. Ir. Leksono Mucharam, M.Sc., Ph.D selaku ketua program studi Magister Teknik Perminyakan ITB, yang telah mendukung penulis untuk melanjutkan studi di Teknik Perminyakan ITB.
5. Ardhi Hakim Lumban Gaol yang telah memberikan masukan dan dukungan selama ini.
6. Calvin, Mas Dedi, Rani, Neil, Isna, Bang Fredi yang telah banyak menyediakan waktu dan membantu dalam penulisan tesis ini.
7. Teman-teman Ogrindo: Mba Boni, Mba Ita, Mas Bayu yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini.
8. Teman-teman S2 Teknik Perminyakan 2010, Mona, Bobby, Nino, Mas

Yudhi, Daton yang senantiasa memberi masukan dan dukungan.

9. Pak Acep, Bu Feri, Pak Oman, beserta seluruh staf tata usaha, yang secara tidak langsung telah menunjang penyelesaian tesis ini.
10. Serta semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Dengan segala kemampuan yang ada serta mengingat terbatasnya pengalaman dan pengetahuan, penulis sepenuhnya menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, baik dalam pengungkapan, pokok pikiran, tata bahasa maupun kelengkapan pembahasannya. Semoga hasil penelitian dalam tesis ini dapat berguna bagi kemajuan penelitian MEOR di masa yang akan datang.

Bandung, 11 Juni 2013

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR SIMBOL	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Hipotesis	3
I.4 Tujuan Penelitian	3
I.5 Batasan Masalah	4
I.6 Metodologi Penelitian	4
I.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Mekanisme Peningkatan Recovery Minyak Bumi oleh Mikroba	7
II.1.1 Aplikasi Biosurfaktan	7
II.1.2 Mekanisme Clogging	8
II.1.3 Aplikasi Gas dan Pelarut	9
II.1.4 Aplikasi Biopolimer	9
II.2 Prosedur Teknis Injeksi Mikroba di Lapangan Minyak	11
II.2.1 Persiapan Awal	12
II.2.1.1 Seleksi Reservoir	12
II.2.1.2 Seleksi Mikroba	13
II.2.1.3 Seleksi Nutrisi	14
II.2.2 Desain Perlakuan	15
II.2.3 Pengontrolan Sebelum dan Sesudah Perlakuan	17
II.3 Estimasi Biaya	18

II.4 Review Penelitian Terdahulu mengenai <i>Geobacillus toebii</i>	21
II.5 Model Reservoir Lapangan X	25
BAB III PENGEMBANGAN METODOLOGI PENELITIAN	
III.1 Data Input	34
III.1.1 Data Kemampuan Bakteri	34
III.1.2 Model Reservoir	34
III.2 Proses Simulasi	35
III.2.1 Metode Pendekatan Simulasi MEOR	35
III.2.2 Simulasi Reservoir MEOR <i>Huff-and-Puff</i>	36
III.3 Hasil Simulasi	36
III.3.1 Peningkatan Produksi Minyak	37
III.3.2 Target Optimisasi Bakteri	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Prediksi Produksi Kumulatif Minyak Setelah Aplikasi MEOR	39
IV.2 Target Optimisasi Bakteri Skala Laboratorium	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan	46
V.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN A	49
LAMPIRAN B	50
LAMPIRAN C	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar I. 1	Metodologi Penelitian	4
Gambar II. 1	Skema Umum Strategi Injeksi Mikroba ke dalam Reservoir	12
Gambar II. 2	Skema Prosedur Injeksi pada Fasilitas Permukaan	16
Gambar II. 3	Skema Umum Fasilitas Permukaan untuk Operasi Injeksi Mikroba	16
Gambar II.4	Laju Produksi Harian dari Sumur Robertson Sebelum dan Sesudah MEOR	19
Gambar II. 5	Diagram Pie Estimasi Biaya MEOR	20
Gambar II. 6	Profil Produksi Biosurfaktan terhadap Tegangan Antarmuka	21
Gambar II. 7	Hubungan Tegangan Antarmuka terhadap Konsentrasi Biosurfaktan	22
Gambar II. 8	Kinetika Pertumbuhan dan Produksi Metabolit Sekunder <i>Geobacillus toebii</i>	23
Gambar II. 9	Peta Distribusi Porositas Lapangan X	25
Gambar II.10	Peta Distribusi Permeabilitas Lateral Lapangan X	25
Gambar II.11	Peta Distribusi Permeabilitas Vertikal Lapangan X	25
Gambar II.12	Peta Distribusi Saturasi Gas Lapangan X	27
Gambar II.13	Peta Distribusi Saturasi Minyak Lapangan X	27
Gambar II.14	Peta Distribusi Saturasi Air Lapangan X	28
Gambar II.15	Hubungan Tekanan Kapiler dan Permeabilitas Relatif pada Tipe I	28
Gambar II.16	Hubungan Distribusi Saturasi dan Permeabilitas Relatif pada Tipe I	29
Gambar II.17	Hubungan Saturasi Minyak Minimum dengan Saturasi Gas pada Tipe I	29
Gambar II.18	Hubungan Tekanan Kapiler dan Permeabilitas Relatif pada Tipe II	30
Gambar II.19	Hubungan Distribusi Saturasi dan Permeabilitas Relatif pada Tipe II	30

Gambar II.20 Hubungan Saturasi Minyak Minimum dengan Saturasi Gas pada Tipe II	31
Gambar II.21 Hubungan R_s , FVF, dan Viskositas pada Gas Terlarut	32
Gambar II.22 Hubungan FVF dan Viskositas pada Gas Murni	32
Gambar III. 1 Diagram Alir Pengembangan Metode Simulasi MEOR berdasarkan Data Laboratorium	33
Gambar III.2 Distribusi Sumur pada Lapangan X	35
Gambar III.3 Hubungan Tegangan Antarmuka dengan Viskositas.....	36
Gambar IV. 1 Profil Viskositas Minyak terhadap Tekanan Sebelum dan Sesudah MEOR	39
Gambar IV. 2 Profil Laju Produksi Minyak Tiap Sumur pada Tahap Produksi Primer dan Sekunder	40
Gambar IV. 3 Profil Produksi Kumulatif Minyak Tiap Sumur pada Tahap Produksi Primer dan Sekunder	41
Gambar IV. 4 Profil Produksi Kumulatif Minyak Lapangan X	41
Gambar IV. 5 Peningkatan Produksi Kumulatif Minyak Setelah Aplikasi MEOR	42
Gambar IV. 6 Hubungan Konsentrasi Biosurfaktan dengan Penurunan Tegangan Antarmuka dan Peningkatan Produksi Minyak	43
Gambar IV. 7 Kurva CMC Biosurfaktan Mikroba Indigen	44

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1	Aktivitas dan produk mikroba yang bermanfaat dalam peningkatan perolehan minyak bumi, tipe mikroba, target masalah, mekanisme dan tipe reservoir yang sesuai untuk aplikasinya	10
Tabel II. 2	Parameter Seleksi Reservoir untuk MEOR	13
Tabel II. 3	Prosedur Pengontrolan Sebelum dan Sesudah Aplikasi MEOR	18
Tabel II. 4	Ringkasan Biaya Aplikasi MEOR pada Sumur Robertson 13 dan 15	19
Tabel II. 5	Sampel Analisis Ekonomi MEOR dari Sumur Robertson 13 dan 15	20
Tabel II.6	Yield Konsentrasi Sel dan Produk terhadap Konsentrasi Substrat <i>Geobacillus toebii</i>	24

DAFTAR SIMBOL

X_0	konsentrasi biomassa awal, gr/L
X_m	konsentrasi biomassa maksimum, gr/L
X	konsentrasi biomassa pada waktu t , gr/L
t	waktu, jam
S	konsentrasi substrat, gr/L
P	konsentrasi biosurfaktan, gr/L
m_0	laju pertumbuhan spesifik, jam ⁻¹
k_c	laju konsumsi substrat oleh sel, gr/gr.jam
a	konstanta pertumbuhan 1
b	konstanta pertumbuhan 2
$Y_{x/s}$	yield biomassa terhadap substrat, gr biomassa/gr substrat
$Y_{p/x}$	yield bioproduk terhadap biomassa, gr bioproduk/gr biomassa
s	tegangan antarmuka, dyne/cm
h	viskositas, cP