

**STUDI MICROBIAL ENHANCED OIL RECOVERY
SKALA LABORATORIUM DAN PENERAPANNYA
DI LAPANGAN MINYAK**

(Laboratory Scale of MEOR Study and Its Application in Oil Field)

Yanni Kussuryani

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: yan_kus@lemigas.esdm.go.id](mailto:yan_kus@lemigas.esdm.go.id)

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

ABSTRAK

Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR), merupakan teknologi yang dapat meningkatkan perolehan minyak dengan memanfaatkan aktivitas mikroba. Kegiatan penelitian MEOR dimulai dari isolasi dan identifikasi mikroba; uji tabung guna menentukan mikroba dan nutrisi yang cocok untuk reservoir tertentu; uji *Microbial Core Flooding/MCF* dan uji coba MEOR di lapangan. Melalui uji tabung dan MCF, telah diperoleh mikroba dan nutrisi potensial yaitu kultur campuran dari sumur LDK 230 dengan starter KKL 11 dan medium M4 plus. Namun untuk uji coba lapangan berbagai faktor seperti kesesuaian antara karakteristik reservoir, kinerja mikroba dalam menghasilkan bioproduk, dan kondisi operasi masih perlu dipertimbangkan untuk keberhasilan teknologi MEOR, sehingga dapat diimplementasikan untuk meningkatkan perolehan minyak.

Kata Kunci : mikroba, nutrisi, bioproduk, MEOR, peningkatan perolehan minyak.

ABSTRACT

Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR) is a technology which can improve oil recovery by utilizing microbial activity. The research of MEOR begin as follows: isolation and identification of microbes; tube test to determine the microbes and nutrients which suitable for the reservoir; *Microbial Core Flooding/MCF* test and MEOR field test. Through the tube test and MCF test have obtained LDK 230 plus KKL 11 dengan M4 plus medium. However for field trials, various factors such as compatibility between reservoir characteristics, microbial performance in generating bioproduct, and operating conditions still need to be considered for the success of MEOR technology and can be implemented to increase oil recovery.

Keywords : *microbe, nutrients, bioproduct, MEOR, improve oil recovery.*

I. PENDAHULUAN

Studi Inventarisasi dan Analisis Cadangan Migas Indonesia menunjukkan bahwa cadangan terbukti yang tersisa (*proven reserve*) per 1 Januari 2013 sebesar 3,692.50 MMstb minyak dan 101,538.22 BSCF gas (LEMIGAS, 2014). Penambahan cadangan dimungkinkan bila ada penemuan

lapangan minyak baru, perubahan status cadangan mungkin dan harapan menjadi cadangan terbukti dengan adanya penambahan data, dan atau karena keberhasilan implementasi teknologi pengurusan tahap lanjut atau *Enhanced Oil Recovery (EOR)*, antara lain pemanfaatan teknologi dengan bantuan mikroba (*Microbial Enhanced Oil Recovery/MEOR*) (Usman, 2011).

MEOR merupakan salah satu teknologi *tertier recovery* yang dilakukan setelah teknologi *secondary recovery* tidak dapat dilakukan lagi untuk mengeluarkan sisa minyak bumi yang terperangkap di batuan. Teknologi ini menggunakan mikroba indigenus atau eksogenus yang diinjeksikan ke dalam reservoir bersamaan dengan nutrisi. Dengan adanya pertumbuhan mikroba di dalam reservoir diharapkan dapat dihasilkan produk biologis berupa surfaktan, polimer, dan senyawa asam yang dapat menurunkan tegangan antarmuka minyak, penurunan viskositas, peningkatan permeabilitas, dan porositas dari batuan, sehingga memudahkan perpindahan minyak dan meningkatkan perolehan minyak (Al- Sulaimani, *et al.* 2011). Teknologi MEOR merupakan teknologi yang spesifik untuk masing-masing karakteristik reservoir.

Penelitian MEOR skala laboratorium dimulai dari isolasi dan identifikasi mikroba; uji tabung guna menentukan mikroba dan nutrisi yang cocok untuk reservoir tertentu; uji *Microbial Core Flooding*/MCF. Hasil uji skala laboratorium telah diperoleh mikroba dan nutrisi potensial yaitu kultur campuran dari sumur LDK 230 dengan starter KKL 11 dan medium M4 plus. Selanjutnya mikroba dan nutrisi potensial tersebut diuji coba di lapangan, dan hasil uji coba lapangan menunjukkan adanya indikasi prospek untuk dikembangkan. Pada karya tulis ini disajikan tahapan kegiatan penelitian MEOR skala laboratorium dan uji coba lapangan serta beberapa faktor untuk keberhasilan penerapan teknologi MEOR di lapangan minyak.

II. BAHAN DAN METODE

Tahapan Kegiatan Penelitian Meor

Kegiatan penelitian MEOR dimulai dengan 1) pengambilan sampel air formasi dan minyak dari reservoir minyak, 2) isolasi dan identifikasi mikroba yang tumbuh dalam sampel, 3) uji tabung/uji seleksi media dan mikroba MEOR; 4) uji *Microbial Core Flooding* (MCF); dan 5) uji coba lapangan penerapan MEOR.

- Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air formasi dan minyak dilakukan dari beberapa reservoir minyak secara steril, agar sampel siap untuk dianalisis secara mikrobiologi untuk menentukan populasi mikroba

dalam sampel tersebut. Selain populasi mikroba juga dianalisis kandungan kation, anion, salinitas, dan pH sampel air formasi. Sedangkan untuk sampel minyak dianalisis sifat fisika seperti *specific gravity*, viskositas, densitas dan komposisi hidrokarbon.

- Isolasi dan Identifikasi Mikroba

Isolasi dan identifikasi mikroba dilakukan terhadap sampel air formasi dan minyak bumi dengan cara penapisan. Hasil isolasi yang pada umumnya bakteri diambil koloninya secara terpisah untuk dimurnikan. Bakteri yang sudah murni diidentifikasi mengacu *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*.

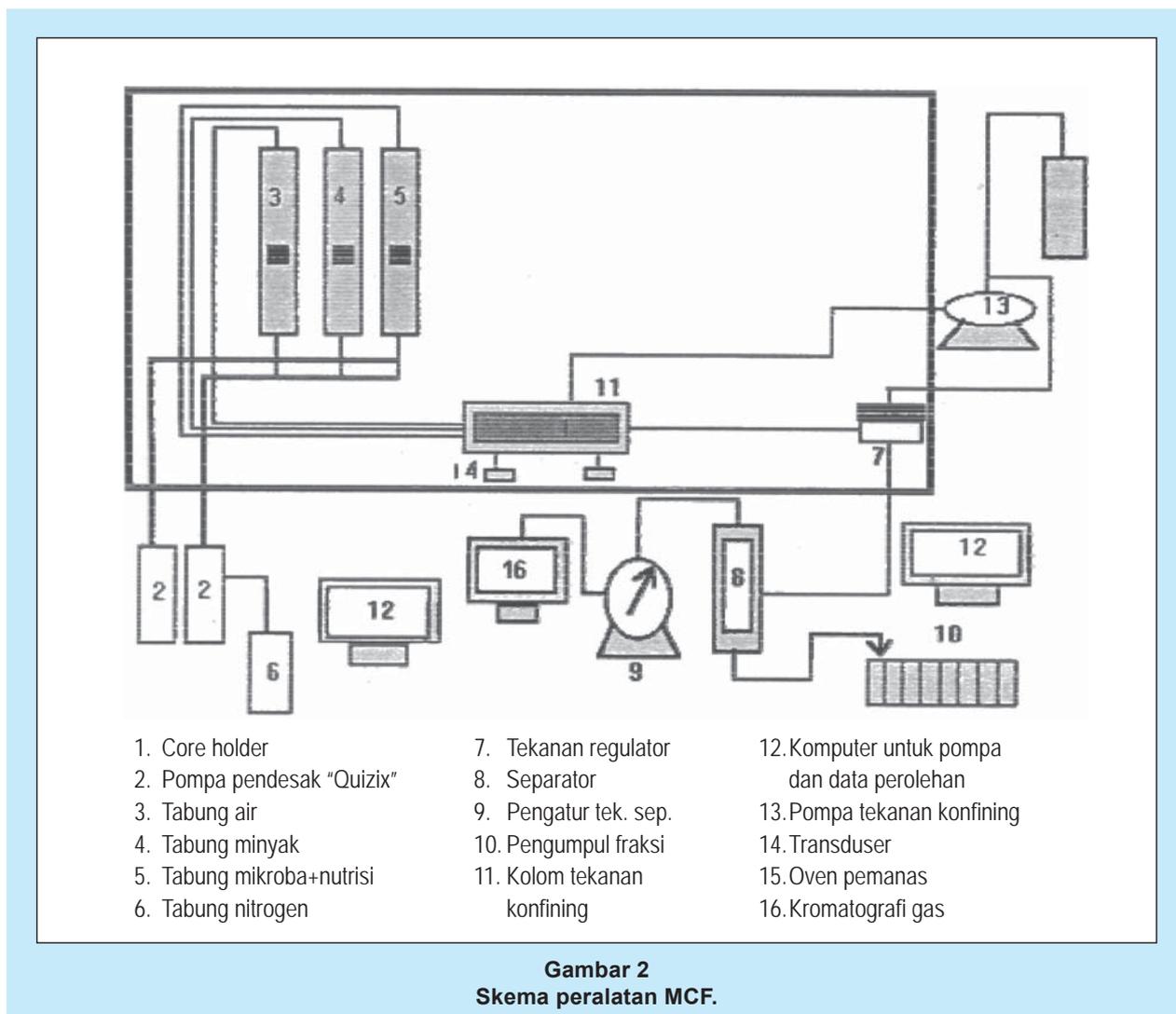
- Uji Tabung

Uji tabung/uji media MEOR dilakukan dengan beberapa variasi nutrisi/media dan mengamati terbentuknya biosurfaktan, biopolimer, dan bioasam sebagai metabolit pertumbuhan mikroba dengan mengukur tegangan antarmuka, viskositas, dan pH.

- Uji *Microbial Core Flooding*

Uji *Microbial Core Flooding* (MCF), dilakukan dengan skema seperti pada Gambar 1 dengan tahapan sebagai berikut:

- Air formasi, minyak bumi, dan nutrisi yang mengandung mikroba masing-masing dimasukkan ke dalam sel nomor 3, 4, dan 5;
- Batu inti dimasukkan ke dalam *coreholder* dan diberi tekanan 200 psi (sesuai permeabilitas);
- Oven dipanaskan 35°C (sesuai suhu reservoir);
- Sampel didorong dengan air formasi sampai jenuh (S_w /water saturation 100%), dan pada saat ini dilakukan pengukuran permeabilitasnya terhadap air (K_w);
- Minyak didorong ke dalam batu inti, lalu air yang ke luar ditampung dan diukur volumenya. Pendesakan dihentikan setelah tidak ada air formasi yang ke luar yaitu sampai diperoleh kondisi saturasi minimum (S_{wi} /*irreducible water saturation*), dan diukur permeabilitasnya ($K_o@S_{wi}$);
- Air formasi didorong lagi ke batu inti sampai tidak ada minyak yang ke luar (S_{or1}) dan dibiarkan selama 7 hari. Setelah 7 hari, dorong kembali dengan air formasi sampai minyak tidak ke luar lagi (S_{or2}), minyak ini ditampung/diukur volumenya dan minyak inilah yang merupakan peningkatan perolehan minyak.



- Uji Coba Lapangan

Uji coba penerapan MEOR dilakukan menggunakan mikroba dan nutrisi yang paling optimal yang dihasilkan pada uji tabung dan uji MCF (skala laboratorium). Uji coba lapangan dilakukan secara *Huff and Puff*.

III. HASIL DAN DISKUSI

Hasil Uji Meor Skala Laboratorium

- Isolasi dan Identifikasi Mikroba

Isolasi dan identifikasi mikroba dari sampel yang diambil dari beberapa Lapangan Minyak PERTAMINA diperoleh bakteri dominan antara lain: *Alcaligenes* sp., *Bacillus* sp., *Chromobacterium* sp., *Corynebacterium* sp., *Hafniae* sp., *Micrococcus* sp., *Neisseria* sp., *Pseudomonas* sp., dan *Staphylococcus* sp. (LEMIGAS, 2006). Bakteri dipelihara dan menjadi koleksi isolat *Biotechnology LEMIGAS*

Culture Collection (BLCC), kemudian koleksi isolat didaftarkan ke FORKOMIKRO (Forum Komunikasi Kurator Koleksi Mikroorganisme Indonesia).

Isolasi dan identifikasi mikroba MEOR telah dilakukan di beberapa negara antara lain oleh Tim peneliti dari Universitas Sultan Qaboos, Oman, mengisolasi dan mengidentifikasi mikroba dan diperoleh *Bacillus* sp. yang dapat menghasilkan bioproduk yang berpotensi meningkatkan perolehan minyak pada skala laboratorium (Al-Bahry *et al.* 2013). Selain itu, hasil isolasi dan identifikasi mikroba dari reservoir minyak di Canada diperoleh bakteri *Lactosphaera pasteurii* dan *Propionicimonas paludicola* (Grabowski, dkk. 2005) dan dari lapangan minyak Laut Utara diperoleh *Thermovirga lienii* (Dahle, & Birkeland, 2006). Mikroba dapat tumbuh dalam reservoir minyak dengan jenis yang berbeda bergantung pada kondisi lingkungannya, seperti temperatur, tekanan, salinitas, pH/keasaman dan faktor lainnya.

- Uji Tabung

Tahap selanjutnya dari penelitian MEOR adalah uji tabung, dimaksudkan untuk mencari media yang cocok untuk pertumbuhan bakteri indigenus dalam reservoir minyak pada skala laboratorium. Media yang digunakan berbasis molase dengan suplemen urea dan NPK dengan komposisi tertentu. Hasil uji nutrisi/media, diperoleh medium M4 plus sebagai medium unggul. Adapun komposisi medium M4 plus terdiri dari air formasi, molase, dan suplemen nitrogen dan fosfat (Kadarwati, dkk., 2004).

Setelah diperoleh media terpilih, kemudian dilakukan pengujian aktivitas mikroba indigenus tanpa penambahan dan dengan penambahan mikroba eksogenus sebagai starter. Hasil uji aktivitas mikroba disajikan pada Tabel 1.

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa populasi mikroba pada umumnya cenderung statis, walaupun ada peningkatan atau penurunan relatif kecil. Akan tetapi kultur campuran LDK 230 dengan penambahan KKL-11, terlihat pertumbuhan mikroba yang cukup tinggi yaitu dari $5,7 \times 10^3$ menjadi $4,6 \times 10^7$ sel/mL, dengan penurunan tegangan antarmuka (*Interfacial Tension*, IFT) sebesar 53,70% (Kussuryani, 2003).

Penelitian terkait mikroba dan nutrisi yang cocok dalam menghasilkan bioproduk yang berguna untuk proses MEOR, masih terus dilakukan dan telah dilaporkan antara lain dengan judul: 1) Seleksi bakteri penghasil biosurfaktan dari reservoir minyak (Kadarwati, 2008a); 2) Karakterisasi biosurfaktan yang dihasilkan bakteri *Providencia Rettgeri* dan *Bacillus subtilis* dari reservoir Indonesia (Kadarwati, 2008b); 3) Seleksi mikroba dan nutrisi yang berpotensi menghasilkan biosurfaktan untuk MEOR (Sari dan Kussuryani, 2013).

Saat ini nutrisi yang digunakan untuk penerapan teknologi MEOR pada umumnya berbasis glukosa seperti molase. Pada tahun 2014, LEMIGAS bekerja sama dengan PERTAMINA telah melakukan penelitian penggunaan bahan baku non-glukosa sebagai sumber nutrisi untuk penerapan MEOR. Nutrisi yang berasal dari bahan baku non-glukosa ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan bahan baku glukosa dan sekaligus memanfaatkan limbah sebagai alternatif sumber nutrisi baru. Adapun nutrisi yang digunakan meliputi limbah cair tahu, limbah cair ikan, limbah pati, pupuk organik cair, ekstrak teh, dan air kelapa. Hasil uji laboratorium telah terpilih nutrisi untuk pertumbuhan mikroba yang memproduksi bioproduk dan menurunkan nilai IFT dan pH.

- Uji *Microbial Core Flooding*

Mikroba yang digunakan untuk uji *Microbial Core Flooding* (MCF) adalah yang telah terbukti potensial untuk MEOR pada uji skala tabung yaitu LDK 230 yang diperkaya KKL 11, dan pendesakan/pendorong dengan fluida/air formasi dari lapangan yang kompatibel. Adapun medium yang digunakan adalah M4 plus, dengan batu inti asli (LDK-P1) dan standar *Classach Sandstone*. Hasil uji MCF seperti pada Tabel 2.

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil uji MCF ini cukup baik dan layak untuk ditindaklanjuti dengan uji penerapannya di lapangan (Kadarwati, dkk., 2004). Penelitian sejenis telah dilakukan juga oleh Fulazzaky dan Astuti, 2015 yaitu simulasi MEOR melalui uji MCF dengan menggunakan strain bakteri *Geobacillus toebii* R-32639 dan menunjukkan rata-rata *recovery factor* sebesar 14,27%.

Tabel 1
Pengaruh aktivitas mikroba terhadap tegangan antarmuka, viskositas, dan keasaman (pH) pada suhu 35°C

No.	Kultur Campuran	Populasi Mikroba (sel/ml)		Tegangan Antarmuka (mN/m)			Viskositas (mPas)			pH		
		Hari ke-0	Hari ke-7	Hari ke-0	Hari ke-7	% Pe nurunan	Hari ke-0	Hari ke-7	% Pe nurunan	Hari ke-0	Hari ke-7	% Pe nurunan
		1	LDK-230	4.9×10^3	1.88×10^3	8.12	5.66	30.30	2.50	2.56	*	7.28
2	LDK-230+KKL-11	5.7×10^3	4.46×10^7	8.12	3.76	53.70	2.50	2.51	*	7.28	5.60	23.31
3	LDK-230+KKL-56	9.1×10^3	5.10×10^3	8.12	5.64	30.54	2.50	2.53	*	7.26	6.42	11.81

* Viskositas naik

Tabel 2
Hasil Uji MCF
(waktu *shut in* 7 hari + 3 hari + 3 hari)

No.	Batu Inti	Peningkatan Perolehan Minyak
1.	<i>Classach Sandstone.</i>	59,57 %
2.	LDK-P1	52,11 %

- Uji Penerapan MEOR di Lapangan

Berdasarkan hasil uji tabung dan uji MCF, dilanjutkan uji coba penerapan MEOR di lapangan secara *Huff and Puff*, yaitu sumur ditutup untuk waktu tertentu dan kemudian dibuka untuk berproduksi kembali. Pada awalnya uji lapangan akan dilakukan pada sumur LDK 230, namun diganti LDK 132 dengan karakteristik yang hampir sama dengan LDK 230.

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa data produksi sumur LDK 132 sebelum penerapan MEOR rata-rata sebesar 10,69 barel per hari (bph), dan setelah injeksi mikroba dan nutrisi dengan waktu *shut in* 6 hari, maka produksi minyak naik menjadi 31,45 bph. Berdasarkan data tersebut, dapat dikatakan bahwa penerapan MEOR di lapangan tersebut secara teknik berhasil menaikkan produksi yang cukup tinggi (sekitar 300%). Namun hasil ini belum dapat diamati secara terus menerus mengingat saat itu sumur terlanjur ditutup karena ada kebijakan menyerahkan pengelolaan sumur kepada Koperasi (Kadarwati, 2004). Penelitian yang dilakukan Bond dalam Shibulla (2014) dengan menginjeksikan 5.000 galon medium yang mengandung *Desulfovibrio hydrocarbonoclasticus* pada reservoir batu pasir dengan kedalaman 2.800 m, menunjukkan bahwa sumur yang pada awalnya memproduksi minyak sebesar 15 barel/hari, setelah injeksi medium dan *shut in* selama 3 bulan produksi minyaknya menjadi 25 barel/hari.

- Faktor Keberhasilan Penerapan MEOR di Lapangan

Pada penerapan teknologi MEOR, kondisi reservoir minyak haruslah berada pada batas-batas tertentu sedemikian rupa sehingga mikroba dapat hidup, aktif dan berfungsi di dalam reservoir tersebut. Parameter yang perlu diperhatikan dalam memilih reservoir untuk penerapan MEOR meliputi sifat-sifat air formasi, batuan reservoir, jenis minyak bumi dalam reservoir tersebut dan beberapa parameter

lainnya. Kriteria minimum reservoir untuk penerapan teknologi MEOR menurut Jackson, et al. 2013 adalah formasi batu pasir (*sandstone*), permeabilitas > 50 mD, temperatur 70°C, salinitas < 9% TDS, viskositas minyak > 16 API, tekanan sumur < 3.000 psi, dan pH 5 – 9.

Beberapa publikasi mengatakan bahwa mekanisme peningkatan perolehan minyak dengan teknologi MEOR meliputi: 1) reduksi tegangan antar muka air/minyak dan modifikasi keterbasahan (*surface wettability*) media berpori karena terbentuknya surfaktan/biosurfaktan sebagai metabolit pertumbuhan mikroba; 2) Penyumbatan (*selective plugging*) media berpori oleh pertumbuhan mikroba dan metabolitnya; 3) Penurunan viskositas minyak karena terbentuknya biogas atau terjadinya degradasi hidrokarbon jenuh rantai panjang; 4) Produksi bioasam yang dapat melarutkan batuan dan meningkatkan permeabilitas media berpori (Gray, M.R., 2008; Neilses, S.M., 2010). Pada umumnya mekanisme butir 1) dan 2) merupakan mekanisme yang memberikan pengaruh paling besar pada peningkatan perolehan minyak.

Yuan, et al. 2014, dalam paten nya melaporkan metode perlakuan terhadap reservoir karbonat untuk mengubah keterbasahan permukaan (*surface wettability*) dalam meningkatkan perolehan minyak. Suthar, et al. 2009, menyatakan bahwa *Bacillus licheniformis* TT33 yang diinjeksikan pada kolom batu pasir dapat memproduksi biopolimer dan biofilm yang menghasikan peningkatan perolehan minyak melalui mekanisme penyumbatan pada batuan berpori (*selective plugging*).

Berbagai faktor yang mempengaruhi keberhasilan penerapan MEOR di lapangan, telah dilaporkan antara lain oleh Larter, et al., 2008 yang melakukan penelitian metode prakondisi bahan/senyawa yang akan diinjeksikan ke dalam reservoir minyak. Coskuner, 2014, melaporkan metode pemilihan sumur, injeksi nutrisi dan atau mikroba ke dalam formasi dengan akumulasi

minyak berat. Marshall, 2008 mengatakan bahwa model matematika juga diperlukan agar penerapan teknologi MEOR di lapangan memberikan hasil yang lebih maksimum dengan biaya minimal. Bryant and Lockhart, 2002 memberikan contoh model matematika tentang hubungan kuantitatif antara kinerja mikroba, karakteristik reservoir dan kondisi operasi, sebagai berikut:

$$\tau_{res} = \pi r_m^2 h \phi (1 - S_{or}) / Q,$$

di mana: τ_{res} = waktu tinggal
 r_m = radius cylinder tempat reaksi mikroba
 h = kedalaman
 ϕ = porositas
 Q = kecepatan aliran
 S_{or} = sisa minyak jenuh (*residual oil saturation*)

Melalui model matematika ini dapat ditentukan waktu tinggal mikroba untuk menghasilkan bioproduct dalam kondisi lingkungan tertentu, sehingga diharapkan keberhasilan teknologi MEOR dapat dicapai.

Di berbagai negara, penerapan teknologi MEOR di lapangan telah dilakukan antara lain di Argentina (1995 dan 2004), Cina (1999-2002), Iran (2003), dan Amerika (1996-2002) (Marshall, 2008). Kegiatan MEOR masih terus berlanjut dan beberapa publikasi tentang MEOR telah dilaporkan antara lain oleh Thrasher, *et al.*, 2010, yang melakukan penelitian untuk meyakinkan bahwa keberhasilan proses MEOR sangat dipengaruhi oleh kinerja mikroba dalam menghasilkan bioproduct dalam kondisi reservoir tertentu. Nmegbu and Pepple, 2014, melakukan pemodelan proses stimulasi sumur sebelum mengaplikasikan teknologi MEOR di lapangan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Uji teknologi MEOR skala laboratorium, melalui uji tabung dan MCF telah diperoleh mikroba dan nutrisi potensial untuk uji coba lapangan, yaitu kultur campuran dari sumur LDK 230 dengan starter KKL 11 dan media M4 plus. Penerapan teknologi MEOR di lapangan sangat ditentukan kondisi reservoir dan kinerja mikroba dalam menghasilkan bioproduct pada reservoir tersebut. Model matematika yang menyatakan hubungan kuantitatif antara kinerja mikroba, karakteristik reservoir dan kondisi operasi, juga diperlukan agar penerapan teknologi MEOR di lapangan memberikan hasil yang lebih maksimum dengan biaya minimal.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kelompok Bioteknologi, KP3 Teknologi Proses PPPTMGB "LEMIGAS" dan seluruh pihak-pihak yang telah membantu dalam memberikan data, informasi, dan meluangkan waktu bertukar pikiran sehingga karya tulis ini dapat diselesaikan.

KEPUSTAKAAN

- Al-Bahry, S. N., Al-Wahaibi, Y., Al-Bahry, S., Elshafie, A., 2013. "Biosurfactant production by *Bacillus subtilis* B20 using date molasses and its possible application in enhanced oil recovery," *International Biodeterioration and Biodegradation*, vol. 81, pp. 141-146.
- Al-Sulaimani, H., Al-Wahaibi, Y., Al-Bahry, S., Elshafie, A., Al-Bermani, A., 2011. "Microbial biotechnology for enhancing oil recovery: Current developments and future prospects", *Biotechnol. Bioinf. Bioeng*, 1 (2), 147 - 158.
- Bryant, S. L. and Lockhart, T. P., 2002. "Reservoir engineering analysis of microbial enhanced oil recovery", *SPE-63229* presented at ATCE, Dallas, Texas, USA.
- Coskuner, G., 2014. "Microbial Enhanced Oil Recovery Process for Heavy Oil Accumulations", *Published patent application US 8746334 B2*.
- Dahle, H., & Birkeland, N. K. 2006. "*Thermovirga lienii* gen. nov., sp. nov., a novel moderately thermophilic, anaerobic, amino-acid-degrading bacterium isolated from a North Sea oil well", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 56, 1539-1545.
- Fullazzaky, M., and Astuti, D. I., 2015. "Laboratory simulation of microbial enhanced oil recovery using *Geobacillus toebii* R-32639 isolated from the Handil reservoir", *RSC Adv.*, 5, 3908-3916
- Grabowski, A, Nercessian, O, Fayolle, F, Blanchet, D, & Jeanthon, C. 2005. "Microbial diversity in production waters of a low-temperature biodegraded oil reservoir", *FEMS microbiology ecology*, 54(3), 427-43.
- Gray, M.R., Yeung, A., Foght, J.M., & Yarranton, H.W., 2008. "Potential Microbial Enhanced Oil Recovery Processes: A Critical Analysis". In: SPE 114676 at the 2008 Annual Technical Conference and Exhibition held in Denver, Colorado, USA.
- Jackson, S. C., Fisher, J., Albert, A. W., and Davidson, M., 2013, "Inoculation Key To MEOR Technique", *The American Oil and Gas Reporter*.

- Kadarwati, S., Kussuryani, Y., Sugihardjo, 2004.** “Penerapan Bioteknologi untuk Peningkatan Perolehan Minyak (MEOR) yang Murah dan Ramah Lingkungan”, *Lembaran Publikasi Ilmiah*, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Minyak dan Gas Bumi, Vol. 11, No. 2, hal. 75-81.
- Kadarwati, S., 2008a.** “Seleksi Bakteri Penghasil Biosurfaktan dari Reservoir Minyak”, *Lembaran Publikasi LEMIGAS*, Vol. 42, No. 2, hal. 1-9.
- Kadarwati, S., 2008b.** “Karakterisasi Biosurfaktan yang dihasilkan Bakteri *Providencia Rettgeri* dan *Bacillus subtilis* dari reservoir Indonesia”, *Lembaran Publikasi LEMIGAS*, Vol. 42, No. 3, hal. 18-25.
- Kussuryani, Y., 2003.** “Uji Media untuk MEOR Suhu Rendah”, *Lembaran Publikasi Ilmiah*, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Minyak dan Gas Bumi, Vol. 10, No. 2, hal. 44-50.
- Larter, S. R., Gates, I. D., Adams, J. J., 2008.** “Preconditioning an Oilfield Reservoir, *Published patent application* CA 2672487 A1.
- LEMIGAS, 2006.** *Laporan Penelitian Studi Mencari Nutrisi Potensial untuk MEOR*, R 0063 C5/BLM PB, hal. 19-31.
- LEMIGAS, 2014.** *Laporan Kegiatan LEMIGAS 2014*, Badan Litbang ESDM, Kementerian ESDM.
- Marshall, S. L., 2008.** “*Fundamental Aspect of Microbial Enhanced Oil Recovery: A Literature Survey*”, CSIRO, Land and Water, Floreat, Western Australia, pp. 1-42.
- Nmegbu C.G.J., and Pepple D.D., 2014.** “Modeling a Well Stimulation Process Using The MEOR Technique”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 03, Issue: 03, pp. 153-159.
- Nielsen, S.M., Shapiro, A.A., Michelsen, M.L., & Stenby, E.H. (2010).** “1D Simulations for Microbial Enhanced Oil Recovery with Metabolite Partitioning”, *Transp. Porous Med.*, Vol. 85, pp. (785–802).
- Sari, C. N., dan Kussuryani, Y., 2013.** “Seleksi Mikroba dan Nutrisi yang Berpotensi Menghasilkan Biosurfaktan untuk MEOR”, *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*, Vol. 47, No. 2, hal. 59-67.
- Shibula, B., Al-Bachry, S. N., Al-Wahaibi, Y. M., Abdulkader, E., Elshafie, Al-Bemani, A. S., and Joshi, S. J., 2014.** “Microbial Enhanced Heavy Oil Recovery by the Aid of Inhabitant Spore-Forming Bacteria: An Insight Review”, *The Scientific World Journal*, Article ID 309159, 12 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/309159>
- Suthar, Harish, Krushi Hingurao, Anjana Desai, and Anuradha Nerurkar, 2009.** “Selective Plugging Strategy Based Microbial Enhanced Oil Recovery Using *Bacillus licheniformis* TT33”, *J. Microbiol. Biotechnol.*, 19(10), 1230–1237 doi: 10.4014/jmb.0904.04043.
- Thrasher, D., 2010.** “MEOR from Lab to Field”, *SPE12971*, pp. 1-9.
- Usman, 2011.** “Potensi Pengembangan EOR untuk Peningkatan Produksi Minyak Indonesia”, *Lembaran Publikasi LEMIGAS*, Vol. 45, No. 2, hal. 91-101.
- Yuan, J. Y., JIANG, Q., THORNTON, B., QIN, K., Watson, J. D., 2014.** “Method for Treating Carbonate Reservoirs” *Published patent application* WO 2014053912 A1.