

## ***Microbial Enhanced Oil Recovery: Literature Review***

Baiq Maulinda Ulfa<sup>1\*</sup>, Muhammad Taufiq Fathaddin<sup>2</sup>, Rini Setiati<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan

<sup>2</sup> Universitas Trisakti

\*E-mail: baiqmaulinda18@gmail.com

### **ABSTRACT**

*The demand for fossil fuels continue to increase, this encourages the production of hydrocarbons to be increased as well. Enhanced Oil Recovery is one option that can be considered to overcome this high demand. Technical complexity and sophisticated technology are commonly used in EOR implementation. This has become one of the obstacles to implement EOR, one of which is the requirement relatively large funding. Microbial Enhanced Oil Recovery is one method that can be considered as a technology that can fulfill commercial production gains and the resulting environmental impact is lower than other EOR methods. MEOR uses micro-organisms whose metabolism results can change the physical properties in the reservoir so that oil production can be increased.*

**Keywords:** *Enhanced Oil Recovery, Microbial Enhanced Oil Recovery, Recovery factor*

### **ABSTRAK**

Permintaan dari bahan bakar fosil terus meningkat hal ini mendorong produksi hidrokarbon harus ditingkatkan. *Enhanced Oil Recovery* menjadi salah satu pilihan yang dapat dipertimbangkan untuk mengatasi tingginya permintaan tersebut. Kompleksitas secara teknis dan teknologi yang canggih umumnya digunakan dalam implementasi EOR. Hal ini menjadi salah satu kendala implementasi EOR, yaitu biaya yang dibutuhkan relative besar. *Microbial Enhanced Oil Recovery* menjadi salah satu metode yang dapat dipertimbangkan untuk menjadi teknologi yang dapat memenuhi perolehan produksi secara komersial dan dampak lingkungan yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan metode EOR lainnya. MEOR menggunakan mikro-organisme yang hasil metabolismenya dapat merubah sifat fisik di *reservoir* sehingga produksi minyak dapat ditingkatkan.

**Kata kunci:** *Enhanced Oil Recovery, Microbial Enhanced Oil Recovery, Recovery factor*

### **PENDAHULUAN**

Bahan bakar fosil masih dianggap sebagai sumber daya utama untuk memenuhi kebutuhan energi dunia. Kebutuhan yang terus meningkat tidak sebanding dengan jumlah produksi yang dihasilkan. Diperlukan kajian jangka panjang yang terintegritas untuk menemukan solusi yang dapat meningkatkan jumlah produksi minyak dan gas agar kebutuhan energi tersebut dapat terpenuhi.

*Enhanced Oil Recovery* merupakan salah satu upaya untuk memproduksi minyak yang tertinggal di

*reservoir* dan bernilai komersial (Putra and Kiono, 2021; Abdurrahman, et al., 2017).

Tujuan utama implementasi EOR adalah untuk mempertahankan tekanan di *reservoir* dan merubah sifat fisik atau kimia fluida dan batuan *reservoir* (Babadagli, 2020; Siami and Yono, 2020). Ada beberapa jenis metode EOR, seperti injeksi gas tidak bercampur atau bercampur, metode termal, dan injeksi kimia (Ansyori, 2018). Kompleksitas teknis dan teknologi canggih umumnya diperlukan dalam implementasi EOR, kondisi ini menyebabkan biaya yang digunakan dalam proyek EOR relative besar.

*Microbial Enhanced Oil Recovery* merupakan salah satu jenis EOR yang sangat potensial untuk dikembangkan, dengan kendala ekonomi pasar minyak saat ini, seperti yang sudah diterapkan di beberapa negara dengan hasil yang cukup memuaskan dari segi ekonomi maupun dari segi lingkungan, karena dampak lingkungan yang lebih rendah dibanding metode EOR lainnya (Niu et al., 2020; Omoniyi, 2015; Aliya, et al., 2016; Budiharjo, et al., 2017).

Selain itu, MEOR menargetkan lebih dari satu proses secara bersamaan, termasuk (1) pengurangan viskositas dan modifikasi densitas oleh pelarut, gas, dan asam, (2) penghilangan lilin parafin oleh pelarut dan asam untuk meningkatkan permeabilitas, (3) penghilangan pelek logam dari *pore throats* oleh asam, pelarut, alkohol, dan bio surfaktan untuk meningkatkan permeabilitas, dan (4) penurunan tegangan antarmuka minyak - air dan minyak - batuan oleh bio surfaktan (Niu et al., 2020; Darmapala, 2019; Janshekar, et al., 1985; Nikolova and Gutierrez, 2020).

Konsep MEOR merupakan salah satu strategi EOR tertua, namun MEOR belum diterima dan dipilih sebagai prosedur rutin dalam industri perminyakan. Alasannya mungkin karena pemahaman ilmiah yang tidak memadai dan prediksi hasil MEOR yang sulit (Putra and Kiono, 2021). Studi lebih lanjut termasuk bagaimana proyek MEOR harus dilaksanakan, mikroorganisme apa yang digunakan dan hal lain terkait yang perlu dilaporkan untuk memberikan validasi lebih dan menurunkan tingkat keraguan terhadap implementasi EOR.

## **METODE PENELITIAN**

Metode pencarian dilakukan dengan mengakses database *Google Scholar*. Penggunaan *microbial enhanced oil recovery* sebagai kata kunci mempersempit pencarian pada wilayah studi. Untuk mendukung tujuan penelitian ini, baik review maupun publikasi penelitian digunakan. *Google Scholar* dipilih untuk mengumpulkan artikel karena terbukti merupakan sumber yang mudah diakses dan diperbarui secara berkala. Data dikumpulkan dari tahun 2017 hingga 2021. Untuk

menentukan apakah artikel penelitian atau artikel review memenuhi kriteria inklusi, daftar judul artikel dikumpulkan dari database *Google Scholar* menggunakan kata kunci yang diterapkan dan ditransfer ke Mendeley. Kriteria inklusi dimulai dengan mengurangi tahun publikasi dari 2017 menjadi 2021 untuk menentukan tingkat pemahaman topik saat ini dan membatasi jumlah pencarian menjadi 100 publikasi. Setelah itu, judul disaring berdasarkan judul sumber. Hanya publikasi dari jurnal internasional dan sumber prosiding yang diperhitungkan.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam pembahasan ini akan dipaparkan beberapa proyek terkait MEOR yang sudah dilakukan baik dalam skala laboratorium dan simulasi maupun dalam skala lapangan. Berikut beberapa proyek MEOR yang sudah berjalan.

### 1. Proyek Xinjiang (Nnaemeka, *et al.*, 2018)

Lapangan Xinjiang terletak di daerah otonomi Xinjiang, Uygur, China. Mekanisme pendorong utama reservoir ini adalah *solution gas drive*. Penerapan MEOR dimulai pada Januari 1995. Sumur di lapangan ini menggunakan bantuan *rod pump* yang mana pompa dipasang dari 200 sampai 6.000 kaki diatas lubang perforasi untuk satu sumur. Karakteristik fluida dan batuan reservoir lapangan ini membantu pertumbuhan mikroba. Tabel 1 menunjukkan karakteristik lapangan Xinjiang.

**Tabel 1.** Karakteristik Lapangan Xinjiang

<i>Parameters</i>	<i>Xinjiang Characterization</i>
Lithology	Sandstone
Depth (ft)	4900
Net Thickness	40
Porosity (fraction)	N/A
Effective Permeability (Range, mD)	70 (0.2 – 440)
Reservoir Temperature	110
Oil Density ( <sup>0</sup> API)	29
Oil Viscosity (cP)	50
Water Salinity (mg/ 1 cl)	8000
SO at MEO start (%)	N/A
Water Cut (%)	64
Drive Mechanism	Solution Gas
Flood Pattern	N/A

MEOR dilakukan dengan 3 kali *treatment*. Awalnya diinjeksi 150 barrel cairan yang

mengandung mikroba pada 7 sumur, 80 barrel pada 3 sumur, dan setelah itu diinjeksi 0-150 barrel air pengganti (*displacement water*). Untuk *treatment* kedua dan ketiga terdiri dari 50 barrel untuk 6 sumur dan 75 barrel untuk 4 sumur dan selanjutnya air pengganti (*displacement water*) sekitar 0-70 barrel.

Selama 6 bulan setelah MEOR diterapkan, produksi minyak meningkat dan bertahan di sekitar 300 barrel per hari. Produksi air menurun, begitupun dengan *water cut* dari 64% menjadi 54%. Selama 6 bulan produksi dengan MEOR jumlah tambahan minyak yang diperoleh sekitar 14.000 barrel yang berarti 43% diatas *baseline*, dan produksi harian sebesar 300 barrel per hari sekitar 36% di atas *baseline*. Data dari 5 sumur, operator menghitung rata-rata penurunan viskositas sebesar 49% dan gravitasi meningkat sebesar 3,1% dari 28,7<sup>0</sup> API menjadi 29,6<sup>0</sup> API. Dari hasil ini menunjukkan bahwa mikroba positif meningkatkan produktivitas minyak mentah di reservoir ini.

## 2. Proyek Tupungato-Refugio

Lapangan ini terletak di Tupungato, Medoza, Argentina dan ditemukan pada tahun 1930. Mekanisme produksi di lapangan ini dengan kombinasi antara *water drive*, *solution gas drive* dan *waterflood*. MEOR dimulai pada Juni 1994, pada saat itu hanya dilakukan pada satu sumur, dan pada Maret 1995 mulai diterapkan pada dua sumur lainnya. OOIP lapangan ini adalah 625 bbl/ac-ft dimana saturasi minyak sebesar 42% dan saturasi gas sebesar 10%. Jarak antar sumur-sumur ini sekitar 42 acre dengan pola injeksi air *four spot* (pola empat titik). Produksi rata-rata tiap sumur berkisar 90 BOPD dengan persentase *water cut* sebesar 63%. Karakteristik batuan dan fluida reservoir lapangan ini mendukung kolonisasi mikroba yang diinjeksi. Tabel 2 menunjukkan karakteristik lapangan Tupungato-Refugio (Nnaemeka, et al., 2018).

Adapun sistem injeksi mikroba yang dilakukan adalah awalnya dengan menginjeksi 150 barrel air yang mengandung mikroba pada masing-masing sumur kemudian dilakukan penutupan selama 48 jam untuk 2 sumur dan untuk sumur lainnya selama 24 jam. Dan untuk selanjutnya jumlah yang diinjeksi adalah 50 barrel dan penutupan selama 15 hari pada dua sumur dan 30 hari untuk sumur lainnya. Selama 29 bulan sumur berproduksi sebelum MEOR diterapkan, lapangan ini mengalami penurunan sebesar 7,1%. Dan selama 14 bulan terakhir, sejak MEOR mulai diterapkan, perolehan produksi minyak meningkat sebesar 7,3% per tahun. Meskipun jumlah air terproduksi meningkat menjadi 63,5% namun *water cut* mengalami penurunan menjadi 62%.

**Tabel 2.** Karakteristik Lapangan Tupungato-Refugio

<i>Parameters</i>	<i>Tupungato-Refugio</i>
Lithology	Fractured Sandstone
Depth (ft)	5700
Net Thickness (ft)	60
Porosity (fraction)	0.18
Effective Permeability (Range, mD)	300 (150-1500)
Reservoir Temperature	160
Oil Density ( <sup>0</sup> API)	28
Oil Viscosity (cP)	9
Water Salinity (mg/ 1 cl)	42000
SO at MEO start (%)	47
Water Cut (%)	63.5
Drive Mechanism	Solution Gas and Water Drive
Flood Pattern	Four Spot

Selama 14 bulan terakhir, jumlah produksi minyak tambahan sekitar 19.000 barrel artinya 19% di atas baseline dan produksi minyak menjadi 270 barrel per hari yang berarti 29% di atas baseline. Di akhir umur proyek diperkirakan peningkatan produksi kumulatif akan mencapai 57%. Sampel mikroba diambil setelah dimulainya MEOR, ditunjukkan bahwa mikroba injeksi secara efektif mengubah karakteristik minyak mentah. Dan OOIP di akhir umur proyek akan menjadi 509 bbls/ac-ft, dan 442 bbls/ac-ft dengan MEOR. Saturasi minyak sisa diperkirakan 38,3% dengan waterflood dan menjadi 33,3% dengan MEOR, artinya dengan MEOR terdapat 13% peningkatan.

### 3. Proyek San Andreas

Lapangan ini terletak di Hockley County, Texas, USA dan ditemukan pada tahun 1945 dengan memanfaatkan mekanisme pendorong *solution gas drive* untuk produksinya sampai kemudian dilakukan waterflood pada tahun 1967 dengan 355 bbls/ac-ft dan saturasi 70%. MEOR diterapkan mulai tahun 1994 dan OOIP pada saat itu adalah 239 bbls/ac-ft dan saturasi minyak sebesar 41%. Pola injeksi yang digunakan adalah *line drive* dengan jarak sumur 25 acres. Tekanan reservoir sebesar 1.000 psi dan GOR 500 SCF/bbl. Rata-rata nilai permeabilitas horizontal sekitar 1,7 mD yang menunjukkan ukuran *pore throat* yang lebih kecil dari yang bisa dilalui oleh mikroba. Meskipun begitu, sebagian minyak di lapangan ini berasal dari *natural fractures* yang dengan mudah dapat dilalui oleh mikroba. Jumlah produksi tiap sumur adalah 14 BOPD dan *water cut* sebesar 91%. Temperatur reservoir lapangan ini ideal untuk pertumbuhan mikroba. Tabel 3 menunjukkan karakteristik lapangan San Andreas (Nnaemeka, et al., 2018).

**Tabel 3.** Karakteristik Lapangan San Andreas

<i>Parameters</i>	<i>Tupungato-Refugio</i>
Lithology	Fractured Dolomite
Depth (ft)	4745
Net Thickness (ft)	46
Porosity (fraction)	0.079
Effective Permeability (Range, mD)	1.7 (0.10-10)
Reservoir Temperature	115
Oil Density ( <sup>0</sup> API)	29
Oil Viscosity (cP)	4.5
Water Salinity (mg/ 1 cl)	40000
SO at MEO start (%)	41
Water Cut (%)	91
Drive Mechanism	Solution Gas and Water Drive
Flood Pattern	Line Drive

Sistem injeksi yang dilakukan adalah dengan menginjeksi 10 barrel air yang mengandung mikroba. Pada langkah awal, semua sumur untuk proyek MEOR ditutup selama 3 hari, setelah itu untuk tahap berikutnya sumur ditutup semalaman. Selama 3 bulan pertama sumur di treatment setiap 14 hari, kemudian setelah itu setiap 28 hari. Selama 19 bulan terakhir, minyak tambahan yang diperoleh dari MEOR sebesar 17.000 barrel minyak, sekitar 7% di atas baseline. Dan peningkatan produksi sebesar 440 BOPD sekitar 10% di atas baseline. Dan diperkirakan diakhir proyek MEOR total tambahan produksi mencapai 15%. Lima sampel diambil setelah dimulainya MEOR menunjukkan bahwa mikroba secara efektif mengubah karakteristik minyak di reservoir. Pada akhir proyek, OOIP setelah *waterflood* masih sekitar 205 bbls/ac-ft dan 199 bbls/ac-ft dengan MEOR. Saturasi minyak tersisa diperkirakan sebesar 35% dengan *waterflood* dan 34,1% dengan MEOR, artinya dengan MEOR terjadi peningkatan sebesar 2,5%.

#### 4. Proyek Lapangan Bentayan (Astuti, et al., 2017)

Penelitian untuk lapangan Bentayan ini merupakan studi yang komprehensif untuk mempersiapkan injeksi nutrisi dan mikroba diikuti dengan serangkaian percobaan laboratorium untuk mengoptimalkan formulasi nutrisi yang sesuai. *Screening criteria* dilakukan dengan merujuk pada *screening* Aladsani dan Bryant. Sebagai prioritas, lapangan yang dipilih adalah lapangan yang mungkin tidak menguntungkan jika menggunakan metode selain MEOR, seperti reservoir yang dalam dengan temperatur tinggi membuat injeksi kimia sulit diterapkan, sumber CO<sub>2</sub> yang tidak mencukupi, kebutuhan kompresi yang kompleks untuk injeksi CO<sub>2</sub>, dan reservoir jenis black oil

yang tidak cocok untuk steam flooding. Dengan *screening criteria* yang dilakukan seperti terlihat pada tabel 4, lapangan Bentayan khususnya sumur BN-81 cocok untuk diterapkan MEOR.

**Tabel 4.** *Screening criteria* lapangan Bentayan (Astuti, et al., 2017)

Parameter	Value	Reference	
		Aladasani (2012)	Bryant (1991)
API	19	OK	OK
Viscosity (cp)	10,11	OK	-
Porosity (%)	19,9 - 23,3	OK	-
Oil Saturation (% PV)	55	OK	OK
Formation Type	Sandstone	OK	-
Permeability (mD)	159	OK	OK
Depth (ft)	3.865	NO	OK
Temperature (oF)	200	NO	NO

Setelah proses *screening criteria* dilakukan, selanjutnya dilakukan *screening* untuk sumber karbon dan nitrogen, optimalisasi nutrisi dan formulasi medium serta analisis uji imbibisi. *Screening* sumber karbon dan nitrogen dilakukan untuk memilih sumber paling baik untuk merangsang pertumbuhan bakteri. *Screening* dilakukan selama 10 hari dengan menggunakan 5 titik sampling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa molase adalah yang paling cocok untuk sumber karbon yang dapat merangsang pertumbuhan bakteri. Optimalisasi nutrisi dan formulasi medium dilakukan dengan menggunakan Central Composite Design (CCD) dan Responsive Surface Method (RSM). Dari hasil optimalisasi menunjukkan bahwa penambahan molase berbanding lurus dengan penurunan pH medium. Selain itu terjadi penurunan viskositas minyak setelah periode 6 minggu. Dengan penambahan 5% molase, 0,25% DAP, dan 0,25% NPK viskositas awal berkisar antara 40,69%-47,83% menjadi 40,31% dengan nilai akhir viskositas sebesar 23,23 cP. Selanjutnya dari uji imbibisi yang dilakukan diperoleh *recovery factor* yang dihasilkan.

Berdasarkan penelitian ini, dapat disimpulkan dengan 7,16% w/v molase, 0,3% w/v (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> dan 0,26% w/v NPK adalah komposisi injeksi nutrisi untuk implementasi MEOR di sumur BN-81 Lapangan Bentayan. Formula ini menghasilkan kenaikan *recovery factor* sampai 52,24% setelah perendaman selama 14 hari. Lapangan Mangunjaya adalah lapangan minyak yang

terletak di Sumatera Selatan yang sudah berproduksi selama 80 tahun, mempunyai 130 sumur dengan 18 sumur aktif dan memiliki *recovery factor* sebesar 40%.

5. Proyek Lapangan Mangunjaya (Ariadji, *et al.*, 2017)

Pada Tabel 5 menunjukkan gravitasi minyak antara 22-28<sup>0</sup> API, viskositas minyak sebesar 2,5 cP. Tekanan reservoir rendah, yaitu 1024 psi, rata-rata nilai water cut sekitar 78% dan GOR rendah. Sisa minyak lapangan ini sekitar 97 MMSTB, porositas rata-rata 27,5% dan permeabilitas rata-rata 120 mD. Screening *criteria* lapangan ini mengacu pada referensi kriteria Aladasani dan Bryant.

**Tabel 5.** Karakteristik lapangan Mangunjaya (Ariadji, *et al.*, 2017)

Parameter	Palembang A	Palembang B	Palembang C
Gravity (°API)	22 -28	22 -28	22 -28
Viscosity (cP)	2.5	2.5	2.5
Porosity (%)	27.5	27.5	27.5
Oil Saturation (% PV)	0.55	0.55	0.55
Permeability (mD)	68	84	202
Depth (ft)	558	902	1197.5
Temperature (°F)	122	122	122
Formation Type	Shally sand	Shally sand	Shally sand
Net Thickness (m)	55	70	30

**Tabel 6.** Screening kriteria lapangan Mangunjaya (Ariadji, *et al.*, 2017)

EOR Method	Field (Formation)	Gravity (API)	Viscosity (cP)	Oil Saturation (%PV)	Permeability (mD)	Depth (ft)	Temperature (°F)	Formation type	Reference
MEOR	Mangunjaya (Palembang A)	OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	Aladasani, 2010
		OK	-	-	OK	OK	OK	-	Bryant, 1991
	Mangunjaya (Palembang B)	OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	Aladasani, 2010
		OK	-	-	OK	OK	OK	-	Bryant, 1991
	Mangunjaya (Palembang C)	OK	OK	OK	OK	OK	NO	OK	Aladasani, 2010
		OK	-	-	OK	OK	OK	-	Bryant, 1991

Percobaan laboratorium dilakukan menggunakan *brine* dan mikroba terhadap *sample* minyak dari 6 sumur produksi lapangan Mangunjaya, berdasarkan uji laboratorium perolehan minyak lebih



baik menggunakan mikroba dibandingkan brine dan MEOR meningkatkan perolehan minyak lebih dari 10% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6. Dari 6 kandidat sumur, MJ-122 dan MJ-125 menghasilkan *recovery factor* paling tinggi, yang kemudian dilanjutkan ke skala lapangan dengan metode huff and puff. Implementasi injeksi huff and puff MEOR di MJ-122 dimulai pada akhir Agustus 2015 dan berakhir pada awal Oktober 2015, sedangkan untuk MJ-125 proyek dimulai pada akhir Oktober 2015 dan berakhir pada akhir November 2015.

Metode injeksi mikroba huff and puff pada sumur MJ-122 dan MJ-125 dilakukan dengan menggunakan:

1. *Filtration unit* (1 set dengan kapasitas 100 bbls)
2. *Mud tank* (3 set dengan kapasitas 200 bbls)
3. *Cultivation tank* (1 set dengan utilitas 1 tanki bahan bakar diesel 200 liter)
4. *Injection pump* (1 set dengan kapasitas 60 bbls per jam)
5. *Generator set* (2 set dengan kapasitas 150 Kva & 25 kVA)
6. *Warehouse* (1 set dengan kapasitas  $30m^3$ )
7. *Mobile laboratory* (kuantitas 1 set)

Produksi sumur MJ-125 mengalami peningkatan laju produksi minyak mulai dari 51 BOPD di awal menjadi 61 BOPD. Selain itu, terjadi penurunan sebesar 10% hal ini dapat dikatakan injeksi mikroba yang dilakukan berhasil. Sedangkan untuk sumur MJ-122 mengalami penurunan efisiensi pompa, namun laju produksi mengalami peningkatan sebesar 30%. Namun juga disayangkan terjadi lonjakan water cut yang tidak dapat dihindari. Dengan demikian boleh dikatakan MJ-125 menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan MJ-122.

## KESIMPULAN

MEOR merupakan salah satu metode yang dapat dipertimbangkan untuk diimplementasikan. MEOR adalah teknologi yang lebih efektif dan dapat diimplementasikan untuk meningkatkan hasil produksi minyak dengan berbasis mikroba. Mikroba yang digunakan dalam implementasi MEOR menghasilkan beberapa produk yang dapat mempengaruhi sifat fisik maupun kimia fluida dan batuan *reservoir* sehingga minyak dapat diproduksi dengan lebih optimal dan ekonomis. Perlu dilakukan *screening criteria* sebelum melakukan aplikasi MEOR, serta pertimbangan lain agar hasil MEOR yang dilakukan dapat lebih efektif dalam meningkatkan perolehan produksi minyak. Kajian terkait MEOR terus berkembang, pun implementasi di lapangan baik skala lab maupun *field* sudah

menunjukkan hasil yang positif. Kajian terintegritas terkait implementasi MEOR di banyak lapangan MIGAS tentu bukan suatu kesia-siaan, karena dengan MEOR perolehan produksi suatu lapangan dapat bertambah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada orang-orang yang telah membantu dalam penelitian ini dan kepada LPPM Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan dan Universitas Trisakti yang telah mendukung penulis sehingga dapat menyusun artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, M. *et al.* (2017). EOR in Indonesia: Past, present, and future. *International Journal of Oil, Gas and Coal Technology*, 16(3), pp. 250–270. doi:10.1504/IJOGCT.2017.087024.
- Aliya, Y. Gulzhan Kayirmanova; Almagul Baubekove; Azhar Zhubanova (2016). Microbial Enhanced Oil Recovery. *Intech*, pp. 147–167.
- Ansyori, M.R. (2018). Mengenal Enhanced Oil Recovery (EOR) Sebagai Solusi Meningkatkan Produksi Minyak. *Swara Patra*, 8(2), pp. 16–22.
- Ariadji, T. *et al.* (2017). Microbial huff and puff project at Mangunjaya field wells: The first in Indonesia towards successful MEOR implementation. *Society of Petroleum Engineers - SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition 2017*, Jakarta.
- Astuti, D.I. *et al.* (2017). A comprehensive preparation study for microbial nutrient injection of microbial enhanced oil recovery: *Reservoir screening* and laboratory analysis - case study bentayan field. *Society of Petroleum Engineers - SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition 2017*, Jakarta.
- Babadagli, T. (2020). Philosophy of EOR. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 188(September 2019). doi:10.1016/j.petrol.2020.106930.
- Budiharjo, H., *et al.* (2017). Optimizing oil recovery through microbial injection to support the increasing demand for oil in Indonesia. *Society of Petroleum Engineers - SPE/IATMI Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition 2017*, Jakarta.
- Darmapala (2019). Prosiding DENGAN CHEMICAL EOR MELALUI PEMANFAATAN SURFAKTAN *Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya (SNKP) 2019*, (November), pp. 135–191.
- Janshekar, H., Zajic, J. and Donaldson, E.C. (1985). Microbial enhanced oil recovery processes. *Microbes and Oil Recovery*, 1, pp. 54–84.
- Nikolova, C. and Gutierrez, T. (2020). Use of Microorganisms in the Recovery of Oil From Recalcitrant Oil Reservoirs: Current State of Knowledge, Technological Advances and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 10, p. 2996.
- Niu, J. *et al.* (2020). Review on microbial enhanced oil recovery: Mechanisms, modeling and field trials. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 192, p. 107350. doi:10.1016/j.petrol.2020.107350.
- Nnaemeka, O., Franklin, N. and Stanley, O. (2018). A Review of Microbial Enhanced Oil Recovery Applications Projects. *Oil & Gas Research*, 04(02). doi:10.4172/2472-0518.1000152.

- Omoniyi, O.A. (2015). A Review of Microbial Enhanced Oil Recovery : Current Development and Future Prospects. 6(1), pp. 1378–1389.
- Putra, B.P. & Kiono, B.F.T. (2021). Mengenal Enhanced Oil Recovery (EOR) Sebagai Solusi Meningkatkan Produksi Minyak Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2(2), pp. 84–100. doi:10.14710/jebt.2021.11152.
- Siami, D.H. & Yono, N.H. (2020). Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR): Alternatif Peningkatan Produksi Migas di Indonesia. *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi MigasZoom*, 2(2), pp. 01–08. doi:10.37525/mz/2020-2/253.