MANFAAT ISOLAT BAKTERI ASAM LAKTAT DALAM *MICROBIAL ENHANCED OIL RECOVERY* (MEOR)

Penulis :
Boni Swadesi
Hariyadi
Damar Nandiwardhana
Aditya Kurniawan
Budi Setiyawan
Muhammad Iqbal Arrizqi Nuzli
Risky Adhitya

LPPM UPN "VETERAN" YOGYAKARTA
2023

Manfaat Isolat Bakateri Asam Laktat Dalam *Microbial Enhanced Oil Recovery* (MEOR)

Penulis :
Boni Swadesi
Hariyadi
Damar Nandiwardhana
Aditya Kurniawan
Budi Setiyawan
Muhammad Iqbal Arrizqi Nuzli
Risky Adhitya

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam, atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis

Desain Sampul dan Editing:
Penerbit LPPM UPN Veteran Yogyakarta

Cetakan Pertama, 2023

ISBN: 978-623-389-245-2

Diterbitkan oleh:

Penerbit LPPM UPN Veteran Yogyakarta

Jl. SWK 104 (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283

Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400

Dicetak Oleh:

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, UPN Veteran Yogyakarta

Jl. Padjajaran 104 (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283

Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kegiatan dengan buku **Manfaat Isolat Bakateri Asam Laktat Dalam *Microbial Enhanced Oil Recovery* (MEOR)** telah selesai dilaksanakan.

Buku ini ini disusun dalam rangka membantu kalangan akademik dan dunia industri dalam memahami dan mencakup informasi tentang aplikasi Isolat Bakteri Asam Laktat pada MEOR.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan buku ini. Kekurangan yang ada akan menjadi cambuk untuk melaksanakan perbaikan dalam penulisan buku kegiatan yang lebih baik di masa yang akan datang. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi sivitsas akademika, dosen, mahasiswa dan masyarakat di masa sekarang maupun yang akan datang.

Hormat Kami

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II PERTUMBUHAN BAKTERI	5
BAB III ISOLAT BAKTERI ASAM LAKTAT	12
BAB IV PENINGKATAN RECOVERY	37
DAFTAR PUSTAKA	51
BIOGRAFI PENULIS	56

BAB I PENDAHULUAN

Ada tiga tahap produksi minyak bumi dari dalam reservoir yaitu *primary recovery*, *secondary recovery* dan *tertiary recovery*. *Primary recovery* dilaksanakan pada saat awal produksi, dimana apabila tekanan reservoir masih besar dapat diproduksi menggunakan gaya sembur alam, namun justru perolehan minyak pada tahap ini masih kecil yaitu sekitar 5% sampai dengan 10% dari total cadangan yang terdapat dalam reservoir. Perolehan tersebut dapat ditingkatkan hingga 20% apabila dilakukan injeksi gas ke dalam reservoir. Untuk mempertahankan produksi dan menaikan *recovery* dikembangkan pada tahap *secondary recovery* yaitu dilakukan dengan *water flooding* atau menginjeksikan air kedalam reservoir agar menimbulkan tekanan.

Dan sisa cadangan mampu keluar dari batuan berpori untuk naik ke atas. *Water flooding* ini pun membutuhkan biaya yang besar karena volume air yang diinjeksikan besar dan belum sepenuhnya bisa mengeluarkan sisa minyak yang terjebak dalam reservoir karena tegangan permukaan minyak yang besar, maka perlu pengembangan pada tahap selanjutnya. Pengembangan pada tahap *tertiary recovery* ini dikenal dengan istilah *Enhanced Oil Recovery* (EOR).

Salah satu metode EOR yang berpotensi untuk dikembangkan yaitu menggunakan mikroba atau yang dikenal dengan *Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR)* (Shibulal et al., 2014).

MEOR merupakan teknik pemulihan residu minyak bumi yang paling ramah lingkungan (Song et al., 2015). Teknik ini menggunakan bantuan mikroorganisme untuk mengeluarkan minyak yang tersisa di dalam reservoir. Lebih dari 50% sisa minyak dapat diekstrak menggunakan teknik ini dengan biaya yang sangat rendah.

Secara umum, proses ini menggunakan mikroorganisme atau nutrien yang diinjeksikan ke dalam sumur untuk memperbanyak mikroorganisme dibawah permukaan sehingga mengakibatkan peningkatan aktivitas mikrobial serta peningkatan fluidisitas dan pemulihan minyak (Cai et al., 2015). Mikroba yang akan digunakan dalam MEOR merupakan bakteri yang didapat dari medium atau dari lingkungan asalnya.

Proses mengambil bakteri dari medium atau dari lingkungan asalnya lalu menumbuhkannya di medium buatan sehingga diperoleh biakan yang murni (Singleton & Sainsbury, 2006).

Bakteri Asam Laktat pertama kali ditemukan oleh Pasteur, seorang Profesor Kimia di Universitas of Lille pada tahun 1878. Saat itu dilaporkan bahwa menemukan Bakteri Asam Laktat pada susu yang sudah tengik dan pada saluran pencernaan manusia dan hewan. Bakteri Asam Laktat merupakan bakteri gram positif berbentuk kokus atau batang, tidak membentuk spora dan memiliki suhu optimum ± 40˚C.

Pada umumnya non motil karena kemampuan biosintesisnya sangat terbatas, bersifat anaerob, katalase negatif dan oksidase positif.

Bakteri Asam Laktat memiliki beberapa sifat khusus, antara lain; mampu tumbuh pada kadar gula, alkohol, dan garam yang tinggi, mampu memfermentasikan monosakarida dan disakarida (Syahrurahman, 2007 dalam Nasution, 2012). Bakteri asam laktat dapat diisolasi dari berbagai sumber seperti makanan terfermentasi, susu yang diambil dari berbagai spesies hewan dalam kelompok mamalia, atau bahkan dari feses bayi sehat yang diberi asupan ASI selama 6 bulan secara terus menerus (Medjaoui et al., 2016). Bakteri Asam Laktat adalah bakteri yang mampu memfermentasikan gula atau karbohidrat untuk memproduksi asam laktat dalam jumlah besar (Widyastuti dan Sofarianawati, 1999).

BAB II PERTUMBUHAN BAKTERI

Bakteri yang serig ditemukan pada umumnya dari jenis basil gram positif baik berspora maupun non spora, basil gram negatif dan kokus gram positif. Bakteri yang biasanya terdapat dalam mulut dan tenggorokan orang normal seperti *Staphylococcus sp, Streptococcus sp* ditemukan di udara melalui batuk, bersin, dan berbicara. Beberapajenis lain yang terdeteksi mencemari udara antara lain: *Pseudomonas sp, Klebsiella sp, Proteus sp, Bacillus sp,* dan golongan jamur (Waluyo, 2009).

- Fase pertumbuhan bakteri
- Fase Lag (Fase Penyesuaian)

  Fase lag merupakan fase penyesuaian bakteri dengan lingkungan yang baru. Lama fase lag pada bakteri sangat bervariasi, tergantung pada komposisi media, pH, suhu, aerasi, jumlah sel pada inokulum awal dan sifat fisiologis mikroorganisme pada media sebelumnya.

- Fase logaritma / exsponensial

  Fase logaritma ditandai dengan terjadinya periode pertumbuhan yang cepat. Setiap sel dalam populasi membelah menjadi dua sel. Variasi derajat pertumbuhan bakteri pada fase logaritma ini sangat dipengaruhi oleh sifat genetik yang diturunkannya.

- Fase stasioner

  Fase stasioner terjadi pada saat laju pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematiannya. Sehingga jumlah keseluruhan bakteri akan tetap. Keseimbangan jumlah keseluruhan bakteri ini terjadi karena adanya pengurangan derajat pembelahan sel. Hal ini disebabkan oleh kadar nutrisi yang berkurang dan terjadi akumulasi produk toksik sehingga menggangu pembelahan sel.

  Fase stasioner ini dilanjutkan dengan fase kematian yang ditandai dengan peningkatan laju kematian yang melampaui laju pertumbuhan, sehingga secara keseluruhan terjadi penurunan populasi bakteri.

- Fase kematian

  Fase kematian merupakan fase dimana laju kematian lebih besar (Riadi, 2016)

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Bakteri

- Nutrien

  Nutrien atau zat makanan yang digunakan untuk pertumbuhan bakteri harus mengandung sumber karbon, sumber nitrogen, mineral (sulfur, fosfat) dan faktor-faktor pertumbuhan yang meliputi asam amino, purin, pirimidin dan vitamin. Persyaratan untuk pertumbuhan bakteri beraneka ragam sesuai dengan jenis bakterinya.

  Beberapa bakteri dapat memperbanyak diri pada berbagai jenis nutrisi, sedangkan yang lain mempunyai kekhususan dan hanya membutuhkan jenis nutrisi tertentu untuk pertumbuhanya (Jawetz dkk, 2008)

- Suhu

  Suhu optimal untuk pertumbuhan bagi bakteri sangat bervariasi tergantung pada jenis bakteri itu sendiri. Pada suhu yang tepat (optimal), sel bakteri dapat memperbanyak diri dan tumbuh sangat cepat. Sedangkan pada suhu yang lebih rendah atau lebih tinggi, masih dapat memperbanyak diri, tetapi dalam jumlah yang lebih kecil dan tidak secepat jika dibandingkan dengan pertumbuhan pada suhu optimalnya.

- Kelembaban

  Kelembaban sangat penting untuk pertumbuhan bakteri bakteri membutuhkan kelembaban tinggi, pada umumya untuk pertumbuhan bakteri yang baik dibutuhkan kelembaban diatas 85%.

Udara yang sangat kering dapat membunuh bakteri, tetapi kadar kelembaban minimum yang diperlukan untuk mendukung pertumbuhan bakteri bukanlah merupakan nilai pasti. Kandungan air atau kelembaban yang terjadi dan tersedia, bukan total kelembaban yang ada juga dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri.

- Pencahayaan

  Cahaya yang berasal dari sinar matahari dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri. Bakteri lebih menyukai kondisi gelap, karena terdapatnya sinar matahari secara langsung dapat menghambat pertumbuhan bakteri (Jawetz dkk, 2008).

- Oksigen

  Kebutuhan oksigen pada bakteri tertentu mencerminkan mekanisme yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energinya.

- Konsentrasi ion *hydrogen* (pH)

  pH pembenihan juga mempengaruhi kuman, kebanyakan kuma pathogen mempunyai pH optimum 7,2 – 7,6. Meskipun suatu pembenihan pada mulanya baik bagi suatu kuman, tetapi pertumbuhan kuman selanjutnya juga akan terbatas Karena produk metabolism kuman itu sendiri. Hal ini terutama dijumpai pada kuman yang bersifat fermentatif yang menghasilkan sejumlah besar asam-asam organik yang bersifat menghambat.

- Tekanan osmotik

  Suatu tekanan *osmotic* akan sangat mempengaruhi bakteri jika tekanan osmotik lingkungan lebih besar (hipertonis) sel akan mengalami *plasmolysis*. Sebaliknya jika tekanan *osmotic* lingkungan yang hipotonis akan menyebabkan sel membengkak dan juga akan megakibatkankan rusaknya sel.

Oleh karena itu dalam mempertahankan hidupnya, sel bakteri harus berada pada tingkat tekanan *osmotic* yang sesuai, walaupun sel bakteri memiliki daya adaptasi, perbedaan tekanan *osmotic* dengan lingkungannya tidak boleh terlalu besar (Jawetz dkk, 2008).

BAB III ISOLAT BAKTERI ASAM LAKTAT

Bakteri asam laktat merupakan kelompok besar mikroorganisme yang secara fisiologi menghasilkan asam laktat sebagai metabolit utama. Kelompok bakteri ini banyak terdapat pada bahan pangan serta saluran gastrointestinal dan urogenital manusia dan hewan. Selama pertumbuhannya, bakteri asam laktat dapat memproduksi komponen metabolit, seperti asam organik, hidrogen peroksida, bakteriosin, dan komponen lainnya. Bakteriosin merupakan suatu péptida antimikroba yang dihasilkan bakteri asam laktat selama fase pertumbuhan eksponensial yang dalam jumlah yang cukup, dapat membunuh atau menghambat bakteri lain yang berkompetisi dalam ekologi yang sama (Vasiljevic dan Shah, 2008).

Bakteri asam laktat bersifat fungsional yaitu strain sehingga masih perlu dilakukan eksplorasi strain bakteri asam laktat yang unggul dalam sifat fungsional tertentu.

Hasil isolat dapat dipergunakan sebagai kultur starter pada pangan fermentasi sehingga akan menaikkan nilai tambah produk fermentasi menjadi bernilai fungsional. Karakterisasi dan fungsionalitas isolat-isolat bakteri asam laktat masih belum dilakukan dan perlu diinvestigasi lebih lanjut untuk mengetahui kelayakan sebagai kandidat probiotik.

Persyaratan utama bagi isolasi dan kultivasi fage adalah harus adanyakondisi optimum untuk pertumbuhan organisme inangnya. Sumber bakteriofageyang paling baik dan paling utama adalah habitat inang. Sebagai contoh fage koliyang di jumpai di dalam pencernaan dapat diisolasi dari limbah atau pupukkandang. Hal ini dilakukan dengan sentifugasi atau filtrasi bahan sumbrnya dan penambahan kloroform untuk membunuh sel-sel bakterinya (Adams, 2000).

Peningkatan permintaan akan minyak bumi sebagai energi utama ini saat ini tidak diimbangi oleh produksi minyak bumi. Terdapat kebijakan baru yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, bahwa pemenuhan kebutuhan energi minyak bumi di dalam negeri pada tahun 2025 akan ditekan hingga sekitar 20% dari sebelumnya sebesar 41,7% tanpa konservasi. Walaupun demikian, pasokan utama kebutuhan energi masih dipegang oleh minyak bumi dan batu bara (BP, 2017).

Eksplorasi terhadap produksi minyak bumi dinilai kurang optimum, dikarenakan produksi minyak bumi secara proses konvensional dan sekunder hanya dapat memproduksi hingga 35% - 45% dari total volume minyak di dalam reservoar (Shibulal, 2014). Oleh karena itu, masih terdapat banyak cadangan minyak di dalam reservoir yang terperangkap di dalam celah batuan reservoir.

Untuk mengalirkan minyak bumi dari celah pori batuan keluar reservoir (produksi minyak bumi) diperlukan metode- metode *enhanced oil recovery* (EOR) untuk meningkatkan produksi minyak bumi dari sumur- sumur yang sudah tidak dapat memproduksi minyak bumi secara konvensional (Ansyori, 2018).

Produksi minyak bumi dengan menggunakan metode EOR pada sumur-sumur minyak setelah proses konvensional dan sekunder dapat ditingkatkan hingga mencapai 60% dari total volume minyak dalam reservoir (OOIP) (Shibulal, 2014). Metode EOR yang kebanyakan dipakai saat ini adalah dengan cara menginjeksikan gas CO2 ke dalam sumur. CO_2 yang diinjeksikan ke dalam sumur mampu mengembangkan minyak dan menurunkan viskositas minyak bumi, sehingga produksi minyak bumi semakin mudah (Kolster, 2017). Metode EOR lain yang biasa digunakan juga adalah dengan cara injeksi kimia. Dengan menginjeksikan larutan kimia, karakteristik minyak bumi di dalam reservoir mampu diubah sesuai dengan mekanisme larutan kimia yang diinjeksikan (Gbadamosi, 2019).

Selain itu berkembang pula metode EOR lain yang menggunakan bantuan mikroorganisme sebagai agen pengubah karakteristik batuan reservoir maupun minyak bumi (Nikolova, 2020).

Pada teknologi *Microbial Enhanced Oil Recovery* (MEOR), proses yang dapat dilakukan antara lain dengan cara menginjeksikan mikroorganisme yang mampu membantu proses MEOR dan atau dengan cara menginjeksikan nutrisi yang diperlukan oleh mikroorganisme indigen di dalam reservoir untuk beraktivitas (Daryasafar, 2016). Aktivitas metabolisme tersebut mikroorganisme yang mampu membantu meningkatkan perolehan minyak bumi. Produk metabolit mikroorganisme MEOR berupa asam organik, biosurfaktan, biopolimer, gas, dan pelarut dapat mengubah karakteristik batuan reservoir maupun minyak bumi (Siami & Yono, 2020).

Dalam buku ini membahas 2 isolat bakteri yang mampu mengubah karakteristik fisika dari minyak bumi jenis *heavy crude oil*, yaitu MSD4 dan MSD5 (Ardani, 2008).

Mikroorganisme ini berpotensi untuk digunakan sebagai agen MEOR karena dapat menurunkan viskositas minyak bumi dan menurunkan tegangan antar muka minyak bumi terhadap air. Simulasi peningkatan produksi minyak bumi dilakukan dengan metode injeksi mikroorganisme tersebut ke dalam batuan reservoir untuk mengetahui efektifitasnya dalam meningkatkan produksi minyak bumi (Pratama, 2010).

Buku ini adalah untuk mengetahui potensi perolehan minyak bumi dengan karakteristik *heavy crude oil* dalam *limestone* reservoir. Untuk mengatasi kesulitan dalam memperoleh batuan model simulasi (*core*) asli dari sumur minyak bumi, digunakan batuan buatan (*artificial core*) *limestone*.

Buku ini bertujuan untuk menentukan besar peningkatan perolehan minyak bumi dari batuan *artificial limestone* bersaturasi rendah minyak bumi dengan menggunakan metode *bacterial core flooding*, serta mengetahui perubahan karakter fisik dan kimia dari batuan dan minyak bumi.

Bakteri indigen MSD4 dan MSD5, masing-masing diadaptasi pada medium SMSS yang telah ditambahkan minyak bumi sebanyak 5%.

Inokulum kultur bakteri indigen yang akan diinjeksi ke dalam *core limestone* merupakan kultur yang dibiakkan di dalam medium SMSS yang telah ditambahkan *molase* dengan jumlah yang divariasikan, sebanyak 1%, 2%, dan 3%. Dari ketiga variasi tersebut, diketahui bahwa kultur MSD4 dan MSD5 dalam medium dengan penambahan molase sebanyak 1% dapat tumbuh mencapai μ tertinggi masing-masing pada usia kultur 16 jam dan 24 jam dengan nilai μ sebesar 0,9992 jam-1 dan 0,9993 jam-1. Inokulum kultur MSD4 dan MSD5 tersebut dengan perbandingan jumlah 1:1 dan masing-masing dengan kepadatan sel bakteri 107-108 sel/mL, diinjeksikan ke dalam *limestone artificial core* tersaturasi minyak bumi kurang dari 15%. Rentang nilai porositas batuan yang digunakan untuk simulasi *bacterial flooding* adalah 37%-42%, sedangkan permeabilitas yang digunakan memiliki rentang nilai *permeabilitas low* (1mD-10mD) dan *fair* (10mD-50mD).

Besar faktor perolehan minyak (%RF) yang didapatkan dari simulasi *bacterial flooding* dan diinkubasi selama 7 hari dalam suhu 55°C pada medium SMSS untuk core dengan nilai permeabilitas *low* dan *fair*, memiliki rentang 16,3%-32% dan 12%- 15,3%. Aktivitas mikroorganisme di dalam batuan *limestone* mengakibatkan perubahan karakter fisik, dengan rentang perubahan untuk permeabilitas dan porositas sebesar -41,8%, -698% dan -63,85%, dan - 1,03%. Indikator perlekatan bakteri indigen pada batuan *limestone* dapat diketahui dengan melakukan analisis *fotomikrograf Scanning Electron Microscope* dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy.*

Berdasarkan hasil studi literature aplikasi MEOR, dapat disimpulkan bahwa nilai persentase *Recovery Factor* (%RF) total yang dihasilkan dari teknik microbial core *flooding* dengan waktu inkubasi selama 7 hari dan suhu 55ºC, pada *artificial core limestone* dengan nilai permeabilitas low dan fair mencapai nilai rata-rata 22,10% dan 13,87% terhadap nilai OOIP. Adapun hasil analisis fotomikrograf SEM-

EDS terlihat adanya perubahan pada tekstur permukaan dan penambahan konsentrasi komposisi senyawa karbon sebanyak 32,07% pada batuan *limestone*, mengindikasikan adanya perlekatan serta aktivitas bakteri indigen MSD4 dan MSD5.

Terdapat 3 teknik isolasi dengan cara pengenceran, yaitu :

1. Teknik Preparasi Suspensi

   Sampel yang telah diambil kemudian disuspensikan dalam akuades steril. Tujuan dari teknik ini pada prinsipnya adalah melarutkan atau melepaskan mikroba dari substratnya ke dalam air sehingga lebih mudah penanganannya. Macam-macam preparsi bergantung kepada bentuk sampel :

   a. *Swab* (ulas)

      Dilakukan menggunakan *cotton bud steril* pada sampel yang memiliki permukaan luas dan pada umumnya sulit dipindahkan atausesuatu pada benda tersebut. Contohnya adalah meja, batu, batang kayu, dll.

Caranya dengan mengusapkan *cotton bud* memutar sehingga seluruh permukaan kapas dari *cotton bud* kontak dengan permukaan sampel.

Swab akan lebih baik jika *cotton bud* dicelupkan terlebih dahulu ke dalam larutan surfaktan semisal *pepton water*.

b. *Rinse* (bilas) ditujukan untuk melarutkan sel-sel mikroba yang menempel pada permukaan substrat yang luas tapi relatif berukuran kecil, misalnya daun bunga. *Rinse* merupakan prosedur kerja dengan mencelupkan sampel ke dalam akuades dengan perbandingan 1:9 (w/v).

c. *Maseration* (pengancuran), sampel yang berbentuk padat dapat ditumbuk dengan mortar dan *pestle* sehingga mikroba yang ada dipermukaan atau didalam dapat terlepas kemudian dilarutkan ke dalam air. Contoh sampelnya antar alain bakso, biji, buah, dll.

2. Teknik Pengenceran Bertingkat

Tujuan dari pengenceran bertingkat yaitu memperkecil atau mengurangi jumlah mikroba yang tersuspensi dalam cairan. Penentuan besarnya atau banyaknya tingkat pengenceran tergantung kepada perkiraan jumlah mikroba dalam sampel.

3. Teknik Penanaman

Teknik penanaman ini merupakan lajutan dari pengenceran bertingkat. Pengambilan suspensi dapat diambil dari pengenceran mana saja tapi biasanya untuk tujuan isolasi (mendapatkan koloni tunggal) diambil beberapa tabung pengenceran terakhir.

Selain untuk tujuan di atas medium juga memiliki fungsi lain, seperti tempat untuk mengisolasi, seleksi, evaluasi dan diferensiasi biakan yang didapatkan. Agar tiap-tiap medium memilki karakteristik yang sesuai dengan tujuan sehingga sering kali digunakan beberapa jenis zat tertentu yang mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangbiakan mikroba (Suriawiria,2005).

- Pengasingan (isolasi) mikroba pada biakan bakteri.
- Menunjukan sifat khas mikroba.
- Untuk menentukan jenis mikroba yang diisolasi dengan cara-cara tertentu.
- Untuk mendapatkan bahan biakan yang cukup untuk membuat antigen dan percobaan serologi lainnya.
- Menentukan kepekaan kuman terhadap antibiotik.
- Menghitung jumlah kuman.
- Mempertahankan biakan mikroba.

Mikroorganisme tidak memerlukan banyak ruangan untuk perkembangannya, sebab itu media buatan agar dapat dimasukkan ke dalamsebuah tabung percobaan labu atau cawan Petri. Pada permulaannya tabung atau cawan Petri harus dalam keadaan steril (bebas dari setiap mikroorganisme hidup) lalu setelah itu dimasukkan mikrobia yang diinginkan, tabung atau cawan harusdilindungi terhadap kontaminasi dari luar.

Sumber utama pencemaran dari luar adalah udara, yang banyak mengandung mikroorganisme yang berterbangan. Bentuk cawan petri, dengan tutup yang saling menyelubungi, dirancang untukmencegah pencemaran udara. Pencemaran tabung atau labu dihindari dengan caramenyumbat mulutnya dengan penutup yang cocok, biasanya dengan kapas.

Microbial *Enhanced Oil Recovery* (MEOR)

Salah satu teknik EOR yang dikembangkan saat ini adalah memanfaatkan mikroba yang dikenal dengan *microbial enhanced oil recovery* (MEOR). MEOR merupakan teknologi yang memanfaatkan aktivitas mikroba dan dilakukan dengan tujuan me-ningkatkan perolehan minyak pada suatu reservoir minyak bumi dengan cara menginjeksikan mikroba ke dalam reservoir tersebut (Rangkuti, 2012). Pelaksanaan MEOR dapat dipersiapkan melalui seleksi bakteri dari reservoar.

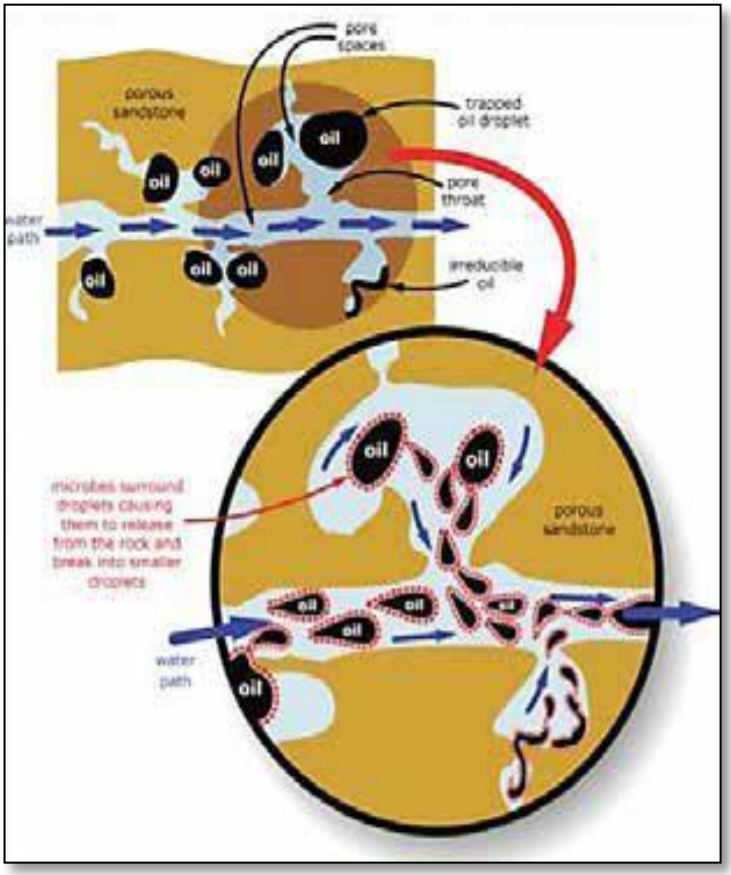
Isolat bakteri terpilih dapat digunakan untuk mengaktifkan sumur- sumur tua yang telah ditutup atau meningkatkan perolehan minyak bumi dari sumur aktif (Juli dan Virmuda, 2001).

Bakteri yang digunakan dalam MEOR harus memiliki kemampuan untuk menghasilkan beberapa senyawa yang berpotensi dalam peningkatan pero-lehan minyak bumi seperti gas, asam, polimer, dan biosurfaktan. Reservoir minyak bumi di Indonesia sebagian besar memiliki kondisi oksigen yang relatif sedikit, dengan suhu di atas 40^{o}C bahkan dapat mencapai 90^{o}C atau lebih. Oleh karena itu, bakteri yang dibutuhkan untuk meningkatkan perolehan minyak harus menggunakan bakteri yang bersifat anaerob fakultatif dan mampu beradaptasi pada suhu tinggi (Mustafa, 2006).

Karakteristik yang harus dimiliki oleh bakteri MEOR yaitu mampu mengolah senyawa hidrokarbon (hidrokarbonoklastik), menghasilkan biosurfaktan, menghasilkan gas, ukuran kecil, barofilik (kuat terhadap tekanan tinggi), termofilik (tahan terhadap suhu tinggi), halofilik, bersifat anaerob, tidak patogen.

Proses MEOR dimulai dari injeksi mikroba ke reservoir hingga munculnya minyak ke permukaan dapat dilihat pada gambar 2.1.

Metode MEOR kebanyakan diaplikasikan pada 2 reservoir seperti mekanisme *in-situ* dan *ex-situ* (Saravanan et al., 2020). MEOR pada mekanisme in-situ mikroba dan nutrien diinjeksikan ke reservoir melalui sumur injeksi sedangkan pada *ex-situ* mikroba di produksi pada bioreaktor terlebih dahulu kemudian di injeksikan ke reservoir, kedua metode ini memiliki perbedaan yang dapat dilihat pada Tabel 1.1 (Niu et al., 2020).



Gambar 2.1 Ilustrasi MEOR pada reservoir minyak (Ansyori, 2018)

Tabel 1.1 Perbedaan *In – Situ* dan *Ex - Situ*

NO	*IN – SITU* MEOR	*EX – SITU* MEOR
1	Bakteri dan Nutrien dinjeksikan langsung ke reservoir	Bakteri di produksi di dalam bioreactor kemudian diinjeksikan ke reservoir
2	Biaya yang digunakan lebih rendah	Biaya yang digunakan mahal
3	Efek yang ditimbulkan tidak signifikan	Efek yang ditimbulkan signifikan
4	Output hasil produksi rendah	Ouput hasil produksi Tinggi
5	Kesulitan pada *screening* microba	Perlu *screening*

Efektivitas dari metode MEOR diukur berdasarkan beberapa parameter: formasi suhu, viskositas minyak, permeabilitas, salinitas air garam, *water cut*, gravitasi API *crude oil*, pH, tekanan, saturasi *oil residu*, kedalaman porositas dan kandungan bakteri pada reservoir (Saravanan et al., 2020).

Parameter *Saturasi Oil Residu* (SOR) ditentukan oleh angka kapilaritas (NCap) yang di dapat dari perbandingan pada persamaan (1) (Niu et al., 2020).

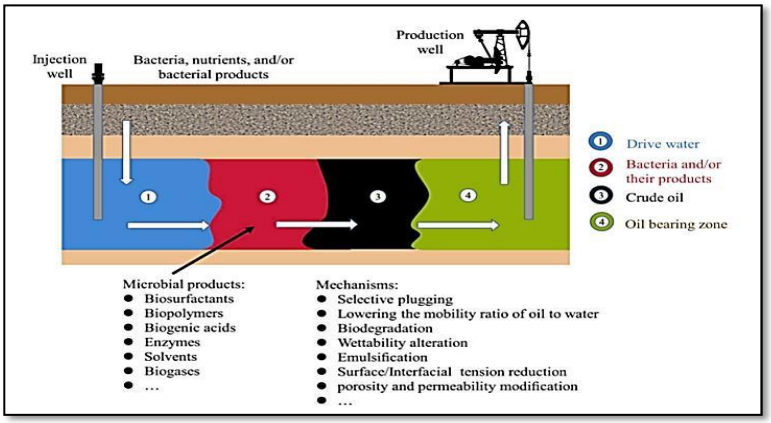
$$\text{Ncap} = \frac{Viscous\ Force}{Capilary\ Force} = \frac{v\mu}{\sigma Cos\theta}$$

dimana dan kecepatan perpindahan fluida, adalah IFT antara fluida yang dipindahkan dan fluida yang memindahkan. Proses MEOR menginjeksikan mikroba dan juga nutrien, fungsi nutrien yang diinjeksikan ke dalam reservoir adalah sebagai sumber pangan untuk pertumbuhan mikroba dan aktivitas metabolisme (Liu, 2010).

Mikroba juga dapat menghasilkan biosurfaktan, biopolimer, asam, pelarut, gas campuran dan *enzym* yang dapat meningkatkan efisiensi pengangkatan minyak ke permukaan, gambar zona produk dari mikroba (Zhang, Gao and Xue, 2020).

Proses MEOR menginjeksikan mikroba dan juga nutrien, fungsi nutrien yang diinjeksikan ke dalam reservoir adalah sebagai sumber pangan untuk pertumbuhan mikroba dan aktivitas metabolisme (Liu, 2010).

Mikroba juga dapat menghasilkan biosurfaktan, biopolimer, asam, pelarut, gas campuran dan *enzym* yang dapat meningkatkan efisiensi pengangkatan minyak ke permukaan, gambar zona produk dari mikroba (Zhang, Gao and Xue, 2020).



Gambar 2.2 Zona Produk Yang Dihasilkan Mikroba

Bakteri Asam Laktat

Bakteri Asam Laktat terbagi menjadi delapan genus antara lain *Lactobacillus, Streptococcus, Lactococcus, Pediococcus, Enterococcus, Leuconostoc, Bifidobacterium* dan *Corinobacterium*. Berdasarkan tipe fermentasinya, Bakteri Asam Laktat terbagi menjadi *heterofermentatif* dan *homofermentatif*.

Kelompok *homofermentatif* menghasilkan asam laktat sebagai produk utama dari fermentasi gula, sedangkan kelompok *heterofermentatif* menghasilkan asam laktat dan senyawa lain yaitu CO_2, etanol, asetaldehida, diasetil, serta senyawa lainnya (Fardiaz, 1992). Berdasarkan strain bakteri, suhu optimum pada pertumbuhan Bakteri Asam Laktat juga beragam. Beberapa suhu optimum dari berbagai jenis strain bakteri asam laktat yaitu (Surono, 2004):

a. Bakteri psikotropik

   Bakteri yang mampu tumbuh pada suhu 5˚C atau dibawahnya, seperti genus *Leuconostoc* dan beberapa spesies *Lactobacillus fakultatif heterofermentatif*, khususnya *lactobacillus* sake.

b. *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophillus* (kultur stater yogurt) dan beberapa spesies *Labtobacillus obligat homofermentattif* tumbuh pada suhu optimum 45˚C dan tidak tumbuh pada suhu 15˚C.

c. Beberapa strain bakteri asam laktat yang memiliki sifat *thermoduric* (tahan pada suhu tinggi) seperti *Enterococcus* dan *Streptococcus thermophillus* dapat tumbuh pada suhu mencapai 50˚C.

Salah satu contoh bakteri yang telah dimanfaatkan ialah *Enterococcus faecalis* yang digunakan sebagai *indicator* kesempurnaan proses pasteurisasi. Berdasarkan suhu optimum dan suhu maksimum bakteri asam laktat secara umum dibagi menjadi dua kelompok yaitu (Surono, 2004):

- Bakteri Mesofilik, yaitu bakteri yang memiliki suhu optimum bagi pertumbuhannya adalah 25˚C dan suhu maksimum 37˚C – 40˚C. Contoh bakteri mesofilik adalah *strain Lactococci* dan *Leuconostoc*.

- Bakteri *Thermofilik*, yaitu bakteri yang memiliki suhu optimum bagi pertumbuhannya adalah 37˚C - 45˚C dan suhu maksimum 45˚C –52˚C.

Contoh bakteri mesofilik adalah *Streptococcus thermophilus* dan *Homofermentatif Lactobacilli*. Secara alami Bakteri Asam Laktat banyak dijumpai di berbagai habitat seperti makanan fermentasi, buah-buahan dan saluran pencernaan manusia atau ternak (Widyastuti, 1999).

Bakteri Asam Laktat secara umum ditemukan pada habitat yang kaya akan nutrisi seperti pada beberapa produk makanan (susu, daging dan sayuran), tetapi beberapa juga ditemukan pada mulut, pencernaan dan vagina dari mamalia (Whittenbury, 1964 dalam Khalid, 2011). Bakteri Asam Laktat berdasarkan habitat aslinya secara umum dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu bakteri asam laktat yang berasal dari tanaman (fermentasi nabati) dan Bakteri Asam Laktat yang berasal dari susu (*dairy product*).

Pada kelompok Bakteri Asam Laktat yang berasal dari fermentasi nabati biasanya terdapat pada beberapa produk nabati seperti pikel buah dan sayuran, kimchi, minuman beralkohol, produk fermentasi kedelai (taucho, miso, tempe), idli/ dosa (sejenis roti dari India), dll.

Pembuatan Bakteri Asam Laktat

Tahap pembuatan isolate bakteri asam laktat ada 3 tahap dan dibuat dari cucian air beras limbah rumah tangga. Pertama, air hasil cucian beras pertama yang masih kaya nutrisi dan dipastikan air yang digunakan untuk mencuci tidak mengandung *chlorin* yang akan membunuh bakteri. Air cucian beras disimpan di tempat yang steril selama 48 jam. Setelah 48 jam aroma yang tercium merupakan aroma fermentasi, dan dari air setelah terfermentasi diambill sebanyak 100 ml.

Air hasil fermentasi ini merupakan biang bakteri yang kemudian akan dilakukan pembiakan. Tahap kedua adalah membiakan biang bakteri dengan mencampurkan 100 ml biang ke dalam 900 ml susu sapi murni. Diletakan dalam wadah yang steril ditutup kertas tissue dan disimpan selama 3-5 hari. Ciri khas serum bakteri telah terbentuk apabila sudah ada gumpalan dan cairan putih dan agak bening. Cairan yang bening inilah merupakan serum bakteri asam laktat yang akan diambil. Tahap ketiga adalah pemberian *nutrient* berupa *brown sugar* atau gula tebu yang berwarna coklat.

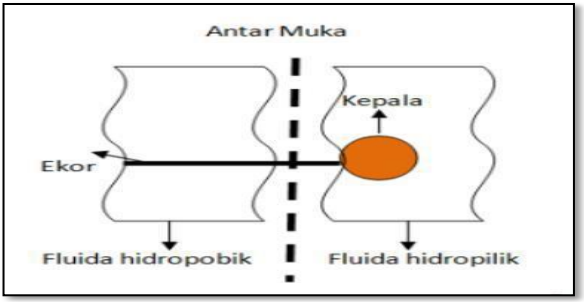
Agar bakteri dorman atau bias digunakan dalam waktu lama, maka perbandingan pemberian *brown sugar* sebanyak 1:1, atau 1 liter setum yang dihasilkan ditambahkan *brown sugar* sebanyak 1 kg, dan disimpan dalam suhu ruang dan terhindar langsung dari sinar matahari. Apabila akan digunakan maka dapat diencerkan kurang lebih 1:20.

BAB IV PENINGKATAN RECOVERY

Interfacial Tension (IFT)

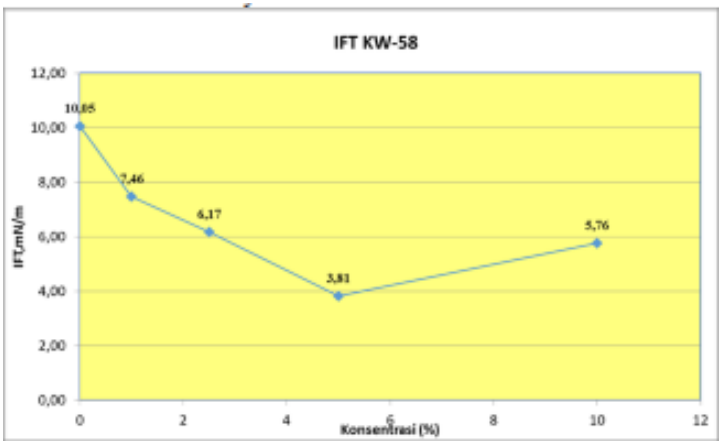
Mekanisme penurunan tegangan permukaan itu sendiri dapat diamati dari mekanisme penetrasi molekul surfaktan ke dalam fasa hidrofilik dan hidrofobik.

Bagian kepala dari surfaktan yang bersifat hidrofilik akan masuk ke dalam fasa yang bersifat hidrofilik dimana dalam hal ini adalah air. Kemudian ekor yang bersifat hidrofobik akan masuk ke dalam fasa yang bersifat hidrofobik yaitu minyak. Mekanisme tersebut dapat dilihat pada **Gambar 2.3**



Gambar 2.3 Mekanisme Kerja Biosurfaktan (Elazzazy et.al., 20150)

Sulistiyarso et al (2020) telah melakukan uji IFT pada biosurfaktan yang ditambahkan pada sampel minyak pada berbagai konsentrasi dengan karakteristik minyak sedang dengan hasil sebagai berikut:



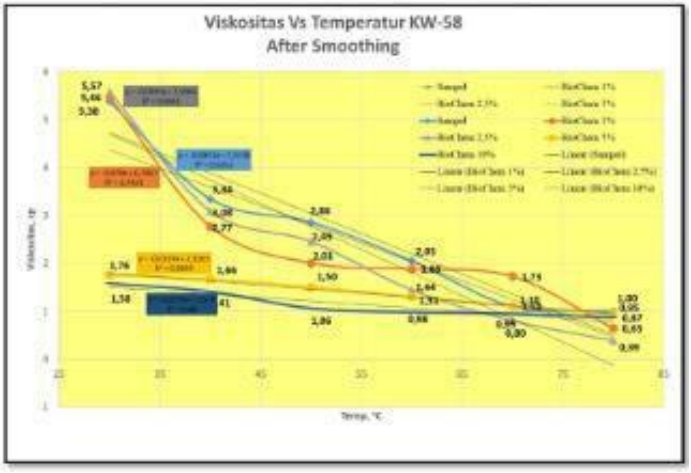
Gambar 2.4. Grafik Konsentrasi "U-Champ" vs IFT Sampel (Sulistyarso et al, 2020)

Dari Gambar 2.4. yang didapat pada pengukuran nilai tegangan antarmuka dari sampel minyak tersebut dapat diketahui bahwa penambahan biosurfaktan dapat menurunkan nilai tegangan antarmuka.

Namun penurunan tegangan antarmuka tersebut tidak terlalu signifikan karena pada sampel air formasi memiliki nilai salinitas yang tinggi, sehingga larutan tersebut lebih larut didalam minyak dan membentuk mikroemulsi dengan jenis winsor tipe II, dimana jenis mikroemulsi yang terjadi pada winsor tipe II adalah jenis upper phase microemulsion.

Viskositas

Penambahan biosurfaktan kedalam sampel minyak dapat menurunkan nilai viskositas sampel tersebut. Pada grafik hasil pengukuran berikut ini dapat diketahui bahwa penambahan biosurfaktan dapat mendegragasi fraksi berat hidrokarbon sehingga dapat mereduksi rantai panjang hidrokarbon menjadi rantai yang lebih pendek. Hasil pengukuran viskositas dari penambahan biosurfaktan pada sampel minyak dapat dilihat pada Gambar 2.5. berikut.



Gambar 2.5. Grafik Temperatur vs Viskositas Sampel (Sulistyarso et al, 2020)

Wettabilitas

Menurut Allen and Robert (1993) selain porositas dan *permeabelitas* sifat reservoir juga dipengaruhi oleh sifat kebasahan/ *wettability*, *wettability* merupakan sifat kebasahan permukaan batuan. Batuan bersifat *water-wet* berarti batuan tersebut lebih mudah dibasahi oleh air daripada minyak.

Demikian juga Bakteri Asam Laktat batuan *oil-wet* maksudnya batuan tersebut lebih mudah dibasahi oleh minyak daripada air. Hal ini menyebabkan batuan yang bersifat *oil wet* atau sifat kebasahan terhadap minyak besar menyebabkan minyak mudah terperangkap sehingga mengakibatkan *residual oil*. Kebanyakan formasi reservoir terdiri dari campuran silika, *clays*, batu gamping dan dolomit. Berdasarkan kecenderungan *wettability* dari komponen matrik silika, sering diasumsikan kebanyakan reservoir minyak bersifat suka air/*water-wet*.

Walau begitu banyak reservoir yang bersifat *oil wet* ditemukan melalui analisis laboratorium dengan mengukur sudut kontak antara fluida dan batuan reservoir dari berbagai daerah di dunia (Ayirala 2002).

Minyak bersifat hidrofobik, apabila minyak diteteskan dipermukaan benda padat yang bersifat hidrofilik, bentuk tetesan adalah bulat disebabkan karena tegangan permukaan tetesan minyak tidak sama dengan permukaan benda padat.

Hal ini disebabkan karena gaya kohesi molekul minyak lebih besar dibandingkan dengan gaya adesi antara permukaan minyak dan padatan. Setelah surfaktan ditambahkan ke permukaan antar fase, tetesan minyak akan terdistribusi di permukaan padatan.

Coreflooding

Boneau and Clampitt (1977) melakukan percobaan *core flooding* baik pada batuan pasir yang bersifat *oil-wet* dan *water-wet* dengan permeabilitas, porositas dan struktur pori yang sama menggunakan surfaktan dan mendapatkan *recovery* minyak tersier dalam *range* 55-65% pada batuan pasir yang bersifat *oil-wet* dan 90-95% pada batuan pasir yang bersifat *water-wet*.

Surfaktan mendesak lebih sedikit minyak dari batuan pasir yang bersifat sangat *oil-wet* karena tiga sampai lima kali lebih banyak jumlah sulfonat teradsorpsi pada batuan pasir yang bersifat *oil-wet* daripada batuan pasir yang bersifat *water-wet*. Kristanto dkk. (2010) menjelaskan prinsip dasar dari *soaking surfaktan* adalah menginjeksikan sejumlah tertentu *chemical* ke dalam reservoir dengan anggapan minyak yang dapat terdorong oleh air (*waterflooding*) akan bergerak menjauhi lubang sumur dan yang akan bereaksi hanya *residual oil* yang tidak terkuras/tersapu oleh air.

Setelah itu surfaktan yang diinjeksikan akan bekerja dan bereaksi dengan menurunkan tegangan antarmuka pada saat perendaman/*soaking* dilakukan karena surfaktan mempunyai kemampuan untuk menurunkan tegangan antarmuka. Sulistyarso dkk. (2020) melakukan uji *coreflooding* pada biosurfaktan dengan sampel batu pasir. Pada dapat diketahui bahwa ada peningkatan perolehan minyak (RF) dengan bertambahnya biosurfaktan yang diinjeksikan.

Larutan Bakteri Asam Laktat pada berbagai konsentrasi dan waktu pengujian tidak menunjukkan perubahan IFT dari minyak dan air formasi secara signifikan. Larutan Bakteri Asam Laktat dapat meningkatkan viskositas campuran pada konsentrasi tertentu dan waktu tumbuh bakteri yang tertentu pula. Pengaruh pH dari larutan Bakteri Asam Laktat dengan minyak dapat menurunkan pH dan campuran bersifat asam.

Pengujian tahap awal meliputi pengukuran interfacial tension (IFT), viskositas dan pH dari larutan dengan berbagai konsentrasi isolate BAL pada hari ke-1, ke-3, ke-6 dan ke-9.

Hasil pengujian IFT menunjukkan baik dari sampel minyak lapangan Ledok maupun Semanggi masing-masing dengan penambahan konsentrasi BAL dan lama waktu hidup bakteri tidak memberikan perubahan IFT yang signifikan. Hal ini membuktikan bahwa BAL tidak mempunyai sifat menurunkan IFT dari sampel minyak yang diteliti. Pada uji viskositas baik kedua sampel menunjukkan ada kecenderungan larutan BAL ini meningkatkan viskositas campuran. Hal ini menunjukkan BAL mempunyai sifat polimerik jika direaksikan dengan sampel minyak dan air formasi, sehingga dapat membentuk struktur dengan rantai panjang (polimer).

Pada tahap selanjutnya dilakukan uji imbibisi menunjukkan perolehan minyak dengan uji imbibisi terbesar pada konsentrasi 2% yaitu dengan perolehan 28,5%. Hasil ini jauh lebih baik dari 2 hasil lainnya pada konsentrasi 4% dan 6% masing-masing 5% dan 7%. . Berdasarkan hasil uji imbibisi ini maka dilanjutkan skenario *coreflooding* dengan menguji pada konsentrasi isolat BAL 2%.

Pengujian coreflooding dilakukan pada sampel sintetik *core* dengan porositas 13% dan permeabilitas 65mD. Dimensi *coreplug* ini adalah Pada uji *coreflooding* dapat dilihat perolehan minyak dari proses *waterflooding* sebanyak 60% dan dengan penambahan 2% isolate BAL perolehan meningkat 20% menjadi 80%.

Metode EOR yang saat ini sedang fokus dikembangkan adalah dengan menggunakan metode injeksi surfaktan, termal dan CO_2. Dalam periode 2015 hingga 2016 diperkirakan terdapat 34 lapangan yang diprioritaskan untuk implementasi EOR dengan potensi *incremental* sebesar 2,7 BBO.

Tantangan yang ditemui dalam menerapkan EOR di Indonesia dari sisi regulasi meliputi:

a. Ketidakpastian hukum, ketidakpastian pembaruan kontrak, kesulitan dalam lisensi, perubahan kebijakan dan tidak adanya investasi untuk keamanan,

b. Kurangnya komitmen dari (kontraktor kontrak kerja sama) KKKS untuk menerapkan EOR,

c. Kurangnya rangsangan untuk membuat EOR lebih menarik,

d. Kurangnya kerjasama antar *sector* atau departemen, dan

e. kurangnya organisasi EOR di dalam skk migas, ditjen migas dan KKKS.

Dari sisi teknis hambatan yang dialami meliputi:

a. Kondisi *subsurface* yang kompleks,
b. Kurangnya material untuk injeksi,
c. Ketiadaan pengalaman dan keahlian dalam EOR,
d. Infrastruktur yang sudah tua, dan
e. Biaya operasional yang mahal.

Kemudian dari sisi fiskal, hambatan yang dihadapi meliputi:

a. Kredit investasi,
b. Perpanjangan kontrak,
c. Ketiadaan pajak untuk penggunaan fasilitas secara bersama,
d. *Tax holiday*,
e. DMO *holiday*,
f. Depresiasi, dan

g. *Block basis development*.

Hambatan terakhir yang dialami dalam proses penerapan EOR adalah *supply chain* yang meliputi:

a. Volume besar (*chemical*),

b. Patent atau *customized* (biaya tinggi),

c. Kapasitas nasional,

d. *Procurement*,

e. Strategi penyediaan CO_2 (infrastruktur dan transportasi).

DAFTAR PUSTAKA

Desy Hikmatul Siami dan Novi Hery Yono. Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR): Alternatif Peningkatan Produksi Migas di Indonesia. PPSDM MIGAS Volume 2 No 2 tahun 2020

Harry Budiharjo S., Joko Pamungkas, Indah Widiyaningsih, Yusril Ihza Wijaya. 2021. Injeksi Biosurfaktan "U-Champ" pada Uji Banjir inti Sampel Minyak Berat.Prosiding SEMNASTERA (Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan) Politeknik Sukabumi, 23 Oktober 2021.

Rizqy Fachria. 2021. Aplikasi Biosurfaktan Bacillus Subtilis ATCC 19659 dengan Media Produksi Limbah Tahu untuk Enhaced Oil Recovery. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, Vol. 09, No. 2, 2021: 101 – 107.

Alvarez, V. M. et al. (2020) 'Microbial enhanced oil recovery potential of surfactin-producing Bacillus subtilis

AB2.0', Fuel. Elsevier, 272(April), p. 117730. doi: 10.1016/j. fuel.2020.117730.

Haloi, S. et al. (2020) 'Characterization of Pseudomonas sp. TMB2 produced rhamnolipids for ex-situ microbial enhanced oil recovery', 3 Biotech. Springer International Publishing, 10(3), pp. 1–17. doi: 10.1007/s13205- 020-2094-9.

Zhang, J., Gao, H. and Xue, Q. (2020) 'Potential applications of microbial enhanced oil recovery to heavy oil', Critical Reviews in Biotechnology. Taylor & Francis, 40(4), pp. 459–474. doi: 10.1080/07388551.2020.1739618

Ansyori, M. R. (2018). Mengenal Enhanced Oil Recovery (EOR) Sebagai Solusi Meningkatkan Produksi Minyak', Swara Patra, 8(2), pp. 16–22.

Rora Eva Laini1, A. Napoleon, dan Munawar. 2014. Isolasi Bakteri Termofilik Penghasil Biosurfaktan yang Ber-potensi sebagai Agen MEOR (Microbial Enhanched Oil Re-covery) dari Sumur Minyak di Sungai

Angit.Jurnal Penelitian Sains Volume 17 Nomor 1 Januari 2014

Ardani, N. (2008). Isolasi Bakteri Hidrokarbonoklastik dari Sumur Minyak Bumi Suratmi dan Uji Kemampuannya Dalam Mengubah Karakteristik Batuan Reservoir dan Meningkatkan Perolehan Minyak Bumi. Undergraduate Thesis. SITHInstitut Teknologi Bandung.

Sinta Seyaningrum, Neil Priharto, Dea Indriani Astuti, dan Abian Adyasa Ananggadipa. Bacterial Core Flooding Terhadap Limestone Artificial Core Sebagai Aplikasi Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR). Jurnal Petro 2021. P-ISSN : 1907-0438. E-ISSN : 2614-7297

Rehmadanta Sitepu, Sophia Yusnita Wahyu Timur, Rollando Rollando. 2021. Identifikasi Genetik Lactobacillus Dalam Fermentasi Air Cucian Beras Dengan Pcr (Polymerase Chain Reaction). Media Farmasi Vol. 18. No.2. September 2021: 133-146

Yanty Maryanty, Fandi Lintang Wahyu Saputra, Robby Prasetyo. 2019. Pembuatan Asam Laktat dari Selulosa oleh Bakteri Lactobacillus delbrueckii dengan Selulase dari Bakteri Bacillus subtilis dan Bacillus circulans. J. Tek. Kim. Ling. 2019, 4 (2), 153-161 p-ISSN : 2579-8537,

e-ISSN : 2579-9746 www.jtkl.polinema.ac.id

Amaefule and Handy. 1982. The Effect of Interfacial Tensions on Relative Oil/Water Permeabilities of Consolidated Porous Media.

Rizqy Fachria. 2021. Aplikasi Biosurfaktan Bacillus Subtilis ATCC 19659 dengan Media Produksi Limbah Tahu untuk Enhaced Oil Recovery. Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, Vol. 09, No. 2, 2021: 101 - 107

STARS User Guide, 2015, Advanced Process and Thermal Reservoir Simulation Version. 2015, Computer Modeling Group Ltd.

Arifin, DS (2021). Concentration Sensitivity of "U-Champ" Biosurfactant and Soaking Time Huff & Puff Method on "Core Flood" Using CMG Simulator. Yogyakarta: UPN "Veteran" Yogyakarta.

Ultimate, Joko. Ir. MT, 2011. “Reservoir Simulation Modeling and Applications”. Petroleum Engineering Study Program, UPN “Veteran” Yogyakarta, Yogyakarta. Chapter 3 (18-23).

Computer Modelling Group Ltd. 2009. Advanced Process and Thermal Reservoir Simulator. CMG STARS User's Guide.

BIOGRAFI PENULIS

Boni Swadesi

Lahir pada tanggal 7 Desember 1971 di Ampenan. Lulus Sarjana pada 1997 di Jurusan Teknik Perminyakan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta dan Magister Teknik pada tahun 2005 di Jurusan Teknik Perminyakan Institut Teknologi Bandung. Kemudian melanjutkan S3 Teknik Perminyakan Institut Teknologi Bandung dan meraih gelar doktor pada 2018. Sejak tahun 1998 menjadi pengajar di Jurusan Teknik Perminyakan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta. Beliau mengampu di Program Studi S1 dan S2 Teknik Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta dengan matakuliah ampu berupa Teknik Reservoir Migas, *Enhanced Oil Recovery*, Pengantar Teknik Perminyakan dan Pabum, Mekanika Reservoir, Perilaku Reservoir, Metode Penulisan dan Praproposal, Manajemen Reservoir Migas dan Peningkatan Perolehan Lapangan Minyak. Selain itu, juga aktif dalam penelitian dan pengembangan studi kasus perminyakan bersama perusahaan skala nasional maupun daerah.

Hariyadi

Hariyadi, S.T., M.T., merupakan dosen aktif di Jurusan Teknik Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta yang mengampu di Program Studi S1 Teknik Perminyakan dengan mata kuliah seperti *Field Management, Plan of Development*, Pengantar Teknik Perminyakan dan Pabum, dan Teknik Reservoar Migas. Lahir di Sleman, 9 November 1985. Menyelesaikan kuliah S1 Teknik Perminyakan UPN "Veteran" Yogyakarta dan S2 Teknik Perminyakan di Institut Teknologi Bandung. Selain itu, juga aktif dalam penelitian dan pengembangan studi kasus bersama perusahaan skala nasional maupun daerah.

Damar Nandiwardhana

Lahir di Jakarta, 18 Februari 1990. Lulus Sarjana Teknik Geofisika tahun 2013 dan Magister Teknik Panas Bumi tahun 2017. Pada tahun 2019, mengabdi menjadi pengajar di Jurusan Teknik Perminyakan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta. Mengampu mata kuliah Geologi Migas Panas Bumi, Eksplorasi Migas dan Panas Bumi Pemetaan Bawah Permukaan, Geothermal Direct Use, Geohidrologi dan Hidrotermal, dan Sedimentologi dan Mineralogi.

Aditya Kurniawan

Aditya Kurniawan merupakan dosen Jurusan Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta. Bidang minat yang diambil untuk penelitian adalah pemodelan dan simulasi proses. Beliau menempuh pendidikan Sarjana di Teknik Perminyakan ITB dan memperoleh gelar Magister di S2 Teknik Kimia UI. Saat ini penulis tinggal di Yogyakarta.

Budi Setiyawan

Budi Setiyawan, lahir di Klaten tanggal 16 April 1981. Lulus sarjana tahun 2006, jurusan Teknis Pertambangan Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta. Saat ini merupakan Aparatur Sipil Negara Dinas ESDM Provinsi Jawa Tengah yang bertugas sebagai Kepala Cabang Dinas Energi Dan Sumber Daya Mineral Wilayah Sewu Lawu, Wonogiri.

Risky Adhitya

Saat ini, saya adalah seorang mahasiswa tingkat 3 jurusan Teknik Perminyakan di UPN "Veteran" Yogyakarta yang terletak di Yogyakarta. Saya telah mengikuti program ini sejak tahun 2021. Lahir di Sengata, 14 Mei 2003. Selama kuliah, saya telah aktif dalam mengikuti kegiatan perlombaan yaitu *Oil Rig Design* yang selenggarakan berbagai kampus di Indonesia dan organisasi mahasiswa seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Perminyakan UPN "Veteran" Yogyakarta dan *Society of Petroleum Engineers Student Chapter* UPN SC. Setelah menyelesaikan gelar sarjana dalam Teknik Perminyakan, saya bercita-cita untuk bekerja di industri minyak dan gas sebagai seorang insinyur perminyakan. Saya ingin berkontribusi dalam pengembangan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk industri ini. Selain itu, saya juga berharap dapat memainkan peran dalam mendukung praktik-praktik terbaik dalam aspek lingkungan dan sosial dalam industri perminyakan.

Muhammad Iqbal Arrizqi Nuzli

Muhammad Iqbal Arrizqi Nuzli, merupakan mahasiswa aktif angkatan 2021 di Jurusan Teknik Perminyakan, UPN "Veteran" Yogyakarta. Selama proses kuliah sampai dengan saat ini, aktif dalam mengembangkan diri dengan bergabung di dalam organisasi *Society of Petroleum Engineers Student Chapter* (SPE-SC) di UPNVYK serta mengikuti berbagai ajang kegiatan kompetisi seperti *Paper/Essay Competition*, *Oil Rig Design Competition*, *Smart Competition*, dan *Business Plan Competition* yang diselenggarakan dalam ruang lingkup nasional maupun internasional. Selain itu, juga aktif berkesempatan menjadi *Master of Ceremonies* (MC) di berbagai kegiatan dalam skala nasional maupun internasional. Setelah menyelesaikan gelar sarjana, harapannya saya dapat berkontribusi sebagai seorang insinyur perminyakan untuk dapat dapat mengembangkan teknologi yang berkelanjutan serta mendukung praktik terbaik dalam aspek lingkungan dan sosial di industri perminyakan.

ISBN 978-623-389-245-2