

Studi Aktivitas Mikroba untuk Proses MEOR Skala Laboratorium

Oleh:

Sri Kadarwati, Sri Astuti Rahayu dan Sugihardjo

I. PENDAHULUAN

Cadangan minyak Indonesia yang dapat dieksploitasi sudah menurun, sehingga diperlukan suatu usaha untuk meningkatkan perolehan minyak. Hal ini telah dilakukan baik dengan injeksi air, uap air (*steam*), gas maupun injeksi kimia. Namun demikian dewasa ini sedang dikembangkan teknologi peningkatan perolehan minyak dengan memanfaatkan aktivitas mikroba. Studi peningkatan perolehan minyak dengan menggunakan mikroba yang disebut dengan *microbial enhanced oil recovery* (MEOR) telah mencapai kemajuan yang pesat.

Beberapa negara seperti Amerika Serikat, Australia, Jerman, Inggris, Rusia, dan juga Republik Rakyat Cina telah melakukan percobaan dan menerapkan metode MEOR di lapangan. Teknologi MEOR ini dapat meningkatkan perolehan minyak mencapai 30-60% dan biayanya relatif murah bila dibandingkan dengan teknologi *enhanced oil recovery* (EOR). Selain itu MEOR merupakan teknologi ramah lingkungan. Teknologi ini mempunyai prospek untuk dikembangkan dan diterapkan di lapangan minyak guna meningkatkan produksi minyak.

Maksud dan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mempelajari aktivitas mikroba dalam menghasilkan bioproduk untuk meningkatkan perolehan minyak dalam skala laboratorium. Melalui uji laboratorium diharapkan dapat diperoleh suatu formulasi nutrisi yang tepat bagi pertumbuhan mikroba sehingga dalam aktivitasnya akan menghasilkan bioproduk yang dapat membantu meningkatkan perolehan minyak. Simulasi proses MEOR dilaksanakan pada skala laboratorium melalui uji *microbial core flooding* sebelum diterapkan di lapangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bioteknologi dan aplikasinya sedang dikembangkan di seluruh dunia di antaranya untuk mengeksploitasi

sumber energi dan salah satu yang menjanjikan adalah teknologi MEOR. Proses peningkatan perolehan minyak dengan menggunakan mikroba (MEOR) telah mencapai kemajuan yang begitu pesat di beberapa negara. Kelompok NIPER dari Amerika Serikat melakukan uji awal pada tahun 1988 dan uji lapangan telah dilakukan di Jerman Barat dan Australia pada tahun 1990. Studi menunjukkan hasil yang menggembirakan, dan dari segi teknik menunjukkan prospek yang baik untuk pengembangan dan aplikasi di lapangan. Negara lain yang telah menerapkan MEOR adalah Cina yaitu pada tahun 1992, metode MEOR yang digunakan dengan menginjeksikan bakteri ke dalam reservoir guna memperoleh peningkatan produksi minyak.

Mikroba merupakan mikroorganisme hidup dengan ukuran sangat kecil yang terdapat di mana-mana termasuk di lingkungan sumur minyak. Dalam kehidupan, pertumbuhan dan pembiakannya mikroba berinteraksi dan beradaptasi dengan lingkungannya dan dapat memberi efek positif maupun negatif.

Salah satu efek positif aktivitas mikroba di lingkungan sumur minyak bumi adalah kemampuannya untuk dimanfaatkan sebagai peningkat produksi minyak terutama melalui peningkatan perolehan minyak secara mikrobiologi. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa di antara mikroba itu ada yang mampu menghasilkan bahan kimia berupa biosurfaktan, biopolimer, biofilm, biosolven, bioasam, dan biogas.

Biosurfaktan berperan dalam menurunkan tegangan antarmuka antara minyak dan air formasi. Beberapa mikroba penghasil biosurfaktan yang pernah diteliti di antaranya adalah *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis* strain JF-2, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Pseudomonas fluorescens*. Biosurfaktan yang dihasilkan oleh mikroba-mikroba tersebut di atas mampu menurunkan tegangan antarmuka medium dari 72 mN/m menjadi sekitar 26,5 – 30 mN/m.

Biopolimer dapat mengendalikan mobilitas air sebagai fluida pendesak. Salah satu mikroba penghasil biopolimer adalah strain khusus (komersial) dari *Xanthomonas campestris* yang menghasilkan HP-xanthan (*high piruvate xanthan*) seperti dilaporkan Philips dkk. 1985. Xanthan adalah suatu polimer yang terdiri atas D-glukosa, D-mannosa, dan asam D-glukoronat dalam susunan berulang satuan pentasakarida. HP-xanthan merupakan jenis khusus yang dalam struktur kimianya mempunyai banyak cabang kital piruvat (40-50%). Larutan HP-xanthan mempunyai sifat-sifat seperti xanthan pada umumnya, terutama dalam hal efektivitas viskositas, ketidakpekaan terhadap variasi pH, dan salinitas.

Biofilm dan biomassa dapat menutup pori-pori dalam batuan reservoir, sehingga dapat mengubah pola aliran fluida. Produksi biogas *in-situ* akan menaikkan tekanan dan mendesak daerah-daerah yang tidak terjangkau oleh pendesakan sebelumnya. Beberapa contoh mikroba penghasil biofilm adalah *Pseudomonas* sp., *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas* Strain 1-2, dan *Bacillus* Strain 47. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *Klebsiella pneumoniae* dan populasi mikroba heterogen (*mixed culture*) yang ditemukan dalam air produksi lapangan minyak Airdrie, Alberta yang diinjeksikan ke dalam sampel batuan dapat menurunkan permeabilitas sampai tinggal 1% dari nilai semula, dengan demikian pola aliran dapat diubah. Sedangkan *Pseudomonas* Strain 1-2 dapat menurunkan permeabilitas batuan sebanyak (60-80%) dari permeabilitas semula.

Bioasam dapat dimanfaatkan untuk melarutkan partikel-partikel yang menutupi pori-pori maupun di sekitarnya, sehingga dapat meningkatkan porositas dan permeabilitas batuan reservoir. Udiharto pada tahun 1992, telah berhasil mengisolasi *Bacillus stearothermophilus* dari air formasi. Bakteri ini dalam metabolismenya dapat menghasilkan berbagai produk, di antaranya adalah asam asetat. Pengujian terhadap porositas batuan karbonat dan silikat, menunjukkan adanya peningkatan porositas dari kedua batuan tersebut akibat aktivitas mikroba ini, yaitu 12,5% untuk batuan karbonat dan 3,8% untuk batuan silikat. Peningkatan porositas ini diduga disebabkan oleh terjadinya reaksi bioasam yang melarutkan batuan tersebut.

Biogas dapat meningkatkan produksi minyak dengan beberapa cara di antaranya adalah meningkatkan mobilitas minyak, sehingga minyak lebih mudah mengalir. Hal ini dapat dicapai dengan adanya gas seperti CO₂ yang terlarut dalam minyak yang akan

menurunkan viskositasnya. Produksi biogas *in-situ* akan menaikkan tekanan sehingga gas tersebut akan bergerak ke daerah yang tidak dapat terjangkau oleh pendesakan sebelumnya. Dengan demikian sejumlah minyak yang masih terperangkap akan dapat diproduksi. Gas hidrogen bebas yang dihasilkan bertindak sebagai penghalang yang efektif, yang menghambat pendesakan air sehingga mengubah pola aliran, dan memaksa air injeksi mendesak minyak yang berada di daerah yang tidak terjangkau oleh proses pendesakan sebelumnya.

Beberapa uji laboratorium telah dilakukan di antaranya oleh Donaldson dan Obeid yang menggunakan *Bacillus licheniformis* JF-2 dan *Clostridium acetobutylicum* dalam penelitiannya. Dari percobaan ini didapatkan bahwa biogas yang terbentuk dapat meningkatkan perolehan minyak sebesar (17-19%). Sedangkan uji lapangan yang dilakukan di Lisbon Unit, Arkansas dengan menggunakan *Clostridium acetobutylicum* dapat menaikkan produksi sampai 3,5 kali lipat dari produksi normal.

III. METODOLOGI

Kegiatan penelitian Studi Aktivitas Mikroba untuk Proses MEOR Skala Laboratorium dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu survei lapangan dan pengambilan sampel, analisis sampel, uji tabung, dan uji MCF (*microbial core flooding*). Sampel diambil dari Sumur#1 dan Sumur#2 dari suatu lingkungan pengeboran minyak. Media yang digunakan adalah MD-9, MD-10, MD-11, MD-9 + eksogen, MD-10 + eksogen, dan MD-11 + eksogen. Media tersebut pada dasarnya terdiri atas air formasi plus minyak bumi, kemudian ditambah molase, sumber nitrogen dan fosfat serta mineral-mineral tertentu. Uji MCF menggunakan batu-inti asli (OC-1) dan batu-inti standar (*clashach sandstone*). Pengujian dilakukan pada kondisi semi-anaerob pada suhu 50°C dan inkubasi pada waktu tertentu.

Pelaksanaan kegiatan di laboratorium dimulai dengan analisis sampel yang meliputi analisis kimia, fisika, dan mikrobiologi dari air formasi dan pengujian sifat fisika kimia serta komposisi hidrokarbon minyak bumi.

Mikroba yang diuji adalah kultur campuran yang diinokulasi dari air formasi Sumur#1 dan Sumur#2. Pada pengujian aktivitas mikroba ini, kultur diaktifkan dalam alat *waterbath shaker* pada suhu 50°C dalam kondisi semi-anaerob.

Beberapa parameter uji yang dilakukan pada

pengujian aktivitas mikroba ini meliputi:

- Perhitungan populasi mikroba dengan metode *plate count*,
- Pengukuran tegangan antarmuka antara minyak dan air formasi menggunakan processor tensiometer,
- Pengukuran viskositas minyak bumi menggunakan viscosimeter,
- Pengukuran keasaman (pH) medium menggunakan pH meter.

Uraian tahapan percobaan terbagi atas 3 bagian yaitu:

- Percobaan 1, Pengaruh aktivitas mikroba dalam sampel minyak dan air formasi yang diambil dari Sumur#1 dengan menggunakan media MD-9, MD-10, MD-9 + eksogen, dan MD-10 + eksogen pada populasi mikroba, IFT, viskositas, dan pH. Pengujian dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-7.
- Percobaan 2, Pengaruh aktivitas mikroba dalam sampel air formasi yang diambil dari Sumur#1 dengan menggunakan media MD-9, MD-10, MD-11, MD-9 + eksogen, MD-10 + eksogen, dan MD-11 + eksogen pada populasi mikroba, IFT, pH, dan viskositas. Pengujian dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-7.
- Percobaan 3, Uji microbial core flooding (MCF) menggunakan medium terseleksi dengan sampel air formasi dari Sumur# 1 dan 2.

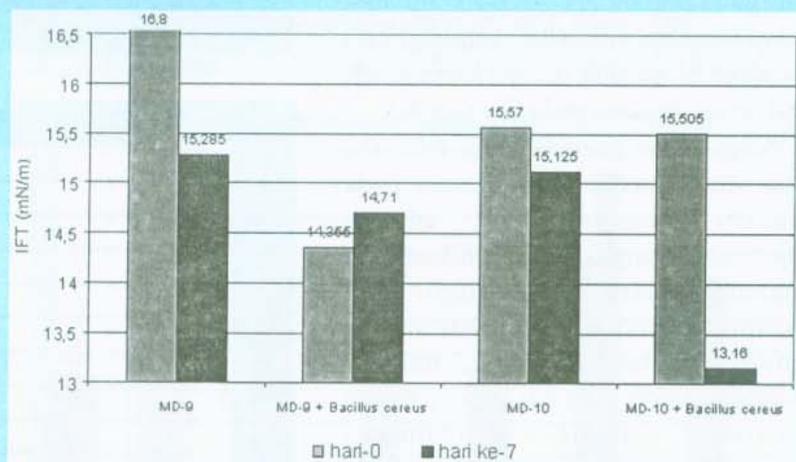
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Percobaan 1

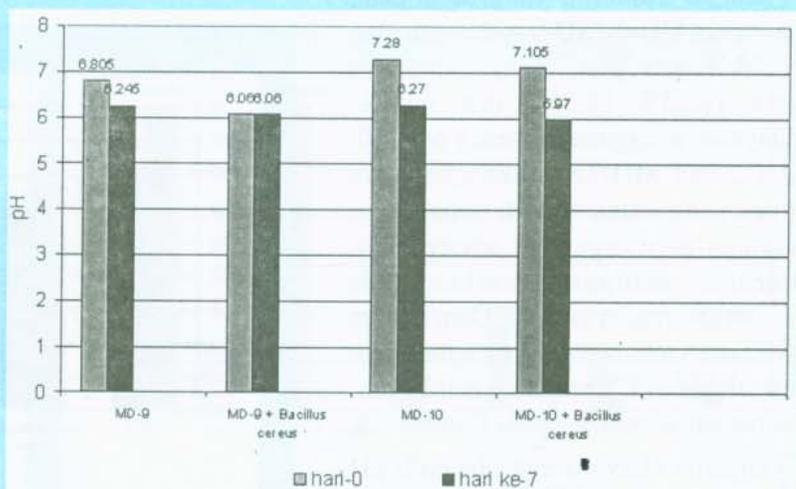
Pada percobaan pertama menunjukkan bahwa pada Sumur#1 dengan menggunakan media MD-9, MD-10, dan MD-10 + eksogen, terjadi penurunan tegangan antarmuka yang signifikan yaitu masing-masing sebesar 4,94%, 2,90%, dan 15,12%. Hasil uji ini disajikan pada Gambar 4.1. Penurunan tegangan antarmuka ini menunjukkan adanya aktivitas mikroba yang mampu menghasilkan suatu bioproduk yang dapat menurunkan

tegangan antarmuka. Sedangkan dengan menggunakan medium MD-9 + eksogen, tidak memberikan hasil yang baik, kemungkinan disebabkan terbentuknya beberapa senyawa yang dapat menghambat aktivitas mikroba dalam menghasilkan bioproduk, yaitu garam dari asam anorganik, elektrolit anorganik, gliserin, dan lain-lain.

Pengaruh aktivitas mikroba pada pH, menunjukkan bahwa dengan menggunakan media MD-9, MD-10, dan MD-10 + eksogen pada Sumur#1 terjadi penurunan pH masing-masing sebesar 8,23%, 13,90%, dan 15,97%. Hal ini menunjukkan bioproduk yang



Gambar 4.1
Pengaruh aktivitas mikroba pada IFT di Sumur#1



Gambar 4.2
Pengaruh aktivitas mikroba pada pH di Sumur#1

dihasilkan adalah bioasam. Namun dengan menggunakan medium MD-9 + eksogen tidak terjadi perubahan pH. Hasil uji ini tertuang pada Gambar 4.2.

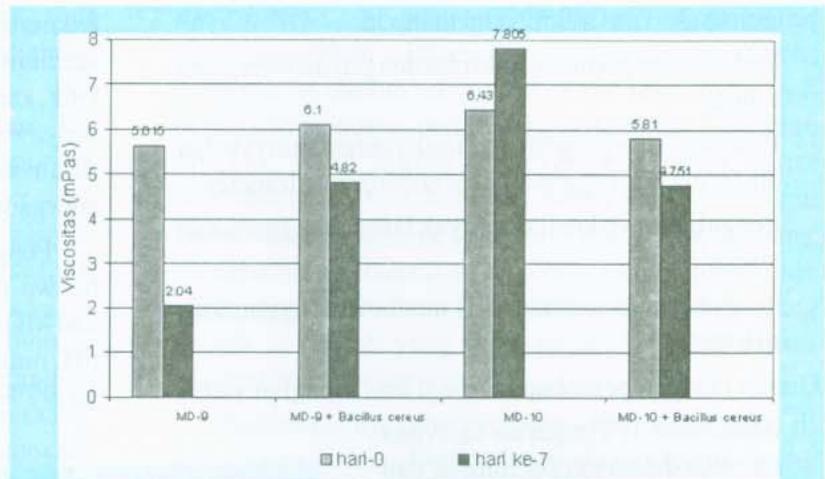
Perubahan viskositas juga terjadi dari pengujian aktivitas mikroba ini yaitu dengan menggunakan media MD-9, MD-9 + eksogen, dan MD-10 + eksogen pada Sumur#1 terjadi penurunan masing-masing sebesar 63,70%, 20,98%, dan 18,85%. Hal ini menunjukkan bioproduk yang dihasilkan dari aktivitas mikroba berupa biogas, biosolven, atau terjadi biodegradasi. Akan tetapi untuk percobaan dengan menggunakan media MD-10, terlihat adanya kenaikan viskositas, kemungkinan dihasilkan bioproduk berupa biopolimer. Hasil uji ini tertuang pada Gambar 4.3.

Pengamatan pertumbuhan mikroba untuk semua media yang ditanam pada Sumur#1 menunjukkan adanya pertumbuhan yang cukup signifikan pada penanaman hari ke-0, tetapi pada pengamatan hari ke-7 terlihat sangat menurun pertumbuhannya, hal ini disebabkan nutrisi yang ada sudah semakin berkurang. Hasil pengamatan pertumbuhan mikroba tertuang pada Gambar 4.4.

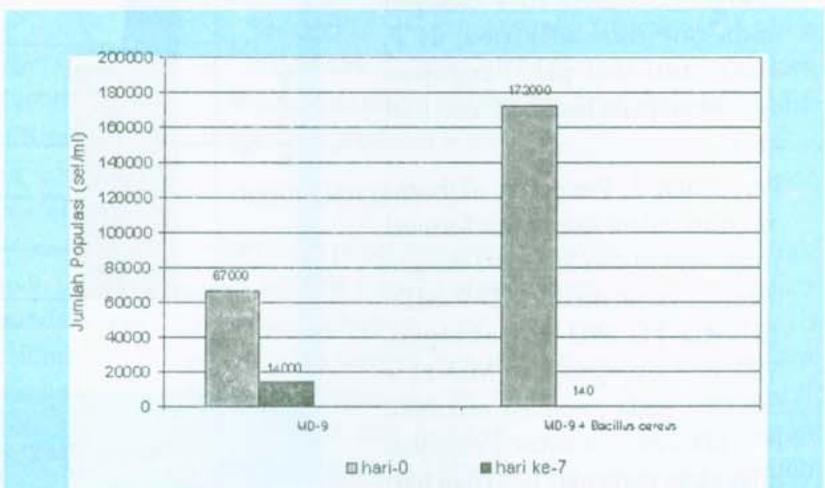
B. Percobaan 2

Pada percobaan kedua menunjukkan bahwa dalam pengujian aktivitas mikroba terjadi penurunan tegangan antarmuka dari sampel Sumur#2 yang digunakan pada media MD-9, MD-9 + eksogen, dan MD-10 + eksogen, masing-masing sebesar 18,25%, 12,55%, dan 6,94%. Sedangkan penggunaan media MD-10, MD-11, dan MD-11 + eksogen pada sampel yang sama terjadi sebaliknya (kenaikan nilai tegangan antarmuka). Penurunan maupun kenaikan nilai tegangan antarmuka menunjukkan adanya aktivitas dari mikroba yang menghasilkan suatu bioproduk berupa biosurfaktan. Hasil pengujian tertuang pada Gambar 4.5.

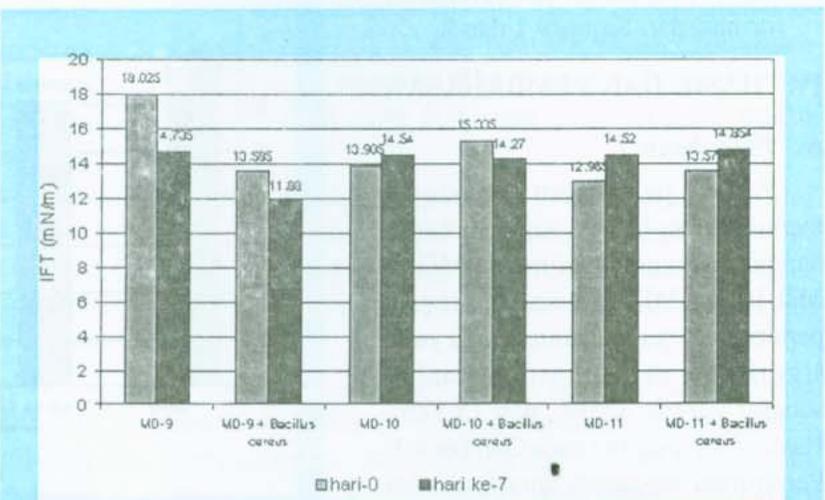
Pengaruh aktivitas mikroba pada pH untuk semua media (MD-9, MD-9 + eksogen, MD-10, MD-10 + eksogen, MD-11, dan MD-11 + eksogen) menunjukkan



Gambar 4.3
Pengaruh aktivitas mikroba pada viskositas di Sumur#1



Gambar 4.4
Pengaruh aktivitas mikroba pada populasi di Sumur#1



Gambar 4.5
Pengaruh aktivitas mikroba pada IFT di Sumur#2

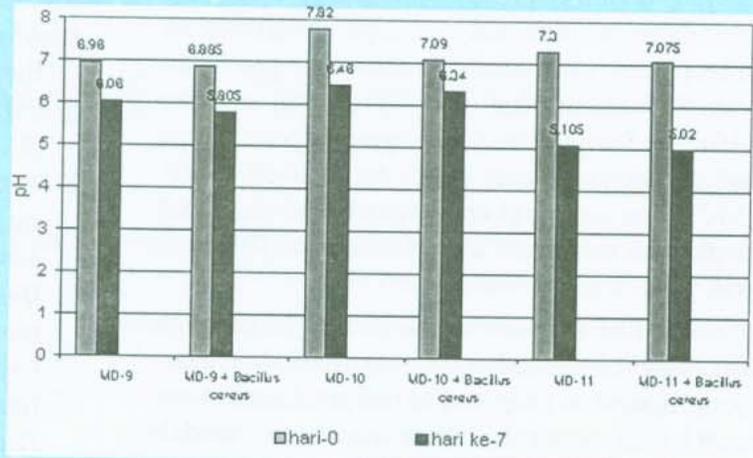
adanya penurunan pH yang nyata. Penurunan yang tertinggi terjadi pada medium MD-11 yaitu sebesar 30,06%. Penurunan pH menunjukkan adanya bioproduk berupa asam (bioasam) selama berlangsungnya aktivitas mikroba dalam medium tersebut. Pengaruh aktivitas mikroba pada pH di tiap media dapat dilihat pada Gambar 4.6.

Hasil yang diperoleh dari pengujian aktivitas mikroba terhadap perubahan viskositas menunjukkan terjadinya kenaikan yang cukup nyata dari nilai viskositas untuk semua media. Kenaikan viskositas ini akan bermanfaat bila dalam aktivitas mikroba tersebut dihasilkan biopolimer, mengingat bahwa bioproduk yang dihasilkan oleh mikroba dengan nutrisi/medium yang berbeda akan menghasilkan bioproduk yang berbeda pula satu sama lainnya. Hasil pengujian tertuang pada Gambar 4.7.

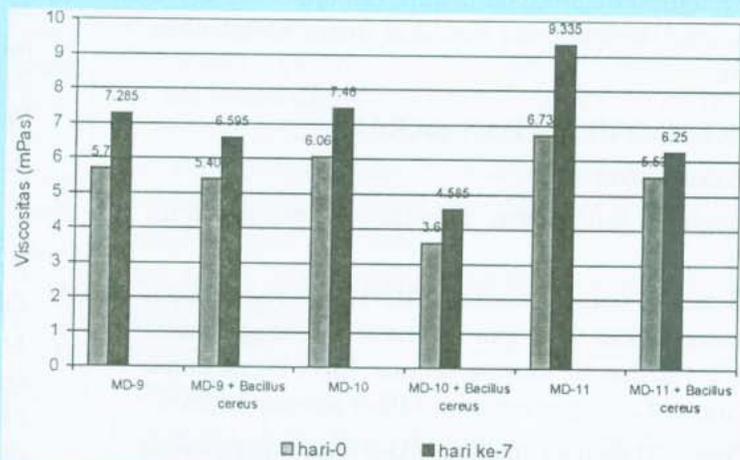
Setelah diinkubasi selama tujuh hari terjadi penurunan populasi pada ke-6 media. Penurunan populasi terbesar terjadi pada media MD-9 + eksogen dan MD-10 + eksogen, hal ini kemungkinan banyak mikroba yang mati karena bahan makanan yang ada dalam media tersebut telah habis. Hasil pengamatan pertumbuhan mikroba tertuang pada Gambar 4.8

C. Percobaan 3

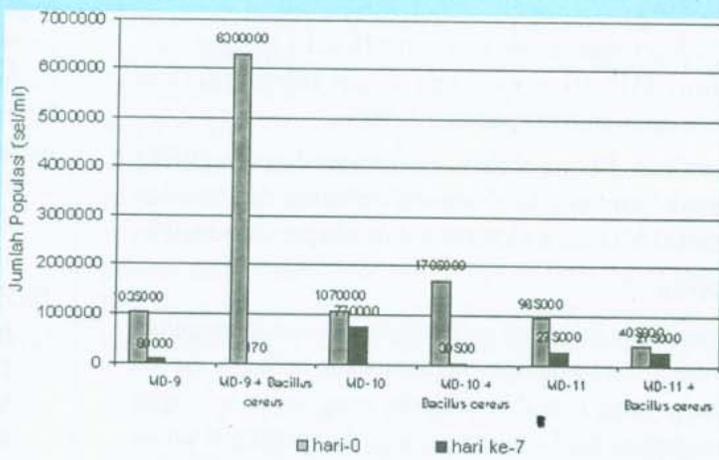
Percobaan ke-3 merupakan uji *microbial core flooding* (MCF), yaitu untuk mengamati aktivitas mikroba dalam media terpilih dan batu-inti setempat atau batu-inti standar. Kondisi lingkungan untuk uji MCF ini juga diusahakan mendekati kondisi reservoir. Media yang digunakan dalam uji MCF adalah MD-10 + eksogen untuk Sumur#1 dengan menggunakan batu-inti standar (*clashach sandstone*) dan MD-10 untuk Sumur#2 dengan menggunakan batu-inti asli (OC-1). Hasil yang diperoleh dari uji MCF dengan medium MD-10 + eksogen adalah dapat meningkatkan perolehan minyak sebesar 9,90% dari 27,05% OOIP. Hasil perolehan minyak ini cukup baik, hal ini menunjukkan bahwa



Gambar 4.6
Pengaruh aktivitas mikroba pada pH di Sumur#2



Gambar 4.7
Pengaruh aktivitas mikroba pada viskositas di Sumur#2



Gambar 4.8
Pengaruh aktivitas mikroba pada populasi di Sumur#2

nutrisi yang digunakan sesuai sehingga mikroba yang terdapat dalam medium tersebut dapat menghasilkan suatu bioproduk yang dapat meningkatkan perolehan minyak. Sedangkan pada uji MCF dengan medium MD-10 untuk Sumur#2 hanya memperoleh peningkatan perolehan minyak sebesar 1,34% dari 56,44% OOIP. Uji MCF dianggap cukup berhasil apabila dapat meningkatkan perolehan minyak minimal 10% dari minyak yang masih tersisa (OOIP).

Analisis PRF (*permeability reduction factor*) juga dilakukan untuk mengetahui apakah permeabilitas batu-inti yang digunakan tetap atau terjadi perubahan. Pada Sumur#1 nilai permeabilitas sebelum dan sesudah injeksi MD-10 + eksogen adalah konstan yaitu 567,45mD yang berarti PRF = 0%, demikian halnya yang terjadi pada Sumur#2, nilai permeabilitasnya adalah 61,46mD yang berarti PRF = 0%. Apabila permeabilitas batu-inti berubah, menunjukkan adanya perubahan kemampuan batu-inti untuk meloloskan fluida.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

1. Sumur#1 dengan medium MD-10 + eksogen dapat menurunkan tegangan antarmuka tertinggi antara minyak dan air formasi sebesar 15,12% dan untuk Sumur#2 dengan medium MD-9 sebesar 18,25%.
2. Sumur#1 dengan medium MD-9 dapat menurunkan viskositas tertinggi sebesar 63,70%.
3. Sumur#1 dengan medium MD-10 + eksogen dapat menurunkan keasaman tertinggi sebesar 15,97% dan untuk Sumur#2 dengan medium MD-11 sebesar 30,06%.
4. Uji *Microbial Core Flooding* (MCF) dengan medium MD-10 + eksogen dapat meningkatkan perolehan minyak sebesar 9,90%.
5. Analisis *Permeability Reduction Factor* (PRF) untuk Sumur#1 dan Sumur#2 sebelum dan sesudah injeksi MD-10 + eksogen tidak ada perubahan, 0%.

B. Saran

Penelitian ini masih perlu dilakukan untuk pengujian aktivitas mikroba dengan menggunakan berbagai variasi medium yang lain dan metode yang tepat sehingga mendapatkan medium yang cocok dan potensial untuk MEOR.

KEPUSTAKAAN

1. Abu-Ruwaida, A.S., dkk., 1991, "Isolation of Biosurfactant Producing Bacteria Product Characterization and Evaluation", *Act Bioteknologi*, 11, (4), p. 315-324.
2. Atkinson, A., dkk., 1975, "Behavior of *Bacillus stearothermophilus* Grown in Different Media", *Journal of Applied Bacteriology*, 38, p. 301 - 304.
3. Bubela, B., 1982, "Combined Effects of Temperature and Other Environment Stresses on Microbiologically EOR", *Proceedings of 1982 International Conference on Microbial Enhanced of Oil Recovery*, Oklahoma.
4. Cooper, D.G. dan Goldenberg, G., 1987, "Surface Active Agent from Two *Bacillus* sp.", *Applied and Environmental Microbiology*, Feb., p. 224 - 229.
5. Fox, S.L., dkk., "Comparative Analysis of Microbially Mediated Oil Recovery by Surfactants Produced by *Bacillus licheniformis* and *Bacillus subtilis*", dalam Premuzic, E. dan Woodhead, (Eds) *Microbial Enhancement of Oil Recovery - Recent Advances*, 1992, p. 143 - 150.
6. Jasjfi, E., dkk., 1995, "Biosurfactant and Bioacid Producing Microbes from Indonesian Oil Fields", *Proceedings IPA 24th Annual Convention*, Oktober, Jakarta.
7. Jenneman, G.E., Clark, J.B., dan Mofit, P.D., "Nutrient Control Process for Microbially Enhanced Oil Recovery Application", dalam Premuzic, E. dan Woodhead, A. (Eds) *Microbial Enhancement of Oil Recovery - Recent Advances*, 1992, p. 319 - 333.
8. Kadarwati, S., dkk., 1995, "Assesment of Microorganisms from Indonesian Oil Fields", *Proceedings The Fifth International Conference on MEOR and Related Biotechnology for Solving Enviromental Problems*, Texas.
9. Stepp, A.K., dkk., "Parameters Affecting Microbial Oil Mobilization in Porous Media", dalam Premuzic, E. dan Woodhead, A. (Eds) *Microbial Enhancement of Oil Recovery Recent Advances*, 1992, p. 97 - 106.
10. Zhang, C.Y. dan Zhang, J.C., "Pilot Test of EOR by In-Situ Microorganisms Fermentation in the Daqing Oil Field", dalam Premuzic, E. dan Woodhead, A. (Eds) *Microbial Enhancement of Oil Recovery - Recent Advances*, 1992, p.231 - 244.