

POTENSI PENINGKATAN PRODUKSI MINYAK BUMI DENGAN CHEMICAL EOR MELALUI PEMANFAATAN SURFAKTAN BERBASIS MINYAK KELAPA SAWIT

Darmapala

BOB PT. Bumi Siak Pusako – Pertamina Hulu

Kantor Operasi Zamrud, Dayun, Siak – Riau 28671, Telp : (0764) 321177

Email : dpprie@gmail.com

Abstrak: Produksi minyak bumi di Indonesia mengalami penurunan sebesar 3-5% per tahun, dengan cadangan terbukti sebesar 3,2 Milyar Barel, potensi untuk mempertahankan produksi masih memungkinkan melalui penerapan Enhanced Oil Recovery (EOR). Salah satu EOR yang memungkinkan untuk dikembangkan adalah penggunaan chemical EOR berupa injeksi Surfaktan Flood, Surfaktan-Polimer Flood ataupun Alkali-Surfaktan-Polimer Flood. Tantangan terbesar untuk Chemical EOR adalah kecocokan bahan yang digunakan dengan karakteristik lapangan minyak bumi dan keekonomian. Indonesia sebagai penghasil Minyak Kelapa Sawit terbesar di dunia, potensi mengembangkan Surfaktan berbasis kelapa sawit yang ekonomis sangat terbuka.

SBRC LPPM IPB bekerja sama dengan BOB PT. Bumi Siak Pusako – Pertamina Hulu (BOB) melakukan pengembangan surfaktan berbasis minyak kelapa sawit untuk mencari formula surfaktan dan polimer yang memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam aplikasi pengembangan EOR di lapangan minyak Pedada. Hasil formulasi berupa Surfaktan 0,3% + NaCl 0,2% + Polimer Flopaam HPAM 3630S 0,15% dan Surfaktan 0,3% + NaCl 0,2% + Polimer Flopaam 3630S 0,20% yang diujikan pada core Berea memenuhi kriteria yang ditetapkan SKKMigas. Dengan Volume injeksi sebesar 0,3 Pore Volume pada core Berea mampu memberikan hasil kenaikan recovery factor sebesar 13-18,8%.

Kata kunci : Chemical EOR, Surfaktan, Tegangan antarmuka, Minyak Kelapa Sawit, BOB

Abstract: Indonesian crude oil production has average decline rate 3-5% per year, with proven reserved 3.2 Billion Barrel Oil, It is still have potential to maintain production through apply Enhanced Oil Recovery (EOR). One of the EOR types to be applied is chemical flooding, such as Surfactant flood, Surfactant-Polymer flood or Surfactant-Alkaline-Polymer flood. The most challenge to apply chemical EOR is the suitable of chemical material and the commercial aspect. As the largest of Crude Palm Oil (CPO) producer, Indonesia has a good opportunity to develop a good surfactant from CPO.

SBRC LPPM IPB collaborate with BOB PT. Bumi Siak Pusako – Pertamina Hulu develop surfactant from CPO and polymer selection to be used as chemical EOR in Pedada oil field. Formulation with Surfactant 0,3% + NaCl 0,2% + Polymer Flopaam HPAM 3630S 0,15% and Surfactant 0,3% + NaCl 0,2% + Polymer Flopaam HPAM 3630S 0,20 % that test in Berea core meet with SKKMigas criteria and has incremental recovery factor 13-18,8% with 0,3 PV slug.

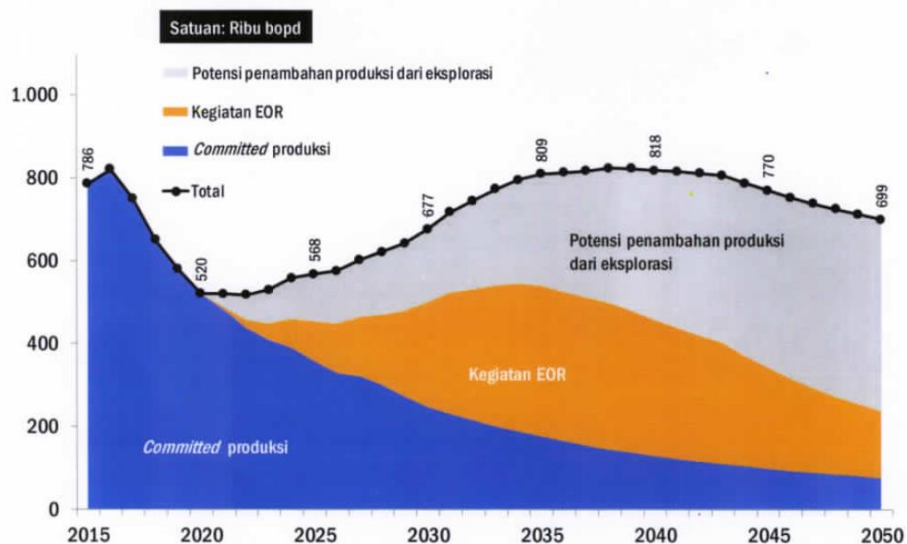
Keywords : Chemical EOR, Surfactant, Interfacial tension, Crude Palm Oil, BOB

PENDAHULUAN**INDUSTRI HULU MINYAK DAN GAS BUMI INDONESIA**

Industri hulu minyak dan gas bumi merupakan salah satu industri yang memegang peranan penting dalam perekonomian Indonesia. Kontribusi industri ini sekitar 10% dari pendapatan negara. Produksi minyak Indonesia sebesar 772,3 Ribu barel per hari (SKKMigas, 2018), lebih rendah dari konsumsi sebesar 1,5 Juta barel per hari. Produksi minyak nasional mengalami penurunan dari tahun ke tahun, dengan laju penurunan sebesar 3-5% /tahun (SKKMigas, 2018).

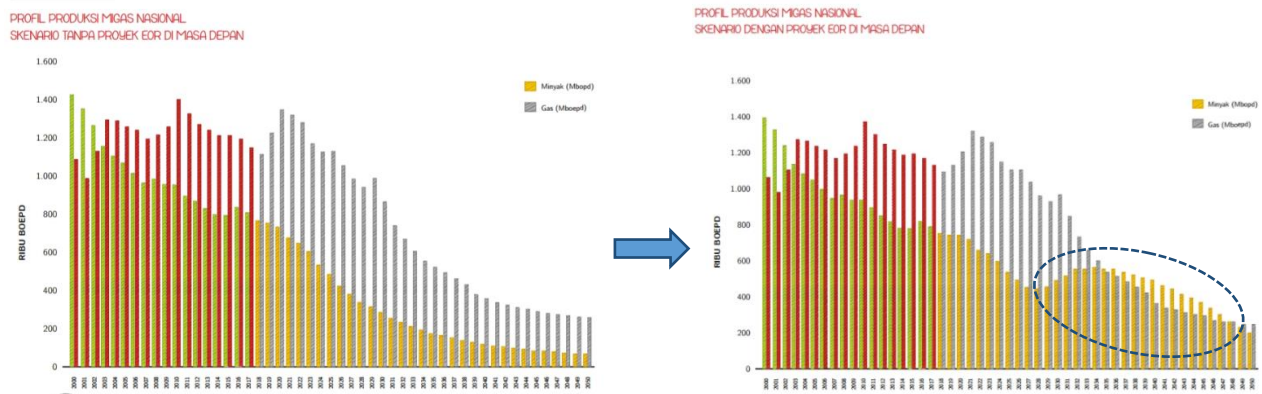
Dengan jumlah cadangan terbukti sebesar 3,2 Milyar barel (SKKMigas, 2018) maka peluang untuk meningkatkan produksi masih dimungkinkan melalui penerapan teknologi. Sebagian besar lapangan minyak Indonesia saat ini masih menggunakan *primary* dan *secondary recovery*, berupa penggunaan *artificial lift* (pompa, gas lift) dan *waterflood*. Penggunaan teknologi lebih tinggi berupa *Enhanced Oil recovery* (EOR) sebagian besar masih dalam kajian-kajian dan ujicoba beberapa *pilot project* yang dilakukan mengingat biaya yang diperlukan cukup tinggi.

Pengembangan lapangan minyak secara EOR sudah masuk dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan memegang peranan penting sebagai tulang punggung (*backbone*) dari energi primer dimasa yang akan datang. Hal ini terlihat dalam profile produksi yang terdapat dalam RUEN didalam Perpres No 2 tahun 2017 seperti dalam gambar 1.



Gambar 1. Profile Produksi Minyak Nasional (Perpres 22 tahun 2017)

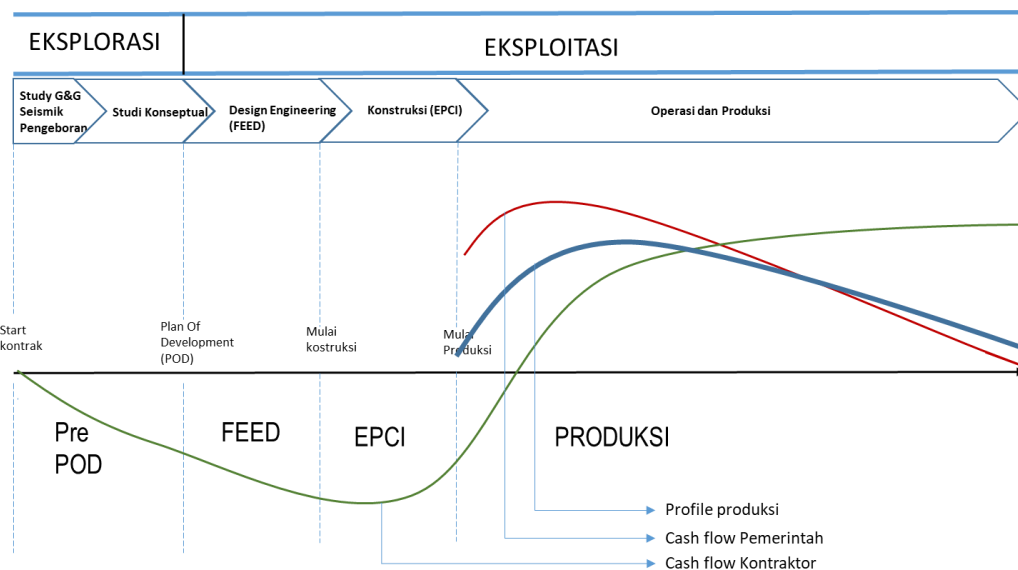
SKKMigas dalam laporan tahunan 2017 juga memproyeksikan mulai tahun 2020 proyek EOR akan memberikan penambahan produksi minyak nasional sesuai dengan profile seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Profile produksi minyak Indonesia tanpa dan dengan EOR (SKKMigas 2017)

Proses Produksi Minyak dan Gas Bumi

Secara sederhana, proses diagram berikut ini menggambarkan siklus dari proses produksi minyak dan gas bumi :



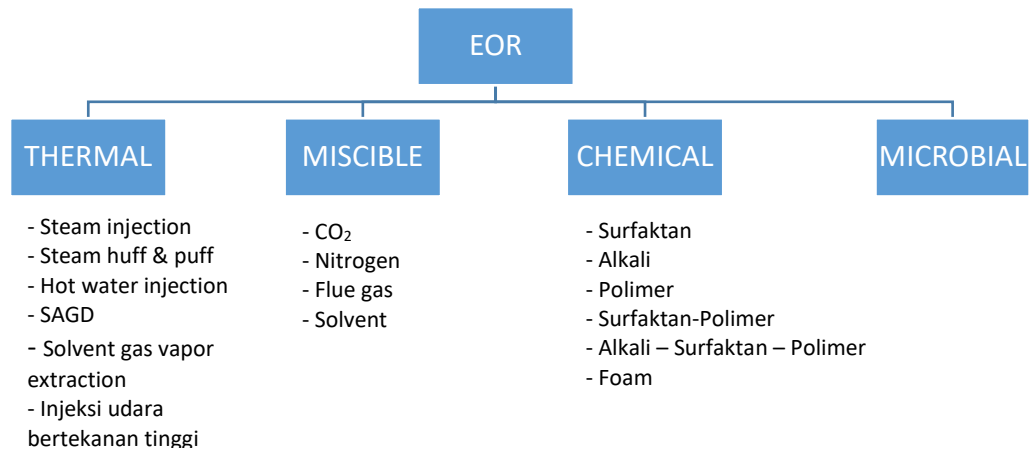
Gambar 3. Siklus Proses poduksi minyak dan gas bumi

Pada tahap awal, produksi minyak dari reservoir menggunakan energi dari reservoir secara alamiah yang dikenal sebagai *primary recovery*, seperti *solution-gas drive*, *gas-cap drive*, dan *natural water drive*. Kemampuan *primary recovery* untuk mengangkat minyak (*lifting*) sekitar 10%-15% dari *Original Oil in Place* (OOIP). Untuk mengangkat sisa cadangan tersebut, dilakukan *secondary recovery* berupa penggunaan peralatan untuk mengangkat minyak dan injeksi fluida (air atau gas) untuk menjaga tekanan reservoir. *Secondary recovery* bisa meningkatkan *lifting* minyak hingga 40% dari OOIP. Fase

selanjutnya setelah fase sekunder adalah tersier yang lebih dikenal berupa *Enhanced Oil Recovery (EOR)*.

Sheng (2010) memberikan definisi EOR berupa segala kegiatan proses yang merubah interaksi antara bebatuan, minyak dan air yang terdapat di dalam reservoir.

Termasuk dalam EOR antara lain :



Gambar 4. Klasifikasi EOR

Dalam pelaksanaan EOR, proses-proses tersebut bisa dikombinasikan, misalnya penambahan chemical ke dalam proses *thermal* dan *miscible*.

PROSES CHEMICAL EOR

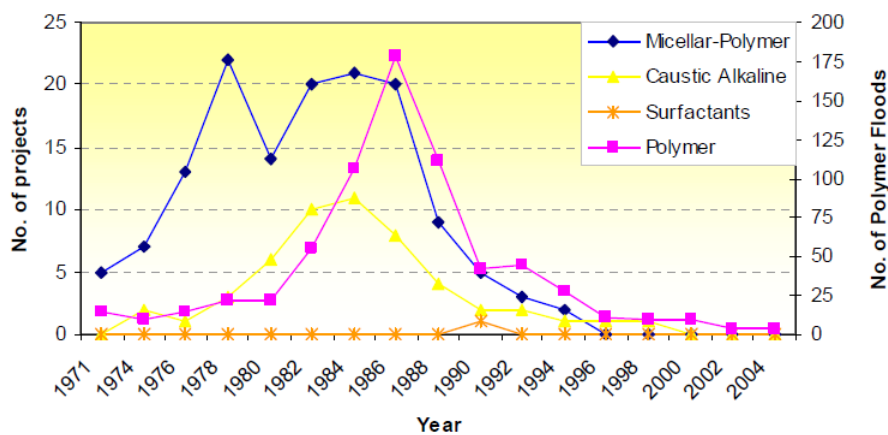
Berbagai riset telah dilakukan dan diujicoba untuk menggunakan *chemical flooding*, Sheng (2016) melakukan *critical review* terhadap berbagai penggunaan Alkali-Polimer dengan kondisi lapangan berbeda-beda dan menyatakan bahwa fungsi utama dari polimer adalah sebagai kontrol pergerakan (*mobility control*) minyak di reservoir untuk meningkatkan efisiensi. Oleh karena ukuran pori-pori bebatuan tidak homogen dan adanya bagian minyak yang tidak tersapu (*unswept oil*), polimer ini cenderung untuk menurunkan *permeability* air sehingga dapat mengurangi *fingering* atau *channeling*. Wang & Gu (2005) melakukan kajian untuk menggunakan kembali bahan kimia setelah digunakan dalam EOR Alkali- Surfactant-Polymer (ASP) untuk menurunkan biaya. Mohammadi, dkk (2009) melakukan kajian modeling dari mekanisme EOR ASP.

Pope (2007) menyatakan bahwa surfaktan digunakan untuk menurunkan tegangan antarmuka (*interfacial tension*) antara minyak dan air serta untuk menghasilkan emulsi yang membentuk satu fasa. Polimer terlarut dalam air digunakan untuk meningkatkan viskositas, alkali (seperti NaOH, Na₂CO₃) berfungsi untuk bereaksi dengan minyak menghasilkan emulsifikasi minyak dan untuk mengurangi laju adsorpsi surfaktan anion serta pada waktu yang sama membuat bebatuan lebih *water-wet*. Bahan-bahan kimia ini bisa digunakan secara langsung atau kombinasi, tergantung dengan kebutuhan setiap lapangan minyak.

Dari berbagai kajian yang dilakukan, secara umum syarat-syarat bahan kimia yang efektif untuk digunakan dalam EOR adalah sebagai berikut :

1. Kompatibel, tidak menimbulkan endapan ataupun gumpalan yang menyebabkan penutupan pori-pori bebatuan reservoir
2. Mempunyai stabilitas pada kondisi reservoir (P & T) selama proses
3. Tidak menaikkan tegangan antarmuka
4. Mempunyai daya adsorpsi yang tidak terlalu tinggi terhadap bebatuan reservoir

Keberhasilan beberapa proyek EOR dengan bahan kimia di Amerika Serikat dipaparkan oleh Manrique, dkk (25th workshop & symposium EOR, 2004) dengan berbagai jenis bahan kimia yang digunakan seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Proyek Chemical EOR di Amerika Serikat (sumber : Manrique dkk, 2004)

Di Indonesia sendiri, perkembangan EOR dipaparkan oleh Abdurrahman, dkk (2017), berupa hasil studi dan pilot proyek yang sudah dilakukan dan keberhasilannya. Beberapa bahan kimia yang sudah pernah diujicobakan adalah Soda Kaustik, Surfaktan, Polimer (*Hydrolized Polyacrylamides*) dan kombinasinya. Tabel 1 merupakan data studi dan pilot proyek dari lapangan-lapangan di Indonesia.

Tabel 1. Studi dan pilot proyek EOR di Indonesia

No	Lapangan	Status	Tipe EOR	Tahun	Keterangan
1	Duri	Field Trial	Injeksi Kaustik	1975	Gagal
2	Handil	Field trial	ASP	1980	Tidak ekonomis
3	Minas	Pilot project	Surfaktan	2013	Berhasil
4	Kaji & Semoga	Field trial	Surfaktan Huff & Puff	2014	Berhasil
5	Meruap	Field trial	Surfaktan Huff & Puff	2012	Berhasil
6	Tanjung	Field trial	ASP	2013	Berhasil
7	Tanjung	Pilot project	Surfaktan	2014	Gagal

8	Handil	Study	Surfaktan	2012	Uji Lab & simulasi
9	Widuri	Field trial	Surfaktan	2013	
10	Limau	Study	ASP	2007	
11	Beruk & Pedada	Study	ASP	2015	Uji Lab

SURFAKTAN

Didalam proses EOR, surfaktan digunakan untuk menurunkan tegangan permukaan atau tegangan antarmuka (*interfacial tension*). Jenis surfaktan yang banyak digunakan adalah bersifat Anion surfaktan yang mempunyai daya adsorpsi yang rendah terhadap permukaan batuan pasir, sementara Nonionik surfaktan digunakan sebagai surfaktan pendamping untuk memperbaiki sistem fasa.

Satuan Kerja Khusus Minyak dan Gas (SKKMigas) sebagai perwakilan Negara Republik Indonesia yang melakukan pengelolaan industri hulu minyak dan gas bumi sudah menetapkan kriteria untuk Surfaktan *Flooding* sebagai berikut :

Tabel 2. Kriteria SKKMigas untuk Surfaktan *Flood*

Parameter	Unit	Nilai
Tegangan antarmuka	dyne/cm	$\leq 10^{-3}$
Adsorpsi	$\mu\text{g/g rock}$	< 400
Kestabilan	Bulan	> 3
Rasio Filtrasi	-	$< 1,2$

Pada Tabel 2 dapat dilihat adsorpsi di bebatuan dibatasi karena adanya sifat non-polar surfaktan yang ampifilik teradsorpsi di sisi bebatuan jenis *clay* yang bermuatan positif seperti *Ca-montmorillonite* dapat mengganggu kestabilan di permukaan fluida dan bebatuan karena adanya pertukaran ion. Oleh karena itu, *adsorption reducing agent* seperti alkyl sulphonated phenol/aldehyde resin sering ditambahkan sebagai *additive*. *Thermal stability* diuji dalam oven dipanaskan pada temperatur reservoir selama 3 bulan dan dilihat apakah ada terbentuk endapan atau tidak. Surfaktan yang ada di *market* hanya bisa bekerja dengan salinitas sekitar 2.000 ppm, sementara reservoir yang *kitchen oil* dari laut pada saat sedimentasi, salinitas bisa mencapai 14.000-153.000 ppm. Oleh karena itu, surfaktan menjadi *tailor made* tergantung fluida reservoir.

Berbagai riset untuk mendapatkan *Interfacial Tension* (IFT) rendah sudah dilakukan, Rosen (1978) menyatakan untuk mendapatkan *ultralow* IFT, tidak hanya adsorpsi *oil/water interface* terhadap molekul surfaktan, tetapi fasa lainnya juga akan mempengaruhi. Chen, dkk (1999) mengatakan bahwa *ultralow* IFT dalam Alkali-Surfaktan (AS) atau Alkali-Surfaktan-Polimer (ASP) sistem akan teratribut dalam sinergi antara surfaktan dan *foam* yang terbentuk didalam reservoir.

Variable-variabel berikut ini sangat menentukan untuk mendapatkan *Ultralow* IFT :

1. Surfaktan *Molecular Weight* (MW) dan distribusi MW
2. Surfaktan Struktur MW
3. Konsentrasi surfaktan
4. Konsentrasi elektrolit
5. Rata-rata MW Minyak Bumi dan strukturnya
6. Suhu

Pope (2007) memberikan kriteria untuk memilih surfaktan sebagai EOR sebagai berikut :

- Mempunyai rasio tingkat kelarutan yang optimum (*ultralow* IFT)
- Biaya yang rendah
- Bisa diaplikasikan untuk spesifikasi minyak bumi, suhu dan *salinity*
- Mempunyai banyak cabang hidropobe untuk viskositas rendah dan menghasilkan *microemulsi*
- Masa retensi yang rendah di batuan reservoir
- Kecenderungan yang rendah untuk membentuk gel, kristalisasi dan *macroemulsi*
- Penggabungan yang cepat dari *microemulsi* yang terjadi

Surfaktan yang banyak digunakan dalam ujicoba Surfaktan *Flooding* adalah *Petroleum sulfonate*. Sulfonate yang bersifat *anionic* ini pada kasus tertentu dicampur dengan jenis *anionic* surfaktan lain seperti *phosphate ester* untuk meningkatkan kinerja surfaktan. Dalam implementasi skala lapangan, dapat ditambahkan *co-surfactant ethylene glycol mono butyl ether* (EGMBE) untuk membantu membuat bebatuan menjadi *water-wet*. Sehingga jika dijumlahkan biaya operasi bisa mencapai USD 3-30/barrel oil tergantung kompleksitas dari reservoir. Oleh karena itu, surfaktan dari sumber lain perlu diupayakan.

KELAPA SAWIT

Di Indonesia, dengan luas perkebunan kelapa sawit sebesar 12,3 juta Ha dan menghasilkan produksi sebesar 35,36 juta Ton *Crude Palm Oil* (CPO) (Statistik Perkebunan Indonesia, 2017), sekitar 68% produk di ekspor masih dalam bentuk CPO. Dengan produksi CPO yang besar, peluang untuk pengembangan pembuatan surfaktan dari bahan baku kelapa sawit yang lebih ekonomis menjadi sangat terbuka dan tentu akan memberi nilai tambah jika dibandingkan di ekspor dalam bentuk CPO. Keekonomian dari surfaktan yang disintesa dari *Refined, Bleached, Deodorized* (RBD) *palm oil* sangat berpotensi untuk digunakan dalam EOR di industri hulu minyak bumi.

Beberapa riset untuk mendapatkan Surfaktan dari RBD *palm oil* sebagai bahan baku EOR sudah dilakukan, Rivai (2011) melakukan formulasi surfaktan Metyl Esther Sulfonat (MES) dengan proses Sulfonasi menggunakan gas SO₃ dan mendapatkan IFT di kisaran 10⁻² dyne/cm. Hilyati, dkk (2012) melakukan optimasi MES dengan H₂SO₄. Formulasi dilakukan berupa penambahan *additive* untuk mendapatkan hasil kinerja surfaktan yang terbaik. Eni, dkk (2017) melakukan kajian menggunakan surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES), Butil Ester Sulfonat (BES) , Polietilene Dioleat Sulfonat (PDS) yang disintesa dari CPO untuk lapangan minyak *intermediet*. Dari ujicoba pada batuan *core*, diperoleh kesimpulan PDS

dengan sintesa 60 menit menghasilkan peningkatan *Recovery Factor* yang terbaik dengan IFT sebesar $4,665 \times 10^{-3}$ dyne/cm.

UJI LAB. SURFAKTAN POLIMER LAPANGAN MINYAK PEDADA di BOB

Lapangan Pedada di BOB memproduksi pada fase sekunder dengan injeksi air (*water flood*) dan menggunakan pompa untuk mengangkat fluida dari sumur. *Recovery factor* (RF) saat ini sebesar 35%, sehingga untuk mempertahankan produksi dan meningkatkan RF direncanakan akan menggunakan *chemical EOR*.

Surfactant and Bioenergy Research Center (SBRC) LPPM IPB bersama dengan BOB PT. Bumi Siak Pusako – Pertamina Hulu (BOB) melakukan kerjasama berupa uji laboratorium terhadap surfaktan dan polimer yang berpotensi untuk digunakan dalam EOR lapangan Pedada di BOB. SBRC menyiapkan beberapa jenis surfaktan berbasis minyak kelapa sawit untuk di uji, sedangkan polimer yang diujikan berupa beberapa jenis polimer yang ada di pasar industri dengan bahan dasar *Hydrolized Polyacrilamide* (HPAM) (BOB, 2015).

Pengujian dilakukan dengan seleksi surfaktan dan polimer, analisa sifat fisika dan kimia dari cairan lapangan pedada (minyak bumi, air formasi dan air injeksi), uji kompatibilitas bahan kimia, pengukuran IFT, uji kestabilan pada suhu reservoir, filtrasi dan adsorpsi serta uji perolehan minyak tersier (*coreflood test*).

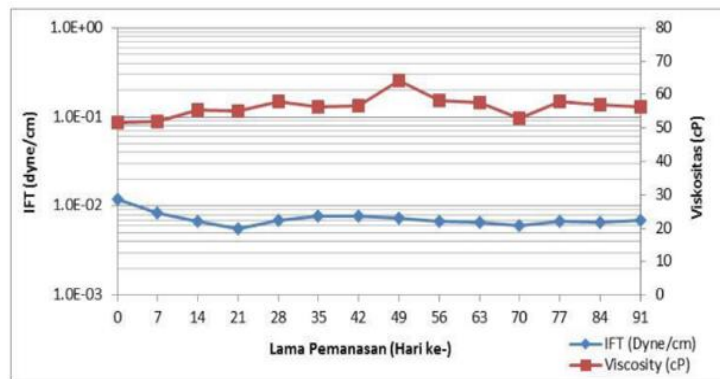
Hasil analisa terhadap sifat kimia dari minyak bumi, air formasi dan air injeksi yang digunakan saat ini terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Sifat Kimia Cairan di Lapangan Pedada

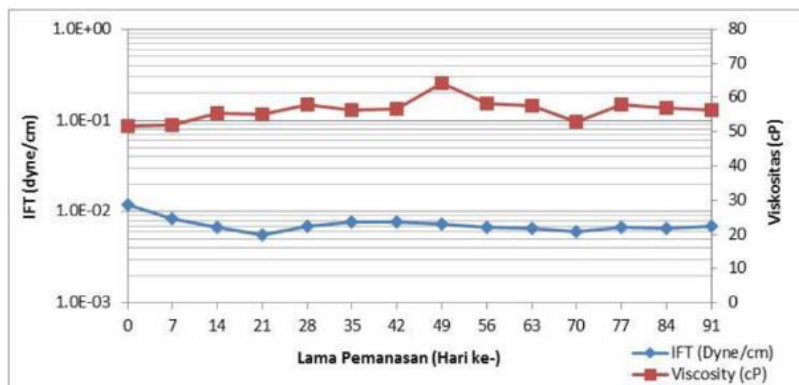
Minyak Bumi	Air formasi	Air Injeksi
Densitas (60°C) : 0,8671 g/cm ³	Densitas (60°C) : 0,9855 g/cm ³	Densitas (60°C) : 0,9853 g/cm ³
Viscositas (60°C) : 11,55 cP	pH : 8,92	pH : 7,93
	Hardness : 101,68 mg/L	Hardness : 82,47 mg/L
	Salinity : 5,000 ppm	Salinity : 4,000 ppm

Dari berbagai uji yang dilakukan terhadap surfaktan dan polimer, baik konsentrasi maupun komposisinya, diperoleh 2 formula yang dilakukan untuk uji *coreflood* dengan menggunakan *core Berea* (batuan buatan) sebagai media. Komposisi tersebut adalah Surfaktan 0,3% + NaCl 0,3% + Floopam 3630S 0,15% dan Surfaktan 0,3% + NaCl 0,3% + Flopaam 3630S 0,2%.

Gambar 6 dan 7 menampilkan hasil uji *thermal stability* selama 3 bulan pada temperatur 60°C untuk IFT dan Viscositas. Untuk formula Surfaktan 0,3% + NaCl 0,3% + Flopaam 3630S 0,15% memberikan hasil $5,39E-03$ dyne/cm dan 31,73 cP. Sementara untuk formula Surfaktan 0,3% + NaCl 0,3% + Flopaam 3630S 0,2% memberikan hasil sebesar $6,92E-03$ dyne/cm dan 56,47 cP.



Gambar 6. Grafik uji thermal stability formula S 0,3% + NaCl 0,2% + 3630S 0,15%

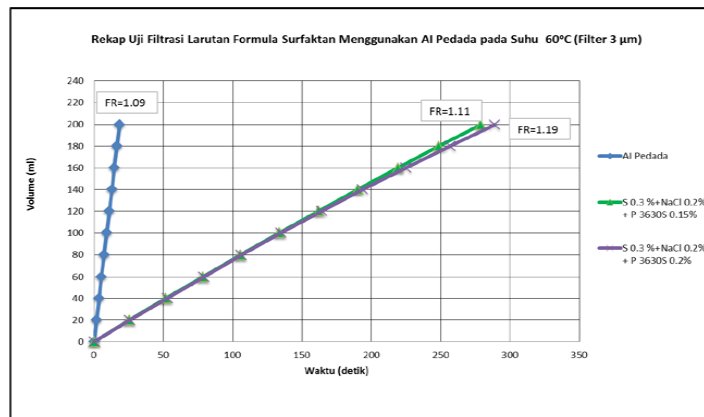


Gambar 7. Grafik uji thermal stability formula S 0,3% + NaCl 0,2% + 3630S 0,20%

Uji filtrasi dilakukan untuk kedua formula dengan menggunakan filter 3 μ , pada temperatur 60°C dan menghasilkan laju filtrasi sebesar 1,11 untuk formula Surfaktan 0,3% + NaCl 0,3% + 3630S 0,15% dan laju filtrasi 1.19 untuk formula Surfaktan 0,3% + NaCl 0,3% + Flopaam 3630S 0,2%. Hasil ini masih lebih tinggi dibandingkan Air Injeksi yang selama ini digunakan, namun masih memenuhi spesifikasi dari SKK Migas seperti pada gambar 8. Untuk uji adsorpsi statis kedua formula menghasilkan sebagai berikut :

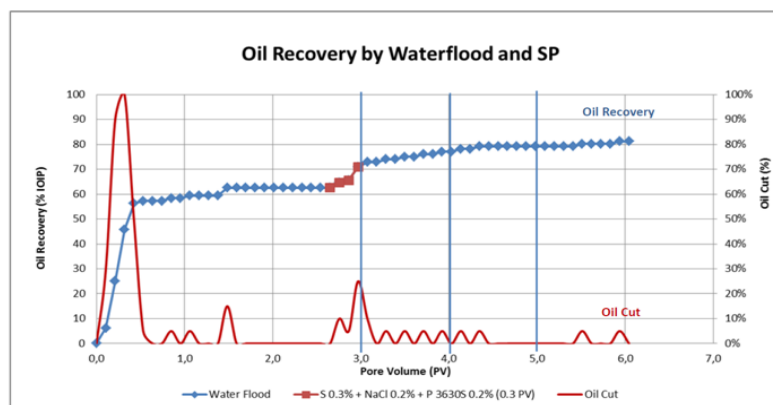
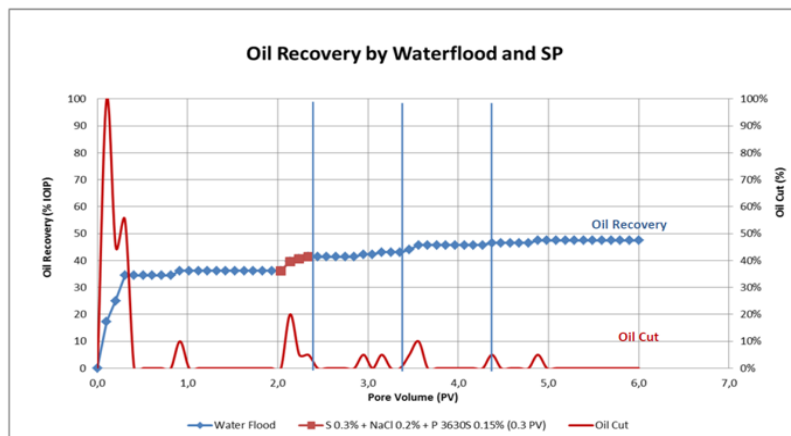
Tabel 4. Hasil pengujian adsorpsi statis

Formula	Nilai Adsorpsi (μ g/g core)
S 0,3% + NaCl 0,2% + 3630S 0,15%	82.78
S 0,3% + NaCl 0,2% + 3630S 0,20%	81.32



Gambar 8. Grafik uji filtrasi dengan filter 3 μ m

Hasil pengujian untuk *coreflood* dengan media *core Berea*, kedua formula dengan volume injeksi Surfaktan Polimer (SP) sebesar 0,3% diperoleh hasil tambahan potensi *recovery factor* sebesar 13-18.8%. Gambar 8 dan gambar 9 merupakan grafik hasil *coreflood* untuk kedua formula yang digunakan pada *Berea*.



DISKUSI LEBIH LANJUT

Dengan hasil ujicoba di core Berea, maka uji dengan bebatuan asli (*native core*) untuk di lapangan Pedada BOB memungkinkan dilakukan sebelum dilakukan pilot proyek di lapangan. Peluang untuk mencari formula-formula baru untuk surfaktan berbasis minyak kelapa sawit sangat terbuka dilakukan para peneliti mengingat karakteristik minyak di setiap lapangan sangat berbeda, termasuk untuk lapangan-lapangan yang sudah direncanakan pemerintah untuk implementasi EOR seperti tercantum dalam RUEN.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman M., Permadi, A.K, Bae, W.S, Masduki, A, 2017, *EOR in Indonesia : Past, Present, and Future*, International Journal of Oil, Gas and Coal Technology Vol. 16 No. 3, p. 250-270
- BOB, 2015, Internal report
- BP Statistical Review of World Energy 2019, 68th edition
- Chen, Z.Y., Jiao, L.M., Li, Z.P, 1999, *Mechanistic study of alkaline-polymer flooding In Yangsanmu Field*, Journal of Northwest University (Natural Science Edition) Vol 3, p.237-240
- Delamaide E., Tabary R., Rousseu D., 2014, *Chemical EOR in Low Permeability Reservoirs* SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia, Muscat-Oman
- Dirjen Perkebunan, 2016, “*Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017 : Kelapa Sawit*”, Sekretariat Dirjen Perkebunan
- Eni H., Sutriah K., Muljani S., 2017, *Surfaktan Berbasis Minyak Sawit untuk Aplikasi EOR pada Lapangan Minyak Intermediet*, Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi Vol 51, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi Lemigas. Hal. 13-21
- Hidayati S., Gultom H., Eni H., 2012, *Optimasi Metil Ester Sulfonat dari Metil Ester minyak jelantah*, Reaktor Vol 14 No 2, Hal 165-172
- SKKMigas, Laporan Tahunan 2017
- SKKMigas, Laporan Tahunan 2018
- Masoud M, 2015, *Comparing Carbon Dioxide Injection in Enhanced Oil Recovery with Other Methods*, Austin Chem Eng Vol 2 Issue 2, Austin Publishing Group, www.Austinpublishinggroup.com
- Manrique E., Gurfinkel M., Muci V, 2004, *Enhanced Oil Recovery Field Experiences in Carbonate Reservoirs in the United State*, 25th Annual workshop & symposium Collaborative project on Enhanced Oil Recovery International Energy Agency, Stavanger – Norway
- Perpres 22 tahun 2017, Rencana Umum Energi Nasional
- Pope, Gary A, 2007, *Overview of Chemical EOR*, Casper EOR workshop.
- Purwatiningsy EF. & Pramudono B., 2009, *Pembuatan Surfaktan Polyoxyethylene dari Minyak Sawit : Pengaruh Mono Digliserida dan Polyethylene Glycol*, Reaktor Vol 12 No. 03, Hal. 175-182

Prosiding

Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya (SNKP) 2019

Malang, 03 November 2019

- Rivai M. 2011, *Produksi dan Formulasi Surfaktan berbasis metil ester sulfonat dari olein sawit untuk aplikasi Enhanced Oil Recovery*, Institut Pertanian Bogor
- Rosen, M.J, 1978, *Surfactants and Interfacial Phenomena*, Wiley
- SBRC LPPM IPB-BOB PT.BSP-Pertamina Hulu, 2015, *Laporan Jasa Uji Laboratorium untuk Menentukan Bahan Surfaktant Polimer untuk EOR Lapangan Pedada-Beruk*
- Sheng, J.J., 2010., *Modern Chemical Enhanced Oil Recovery : Theory and Practice*, Gulf Professional publishing, Oxford - UK
- Sheng, JJ, 2016, *Critical Review of Alkaline-Polymer flooding*, *Journal Petroleum Exploration Production Technology*, www.springerlink.com
- Wang W.& Gu Y., 2005, *Experimental Studies of the Detection and Reused of Produced Chemical in Alkaline/Surfactant/Polymer Floods*, *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, p. 362-371