

SURFAKTAN BERBASIS MINYAK SAWIT UNTUK APLIKASI EOR PADA LAPANGAN MINYAK INTERMEDIET

(Surfactant based on Palm Oil for EOR Application at Intermediate Oil Field)

Hestuti Eni^{1,2}, Komar Sutriah², dan Sri Muljani²

¹)Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS”
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan
Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

²)Jurusan Kimia, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Darmaga Kampus IPB Darmaga Bogor 16680

E-mail: hestuti.eni@gmail.com

Teregistrasi I tanggal 7 Maret 2017; Diterima setelah perbaikan tanggal 18 April 2017;
Disetujui terbit tanggal: 28 April 2017

ABSTRAK

Peningkatan produksi minyak tahap lanjut (EOR) perlu dilakukan pada lapangan minyak tua dengan kandungan minyak masih tinggi. Injeksi kimia, khususnya surfaktan sebagai bagian dari aplikasi EOR sudah terbukti mampu meningkatkan perolehan minyak dari lapangan minyak tua. Dewasa ini surfaktan berbasis minyak sawit mulai dikembangkan. Selain surfaktan ini mampu menurunkan tegangan antarmuka sebagaimana yang dipersyaratkan surfaktan sebagai *chemical* EOR, ketersediaan minyak sawit yang melimpah dan merupakan bahan baku yang terbarukan juga menjadi alasan mengapa dilakukan penelitian sintesa surfaktan berbasis minyak sawit untuk aplikasi EOR ini. Beberapa surfaktan berbasis minyak sawit disintesa, yaitu surfaktan MES, BES dan PDS. Ada tiga varian surfaktan PDS yaitu PDSH1, PDSH2 dan PDSH3. Parameter uji *screening* seperti kompatibilitas, tegangan antarmuka (IFT), filtrasi, dan ketahanan panas dilakukan sebelum diaplikasikan pada lapangan minyak intermediet. Dari kelima varian surfaktan, didapatkan formula terbaik 1% surfaktan PDSH3 yang memenuhi kriteria pada uji *screening*. Karakterisasi FTIR dan analisa gravimetri *thermal* dilakukan untuk menentukan gugus fungsi sulfonat dan mengukur degradasi perubahan massa surfaktan terhadap panas. Uji injeksi kimia skala laboratorium dilakukan untuk mengetahui seberapa besar peningkatan perolehan minyak yang dihasilkan.

Kata kunci: surfaktan, tegangan antarmuka, perolehan minyak, uji screening, EOR

ABSTRACT

Enhanced oil recovery (EOR) should be done on mature oil fields with high remaining oil. Chemical injection, especially surfactants as a part of EOR application had proven able to increase oil recovery from mature oil fields. Nowadays, surfactants based on palm oil begin to be developed. Besides it can produce low interfacial tension as required as chemical EOR, the availability of oil palm whose abundant and palm oil as a renewable raw material are also the reasons why the research of synthesis surfactants based on palm oil to the application of eor was done. Several surfactants based on palm oil was synthesized, namely MES, BES and PDS. There are three variants of PDS surfactants, PDSH1, PDSH2 and PDSH3. Parameter screening tests such as compatibility test, interfacial tension, filtration test, and thermal stability test have been done before applied in intermediete oil field. From these surfactants obtained best formula 1% PDSH3 surfactant what fulfill criteria parameter screening tests. FTIR characterizations and thermal gravimetric analysis conducted to determine functional group of sulfonate and

measure mass change in materials associated with transition and thermal degradation. Coreflooding test performed to determine increasing oil recovery.

Keywords: *surfactant, interfacial tension, oil recovery, screening test, EOR*

I. PENDAHULUAN

Produksi minyak bumi nasional Indonesia mulai mengalami penurunan sejak tahun 1995, sementara konsumsi energi dari minyak bumi terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun (BPS 2013). Cadangan minyak Indonesia total 7,375 MMSTB (Dirjen Migas 2015). Tahun 2014, konsumsi minyak Indonesia mencapai 1641 ribu barrel per hari, dua kali lipat produksi minyak yang besarnya sekitar 852 ribu barrel per hari (BP *Statistical Review of World Energy*, 2015). Asumsi ini berlaku apabila tidak ditemukan cadangan minyak baru yang siap diproduksi. Di sisi lain, diperkirakan terdapat 62% atau setara dengan 42,8 miliar barel dari OOIP (*Original Oil In Place*) minyak masih tersimpan di dalam reservoir lapangan minyak tua (Widodo 2015). Akumulasi minyak ini berasal dari sekitar 650 lapangan minyak tua yang merupakan target EOR (*Enhanced Oil Recovery*). Hasil identifikasi lapangan-lapangan minyak yang potensial untuk aplikasi teknologi EOR menunjukkan bahwa 20 dari 23 lapangan yang diidentifikasi, diantaranya merupakan kandidat injeksi kimia (Gunawan 2008). Di Indonesia, EOR baru berhasil diterapkan di Lapangan Duri dengan metode injeksi uap. Kegiatan EOR dengan memanfaatkan bahan kimia dilakukan di Lapangan Minas dan Lapangan Kaji. Lapangan Minas masih dalam tahap *field trial*. Sementara Lapangan Kaji masih pada tahap *pilot project* (SKK Migas, 2014). Tahapan perolehan (*recovery*) minyak bumi dapat dikelompokkan atas tiga fase, yaitu fase primer, fase sekunder, dan fase tersier (Gomma 1995). Setelah reservoir dengan tenaga pendorong alamiah (fase primer) sudah tidak dapat mendorong minyak untuk naik ke permukaan, maka dilanjutkan dengan tahap sekunder kemudian tahap tersier atau langsung tahap tersier tergantung dari karakteristik minyaknya. Metode peningkatan perolehan minyak tahap lanjut dikenal dengan istilah *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Salah satu metode EOR yang lazim digunakan adalah injeksi kimia. Injeksi kimia yang biasa dilakukan adalah dengan menggunakan surfaktan, polimer, dan alkali. Injeksi surfaktan merupakan salah satu cara untuk mengurangi sisa minyak yang masih tertinggal di

dalam reservoir dengan cara menginjeksikan suatu zat aktif permukaan ke dalam reservoir sehingga tegangan antarmuka minyak-air dapat diturunkan. Agar dapat menguras minyak yang masih tersisa secara optimal maka diperlukan jenis surfaktan yang kompatibel dengan fluida dari suatu reservoir.

Surfaktan yang selama ini digunakan untuk proses EOR adalah petroleum sulfonat. Akan tetapi, surfaktan tersebut bersifat tidak terbarukan dan harganya relatif mahal. Dewasa ini sedang dikembangkan surfaktan nabati dari kelapa sawit, salah satunya adalah surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES). Penelitian produksi dan formulasi surfaktan MES untuk EOR dengan proses sulfonasi menggunakan gas SO_3 dalam *Single Tube Falling Reactor* (STFR) telah dilakukan oleh Rivai (2011) dengan kisaran tegangan antarmuka 10^{-2} dyne/cm, peningkatan perolehan minyak sebesar 9,1% dengan *native core*. Optimasi surfaktan MES dengan H_2SO_4 telah dilakukan oleh Hidayati et al. (2012) dengan kondisi proses sulfonasi terbaik terdapat pada konsentrasi H_2SO_4 80% dan lama reaksi 90 menit. Marhaendrajana et al. (2016) mengembangkan surfaktan ester alkil sulfonat (*sulfonated alkyl ester/SAE*) dengan gugus sulfonat sebagai rantai samping. Surfaktan SAE menunjukkan kinerja yang bagus pada konsentrasi rendah dan tinggi ion monovalen dan divalent pada sampel minyak berat. Sulfonasi gugus alkoksi surfaktan berbasis kelapa sawit dilakukan oleh Faozani (2016) dan menghasilkan surfaktan yang mampu menurunkan IFT secara optimal. Irawan et al. (2016) mensintesa surfaktan PDS (Polietilen Dioleat Sulfonat) dengan perbandingan reaktan 1:1 selama 4 jam. Formulasi surfaktan MES dilakukan oleh Hanifulloh (2014) dengan hasil terbaik 3% MES dan penambahan Hidrogen Florida (HF) 9%.

Kinerja surfaktan yang paling utama adalah kemampuan menurunkan tegangan antarmuka (IFT). Dengan nilai IFT yang rendah, maka bilangan kapiler akan meningkat sehingga akan meningkatkan perolehan minyak. Selain IFT, ada beberapa uji *screening* yang harus dilakukan sebelum surfaktan dianggap layak untuk diinjeksikan di suatu lapangan minyak. Uji *screening* tersebut diantaranya adalah uji kompatibilitas, uji filtrasi, uji

ketahanan terhadap panas (*thermal stability test*). Uji terakhir yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perolehan minyak apabila diinjeksikan pada skala laboratorium adalah *core flooding test* (LEMIGAS 2008). Untuk menghasilkan formula sesuai dengan karakteristik yang dipersyaratkan oleh industri perminyakan, maka dilakukan formulasi terhadap surfaktan. Formulasi adalah proses mengkombinasikan surfaktan MES dengan bahan aditif lain berupa co-surfaktan dan alkali yang sesuai agar dihasilkan formula yang mampu memberikan kinerja terbaik (Eni et al. 2010). Optimasi dilakukan selain dengan mengoptimalkan kondisi proses pembuatan MES, juga dikembangkan surfaktan butil ester sulfonat (BES) dan polietilen dioleat sulfonat (PDS) untuk mengetahui pengaruh panjang rantai pada alkil terhadap kinerjanya untuk aplikasi EOR. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan formula surfaktan terbaik untuk aplikasi EOR pada lapangan minyak intermediet dengan sintesa surfaktan berbasis minyak sawit.

II. BAHAN DAN METODE

Penelitian terdiri atas beberapa tahap yaitu pembuatan surfaktan alkil ester sulfonat, dalam hal ini ada 5 varian surfaktan (1 varian surfaktan MES, 1 varian surfaktan BES dan 3 varian surfaktan PDS), uji *screening* surfaktan untuk aplikasi EOR meliputi uji kompatibilitas, pengukuran IFT, uji ketahanan terhadap panas dan uji filtrasi, karakterisasi, dan *core flooding test*.

A. Pembuatan Surfaktan

Proses pembuatan surfaktan untuk kelima varian surfaktan pada dasarnya mempunyai prosedur yang sama, yaitu sulfonasi, pencucian, pemutihan (*bleaching*), penetralan, pemisahan. Proses sulfonasi ester menggunakan asam sulfat, kemudian pencucian dengan metanol dan pemutihan dengan H₂O₂ 50% berat. Selanjutnya dilakukan penetralan sisa asam dengan larutan NaOH 40%. Hasil selanjutnya dipisahkan dengan filtrasi dan terakhir dilakukan evaporasi dengan *rotary evaporator*. (BrioleTTY 2015). Untuk 3 jenis surfaktan PDS dibedakan pada lamanya proses sulfonasi, yaitu 120 menit untuk PDSH1, 90 menit untuk PDSH2, dan 60 menit untuk PDSH3. (Irawan dan Juliana 2015).

B. Uji *screening* EOR

Pengujian dilakukan terhadap larutan surfaktan dengan air fomasasi pada konsentrasi 0.3%, 0.5%, 1.0%, 1.5% dan 2.0%. Pengujian yang dilakukan

meliputi uji kompatibilitas, pengukuran tegangan antarmuka, uji filtrasi, dan uji *thermal stability*.

Uji kompatibilitas dimaksudkan untuk mengetahui kecocokan antara larutan surfaktan dengan air formasi (LEMIGAS, 2008). Uji dilakukan dengan mencampurkan formula larutan surfaktan pada air formasi kemudian diamati perubahan yang terjadi pada larutan. Diharapkan terbentuk larutan homogen.

Pengukuran tegangan antarmuka metode *spinning drop* (Gardener dan Hayes 1983) menggunakan alat *Spinning drop* diatur pada suhu 70°C. Sebanyak 2 µL (mikroliter) minyak (*crude oil*) diinjeksikan ke dalam tabung gelas yang telah berisi larutan surfaktan. Dalam tabung gelas tidak boleh ada gelembung udara. Kecepatan putaran diatur 6000 rpm.

Perhitungan:

$$\sigma = \frac{W^2 \times \Delta\rho \times D^3}{4}$$

Keterangan:

σ = tegangan antarmuka (dyne/cm)

$\Delta\rho$ = perbedaan densitas minyak dan larutan surfaktan (g/cm³)

D = radius drop (cm)

W = kecepatan angular (rad/s)

Uji *thermal stability* bertujuan untuk mengetahui stabilitas surfaktan terhadap pengaruh pemanasan (LEMIGAS, 2008). Uji dilakukan dengan melarutkan surfaktan dalam larutan air formasi sesuai dengan konsentrasi yang diinginkan. Disiapkan botol borosilikat (sebanyak konsentrasi x jumlah tes yang dilakukan). Dimasukkan larutan surfaktan ke dalam botol (sekitar 25 ml) dan ditutup dengan kuat, disimpan di dalam oven pada suhu reservoir. Tiap waktu tertentu, diambil sebuah botol, dilakukan pengamatan perubahan larutan yang terjadi, kemudian diukur nilai IFT. Dilakukan berulang untuk pengamatan hari ke-1, 3, 7, 14, dan seterusnya hingga waktu yang ditentukan. Dibuat dalam grafik nilai IFT terhadap waktu untuk mengetahui perubahan nilai IFT akibat pengaruh pemanasan.

Uji Filtrasi bertujuan untuk mengetahui keberadaan butiran (*precipitant*) dalam larutan surfaktan

(LEMIGAS, 2008). Uji dilakukan menggunakan rangkaian alat filtrasi yang dihubungkan dengan tabung gas nitrogen. Kertas saring yang digunakan adalah membran 0.22 mikron. Sejumlah 500ml larutan surfaktan dilewatkan melalui kertas saring dengan tekanan 20 psig. Setiap 50ml larutan surfaktan yang melewati kertas saring, dicatat waktunya. Buat grafik volume versus waktu. Diharapkan grafik yang terbentuk adalah lurus yang mengindikasikan tidak adanya partikel yang menyumbat yang dikhawatirkan akan mengganggu pada saat diinjeksikan ke batuan. Selain itu harus dipastikan bahwa nilai *filtration ratio* (FR) tidak boleh lebih dari 1.2.

$$FR = \frac{(t_{300} - t_{200})}{(t_{200} - t_{100})}$$

Keterangan :

FR = *Filtration Ratio* (FR)

t_{300} = Waktu untuk melewati 300 ml larutan surfaktan

C. Uji Karakteristik

Karakterisasi surfaktan diperoleh dengan menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan TGA (*Thermal Gravimetric Analysis*). Pengukuran Gugus Sulfonat menggunakan FTIR (ASTM D2357-74). Sebanyak 3 g sampel diteteskan di dalam pelet KBr (kalium Bromida) pada kondisi ruang kemudian diukur pada bilangan gelombang antara 400 sampai dengan 4000 cm^{-1} .

Kestabilan terhadap panas surfaktan hasil sintesa diukur menggunakan TGA jenis LECO 701. Pengukuran TGA dilakukan untuk menentukan kehilangan massa surfaktan dengan perlakuan kenaikan suhu. Uji dilakukan pada *range temperature* 29-500°C dengan laju pemanasan 10°C/menit dengan nitrogen.

D. Core Flooding Test

Uji injeksi surfaktan dilakukan pada *rig core flooding* dengan menggunakan batuan standar *Bentheimer*, sampel minyak jenis *intermediet*, dan air garam (*brine*) 18000 ppm. Surfaktan yang diinjeksikan adalah kandidat surfaktan yang lolos uji *screening* dan mempunyai kinerja paling optimal. Tahapan yang dilakukan adalah menghitung volume

pori (*pore volume/PV*) dari batuan, saturasi air untuk mengetahui permeabilitas batuan, saturasi minyak kemudian dilakukan injeksi air untuk mensimulasikan *water flooding*, setelah *water cut* mencapai 99% injeksi air dihentikan. Setelah ini, barulah dilakukan injeksi surfaktan secara berlebih dan diukur minyak yang bisa dihasilkan selama proses injeksi surfaktan. Setelah minyak tidak terproduksi lagi maka percobaan dihentikan (LEMIGAS, 2008).

III. HASIL DAN DISKUSI

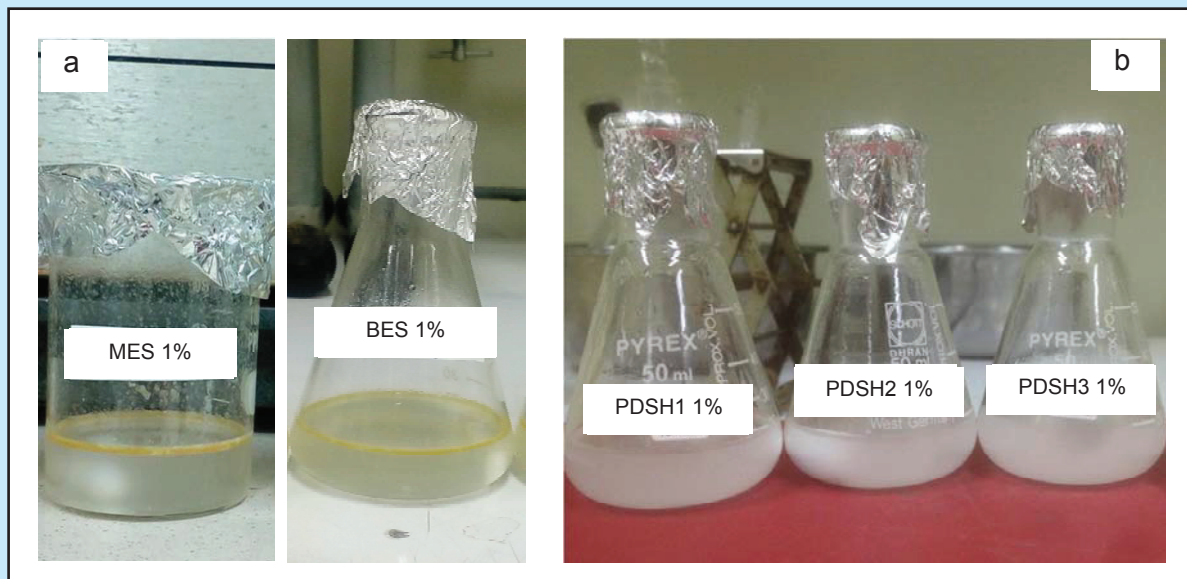
A. Surfaktan MES, BES dan PDS

Pada penelitian ini dihasilkan 5 varian surfaktan, yaitu 1 surfaktan MES, 1 surfaktan BES, dan 3 surfaktan PDS dengan nama PDSH1, PDSH2, dan PDSH3. Perbedaan antara 3 varian surfaktan PDS adalah pada waktu sulfonasi yang digunakan untuk sintesa surfaktan, yaitu 120 menit, 90 menit, dan 60 menit.

B. Uji Screening Surfaktan

Parameter uji yang dilakukan sebelum aplikasi EOR di lapangan meliputi uji kompatibilitas, pengukuran tegangan antarmuka, uji filtrasi, dan uji *thermal stability*. Uji kompatibilitas dimaksudkan untuk mengetahui kecocokan antara surfaktan dan air (pelarut) yang digunakan. Diharapkan surfaktan terlarut dalam air. Dalam penelitian ini digunakan *brine* 18000 ppm (LEMIGAS 2008). Hasil uji menunjukkan surfaktan MES dan BES tidak terlarut dalam *brine* (Gambar 1 (a)), sedangkan semua surfaktan PDS terlarut (Gambar 3 (b)). Tidak terlarutnya surfaktan dalam pelarut tentunya akan membuat kinerja surfaktan itu sendiri menjadi tidak optimal. Selain itu, dikhawatirkan akan terjadi penyumbatan oleh partikel surfaktan tidak terlarut, pada saat larutan surfaktan diinjeksikan pada batuan yang akan membuat pori pada reservoir menjadi tersumbat (Eni 2013). Untuk memenuhi kriteria lolos uji kompatibilitas, pada surfaktan yang tidak terlarut bisa dilakukan formulasi.

Parameter utama dari surfaktan untuk aplikasi EOR adalah nilai IFT. Untuk menaikkan perolehan minyak (*oil recovery*) nilai IFT harus diturunkan paling tidak pada kisaran 10^{-2} dyne/cm (Berger et al. 2006). Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 1. Nilai IFT sebelum disulfonasi (MEO, BEO, dan PDO) semuanya tidak memenuhi syarat untuk EOR, bahkan tidak terukur, sedangkan sesudah disulfonasi, terjadi penurunan nilai IFT secara signifikan. Hampir semua surfaktan hasil sulfonasi memenuhi syarat



Gambar 1
 (a) Uji kompatibilitas surfaktan MES
 (b) Uji kompatibilitas surfaktan PDS pada pelarut air garam (*brine*) 18000 ppm.

Tabel 1
 Hasil pengukuran IFT sebelum dan sesudah sulfonasi

Konsentrasi	IFT (dyne/cm)								
	sebelum sulfonasi			setelah sulfonasi					
	MEO	BEO	PDO	MES	BES	PDS H1	PDS H2	PDS H3	
0.3	-	-	1.013E+01	9.151E-02	6.851E+00	7.136E-02	8.215E-02	7.118E-03	
0.5	-	7.134E+00	2.565E+00	7.851E-02	3.590E+00	1.125E-02	1.525E-02	4.672E-03	
1.0	1.410E+01	7.134E+00	3.213E+00	6.186E-03	2.807E+00	4.830E-03	4.113E-03	4.665E-03	
1.5	-	-	-	6.704E-03	4.533E-01	3.369E-02	3.327E-03	6.311E-03	
2.0	-	-	-	9.614E-03	6.613E-01	3.016E-02	1.783E-02	2.760E-02	

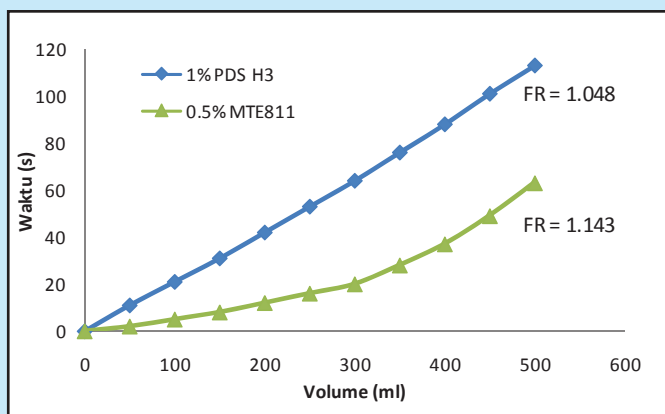
nilai IFT kecuali surfaktan BES. Surfaktan PDSH3 dan surfaktan MES secara keseluruhan mempunyai nilai IFT lebih rendah dibanding yang lain. Namun demikian, surfaktan MES pada uji kompatibilitas menunjukkan ketidakcocokan dengan pelarut, sehingga perlu dilakukan formulasi apabila akan dilakukan uji lebih lanjut.

Uji filtrasi dilakukan untuk memastikan tidak terjadinya penyumbatan pada batuan apabila larutan surfaktan diinjeksikan di lapangan minyak. Hasil uji filtrasi ditunjukkan dengan kurva waktu sebagai fungsi volume larutan surfaktan yang melewati membran saring (Gambar 2). Nilai *filtration ratio* yang dipersyaratkan tidak lebih dari 1.2 (Don et al. 2003). Berdasarkan hasil pengukuran nilai IFT, surfaktan terpilih adalah PDSH3 dan

MES, tetapi karena surfaktan MES tidak lolos uji kompatibilitas, maka dilakukan formulasi sehingga didapatkan formula terbaik MPE811. Pada kurva terlihat hasil filtrasi untuk surfaktan PDSH3 dan MPE811. Walaupun keduanya mempunyai nilai FR sesuai persyaratan, yaitu kurang dari 1.2, namun kurva pada MPE811 tidak menunjukkan garis lurus yang mengindikasikan adanya penyumbatan pada membran saring (Eni et al. 2010). Hal ini tidak diperbolehkan karena dikhawatirkan akan menyumbat pori batuan pada saat diinjeksikan ke dalam reservoir.

Uji *thermal stability* dilakukan untuk mengetahui ketahanan panas surfaktan pada temperatur reservoir selama waktu tertentu. Diharapkan nilai IFT surfaktan stabil (tidak meningkat) sehingga

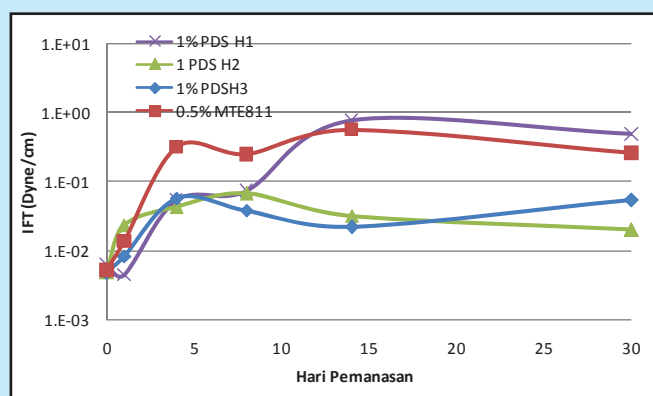
kinerja surfaktan tetap optimal pada suhu reservoir apabila surfaktan diaplikasikan pada lapangan minyak. Semua surfaktan mengalami kenaikan nilai IFT. Hanya pada surfaktan PDSH2 dan PDSH3 yang masih berada pada kisaran 10^{-2} dyne/cm seperti yang dipersyaratkan (Berger dan Lee 2006). Berdasarkan hasil uji kestabilan terhadap panas ini ditambah dengan nilai IFT dan hasil uji filtrasi, maka dapat disimpulkan surfaktan PDSH3 dengan konsentrasi 1.0% sebagai surfaktan terbaik untuk selanjutnya dilakukan karakterisasi dengan uji FTIR dan TGA. Untuk mengetahui kinerjanya dalam melepaskan minyak dari batuan, dilakukan uji *core flooding*.



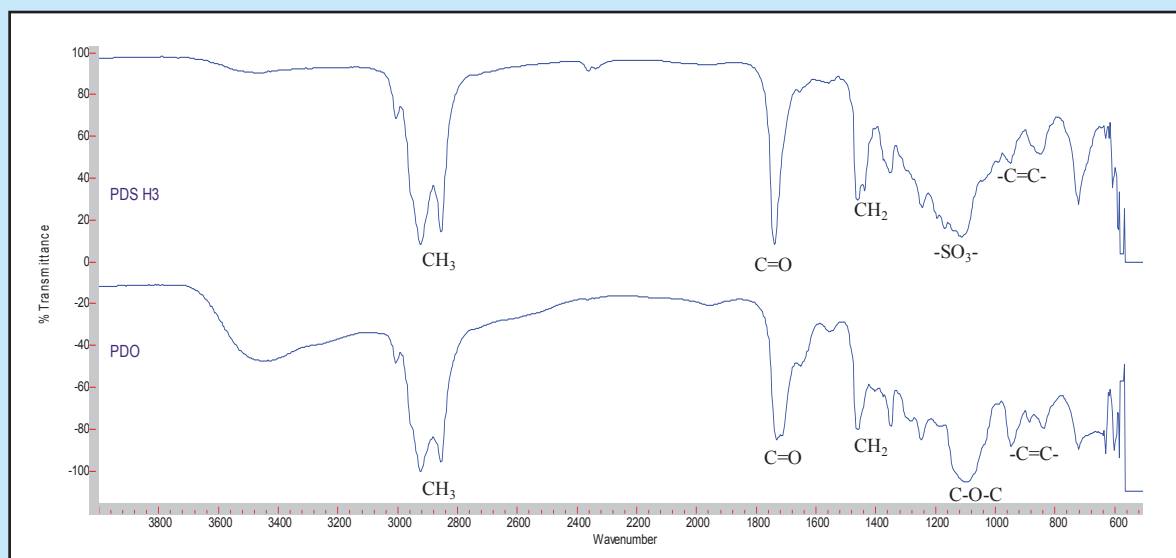
Gambar 2 Hasil uji filtrasi.

C. Karakterisasi Senyawa Sulfonat

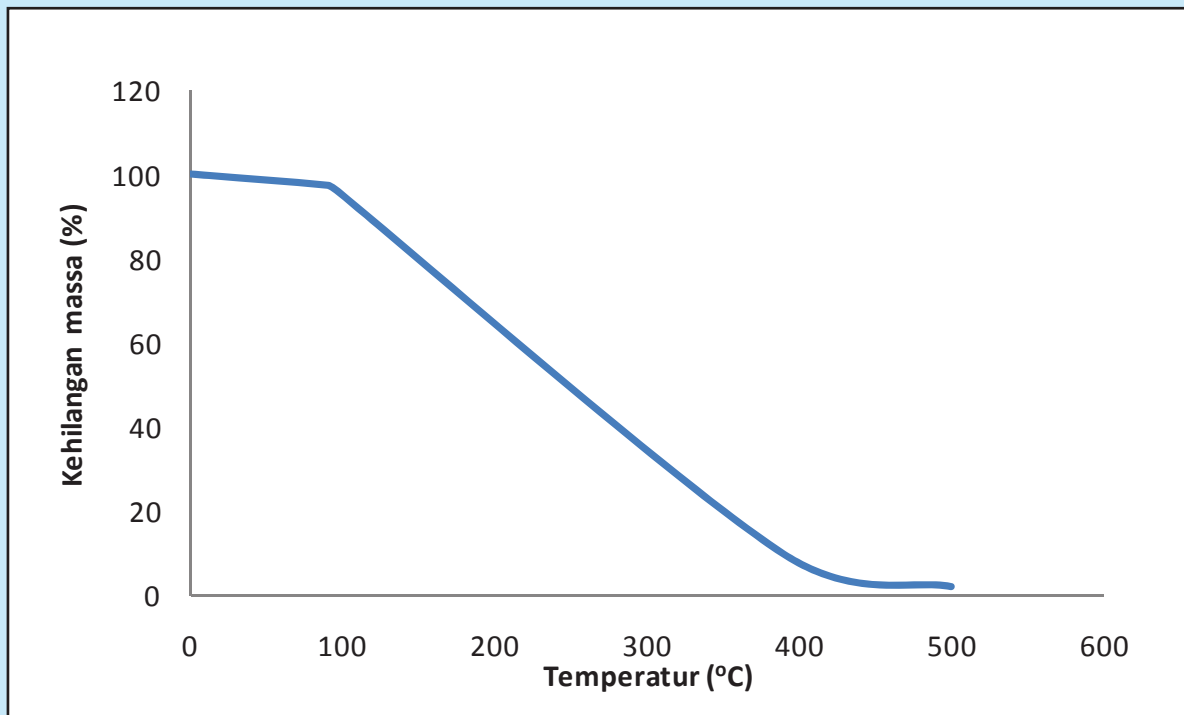
Identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR dilakukan pada PDO dan PDSH3 (Gambar 4). PDO adalah senyawa ester, sedangkan PDSH3 adalah senyawa PDO yang sudah disulfonasi. Berdasarkan spektrum yang diperoleh, terdapat puncak serapan pada bilangan gelombang 2900 cm^{-1} ulur C-H (CH_3 alkana asimetrik), 1700 cm^{-1} ulur C=O menunjukkan keberadaan ikatan ester dari polietilen dioleat/PDO (Irawan dan Juliana 2013), 1400 cm^{-1} tekuk CH_2 , 1100 cm^{-1} C-O (ester). Sedangkan terbentuknya gugus sulfonat ($\text{S}=\text{O}$) ditunjukkan dengan bilangan gelombang 1200 cm^{-1} (Silverstein et al. 2005).



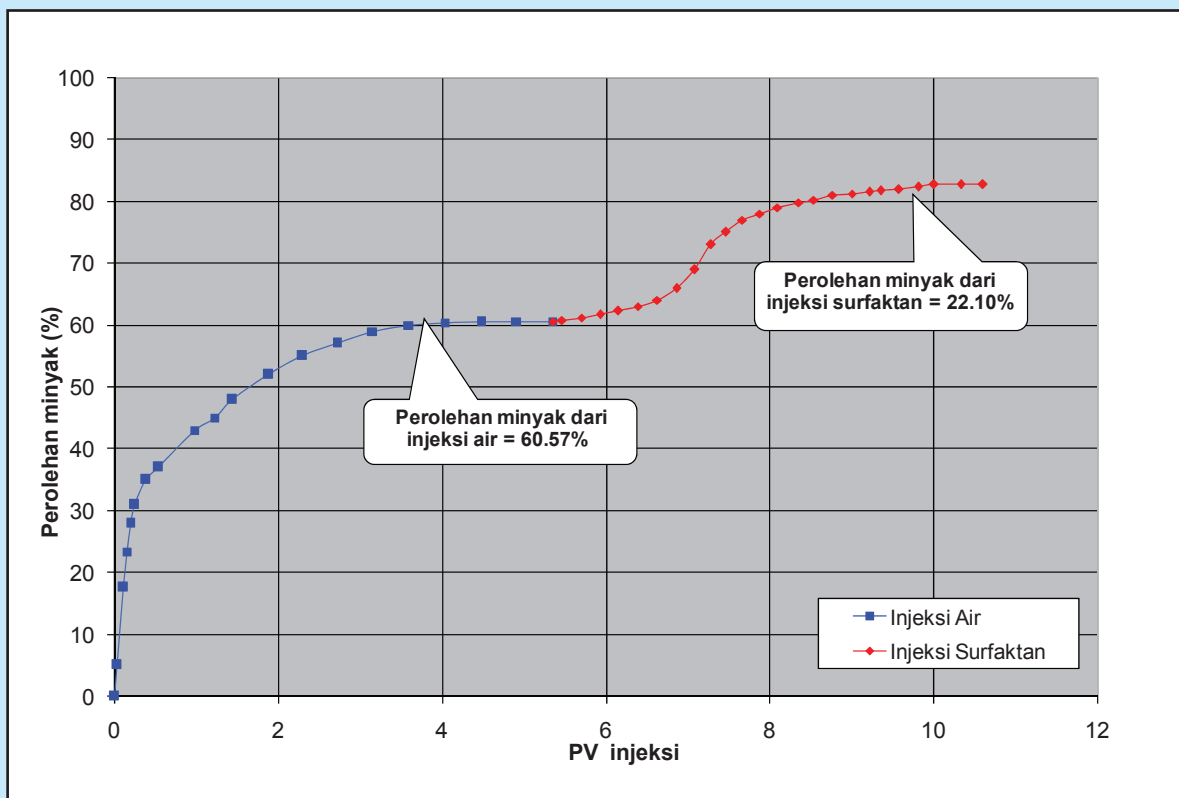
Gambar 3 Hasil uji kestabilan terhadap panas.



Gambar 4 Spektrum FTIR dari surfaktan PDO dan PDSH3.



Gambar 5
Kurva kestabilan *thermal* surfaktan PDSH3.



Gambar 6
Perolehan minyak hasil uji *core flooding*.

D. Pengukuran TGA

Kondisi temperatur reservoir adalah 60°C. Analisa thermal surfaktan dilakukan untuk memastikan bahwa surfaktan stabil pada temperatur tersebut. Analisa thermal surfaktan ditunjukkan pada Gambar 5. Tiga tahap kehilangan massa terdeteksi. Tahap pertama dengan kehilangan massa sekitar 3% dari temperatur ambient sampai 100°C menunjukkan hilangnya molekul air (Prinetto et al. 2000). Tahap kedua, lebih dari 90% kehilangan massa yang terjadi secara tajam antara 100-425°C menunjukkan bahwa surfaktan mengalami dekomposisi. Degradasi terakhir adalah diatas temperatur 425°C merupakan dekomposisi *thermal* kompleks yang mungkin terjadi sebagai tambahan adanya kehilangan massa gugus sulfonat, komponen sisa surfaktan stabil secara thermal sampai pada temperatur 500°C (Xi et al. 2005). Kehilangan massa akan menyebabkan surfaktan kehilangan karakteristiknya sebagai surfaktan. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa surfaktan stabil terhadap panas dibawah kondisi temperatur reservoir untuk aplikasi EOR (60°C).

E. Uji Core Flooding

Untuk mengetahui kinerja surfaktan dalam kemampuannya melepaskan minyak dari batuan, dilakukan uji *core flooding*. Uji dilakukan menggunakan batuan standar *Bentheimer* dengan porositas batuan 21.7%, permeabilitas 1954.6 mD, PV batuan 63.52 ml dengan saturasi minyak awal (S_{oi}) 40.05 %. Surfaktan yang diinjeksikan adalah PDSH3 dengan konsentrasi 1.0% yang merupakan varian terpilih dari 5 jenis varian yang diuji performanya dengan parameter uji *screening* surfaktan untuk EOR.

Perolehan minyak sebagai fungsi jumlah surfaktan yang diinjeksikan (*pore volume*) digambarkan pada Gambar 6. Perolehan minyak setelah injeksi air adalah sebesar 60.6%. Setelah *watercut* mencapai 99%, dilanjutkan dengan injeksi surfaktan. Injeksi surfaktan sekitar 3 PV, mampu memproduksi minyak secara signifikan. Setelah injeksi surfaktan sekitar 5 PV, hampir tidak ada lagi kenaikan perolehan minyak. Total keseluruhan injeksi surfaktan 5 PV menghasilkan kenaikan perolehan minyak sebesar 22.1%. Kenaikan tersebut menunjukkan adanya kinerja surfaktan dalam melepaskan minyak dari batuan yang sebelumnya sudah tidak mampu dilepaskan dengan injeksi air saja. Lazimnya injeksi kimia hanya sekitar 0.35PV tapi tidak hanya injeksi tunggal, melainkan perpaduan antara surfaktan, alkali, dan atau polimer. Inipun masih di dorong dengan polimer dan air formasi (Tobing 2012).

IV. KESIMPULAN

Dari 5 varian surfaktan yang dihasilkan, surfaktan PDSH3 menunjukkan performa paling optimal pada serangkaian uji *screening* EOR. Dengan konsentrasi 1.0% sebanyak 5 PV, uji injeksi skala laboratorium surfaktan PDSH3 menghasilkan perolehan minyak sebesar 22.1%. Perlu dilakukan pengujian untuk injeksi kimia dengan perpaduan antara alkali, surfaktan dan atau polimer untuk lebih memaksimalkan perolehan minyak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PPPTMGB "LEMIGAS" khususnya Laboratorium *Chemical Flooding* dan *Gas Flooding* kelompok EOR, KP3T (Kelompok Program Penelitian dan Pengembangan Teknologi) Eksploitasi, Laboratorium Spektroskopi kelompok Analitik dan Kimia Terapan, Laboratorium Lingkungan kelompok Teknologi Lingkungan, KP3T Proses, dan Laboratorium Terpadu (LT) IPB, Bogor atas bantuannya sehingga penelitian ini bisa terlaksana dengan baik.

KEPUSTAKAAN

- Berger PD, Lee CH.** 2006. Improve ASP Process Using Organic Alkali, SPE99581. Vegetable Oils and Fats Processing. Volume II. Interstampa, Roma.
- BP Statistical Review of World Energy,** Juni 2015
- Brioletty L.** 2015. Surfaktan MES untuk aplikasi EOR pada lapangan minyak berat. Laporan DIPA Penelitian Tahun 2014. PPPTMGB LEMIGAS, Jakarta.
- Don GW, Willhite, Paul G.** 2003. Enhanced Oil Recovery, Society of Petroleum Engineers, Richardson, Texas, USA, p.272-278.
- Eni H.** 2013. Pembuatan surfaktan untuk aplikasi pendesakan minyak dengan injeksi kimia (lanjutan). Laporan Penelitian PPPTMGB LEMIGAS. Tahun 2012, Jakarta.
- Eni H, Syahrial E, Sugihardjo.** 2010. "Screening test dan karakterisasi surfaktan yang efektif untuk injeksi kimia. Lembaran Publikasi Lemigas, 44 (2) : 108-116.
- Faozani Y, Usman, Brioletty L.** 2016. Alkoxy groups of sulfonated natural oil based surfactant to reduce oil water interfacial tension for chemical flooding.
- Gardener JE, Hayes ME.** 1983. Spining Drop Interfacial Tensiometer Instruction Manual. Departement of Chemistry, University of Texas, Texas.

- Gomma EE.** 1995. Enhanced Oil Recovery: Microbiology, Gas Injection, Chemical injection, Thermal and Practical Aspect. IATMI-IWPL Migas
- Gunawan S.** 2008. "Indonesia IOR: Existing and Future, Bahan presentasi pada Pelatihan yang diselenggarakan di LEMIGAS, BPMIGAS, Jakarta.
- Hanifulloh DK.** 2014. Formulasi Surfaktan MES untuk Acid Stimulating Agent Pada Lapangan Sandstone (Studi Kasus: Lapangan B), Institut Pertanian Bogor.
- Hidayati S, Gultom N, Eni H.** 2012. "Optimasi Metil Ester Sulfonat dari Metil Ester minyak jelantah", Reaktor, Vol. 14 No. 2, Oktober 2012, Hal. 165-172.
- Irawan Y, Juliana I, Adilina IB.** 2016. Synthesis and Characterization of Palm Oil and Polyethylene Glycol Based Polymeric Surfactants. American Scientific Publisher, 2016.
- Irawan Y, Juliana I.** 2015. Effect Of Temperature On Manufacturing Process of Polyethylene Glycol Dioleate (PDO), Proceedings of the 3rd Bali Internasional Seminar on Science and Technology (BISSTECH), 2015 Oktober 15 -17. Bali, Indonesia. Hlm A.43 – A.46.
- LEMIGAS.** 2008. Prosedur Analisis Surfaktan dan Polimer untuk EOR. Lemigas, Jakarta.
- Marhaendrajana T, Kurnia R, Wahyuningrum D, Fauzi I.** 2016. A Novel Sulfonated Alkyl Ester Surfactant to Reduce Oil-Water Interfacial Tensions in Wide Range Salinity with Monovalent and Divalent Ions. Modern Applied Science; Vol. 10, No. 1, Canadian Center of Science and Education.
- Prinetto F, Ghiotti G, Graffin P, Tichit D.** 2000. Synthesis and Characterization of sol-gel Mg/Al and Ni/Al layered double hydroxides and comparison with co-precipitated samples. Micropor Mesopor Mat., 39, 229.
- Rivai M.** 2011. "Produksi dan formulasi surfaktan berbasis metil ester sulfonat dari olein sawit untuk aplikasi Enhanced Oil Recovery", Institut Pertanian Bogor.
- Silverstein RM, Webster FX, Kiemle DJ.** 2005. Spectrometric Identification of Organic Compounds. John Wiley & Sons, New York.
- Satuan Kerja Khusus Migas.** 2014. "EOR, Antara Kebutuhan dan Tantangan", Buletin Bumi edisi Maret 2014.
- Tobing E, Eni H.** 2013. "Peningkatan Perolehan Minyak Reservoir "R" dengan injeksi Alkali-Surfaktan-Polimer pada skala laboratorium, Lembar Publikasi Minyak dan Gas Bumi, Volume 47 Nomor 2, Jakarta.
- Widodo, TS.** 2015. Inventarisasi dan Analisis Data Cadangan Migas Indonesia. Laporan Penelitian DIPA Tahun 2014 PPPTMGB LEMIGAS, Jakarta.
- Xi Y, Martens W, He H, Frost R.** 2005. Thermogravimetric analysis of organoclays intercalated with the surfactant octadecyl trimethylammonium bromide. Journal of thermal analysis and calorimetry, 81, 91.