

Screening Test dan Karakterisasi Surfaktan yang Efektif untuk Injeksi Kimia

Oleh : Hestuti Eni¹⁾, Ego Syahril²⁾, Sugihardjo³⁾

¹⁾Peneliti Pertama, ²⁾Pengkaji Teknologi, ³⁾Peneliti Madya, pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

Teregistrasi I Tanggal 01 Maret 2010; Diterima setelah perbaikan tanggal 25 Maret 2010

Disetujui terbit tanggal: 31 Agustus 2010

S A R I

Penelitian ini dilatarbelakangi perlunya aplikasi EOR khususnya *chemical injection* mengingat produksi minyak yang semakin menurun, meningkatnya kebutuhan energi dalam negeri dan tingginya harga minyak dunia pada lapangan-lapangan minyak tua yang masih mempunyai sisa minyak cukup banyak di dalam reservoir.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui korelasi antara karakteristik kandungan surfaktan dan hasil uji *screening* beberapa surfaktan yang sudah ada untuk proses pendesakan minyak tahap lanjut agar didapatkan informasi *raw material* surfaktan yang mempunyai kinerja efektif.

Metodologi penelitian terbagi dalam 3 langkah, yaitu uji *screening*, karakterisasi surfaktan dan analisis korelasi hasil uji *screening* dengan hasil karakterisasi kandungan surfaktan. Penelitian dilakukan dengan sampel 10 jenis surfaktan yang selama ini menghasilkan *oil recovery* relatif tinggi pada uji *chemical flooding*, sampel minyak dari lapangan Ogan dengan viskositas 15 cP dan suhu reservoir 85°C.

Dua buah surfaktan, yaitu RIPED-1 dan 13#A4 menunjukkan kinerja yang baik pada semua parameter uji *screening*, dan keduanya berbahan dasar nabati. Oleh karena itu, pada penelitian lanjutan mendatang, akan dibuat surfaktan dengan bahan dasar nabati.

Kata kunci : surfaktan, karakterisasi, korelasi, uji *screening*

ABSTRACT

This research is based on several facts i.e. declining oil production sharply since 1995, increasing energy demand, and high oil prices. On the other hand, Indonesia has a lot of depleted oil fields with high remaining oil. EOR technology, especially chemical injection has been proven in the oil fields in several countries with oil recovery until 28%, so that chemical injection in Indonesian oil fields must be applied.

The purpose of this study was to determine the correlation between the characteristics and content of surfactant with screening tests results of several existing surfactants that its have been applied for enhanced oil recovery process so that information about raw materials for surfactant with effective performance will be obtained.

Research methodology is divided into 3 stages, i.e. screening tests, surfactant characterization and correlation analysis the results of screening tests with surfactant content characterization. Research conducted to 10 samples of surfactant that produces a relatively high oil recovery in chemical flooding test, oil sample has viscosity 15 cP from Ogan oil field with reservoir temperature 85°C.

Two surfactants, RIPED-1 and 13#A4 showed good performances on all parameters of screening tests, and both are made from vegetable base. Therefore, in the future research will be made surfactants from vegetable base raw material.

Keywords : surfactant, characterization, correlation, screening test

1. PENDAHULUAN

Penurunan produksi minyak secara tajam terjadi sejak tahun 1995 sementara kebutuhan akan minyak terus meningkat. Adalah bukan hal mudah untuk menemukan cadangan minyak baru. Di sisi lain, Indonesia mempunyai banyak lapangan minyak *depleted* yang mempunyai kandungan minyak tersisa masih relatif tinggi. Alasan itulah yang menjadikan EOR perlu untuk diaplikasikan.

Salah satu metode EOR yang dewasa ini mulai dikembangkan karena terbukti *proven* adalah injeksi kimia. Di beberapa negara, injeksi kimia sudah mampu meningkatkan *recovery* minyak sampai 28%. Salah satu bahan kimia yang digunakan untuk injeksi kimia adalah surfaktan.

Surfaktan singkatan dari *surface active agent*. Surfaktan mempunyai 2 sisi hidrofil dan lipofil, karenanya surfaktan mempunyai sifat terkonsentrasi di 2 sisi sekaligus. Sifat inilah yang menjadi alasan digunakannya surfaktan untuk EOR, yaitu menurunkan tegangan antarmuka (IFT).

Agar surfaktan efektif dalam meningkatkan % *oil recovery*, surfaktan harus mampu menurunkan IFT sampai 10^{-3} Dyne/cm sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 1.

Dari grafik terlihat bahwa % *oil recovery* akan meningkat dengan meningkatnya *Capillary Number* (N_c). Sedangkan nilai N_c diperoleh berdasarkan persamaan berikut :

$$N_c = \frac{n \mu}{\sigma \cos \theta}$$

di mana :

$$N_c = \text{Capillary Number}$$

$$v = \text{Darcy Velocity}$$

$$\mu = \text{Viscosity}$$

$$\sigma = \text{Interfacial Tension}$$

$$\theta = \text{wetting angle}$$

Darcy velocity, *viscosity* dan *wetting angle* adalah variabel-variabel yang tidak bisa diubah nilainya, sedangkan nilai IFT bisa diubah dengan penambahan surfaktan. Karenanya, agar nilai N_c naik, nilai IFT harus diturunkan.

Dewasa ini surfaktan lebih dikenal sebagai bahan untuk keperluan sehari-hari seperti sabun, deterjen atau bahan pembersih lainnya. Masih sangat sedikit surfaktan yang digunakan untuk tujuan EOR. Karenanya, untuk lebih meyakinkan bahan yang cocok untuk surfaktan sehingga mempunyai kinerja yang efektif, penelitian ini dilakukan.

Penelitian ini terdiri atas *screening test*, uji karakterisasi dan analisis korelasi yang menghubungkan antara kinerja surfaktan dan kandungan bahan dalam surfaktan.

II. PERCOBAAN

Penelitian dilakukan terhadap 10 jenis surfaktan, yaitu :

- | | |
|------------|----------------|
| 1. RIPED-1 | 2. Surplus 13A |
| 3. GS | 4. Oil Chem |
| 5. CS2000 | 6. 13#A4 |
| 7. A-M | 8. Greenzyme |
| 9. TFSA | 10. MES |

Sampel fluida berupa minyak dari lapangan Ogan#14 dengan suhu reservoir 85°C dan mempunyai viskositas 12 cP dan air formasi dengan salinitas 0 ppm, 15000 ppm dan 30000 ppm.

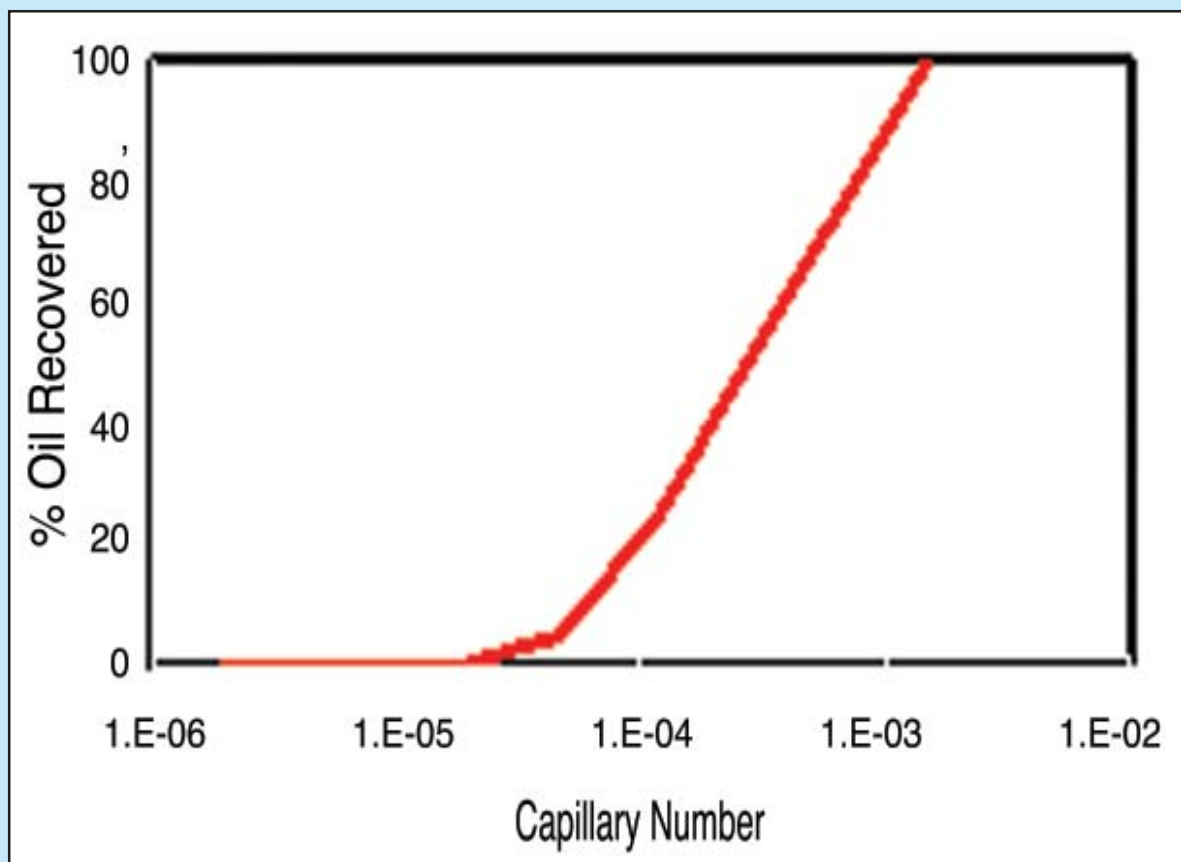
A. Screening Test

Ada beberapa uji *screening* yang dilakukan yaitu uji kompatibilitas, pengukuran IFT, dan uji ketahanan terhadap panas.

Semua uji dilakukan dengan variabel konsentrasi larutan 0,1%, 0,3% dan 1% dan variabel salinitas air formasi 0 ppm, 15000 ppm dan 30000 ppm.

Uji kompatibilitas dilakukan dengan melarutkan surfaktan pada air formasi dan mengamati perubahan yang terjadi pada larutan. Diharapkan surfaktan larut sempurna, tidak terbentuk endapan/gumpalan yang kemungkinan akan menyumbat pada saat diinjeksikan ke dalam batuan.

Pengukuran IFT dilakukan menggunakan alat *Spinning Drop Interfacial Tensiometer*. Pada *tube* sampel dimasukkan larutan surfaktan sampai penuh, kemudian disuntikkan minyak sebanyak 2 mL. Alat disett pada 3000-5000 rpm.



Gambar 1
Nc vs Oil Recovery

Uji ketahanan terhadap panas dilakukan dengan memanaskan larutan surfaktan pada suhu reservoir selama 2 bulan. Secara berkala dilakukan pengamatan terhadap larutan dan pengukuran IFT.

B. Karakterisasi Surfaktan

Karakterisasi surfaktan ini dilakukan guna mendapatkan informasi kandungan surfaktan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dimaksudkan untuk mengetahui senyawa-senyawa yang terkandung dalam surfaktan, sedangkan analisis kuantitatif dimaksudkan untuk mengetahui berapa banyak senyawa-senyawa tersebut ada dalam surfaktan.

Analisis surfaktan dengan GC-MS (*Gas Chromatography Mass Spectrometry*) hanya menghasilkan komposisi dengan gugus hidrofob. Sehingga sampel surfaktan diekstraksi untuk

memisahkan gugus hidrofilnya. Oleh karena itu, diperlukan alat lain, seperti LCMS (*Liquid Chromatography-Mass Spectrometry*) guna mendapatkan informasi semua senyawa-senyawa yang ada dalam surfaktan tanpa harus diekstrak terlebih dulu.

C. Analisis Korelasi

Analisis korelasi dilakukan untuk mencari hubungan antara senyawa yang terkandung dalam surfaktan dengan kinerja surfaktan yang diketahui dari hasil uji *screening*, terutama nilai IFT yang dihasilkan surfaktan. Dari korelasi tersebut, akan didapatkan informasi bahan / material pembuat surfaktan terbaik (menurunkan IFT sampai 10^{-3} Dyne/cm). Informasi ini akan digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu membuat surfaktan yang dapat bekerja secara efektif pada injeksi kimia.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Screening Test

1. Uji Kompatibilitas

Uji kompatibilitas dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kecocokan antara surfaktan dengan air formasi dari suatu reservoir. Uji ini merupakan uji paling awal sebelum uji-uji lain dilakukan. Apabila pada uji ini surfaktan tidak lolos (tidak kompatibel), maka surfaktan dianggap tidak layak untuk reservoir yang bersangkutan. Karenanya, uji-uji lainnya tidak perlu dilakukan. Ada tiga kemungkinan yang akan terbentuk pada pencampuran surfaktan dengan air formasi, yaitu :

1. Larutan sempurna

Terbentuk campuran yang jernih, 1 fase.

2. Koloid (*milky*)

Terbentuk campuran yang terlihat seperti air susu (*milky*), 1 fase.

3. Suspensi

Terbentuk campuran 2 fase, cairan dan padatan di mana butiran/gumpalan terlihat sangat jelas.

Pada uji kompatibilitas diharapkan campuran yang terbentuk adalah larutan sempurna atau koloid, sedangkan suspensi sangat tidak diharapkan karena dikhawatirkan akan terjadi penyumbatan pada saat larutan surfaktan diinjeksikan ke dalam batuan.

Dari semua surfaktan yang diuji, surfaktan Surplus #13A, GS, Greenzyme dan TFSA menghasilkan larutan jernih, surfaktan RIPED-1 dan 13#A4 menunjukkan *milky* sedangkan 4 surfaktan lainnya menunjukkan terbentuknya gumpalan. Hasil secara detail ditampilkan pada Tabel 1. Gambar 2 menampilkan contoh larutan surfaktan 13#A4 yang menghasilkan larutan *milky*.

2. Pengukuran IFT

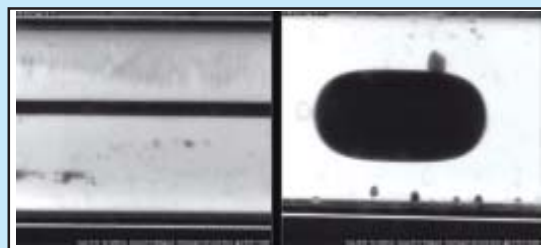
IFT (*Interfacial Tension*) atau tegangan antarmuka merupakan parameter yang sangat penting untuk menentukan apakah suatu jenis surfaktan bagus atau tidak sebagai *injection chemical*.

Nilai IFT adalah fungsi dari lebar *drop* minyak yang sebagai akibat dari kinerja larutan surfaktan. Gambar 3 menunjukkan contoh hasil pengukuran IFT.

Dari 10 surfaktan, surfaktan RIPED-1 dan 13#A4 mempunyai nilai IFT sekitar 10^{-3} Dyne/cm, sedangkan 8 surfaktan lainnya, hampir semuanya berada pada



Gambar 2
Uji Kompatibilitas Surfaktan 13#A4



Gambar 3
Lebar drop minyak pada pengukuran IFT

range 10^{-1} - 10^0 Dyne/cm. Bahkan, ada beberapa yang tidak bisa terukur (ND pada tabel). Hasil secara detail ditampilkan pada Tabel 2.

3. Uji Thermal Stability

Uji *thermal stability* dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh panas terhadap kinerja surfaktan. Diharapkan kinerja surfaktan tidak terpengaruh (menurun) karena pemanasan. Uji ini terdiri atas 2 macam, yaitu uji kualitatif dan kuantitatif.

Uji kualitatif dilakukan dengan mengamati perubahan yang terjadi pada larutan, sedangkan uji kuantitatif dilakukan dengan pengukuran IFT secara berkala tiap waktu tertentu, dalam hal ini diambil waktu 1 hari, 7 hari dan 60 hari pemanasan. Diharapkan pada hasil pengamatan larutan tidak terbentuk gumpalan/butiran, sedangkan nilai IFT diharapkan tetap stabil (rendah) atau menurun.

Tabel 1
Uji Kompatibilitas

No	Surfactant	Concentration	Formation water salinity		
		(%)	0 ppm	15000 ppm	30000 ppm
1	RIPED I	0.1	light milky	light milky	milky, white
		0.3	milky	milky	milky, white
		1	hard milky	hard milky	hard milky, white
2	Surplus 13 A	0.1	clear	clear	clear
		0.3	clear	clear	light milky
		1	milky, white	clear	milky
3	GS	0.1	clear	clear, white	clear
		0.3	clear	clear	clear
		1	clear	clear	clear
4	Oil Chem	0.1	light milky	clear, agglomeration	clear, agglomeration
		0.3	milky	clear, agglomeration	light milky
		1	hard milky	clear, agglomeration	light milky
5	CS 2000	0.1	clear	clear, agglomeration	light milky, clear agglomeration
		0.3	clear	clear, agglomeration	light milky, clear agglomeration
		1	clear	clear, agglomeration	light milky, clear agglomeration
6	13#A4	0.1	light milky, yellowfish	milky	milky, yellowfish
		0.3	milky, yellowfish	milky, yellowfish	hard milky, yellowfish
		1	hard milky, brown	milky, brownish	hard milky, yellowfish
7	A-M	0.1	clear	clear, agglomeration	turbit
		0.3	clear	clear, agglomeration	turbit
		1	clear	milky, agglomeration	turbit
8	Greenzyme	0.1	clear	clear	clear
		0.3	clear	clear	clear
		1	clear	clear	clear, yellowfish
9	TFSA	0.1	clear	clear	clear
		0.3	clear	clear	clear
		1	clear	clear	clear
10	MES	0.1	light milky	clear, agglomeration	turbit
		0.3	milky	milky, agglomeration	turbit
		1	milky	clear, agglomeration	milky

Table 2
Hasil Pengukuran IFT

Formation water salinity ppm	concentration %	IFT									
		RIPED I	Surplus 13 A	GS	Oilchem	CS2000	13#A4	A-M	Greenzyme	TFSA	MES
0	0.1	9,610E-01	1,454E+00	7,954E+00	9,917E-02	7,701E+00	1,202E+00	4,714E+00	5,966E+00	2,301E+00	ND
	0.3	ND	1,671E+00	5,135E+00	6,644E-01	4,875E+00	7,451E-02	2,800E+00	1,181E+01	1,691E+00	ND
	1	1,053E+00	1,266E+00	6,532E+00	1,394E-01	3,106E+00	8,746E-02	2,857E-01	6,062E+00	4,807E-01	ND
15000	0.1	6,195E-02	9,629E-01	4,996E+00	ND	7,359E-01	ND	ND	4,404E+00	5,489E-01	ND
	0.3	4,320E-03	7,636E-01	4,806E+00	ND	7,548E-01	4,914E-03	1,255E-01	4,913E+00	5,352E-01	1,041E+00
	1	2,735E-02	7,473E-01	5,134E+00	1,140E-01	1,439E-01	3,058E-02	7,641E-03	3,747E+00	2,449E-01	4,150E-02
30000	0.1	2,281E-03	5,515E-01	3,699E+00	3,929E-01	6,825E-01	2,281E-03	ND	2,334E+00	4,213E-01	ND
	0.3	1,168E-03	7,099E-01	3,530E+00	1,879E+00	6,692E-01	1,168E-03	1,758E+00	3,163E+00	3,633E-01	ND
	1	3,761E-03	1,618E-01	3,868E+00	3,327E-01	6,073E-01	2,863E-03	3,892E-03	3,883E+00	1,394E+00	5,764E-01

Setelah dipanaskan selama 60 hari pada suhu reservoir, yaitu 85°C, penggumpalan terjadi pada 5 surfaktan, yaitu Surfaktan GS, Oilchem, CS2000, A-M dan MES. Sedangkan lainnya terlihat jernih dan milky tetapi tidak ada gumpalan (Tabel 3).

Pada pengukuran IFT secara berkala, didapatkan bahwa surfaktan RIVED-1, Surplus#13A dan 13#A4 menunjukkan nilai IFT yang stabil, bahkan menurun setelah pemanasan selama 60 hari. Sementara yang lainnya nilai IFT meningkat. Sebagai contoh, ditampilkan hasil pengukuran IFT untuk surfaktan 13#A4 yang cenderung menurun, dan CS2000 yang cenderung meningkat. (Gambar 4).

B. Karakterisasi Surfaktan

Semua sampel surfaktan dianalisis menggunakan GC-MS. Surfaktan memiliki dua sisi aktif yaitu polar dan non-polar. Analisis GC-MS tidak memperbolehkan

sisi polar (air) ikut dianalisis sehingga sampel diekstrak dengan pelarut kimia dan hanya sisi nonpolar yang dianalisis. Perlakuan ekstraksi ini memungkinkan cabang karbon yang pendek akan ikut di bagian polar hingga tidak teranalisis.

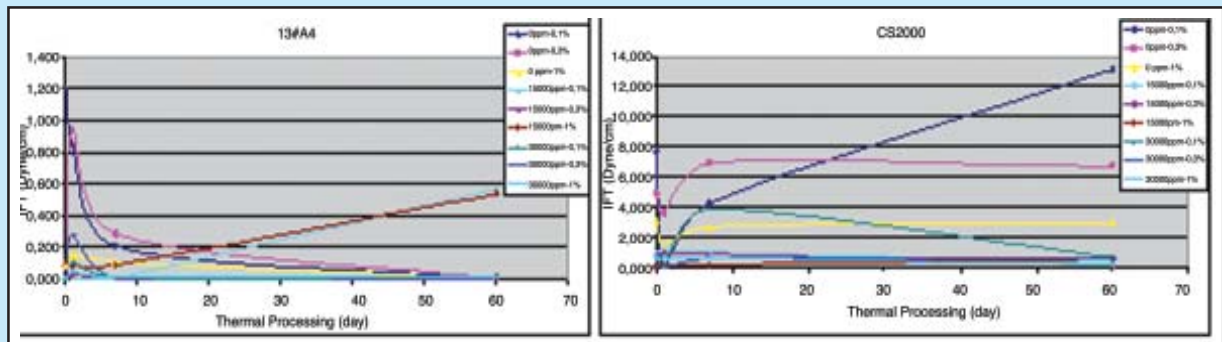
Hasil uji GC-MS di tampilkan dalam grafik yang memuat puncak-puncak yang kemudian diinterpretasikan dari *data base* yang ada. Gambar 5 menampilkan 2 contoh hasil analisis GC-MS.

Senyawa penyusun surfaktan 13#A4 didominasi bahan-bahan nabati seperti *lineoleic acid*, *oleic acid*, *stearic acid*, *oleic acid ethyl ester* dan lain-lain. Sedangkan surfaktan CS2000 didominasi senyawa non-organik seperti *hexadecane*, *pentadecane* sehingga disimpulkan surfaktan CS2000 berasal dari petroleum.

Analisis hasil karakterisasi surfaktan dengan hanya menampilkan hasil interpretasi yang

Tabel 3
Hasil pengamatan Uji *Thermal Stability*

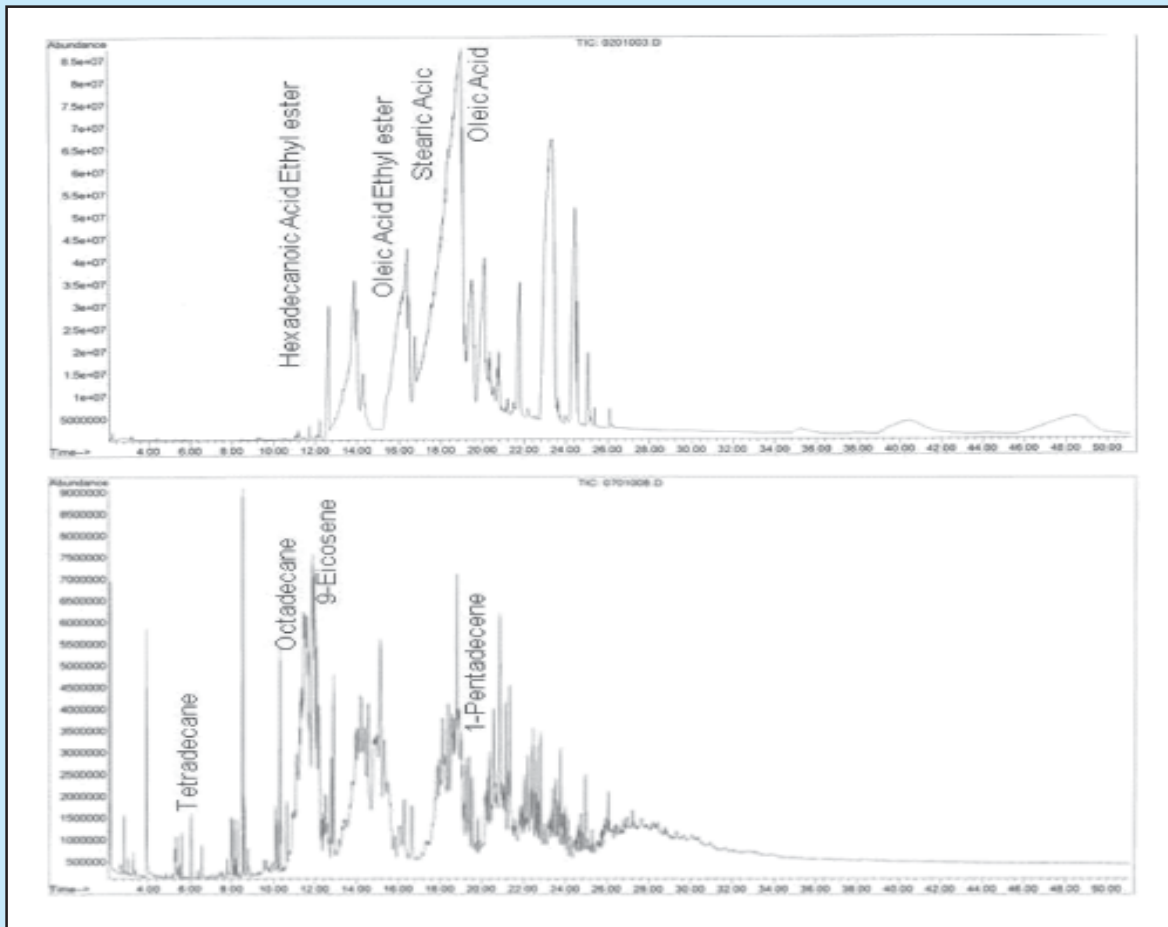
No	Surfactant	Concentration (%)	Day			
			0	1	7	8
1	RIVED I	0.1	milky, white	milky, white	light milky, white	milky
		0.3	milky, white	milky, white	milky, white	milky, yellowfish
		1	hard milky, white	hard milky, white	hard milky	hard milky
2	Surplus 13 A	0.1	clear	clear	clear	clear
		0.3	milky	clear	clear	clear
		1	milky	milky	clear	clear
3	GS	0.1	clear	clear	clear	clear
		0.3	clear	clear	clear	clear, agglomeration
		1	clear	clear, agglomeration	light milky	light milky, agglomeration
4	Oil Chem	0.1	clear, agglomeration	light milky	light milky, agglomeration	light milky
		0.3	light milky	milky, agglomeration	milky, agglomeration	milky
		1	light milky	milky, agglomeration	milky, agglomeration	milky
5	CS 2000	0.1	light milky, agglomeration	light milky, agglomeration	light milky	milky
		0.3	light milky, agglomeration	light milky, agglomeration	light milky, agglomeration	milky, white
		1	light milky, agglomeration	light milky, agglomeration	light milky	milky, white
6	13#A4	0.1	milky, yellowfish	milky, yellowfish	milky	milky
		0.3	milky, yellowfish	milky, yellowfish	milky, yellowfish	milky, yellowfish
		1	hard milky, yellowfish	hard milky, yellowfish	hard milky, yellowfish	hard milky, yellowfish
7	A-M	0.1	turbit	clear, agglomeration	clear, agglomeration	light milky
		0.3	turbit	milky, agglomeration	milky, agglomeration	milky
		1	turbit	hard milky, agglomeration	hard milky, agglomeration	
8	Greenzyme	0.1	clear	clear	clear	clear
		0.3	clear	clear	clear	clear
		1	clear	clear	clear	clear
9	TFSA	0.1	clear	clear	light milky	clear
		0.3	clear	clear	light milky	clear
		1	clear	clear	clear	clear
10	MES	0.1	turbit	clear	clear, agglomeration	clear
		0.3	turbit	clear	clear, agglomeration	clear
		1	milky	clear	clear, agglomeration	turbit, agglomeration



Gambar 4
 IFT Surfaktan 13#A4 dan CS2000 pada Uji *Thermal Stability*

Tabel 4
 Interpretasi Hasil Karakterisasi Surfaktan

No	Compound	RIPED 1	Surplus 13A	GS	Oil chem	CS 2000	13#A4	A-M	Greenzyme	TFSA	MES
1	Oleic Acid	✓					✓	✓			✓
2	Oleic Acid ethyl ester		✓	✓			✓		✓	✓	✓
3	Oleic Acid Methyl ester	✓					✓			✓	
4	Linoleic acid	✓						✓			
5	Linoleic acid methyl ester										
6	Linoleate acid						✓				
7	Linoleate acid, methyl ester						✓				
8	Linoleate acid, ethyl ester	✓									
9	Palmitic acid						✓	✓			
10	Palmitic acid methyl ester		✓	✓	✓		✓	✓	✓		
11	Palmitic acid ethyl ester	✓					✓				
12	Stearic acid	✓					✓				
13	Stearic acid methyl ester				✓			✓			
14	Stearic acid ethyl ester						✓				
15	Lauric acid							✓			
16	Lauric acid methyl ester		✓	✓				✓	✓		✓
17	Capric acid methyl ester								✓		✓
18	Caprylic acid methyl ester										✓
19	Caprylic acid ethyl ester	✓									
20	Arachidic acid methyl ester	✓				✓					
21	Cerotic acid methyl ester										✓
22	Lignoceric acid methyl ester										✓
23	Myristic acid methyl ester			✓				✓	✓		✓
24	Pelargonic acid methyl ester										✓
25	Pentacosanic acid, methyl ester										✓
26	Suberic acid, dimethyl ester										✓
27	Tricosanoic acid, methyl ester										✓
28	7-Octadecenoic acid, methyl ester							✓			
29	11-Elconsenic acid, methyl ester			✓	✓			✓			
30	Ethyl linoleat							✓			



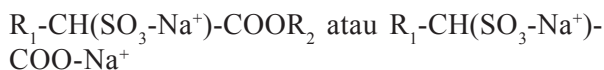
Gambar 5
 Hasil uji karakterisasi surfaktan 13#A4 dan CS2000 menggunakan GCMS

Tabel 5
 Analisis Korelasi

No	Surfactant	Screening Paramater			Characterization
		Compatibility	IFT	Thermal Stability	
1	RIPED I	√	√	√	vegetable
2	Surplus 13A	√	-	√	vegetable
3	GS	√	-	-	vegetable
4	Oil Chem	-	-	-	vegetable
5	CS2000	-	-	-	vegetable
6	13#A4	√	√	√	vegetable
7	A-M	-	-	-	vegetable
8	Greenzyme	√	-	-	vegetable
9	TFSA	√	-	√	vegetable
10	MES	-	-	-	vegetable

mempunyai tingkat kebenaran di atas 90% menunjukkan bahwa 9 dari 10 surfaktan (kecuali surfaktan CS2000) didominasi oleh senyawa-senyawa dari bahan nabati, di mana hampir semua surfaktan mengandung komponen *fatty acid methyl ester (fatty acid ethyl ester)* dan *fatty acid* sebagaimana tertera pada Tabel 4. Sedangkan 1 surfaktan (CS2000) tidak mengandung komponen tersebut. Dari senyawa yang terkandung di dalamnya, diperkirakan surfaktan CS2000 terbuat dari bahan petroleum.

Dari hasil tersebut diperkirakan surfaktan berjenis anionik dari ester sulfonat. Jenis ini memiliki struktur sebagai berikut :



C. Analisis Korelasi

Dari hasil analisis didapatkan bahwa hanya 2 surfaktan, yaitu RIPED-1 dan 13#A4 yang menunjukkan kinerja yang baik pada semua parameter uji *screening*, dan keduanya didominasi oleh bahan dasar nabati. Hasil analisis secara lengkap ditampilkan pada Tabel 5.

IV. KESIMPULAN

Dua buah surfaktan yang menunjukkan kinerja terbaik untuk *chemical injection* yaitu surfaktan RIPED-1 dan 13#A4 berbahan dasar nabati, oleh karena itu, pada penelitian lanjutan mendatang, akan dibuat surfaktan dengan bahan dasar nabati.

KEPUSTAKAAN

1. Anderson D.R., Bidner M.S., Davis H.T., Manning C.D., dan Scriven L.E.,: "Interfacial Tension and Phase Behavior in Surfactant - Brine - Oil Systems", SPE, p. 189 - 196, 1976.
2. Laurier L.Schramm, : SURFAKTAN Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry" Cambridge University Press, 2000.
3. Holm L.W., Robertson S.D.,:"Improved Micellar-Polimer Flooding with High pH Chemicals", SPE 7583, Okt. 1978.
4. Sugihardjo,"Capillary Desaturation Curves for Evaluating Surfactant Performance by Core Flooding Experiments", Lemigas Scientific Contributions Volume 32, April 2009, Jakarta. ✓