

# PENENTUAN LAMA SULFONASI PADA PROSES PRODUKSI SURFAKTAN MES UNTUK APLIKASI EOR

## (DETERMINATION OF SULFONATION TIME IN MES SURFACTANT PROCESS PRODUCTION FOR EOR APPLICATION)

Mira Rivai<sup>1,2,\*</sup>, Tun Tedja Irawadi<sup>3</sup>), Ani Suryani<sup>2,4</sup>), Dwi Setyaningsih<sup>2,4</sup>), Erliza Hambali<sup>2,4</sup>)

### ABSTRACT

For producing oil remains that remained at old oil wells (mature field), a method of advanced oil acquirement improvement known as an Enhanced Oil Recovery (EOR) should be applied. Surfactant plays an important role in EOR process by reducing interfacial tension (IFT), altering wettability, reducing oil viscosity, and stabilizing dispersion to facilitate the process of oil jetting from reservoir to production well. To optimally cleanse oil that still remained a surfactant compatible with formation water and reservoir is needed. This study was conducted to get the best time of sulfonation process for producing MES surfactant with lower interfacial tension for EOR application. Results showed that the best times of sulfonation process with lower interfacial tension value were 3 and 4 hours.

**Keywords:** Surfactant, MES, sulfonation time, interfacial tension, EOR.

### ABSTRAK

Untuk memproduksi sisa minyak yang tertinggal pada sumur-sumur minyak tua (*mature field*) perlu diterapkan metode peningkatan perolehan minyak tahap lanjut yang dikenal dengan istilah Enhanced Oil Recovery (EOR). Surfaktan berperan dengan cara menurunkan tegangan antarmuka (IFT), mengubah kebasahan (*wettability*), menurunkan viskositas minyak dan menstabilkan dispersi sehingga memudahkan proses pengaliran minyak dari reservoir ke sumur produksi. Agar dapat menguras minyak yang masih tersisa secara optimal maka diperlukan jenis surfaktan yang kompatibel dengan air formasi dan reservoir. Kajian ini dilakukan untuk menentukan lama proses sulfonasi agar diperoleh surfaktan MES dengan nilai tegangan antarmuka rendah untuk aplikasi EOR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama sulfonasi terbaik yang mampu menghasilkan nilai tegangan antarmuka terendah adalah 3 dan 4 jam.

**Kata kunci:** Surfaktan, MES, lama sulfonasi, tegangan antarmuka, EOR.

### PENDAHULUAN

Indonesia dengan produksi crude palm oil (CPO) dan palm kernel oil (PKO) sebesar 20,4 juta ton dan volume ekspor sebesar 14,3 juta ton merupakan produsen dan eksportir minyak sawit terbesar dunia saat ini. Sementara itu produksi minyak bumi Indonesia sejak tahun 1999 terus

mengalami penurunan. Industri perminyakan menghadapi masalah turunnya produksi minyak bumi yang hanya sekitar 965.000 barel/hari, padahal konsumsi nasional mencapai 1.500.000 barel/hari, sehingga terdapat kekurangan sekitar 535.000 barel/hari yang harus dipenuhi melalui impor. Rendahnya kemampuan produksi minyak bumi Indonesia disebabkan karena lapangan minyak Indonesia sebagai besar merupakan sumur-sumur tua (*mature fields*), sehingga produksi minyaknya rendah dengan *water cut* tinggi bahkan mencapai 98-99%. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi minyak bumi adalah melalui teknologi *enhanced oil recovery* (EOR) menggunakan surfaktan (Lake, 1987). Metode EOR yang dapat diterapkan pada sumur minyak tua tersebut dapat berupa *thermal recovery* (*steam, in situ combustion*), *chemical flooding* (alkaline,

<sup>1</sup> Mahasiswa Pascasarjana Institut Pertanian Bogor., Program Studi Teknologi Industri Pertanian.

<sup>2</sup> Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi, LPPM IPB, Kampus IPB Baranangsiang.

<sup>3</sup> Dep. Kimia, Fakultas Matematika dan IPA, Institut Pertanian Bogor.

<sup>4</sup> Dep. Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

\* Penulis Korespondensi: 0251-8330970, 081218929101  
me\_rarivai@yahoo.com

surfactant, alkaline/surfactant/polymer - ASP), *miscible flooding* (CO<sub>2</sub>, inert gas, enriched gas), *chemical stimulation* dan *huff and puff* (Taber *et al.*, 1997). Produktifitas sumur minyak dengan permeabilitas yang rendah dapat ditingkatkan melalui metode stimulasi. Metode stimulasi yang umum digunakan di industri perminyakan adalah metode asam (*acidizing*) dan *hydraulic fracturing* (McCune, 1976; Gomaa, 1997).

Beberapa negara di dunia telah sukses menerapkan metode EOR untuk meningkatkan produksi minyaknya, seperti Cina dan Amerika. Oleh karenanya, jika Indonesia ingin meningkatkan produksi minyaknya, maka penerapan metode EOR merupakan solusinya, dimana injeksi surfaktan merupakan salah satu metoda yang sesuai untuk lapangan minyak Indonesia. Selama ini surfaktan yang umum digunakan pada industri perminyakan merupakan surfaktan berbasis petroleum. Industri perminyakan di Indonesia umumnya menggunakan surfaktan impor dengan harga USD 4.000 – 6.000 per ton. Mengingat minyak bumi bersifat tidak terbarukan, maka perlu dimanfaatkan bahan baku lain yang dapat diperbaharui. Salah satu sumber bahan baku unggulan Indonesia yang dapat dimanfaatkan untuk surfaktan adalah minyak sawit. Surfaktan potensial yang prospektif untuk industri perminyakan adalah surfaktan anionik, yaitu surfaktan metil ester sulfonat. Menurut Matheson (1996) dan Watkins (2001), produk surfaktan MES bersifat lebih ramah lingkungan (*good biodegradability*), tidak menggumpal pada air dengan salinitas tinggi, deterjensinya tidak turun drastis pada air sadah dan relatif tahan pada suhu tinggi.

Hal yang penting dalam proses penggunaan surfaktan untuk menghasilkan perolehan (*recovery*) minyak yang tinggi adalah: (a) memiliki IFT yang sangat rendah (minimal 10<sup>-3</sup> dyne/cm) antara *chemical bank* dan *residual oil* dan antara *chemical bank* dan *drive fluid*, (b) memiliki kecocokan/kompatibiliti dengan air formasi dan kestabilan terhadap temperatur, kesadahan dan salinitas, (c) memiliki *mobility control* dan (d) kelayakan ekonomis proses (Pithapurwala *et al.*, 1986). Menurut Aczo Surfactant (2006), bila surfaktan mempunyai ultralow interfacial (di bawah 10<sup>-2</sup> dyne/cm) dapat diduga mampu meningkatkan recovery sekitar 10-20%.

Berkaitan dengan hal tersebut di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan lama proses sulfonasi pada proses produksi surfaktan MES agar diperoleh nilai tegangan antarmuka terendah untuk aplikasi EOR.

## BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah olein minyak sawit, gas SO<sub>3</sub>, NaOH, metanol, NaCl, akuades demineralisasi, kertas saring Whatman 41, membran filter 0,45 µm, minyak bumi dan air formasi dari lapangan. Peralatan yang digunakan yaitu reaktor transesterifikasi, reaktor *Singletube Film Sulfonation Reactor* (STFR) sistem kontinyu, reaktor aging, spinning drop tensiometer, densitometer, pH-meter, neraca analitik, *hotplate stirrer* buret, serta alat-alat gelas lainnya.

Lingkup penelitian terdiri atas proses transesterifikasi olein sawit untuk menghasilkan metil ester olein, proses sulfonasi dan aging untuk menghasilkan MESA Olein, dilanjutkan proses pemurnian surfaktan MES dan uji nilai IFT surfaktan MES menggunakan air formasi dan minyak bumi. Proses sulfonasi dilakukan pada reaktor STFR (*Singletube film sulfonation reactor*) dengan menggunakan bahan baku metil ester olein dengan pereaktan gas SO<sub>3</sub>, dengan rasio mol metil ester dan gas SO<sub>3</sub> yaitu 1:1,3 dengan laju alir ME olein 100 ml/menit, suhu sulfonasi 90-100 °C kemudian dilanjutkan dengan proses aging pada suhu 90°C selama 60 menit dengan pengadukan 150 rpm (Hambali *et al.*, 2009), dengan variabel lama sulfonasi 1 - 6 jam. MESA yang dihasilkan kemudian dimurnikan menggunakan metanol dan NaOH 50%. Analisis yang dilakukan meliputi warna, densitas, pH, viskositas, bilangan iod, stabilitas emulsi, kandungan bahan aktif, bilangan asam dan tegangan antarmuka. Disain eksperimen variabel lama sulfonasi yang berpengaruh dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan dua kali pengulangan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa bahan baku olein yang digunakan memiliki asam lemak bebas 0,19%, bilangan asam 0,41 mg KOH/g, bilangan iod 61,33 mg Iod/g, bilangan penyabunan 208,40 mg KOH/g, densitas 0,906 g/L, viskositas 61,5 (29°C), kadar air 0,103 %, cloud point 15 °C, pour point 9 °C, dan fraksi tak tersabunkan 0,38%, dengan komposisi asam lemak dominan yaitu asam palmitat 40,207% dan asam oleat 43,901%. Hasil analisis metil ester olein yang dihasilkan memperlihatkan bahwa metil ester memiliki bilangan asam 0,94 mg KOH/g, bilangan iod 63,74 mg Iod/g, bilangan penyabunan 27,63 mg KOH/g, kadar gliserol total 0,06 %, kadar

ester 95,55 %, densitas  $0,8718\text{g/cm}^3$ , kadar air 0,13% dan fraksi tak tersabunkan 0,14%.

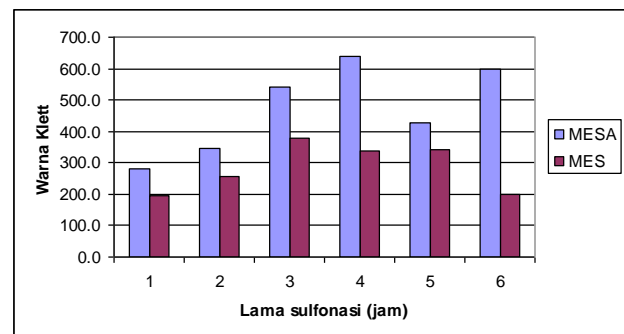
### 1. Warna Klett

Proses sulfonasi yang dilakukan Menurut Foster (1996), proses sulfonasi menggunakan gas  $\text{SO}_3$  dilakukan dengan melarutkan  $\text{SO}_3$  yang bersifat reaktif dengan udara yang sangat kering dan direaksikan secara langsung dengan bahan baku organik yang digunakan. Sifat reaktif gas  $\text{SO}_3$  ini terlihat pada produk MESA olein hasil sulfonasi yang dihasilkan berwarna gelap. Selama ini surfaktan MES diproduksi untuk aplikasi pada produk sabun dan deterjen, sehingga umumnya produksi surfaktan MES dilakukan dengan menerapkan proses pemucatan warna (Robert *et al.*, 2008; MacArthur *et al.*, 2002; Watkins, 2001; Baker, 1995). Namun untuk aplikasi EOR tidak disyaratkan warna surfaktan yang pucat, sehingga pada tahapan pemurnian surfaktan MES yang dihasilkan tidak perlu dilakukan proses pemucatan untuk menghilangkan warna gelapnya. Proses sulfonasi ME belum menghasilkan MES, namun berupa produk antara Methyl Ester Sulfonic Acid (MESA) (MacArthur *et al.*, 2002) yang bersifat asam sehingga perlu dinetralkan.

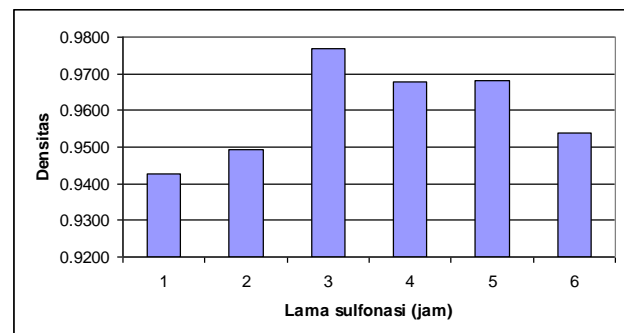
Menurut Yamada dan Matsusani (1996), ikatan rangkap terkonjugasi berperan sebagai kromofor, yaitu gugus fungsi yang dapat menyerap gelombang elektromagnetik pada senyawa pemberi warna yang menyebabkan perubahan warna ME dari kuning menjadi merah. Berdasarkan hal tersebut, maka warna surfaktan MES yang gelap diduga disebabkan karena reaksi ion  $\text{SO}_3$  yang terikat pada ikatan rangkap pada rantai karbon. Bahan baku metil ester olein yang digunakan dominan asam lemak oleat sehingga terdapat ikatan rangkap terkonjugasi. Proses sulfonasi mendorong terbentuknya reaksi antara ion  $\text{SO}_3$  dengan ikatan rangkap terkonjugasi tersebut hingga membentuk senyawa polisulfonat yang kemudian menimbulkan perubahan warna menjadi gelap.

Hasil analisis warna MESA menunjukkan rata-rata nilai berkisar antara 279,8 hingga 638,8 klett, sedangkan sampel MES menunjukkan kisaran antara 194,5 hingga 379,3 klett (Gambar 1). Beberapa sampel MESA yang dihasilkan memiliki warna gelap sesuai dengan yang disebutkan MacArthur *et al.*, (2002), yaitu lebih dari 400 klett. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi berpengaruh nyata terhadap warna MESA, namun tidak berpengaruh nyata terhadap warna MES. Semakin lama waktu sulfonasi, warna MESA dan MES yang dihasilkan cenderung makin gelap yang dilihat dari makin tingginya nilai absorbansi. Hal ini diduga

karena makin lama waktu sulfonasi maka kemungkinan terbentuknya senyawa polisulfonat yang memiliki ikatan rangkap terkonjugasi semakin besar, sehingga makin banyak pembentukan senyawa polisulfonat ini maka warna gelap pada produk hasil sulfonasi juga semakin meningkat. Namun melewati jam ke-4, terjadi pengurangan warna yang diduga disebabkan karena ikatan rangkap terkonjugasi pada senyawa polisulfonat tersebut mengalami pemecahan menjadi rantai-rantai lebih pendek.



Gambar 1. Histogram hasil analisa warna MESA dan MES olein.



Gambar 2. Histogram hasil analisa densitas MESA olein.

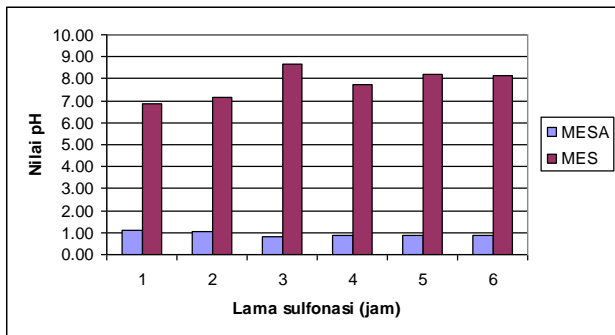
### 2. Densitas

Hasil analisis densitas menunjukkan densitas MESA berkisar antara 0,9426 hingga 0,9769  $\text{g/cm}^3$  (Gambar 2). Dari gambar tersebut terlihat bahwa hingga lama sulfonasi 3 jam nilai densitas MESA meningkat, namun kemudian cenderung mengalami penurunan hingga lama sulfonasi 6 jam. Terjadinya reaksi sulfonasi antara metil ester dan gas  $\text{SO}_3$  dapat diindikasikan dengan terjadinya peningkatan densitas pada sampel MESA dibandingkan dengan densitas pada bahan baku. Bahan baku metil ester olein memiliki densitas  $0,8718\text{g/cm}^3$ , sementara densitas sampel MESA berkisar antara 0,9426 hingga

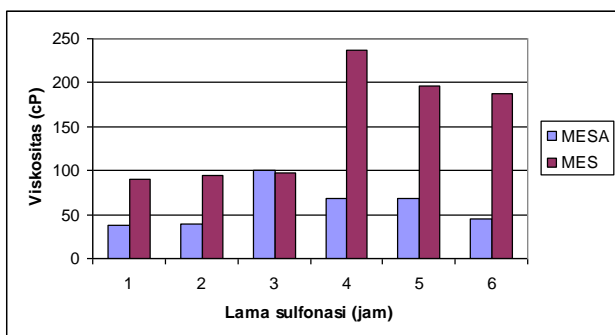
0,9769 g/cm<sup>3</sup>. Hal ini karena terikatnya SO<sub>3</sub> pada metil ester olein sehingga densitas produk akhirnya yaitu MESA mengalami peningkatan. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai densitas MESA.

**3. pH**

Nilai pH atau derajat keasaman menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu bahan. Hasil analisis nilai pH MESA memberikan kisaran nilai antara 0,82 hingga 1,11. Nilai pH tertinggi pada MESA dengan lama sulfonasi 1 jam dan nilai pH terendah pada MESA dengan lama sulfonasi 3 jam. MESA ini kemudian dinetralisasi menggunakan NaOH 50% sehingga dihasilkan MES dengan kisaran nilai pH 6,85 hingga 8,68 (Gambar 3). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai pH MESA dan MES.



Gambar 3. Histogram hasil analisa pH MESA dan MES.



Gambar 4. Histogram hasil analisa viskositas MESA dan MES.

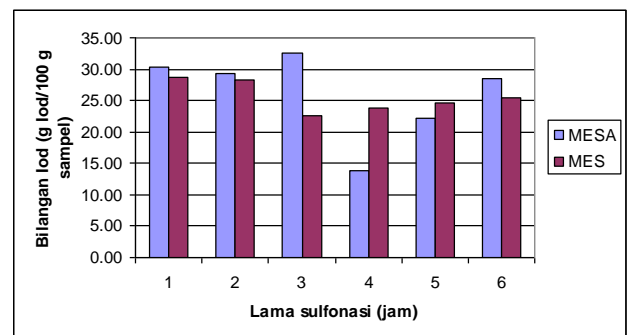
**4. Viskositas**

Hasil analisis viskositas MESA yang dihasilkan menunjukkan kisaran nilai viskositas berkisar antara 37,75 hingga 97,5 cP, sementara pada sampel MES diperoleh nilai viskositas dengan kisaran 89,5 hingga

236,5 cP (Gambar 4). Nilai viskositas tertinggi dimiliki MES dengan lama sulfonasi 4 jam dan terendah pada lama sulfonasi 1 jam. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai viskositas MESA, namun berpengaruh nyata terhadap MES.

**5. Bilangan Iod**

Bilangan iod merupakan salah satu parameter yang dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui keberhasilan adisi gugus sulfonat ke dalam rantai metil ester. Bahan baku minyak yang memiliki ikatan rangkap yang lebih banyak akan memiliki bilangan iod yang lebih tinggi dibanding bahan baku yang memiliki ikatan rangkap sedikit. Oleh karena itu, keberhasilan adisi gugus sulfonat ke dalam rantai metil ester untuk membentuk gugus sulfonat akan ditandai dengan makin rendahnya bilangan iod pada sampel metil ester tersulfonasi. Dengan kata lain, bilangan iod metil ester sulfonat harus lebih rendah dari bilangan iod bahan baku metil ester karena beberapa ikatan tak jenuh telah diadisi oleh gugus sulfat sehingga tidak dapat diadisi oleh molekul I<sub>2</sub>.



Gambar 5. Histogram hasil analisa bilangan iod MESA dan MES.

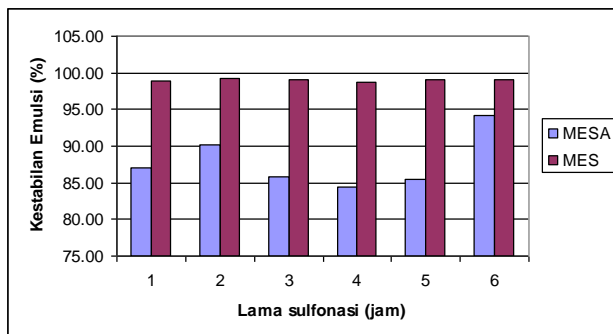
Bahan baku metil ester memiliki bilangan iod 61,3 gram iod/100 gram sampel. Hasil analisis bilangan iod yang dilakukan terhadap sampel metil ester tersulfonasi menunjukkan terjadinya penurunan bilangan iod pada semua sampel baik terhadap MESA maupun MES. MESA merupakan metil ester yang telah melewati tahapan sulfonasi dan aging, sementara MES merupakan MESA yang telah melewati tahapan netralisasi. Rata-rata bilangan iod MESA berkisar 13,91 – 32,46 gram iod/100 gram sampel, sementara rata-rata bilangan iod MES berkisar 22,61 – 28,62 gram iod/100 gram sampel (Gambar 5). Secara umum, terlihat kecenderungan bahwa bilangan iod MES hasil nentralisasi lebih rendah dibanding MESA yang tidak dinetralisasi.

Pengecualian terjadi pada MES untuk lama sulfonasi 3 dan 4 jam, dimana kecenderungan yang terlihat terjadi peningkatan bilangan iod setelah dinetralisasi. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi berpengaruh nyata terhadap nilai bilangan iod MESA, namun tidak berpengaruh nyata terhadap nilai bilangan iod MES.

## 6. Stabilitas Emulsi

Emulsi terbentuk ketika suatu cairan yang tidak saling melarut (*immiscible*) terpecah menjadi tetesan (*droplet*) dan terdispersi ke cairan *immiscible* lainnya dengan bantuan surfaktan (Hasenhuettl, 2000). Menurut Williams dan Simons (1992) penambahan *emulsifier* ke suatu sistem koloid bertujuan untuk mempertinggi kestabilan dispersi fasa-fasa (dengan cara mengurangi tegangan antar permukaan) dan meningkatkan stabilitas produk terdispersi (emulsi) lebih lama. *Emulsifier* membentuk lapisan tipis yang akan menyelimuti partikel-partikel teremulsi dan mencegah partikel tersebut bergabung dengan partikel sejenisnya. Walaupun demikian, suatu sistem emulsi memiliki kecenderungan untuk saling memisah. Hal ini disebabkan karena fasa terdispersi dan pendispersinya merupakan bahan-bahan yang saling tidak melarut akibat adanya perbedaan polaritas.

Hasil analisis stabilitas emulsi MESA menunjukkan kisaran nilai 84,51 hingga 94,10%, sementara stabilitas emulsi MES terlihat stabil di kisaran nilai 98,68 hingga 99,22 (Gambar 6). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai stabilitas emulsi produk MESA dan MES.

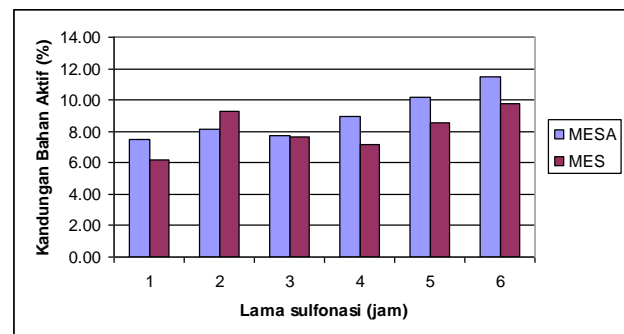


Gambar 6. Histogram hasil analisa kestabilan emulsi MESA dan MES.

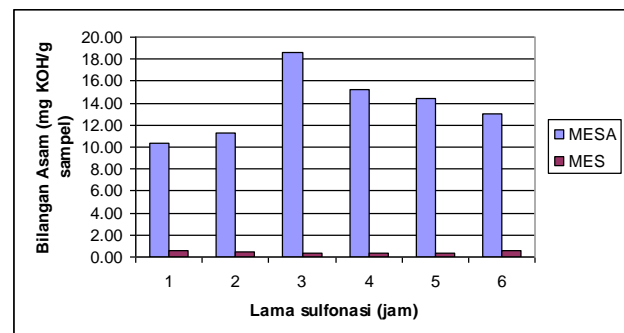
## 7. Kandungan Bahan Aktif

Bahan aktif merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menilai apakah suatu jenis surfaktan memiliki kinerja yang baik ataukah tidak,

dimana makin tinggi nilai bahan aktif suatu jenis surfaktan maka kinerjanya akan semakin baik pula. Sehingga umumnya surfaktan komersial ditandai dengan kandungan bahan aktifnya. Hasil analisis kandungan bahan aktif MESA menunjukkan kisaran nilai 7,51 hingga 11,44%, sementara pada produk MES kisaran bahan aktifnya adalah 6,19 hingga 9,73% (Gambar 7). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi tidak berpengaruh nyata terhadap kandungan bahan aktif MESA dan MES.



Gambar 7. Histogram hasil analisa bahan aktif MESA dan MES



Gambar 8. Histogram hasil analisa bilangan asam MESA dan MES.

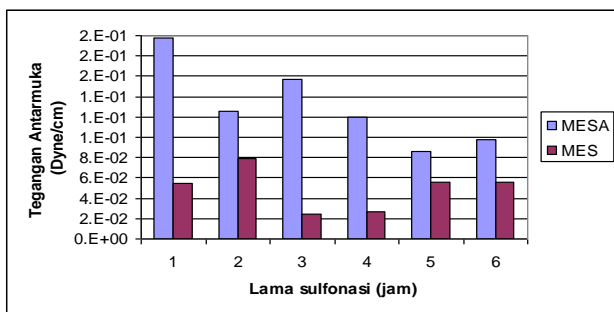
## 8. Bilangan Asam

Berdasarkan SNI 01-3555-1998, bilangan asam adalah banyaknya miligram KOH yang diperlukan untuk menetralkan satu gram lemak atau minyak, dengan prinsip pelarutan contoh lemak atau minyak dalam pelarut organik tertentu (alkohol netral 95%) yang dilanjutkan dengan penitiran menggunakan basa (NaOH atau KOH). Hasil analisis bilangan asam MESA menunjukkan kisaran nilai 10,37 hingga 18,66 mg KOH/gr sampel, sedangkan produk MES memiliki bilangan asam dengan kisaran 0,33 hingga 0,57 mg KOH/gr sampel (Gambar 8). Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi tidak

berpengaruh nyata terhadap nilai bilangan asam MESA dan MES.

### 9. Nilai Tegangan Antarmuka

Menurut Yamada dan Matsusani (1996), senyawa polisulfonat yang memiliki ikatan rangkap terkonjugasi selain menimbulkan warna gelap pada produk juga senyawa ini bersifat sangat anionik. Hal ini berarti semakin banyak gugus sulfonat yang terbentuk maka sifatnya sebagai penurun tegangan antarmuka akan semakin besar yang ditunjukkan dengan semakin rendahnya nilai tegangan antarmuka. Berdasarkan analisa warna sebelumnya, diketahui bahwa makin banyak senyawa polisulfonat yang terbentuk, diindikasikan dengan semakin gelapnya warna surfaktan yang dihasilkan, yang berkorelasi dengan semakin bersifat anioniknya produk surfaktan yang dihasilkan. Korelasi antara warna dan nilai tegangan antarmuka terlihat pada hasil analisa nilai tegangan antarmuka MESA dan MES.



Gambar 9. Histogram hasil analisa tegangan antarmuka MESA dan MES.

Hasil analisis tegangan antarmuka MESA menunjukkan kisaran nilai  $1,89 \times 10^{-1}$  hingga  $8,56 \times 10^{-2}$  dyne/cm, sedangkan produk MES memiliki nilai tegangan antarmuka dengan kisaran  $7,87 \times 10^{-2}$  hingga  $2,48 \times 10^{-2}$  dyne/cm (Gambar 9). Tegangan antarmuka tertinggi dimiliki MES dengan lama sulfonasi 2 jam, sementara tegangan antarmuka terendah dimiliki MES dengan lama sulfonasi 3 jam dan diikuti oleh 4 jam dengan perbedaan nilai yang tipis. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa lama sulfonasi tidak berpengaruh nyata terhadap nilai tegangan antarmuka MESA dan MES.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil sidik ragam untuk semua analisis, diketahui lama sulfonasi berpengaruh nyata

terhadap warna MESA, bilangan iod MESA dan viskositas MES. Mengingat proses produksi surfaktan MES ini bersifat kontinu, maka lama sulfonasi terbaik untuk menghasilkan surfaktan MES untuk EOR dengan nilai tegangan antarmuka terendah adalah sampling produk jam ketiga hingga jam keempat, dengan kisaran nilai tegangan antarmuka  $2,48 \times 10^{-2}$  –  $2,68 \times 10^{-2}$  dyne/cm.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada : (a) Hibah Kompetitif Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I Nasional, Dikti, Kementerian Pendidikan Nasional atas dana penelitian yang telah diberikan, dan (b) Pusat Penelitian Surfaktan dan Bioenergi atas fasilitas penelitian yang digunakan sehingga proses pelaksanaan penelitian ini berjalan dengan baik.

### DAFTAR PUSTAKA

- Baker, J. 1995. Process for Making Sulfonated Fatty Acid Alkyl Ester Surfactant. US Patent No. 5.475.134.
- Foster, N.C. 1996. Sulfonation and Sulfation Processes. In: Soap and Detergents: A Theoretical and Practical Review. Spitz, L. (Ed). AOCs Press, Champaign, Illinois.
- Gomaa, E.E. 1997. Enhanced Oil Recovery: Modern Management Approach. Paper for IATMI-IWPL/MIGAS Conference, Surakarta, 28 Juli-1 Agustus 1997.
- Hambali, E., P. Suarsana, Sugihardjo, M. Rivai, E. Zulchaidir. 2009. Peningkatan Nilai Tambah Minyak Sawit Melalui Pengembangan Teknologi Proses Produksi Surfaktan MES dan Aplikasinya Untuk Meningkatkan Produksi Minyak Bumi Menggunakan Metode *Huff and Puff*. Laporan Hibah Kompetitif Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I, Dikti, Jakarta.
- Hasenhuettl, G.L. 1997. Overview of Food Emulsifier. In: Food Emulsifier and Their Applications. G.L. Hasenhuettl dan R.W. Hartel (Eds.). Chapman & Hall, New York.
- Lake, L.W. 1987. Enhanced Oil Recovery. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- MacArthur, B.W., B. Brooks, W.B. Sheats, dan N.C. Foster. 2002. Meeting The Challenge of Methylster Sulfonation. [www.chemithon.com](http://www.chemithon.com).

- Matheson, K.L. 1996. Formulation of Household and Industrial Detergents. In: Soap and Detergents: A Theoretical and Practical Review. Spitz, L. (Ed). AOCS Press, Champaign, Illinois.
- McCune, C.C. 1976. Matrix Acidizing Model and Its Application to Different Sandstones. Research Report, COFRC, Chevron Corp., Oktober.
- Pithapurwala, Y.K., A.K. Sharma, and D.O. Shah. 1986. Effect of salinity and alcohol partitioning on phase behavior and oil displacement efficiency in surfactant-polymer flooding. JAOCS 63 (6): 804-813.
- Roberts, D.W., L. Giusti dan A. Forcella. 2008. Chemistry of Methyl Ester Sulfonates. Biorenewable Resources 5: 2-19.
- Taber, J.J., F.D. Martin, dan R.S. Seright. 1997. EOR Screening Criteria Revisited Part I: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Oil Recovery Field Project. SPE Reservoir Engineering Paper, Mexico, August 1997.
- Watkins, C. 2001. All eyes are on Texas. Inform 12: 1152-1159.
- Williams, R.A. dan S.J.R. Simons. 1992. Handling Colloidal Materials. In: Colloid and Surface Engineering: Applications in the Process Industries. Williams, R.A. (Ed.). Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford.
- Yamada, K. dan S. Matsutani. 1996. Analysis of the dark-colored impurities in sulfonated fatty acid methyl ester. JAOCS 73 (1):121-125.