

Sintesa Metil Ester Sulfonat dari Minyak *Jathropa Curcas* dan Aplikasinya pada Proses *Enhanced Oil Recovery*

Amin Nugroho* dan Luqman Buchori

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email : nugrohoamin100@gmail.com

Abstrak

Konsumsi minyak bumi mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, sementara produksinya cenderung mengalami penurunan. Produksi minyak bumi dapat ditingkatkan dengan oil recovery. Sejak tahun 1980, teknik *Enhanced Oil Recovery* (EOR) dengan menggunakan surfaktan sebagai penginjeksi (*surfactant flooding*) merupakan salah satu teknik yang paling berhasil untuk meningkatkan produksi minyak. Surfaktan dapat dibuat dari bahan alami, salah satunya dari minyak jarak pagar. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengkaji pengaruh waktu reaksi dan pengaruh penambahan metanol terhadap metil ester sulfonat (MES, surfaktan) yang dihasilkan dalam operasi sulfonasi. Surfaktan yang diperoleh kemudian diaplikasikan dalam proses EOR. Proses pembuatan MES dari minyak biji jarak dilakukan melalui 2 tahapan yaitu proses esterifikasi dan transesterifikasi dengan katalis batu dolomite. Metil ester (ME) yang diperoleh kemudian disulfonasi untuk mendapatkan MES. Konsentrasi surfaktan anionik dalam produk dianalisa dengan spektrofotometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MES yang memiliki kandungan surfaktan anionik paling tinggi diperoleh pada waktu reaksi 90 menit dan penambahan metanol dengan konsentrasi 40%wt yaitu sebesar 55,464 mg/L. Uji kompatibilitas didapatkan larutan berwarna keruh (koloid), sedangkan tegangan antarmukanya sebesar 17,71 dyne/cm dan tegangan antarmuka pada suhu 80°C adalah 26,57 dyne/cm.

Kata kunci: EOR, Surfaktan, Sulfonasi, MES, Dolomite, Transesterifikasi, Esterifikasi

Abstract

*Synthesis of Sulfonate Methyl Ester from *Jatropha Curcas* Oil and Its Application to *Enhanced Oil Recovery* Process*

Petroleum consumption has increased from year to year, while production tends to decline. Petroleum production can be increased by oil recovery. Since 1980, the *Enhanced Oil Recovery* (EOR) technique using surfactants as injectors (*surfactant flooding*) is one of the most successful techniques for increasing oil production. Surfactants can be made from natural ingredients, one of them from *jatropha* oil. The purpose of this experiment was to examine the effect of reaction time and the effect of adding methanol to methyl ester sulfonate (MES, surfactant) produced in sulfonation operations. The surfactants obtained are then applied in the EOR process. The process of MES production from castor oil is carried out through 2 stages, namely esterification and transesterification with dolomite catalyst. Methyl esters (ME) were obtained then sulfonated to obtain MES. The concentration of anionic surfactants in the product was analyzed by a spectrophotometer. The results showed that the MES which had the highest anionic surfactant content was obtained at the reaction time of 90 minutes and the addition of methanol with a concentration of 40% wt was 55.464 mg/L. Compatibility test obtained colloidal colored solution (colloid), while surface tension was 17.71 dyne/cm and surface tension at 80°C was 26.57 dyne/cm.

Keywords: EOR, surfactant, Sulfonation, MES, Dolomite, transesterification, esterification

PENDAHULUAN

Beberapa tahun ini produksi minyak bumi mengalami penurunan, sedangkan konsumsinya mengalami kenaikan. Menurut Pusat Data Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, sejak tahun 2010 sampai tahun 2014 produksi minyak bumi di Indonesia mengalami penurunan yaitu 517.415.696 barrel pada tahun 2000 menjadi 283.315.682 barrel pada tahun 2009 atau sekitar 1,4 juta barrel/hari menjadi 1 juta barrel/hari (Pusdatin Energi dan Sumber Daya Mineral, 2014).

Penurunan produksi minyak bumi di Indonesia disebabkan oleh penurunan jumlah cadangan minyak yang ditemukan, kekurangan kemampuan pemerintah secara finansial untuk mengembangkan lapangan baru, kurang tersedianya teknologi yang diperlukan untuk mengembangkan lapangan, serta umur sumur minyak di Indonesia yang sudah tua. Tercatat bahwa total sumur minyak tua di Indonesia sebanyak 13.824 buah sumur. Lokasi sumur ini berada di Kalimantan Timur dengan jumlah 3.143 unit, Sumatera bagian selatan 3.623 unit, Sumatera bagian utara 2.392 unit, Jawa Tengah dan Jawa Timur 2.496 unit, Sumatera bagian tengah 1.633 unit, Seram 229 unit, Papua 208 unit dan Kalimantan bagian selatan 100 unit (Cohlar, 2014).

Untuk menganggulangi masalah tersebut, khususnya untuk meningkatkan produksi sumur minyak yang sudah tua dilakukan *oil recovery*. *Oil recovery* dapat dilakukan melalui tiga metode, yaitu primer, sekunder, dan tersier. Metode primer adalah produksi dengan menggunakan bantuan energi alami, seperti : *solution-gas drive*, *gas-cap drive*, *water drive*, ekspansi fluida dan batuan, dan *gravity drainage*. Metode ini hanya dapat memproduksi 5-10% dari total minyak yang dapat diproduksi oleh *reservoir*. Metode sekunder adalah injeksi air atau gas ke *aquifer* atau *gas-cap* untuk memberikan tekanan. Metode ini mencapai batasnya ketika fluida yang diinjeksikan hanya memproduksi sedikit minyak sehingga tidak ekonomis. Metode tersier atau yang dikenal dengan *Enhanced Oil Recovery* (EOR) adalah metode yang seringkali dilakukan untuk meningkatkan produksi minyak dari *reservoir* setelah dilakukan metode primer dan sekunder dengan menginjeksikan suatu cairan kimia

(surfaktan), gas (nitrogen atau karbondioksida), atau dengan energi panas (Green *et al.*, 1998). Sejak tahun 1980, teknik EOR dengan menggunakan surfaktan sebagai penginjeksi (*surfactant flooding*) merupakan salah satu teknik yang paling berhasil untuk meningkatkan produksi minyak. Teknik ini sangat berpotensi untuk meningkatkan produksi minyak secara signifikan dibanding dengan menggunakan teknik EOR lainnya. Tujuan dari teknik *surfactant flooding* adalah menurunkan tegangan antarmuka antara minyak yang terjebak dalam batuan dan air, sehingga gaya kapilaritasnya meningkat dan minyak yang terangkut ke permukaan lebih banyak (Hirasaki *et al.*, 2013).

Surfaktan yang umum dipakai adalah surfaktan yang disintesis dari petroleum seperti petroleum sulfonat (Sheats and Macarthur, 2002). Namun, kelemahan dari penggunaan surfaktan ini adalah harganya yang mahal sehingga minyak bumi yang dihasilkan harus dijual dengan harga yang lebih mahal. Selain itu, surfaktan ini tidak ramah lingkungan karena adanya kandungan *petrochemical* pada surfaktan tersebut (Majidaie *et al.*, 2011) dan juga di Indonesia sendiri kebutuhan surfaktan untuk EOR tersebut masih mengandalkan impor dari luar negeri (Badan Pusat Statistik, 2014). Untuk mengatasi masalah tersebut, akhir-akhir ini dikembangkan produksi surfaktan dengan bahan dasar dari minyak alami yang lebih murah dan ramah lingkungan (Elraies *et al.*, 2010). Minyak alami dapat berupa minyak nabati atau hewani dimana dalam minyak tersebut terkandung asam lemak yang menjadi bahan dasar dalam pembuatan surfaktan.

Proses pembuatan surfaktan sebagai *chemical flooding* untuk proses EOR telah banyak dilakukan. Akan tetapi masalah yang timbul adalah biaya produksi yang besar. Penggunaan minyak jarak sebagai bahan baku pembuatan surfaktan MES dapat menekan biaya produksi, mengingat ketersediaan minyak jarak di Indonesia sangat melimpah.

Proses pembuatan MES yang diawali dengan esterifikasi dan transesterifikasi minyak biji jarak. Proses esterifikasi berlangsung pada kondisi optimum berdasarkan pada percobaan Berchmans dan Hirata (2008).

Proses sulfonasi metil ester selama ini menggunakan gas SO_3 dan *chlorosulfonic acid*

dengan harga yang sangat mahal. Agen pensulfonasi lainnya yaitu H_2SO_4 memiliki keunggulan yaitu memiliki harga yang lebih murah dengan proses netralisasi yang lebih mudah dan produk samping yang terbentuk hanya H_2O yang akan teruapkan selama proses sulfonasi berlangsung. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan menggunakan agen pensulfonasi yaitu H_2SO_4 .

Hal yang paling penting dalam penggunaan surfaktan untuk mendapatkan perolehan minyak yang tinggi adalah kemampuan surfaktan tersebut menurunkan tegangan antar muka. MES yang baik akan memiliki kemampuan tersebut sehingga penggunaannya dalam EOR dapat memudahkan proses pelepasan minyak bumi dari *reservoir*. Dalam penelitian ini akan dianalisis nilai konsentrasi surfaktan anionik yang dihasilkan pada setiap run dengan perlakuan yang berbeda untuk mendapatkan surfaktan yang terbaik untuk selanjutnya diuji sesuai ketentuan untuk diaplikasikan dalam EOR.

METODOLOGI

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak jarak pagar (*crude jathropa oil*) yang didapat dari Kebun Percobaan Balai Peneliti Tanaman Pemanis dan Serat, Muktiharjo, sedangkan bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini berupa H_2SO_4 , H_3PO_4 , katalis dolomit, metanol, dan NaOH didapatkan dari toko CV Indrasari Semarang dan tidak menggunakan pemurnian bahan lebih lanjut.

Penelitian ini dilakukan melalui 2 tahapan yaitu tahap persiapan bahan baku dan reaksi sulfonasi. Persiapan bahan baku meliputi pembuatan katalis dolomit, esterifikasi dan transesterifikasi minyak jarak pagar. Esterifikasi minyak jarak pagar berlangsung selama 60 menit pada suhu $50^\circ C$ dengan rasio berat minyak : metanol = 10 : 6 dan katalis H_2SO_4 dengan rasio berat H_2SO_4 : minyak = 1 : 100. Transesterifikasi minyak jarak pagar berlangsung selama 240 menit pada suhu $65^\circ C$ dengan rasio berat minyak : metanol = 1 : 15 dan katalis dolomit sebanyak 4wt% minyak jarak pagar, sehingga didapatkan *fatty acid methyl ester*.

Tahap kedua, *fatty acid methyl ester* dari minyak jarak pagar disulfonasi dengan rasio mol

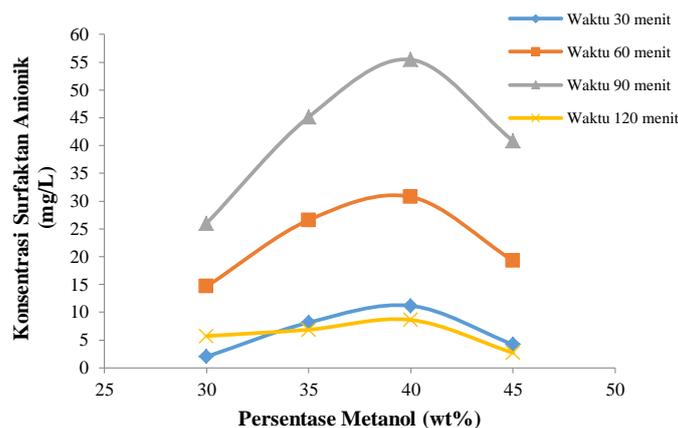
H_2SO_4 : Methyl Ester = 1 : 1 pada suhu $65^\circ C$. Reaksi sulfonasi dilakukan dengan waktu sesuai variabel yaitu 30, 60, 90, dan 120 menit. Hasil reaksi sulfonasi *didecanter* untuk memisahkan sisa H_2SO_4 yang tidak bereaksi, kemudian dilakukan pemurnian MES dengan menambahkan metanol dengan persentase sesuai variabel yaitu 30, 35, 40, dan 45 wt% *crude* MES dalam labu leher tiga selama 30 menit pada suhu $50^\circ C$. Hasil pemurnian kemudian dipisahkan antara MES dan metanol untuk mendapatkan MES murni. pH MES dinetralkan dengan NaOH hingga didapatkan MES pada pH 7. MES dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer untuk mengetahui konsentrasi surfaktan anionik pada produk tiap *run*. Sampel dengan konsentrasi tertinggi kemudian diuji untuk diaplikasikan pada EOR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Konsentrasi Surfaktan Anionik

Konsentrasi surfaktan anionik dalam produk akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Pada setiap variabel konsentrasi penambahan persen metanol, waktu reaksi yang lebih baik adalah yang menghasilkan MES dengan konsentrasi surfaktan anionik tertinggi yaitu ketika reaksi sulfonasi berlangsung selama 90 menit. Pada saat reaksi sulfonasi dilangsungkan pada waktu yang lebih lama, yaitu 120 menit, konsentrasi surfaktan anionik yang terkandung dalam MES akan menurun secara drastis dibanding saat reaksi berlangsung selama 90 menit. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Hal ini disebabkan karena saat reaksi sulfonasi berlangsung melebihi waktu optimumnya, kemungkinan terbentuk garam *disalt* yang merupakan hasil reaksi samping yang berupa garam disodium karboksi sulfonat akan semakin besar. Hal ini yang terjadi saat reaksi sulfonasi berlangsung selama 120 menit, dimana dalam MES terbentuk banyak garam *disalt* yang menyebabkan konsentrasi surfaktan anionik menjadi kecil (Hovda, 1996). Keberadaan garam *disalt* akan menurunkan kelarutan MES dalam air dan bersifat lebih sensitif terhadap air sadah sehingga dapat menurunkan kinerja MES terutama dalam kemampuan menurunkan



Gambar 1. Grafik hubungan persentase metanol vs konsentrasi surfaktan anionik pada berbagai waktu reaksi

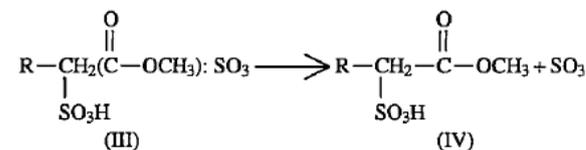
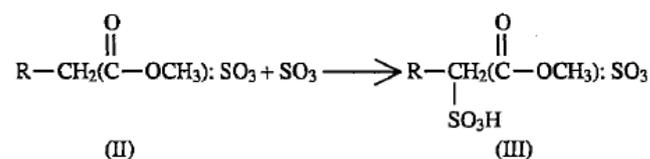
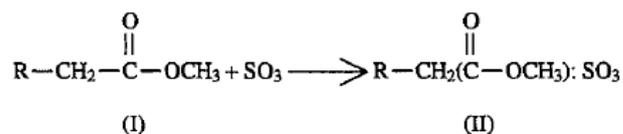
tegangan antarmuka (Hidayati *et al.*, 2009). Konsentrasi surfaktan anionik berdasarkan konsentrasi surfaktan yang diperoleh maka waktu reaksi optimum untuk reaksi sulfonasi adalah 90 menit. Penelitian yang dilakukan oleh Yuninda (2009) didapatkan nilai kadar bahan aktif tertinggi didapat pada titik 30,4% dengan waktu reaksi 100 menit. Hal ini mengindikasikan bahwa sulfonasi sudah berlangsung dengan sempurna.

Penurunan hasil MES pada waktu 120 menit diduga karena pada reaktor yang digunakan terjadi sirkulasi metil ester di dalamnya sehingga dapat menyebabkan metil ester yang telah tersulfonasi bercampur kembali dengan metil ester yang belum tersulfonasi. Selain itu, banyaknya zat pengotor yang terdapat dalam MESA dapat menurunkan kualitas MESA tersebut, sehingga diperlukan proses pemurnian untuk menghilangkannya. Selain proses pemurnian, tahapan proses yang juga penting untuk dilakukan terhadap MESA adalah proses *aging*, yang bertujuan untuk penyempurnaan reaksi setelah sulfonasi berlangsung (Forcella *et al.*, 2008). Menurut Forcella *et al.* (2008), proses *aging* dilakukan dengan suhu minimal 80°C dan lama proses disesuaikan dengan suhu yang digunakan, 45 menit pada suhu 90°C atau 35 menit pada suhu 120°C.

Pengaruh Persentase Metanol terhadap Konsentrasi Surfaktan Anionik

Dari Gambar 3 terlihat bahwa konsentrasi surfaktan anionik yang terdapat dalam MES yang dihasilkan akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya persentase metanol yang ditambahkan untuk pemurnian MES. Penambahan

metanol bertujuan untuk mengurangi terbentuknya garam *disalt* selama proses pemurnian dan juga proses netralisasi MES dengan NaOH. Penambahan 20 – 30% metanol dapat mengurangi konsentrasi garam *di-salt* dari 8,5% menjadi sekitar 5,5% dan juga dapat mengurangi viskositas MES yang dihasilkan (Hovda, 1996). Selain itu, penambahan metanol bertujuan untuk mengurangi konsentrasi produk *intermediate* yang terbentuk selama reaksi. Reaksi produk *intermediate* dengan metanol adalah sebagai berikut :



Dalam produk *intermediate* (II dan III) tersebut terdapat radikal SO_3 yang berasal dari *excess* dari agen pensulfonasi (H_2SO_4). Radikal SO_3 tersebut akan bereaksi dengan metanol menghasilkan produk samping, yaitu *hydrogen methyl sulfate* dalam jumlah besar tergantung pada konsentrasi *excess* SO_3 yang dapat dipisahkan dari produk MES berdasarkan perbedaan densitasnya. Jika SO_3 pada produk *intermediate*

tidak dipisahkan, maka dapat mengganggu kinerja surfaktan dan mengurangi sisi aktif surfaktan anionik serta menjadikan MES tidak stabil karena adanya radikal bebas dalam produk (Adiandri, 2006). Oleh karena itu, semakin banyak konsentrasi metanol yang ditambahkan, semakin banyak pula *excess SO₃* di produk *intermediate* yang terlepas sehingga didapatkan produk MES yang murni.

Pada penelitian ini, pada berbagai variabel waktu reaksi, semakin besar persentase metanol yang ditambahkan maka kandungan surfaktan anionik dalam produk MES akan semakin besar pula. Akan tetapi, konsentrasi surfaktan anionik akan menurun saat dilakukan penambahan metanol sebanyak 45 wt%. Berdasarkan konsentrasi surfaktan anionik yang diperoleh, maka kondisi yang paling optimum adalah penambahan 40 wt% metanol untuk pemurnian MES.

Hidayati *et al.* (2009) menguji pengaruh persentase metanol dalam pemurnian MES terhadap kandungan surfaktan anionik dalam MES. Pada penelitian tersebut diperoleh bahwa konsentrasi surfaktan anionik akan meningkat seiring dengan meningkatnya persentase metanol dan mencapai puncaknya pada penambahan metanol sebanyak 40%. Pada penambahan metanol sebanyak 45%, konsentrasi surfaktan anionik akan menurun, lebih rendah dari penambahan metanol sebanyak 40%. Menurut Sheats dan Macarthur (2002), persentase metanol yang optimum adalah pada persentase 35-40%wt MES. Hal ini terjadi karena metanol yang berlebih akan bereaksi dengan sisa asam lemak bebas yang masih terdapat dalam sampel sehingga menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan yang diharapkan sehingga kandungan surfaktan anionik dalam sampel pun akan menurun.

Uji Surfaktan MES pada Proses EOR

Pada penelitian ini didapatkan bahwa kandungan surfaktan anionik tertinggi yang dihasilkan dari reaksi sulfonasi *fatty acid methyl ester* dari minyak jarak pagar adalah lamanya reaksi 90 menit dan penambahan metanol untuk pemurnian MES sebanyak 40 wt%. Surfaktan yang dihasilkan diuji untuk aplikasinya pada proses EOR dengan 3 metode, yaitu uji kompatibilitas, uji

tegangan antarmuka, dan uji stabilitas terhadap panas.

Uji kompatibilitas dilakukan dengan mencampurkan surfaktan dengan air formasi (larutan NaCl 20%) untuk mengetahui apakah hasil pencampuran menghasilkan endapan atau tidak. Air formasi adalah air yang digunakan sebagai penginjeksi untuk mendorong *crude oil* naik ke permukaan. Pengujian yang dilakukan pada surfaktan MES yang dicampur dengan air formasi menghasilkan larutan berwarna keruh (koloid) tanpa adanya endapan. Hal ini menandakan bahwa surfaktan dapat digunakan untuk proses EOR karena saat terjadi kontak dengan air formasi tidak membentuk endapan yang dapat mengganggu aliran dan juga mengurangi kemampuan surfaktan untuk menurunkan tegangan mukanya (Eni dan Syahrial, 2010).

Dari hasil percobaan didapatkan bahwa tegangan antarmuka air dan *crude oil* pada suhu ruangan adalah 17,71 dyne/cm. Dalam hal ini, MES yang dihasilkan belum sesuai dengan surfaktan yang dapat digunakan untuk EOR yaitu yang dapat menurunkan tegangan antar muka mencapai 10^{-3} dyne/cm.

Uji stabilitas panas merupakan uji surfaktan terhadap kondisi aktual yang terjadi di reservoir minyak bumi dimana pada umumnya suhu reservoir berkisar pada suhu 80°C. Dari hasil percobaan didapatkan tegangan antarmuka air dan *crude oil* pada suhu 80°C adalah 26,57 dyne/cm. Tegangan antarmuka akan meningkat jika larutan dipanaskan, lebih besar dibandingkan kondisi larutan pada suhu ruangan, yaitu 17,71 dyne/cm. Hal ini menunjukkan bahwa performa surfaktan akan menurun pada suhu tinggi. Surfaktan pada suhu tinggi akan kehilangan kemampuannya untuk menurunkan tegangan antar muka, sehingga jika diaplikasikan pada EOR performanya masih kurang optimal.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa konsentrasi surfaktan anionik yang paling baik sebesar 55,464 mg/L didapatkan dari reaksi sulfonasi metil ester dengan lama reaksi sulfonasi 90 menit dan persentase metanol yang ditambahkan pada proses pemurnian surfaktan sebesar 40%. Penelitian lebih lanjut perlu

dilakukan untuk menganalisa lebih lanjut produk MES untuk menentukan struktur MES secara tepat. Selain itu proses pembuatan MES perlu lebih dioptimalkan dengan cara melakukan variasi mol reaktan, suhu, dan pH hasil proses penambahan NaOH, untuk mencapai surfaktan dengan nilai tegangan antar muka pada kisaran 10^{-3} dyne/cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiandri, R.S. 2006. Kajian Pengaruh Konsentrasi Metanol dan Lama Reaksi pada Proses Pemurnian Metil Ester Sulfonat Terhadap Karakteristik Detergen Bubuk, *Tesis*, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Badan Pusat Statistik, 2014, Statistik Perdagangan Luar Negeri: Impor. Retrieved from [http://www.bps.go.id/hasil_publicasi/bul_impor_agustus2014/index3.php?pub=Buletin Statistik Perdagangan Luar Negeri Impor Agustus 2014](http://www.bps.go.id/hasil_publicasi/bul_impor_agustus2014/index3.php?pub=Buletin%20Statistik%20Perdagangan%20Luar%20Negeri%20Impor%20Agustus%202014)
- Berchmans, H.J. & Hirata, S. 2008. Biodiesel Production from Crude *Jatropha Curcas* L. Seed Oil With a High Content of Free Fatty Acids. *Bioresource Technology*, 99:1716–1721.
- Cohlar, M.A. 2014. Nyaring Bicara Sumur Tua. *blokBojonegoro*.
- Elraies, K.A., Tan, I.M., Awang, M. & Saaid, I., 2010. The Synthesis and Performance of Sodium Methyl Ester Sulfonate for Enhanced Oil Recovery, *Petroleum Science and Technology*, 28(17):1799-1806.
- Eni, H. & Syahrial, E., 2010, Screening Test dan Karakterisasi Surfaktan yang Efektif untuk Injeksi Kimia. *Lembaran Publikasi LEMIGAS*, 44(2):108–116.
- Forcella, A., Guisti. L., & David, R.W. 2008. Chemistry of Methyl Ester Sulfonates, *Biorenewable Resources*, 19(5):2-9.
- Green, D.W., & Willhite, G.P., 2018, *Enhanced Oil Recovery*, 2nd edition, Society of Petroleum Engineers, Kansas
- Hidayati, S., Zuidar, A.S., & Yanto, F. 2009. Optimasi Proses Pembuatan Metil Ester Sulfonat (MES) dari Minyak Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* L.) dan Pengaruhnya Terhadap Nilai Tegangan Antarmuka Menggunakan Metode Permukaan Respon, *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian*, 14(2), 160–172.
- Hirasaki, G.J., Miller, C.A., & Puerto, M. 2008. Recent Advances in Surfactant EOR. *SPE Journal*, 16(04): 889–907.
- Hovda, K.D. 1996. Sulfonation of Fatty Acid Esters. *US Patent No. 5,587,500*.
- Majidaie, S., Mushtaq, M., Tan, I.M., & Demiral, B. 2011. Green surfactant for enhanced oil recovery. *National Postgraduate Conference*, 1–5.
- Pusdatin Energi dan Sumber Daya Mineral, 2014. Produksi Minyak Bumi dan Kondensat 2010 - 2014 (September 2014). Retrieved January 25, 2015, from <http://www.migas.esdm.go.id/data-kemigas/36/Produksi-Minyak-Bumi>
- Sheats, W.B. & MacArthur, B.W. 2002. *Methyl Ester Sulfonate Products*, The Chemithon Corporation.
- Yuninda, P. 2009. Kajian Pengaruh Suhu dan Lama Reaksi Sulfonasi pada Pembuatan Methyl Ester Sulfonic Acid (MESA) dari Metil Ester Minyak Biji Jarak Pagar (*Jatropha Curcas* L.) Menggunakan Single Tube Falling Film Reactor (STFR) Skala 5L, *Skripsi*, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.