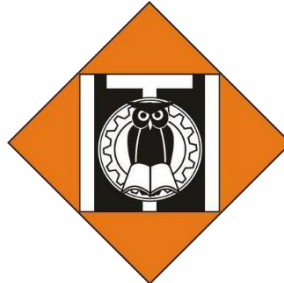


LAPORAN PENELITIAN



KARAKTERISASI SURFAKTAN POLYMERIC METHYL ESTER SULFONATE BERBASIS MINYAK SAWIT DENGAN ETIL AKRILAT UNTUK PENGAMBILAN MINYAK TAHAP LANJUT

Tahun ke-1 dari rencana 1 tahun

TIM PENELITI

**Agam Duma Kalista Wibowo, S.T., M.T.
NIDN : 0329128103**

**Dr. Ir. Kudrat Sunandar MT
NIDN : 0319066601**

Dibiayai oleh Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat ITI
No. Kontrak : 015/KP/PRPM-PP/ITI/IV/2021

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
INSTITUT TEKNOLOGI INDONESIA
SEPTEMBER 2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Karakterisasi surfaktan *Polymeric Methyl Ester Sulfonate* berbasis minyak sawit dengan Etil Akrilat untuk pengambilan minyak tahap lanjut.

Jenis Penelitian^{a)} : Dasar

Bidang Penelitian^{b)} : Chemical Engineering

Tujuan Sosial Ekonomi^{c)} : Exploration

Peneliti

a. Nama Lengkap : Agam Duma Kalista Wibowo

b. NIDN : 0329128103

c. Jabatan Fungsional : Asisten Ahli

d. Program Studi : Teknik Kimia

e. Nomor HP : 082116096956

f. Alamat Surel (*e-mail*) : agam.duma@iti.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Kudrat Sunandar

b. NIDN : 0319066601

c. Institusi : Institut Teknologi Indonesia (ITI)

Anggota Peneliti (2)

a. Nama Lengkap : -

b. NIDN : -

c. Institusi : -

Anggota Mahasiswa

a. Nama Lengkap : Moh Fahril Firujal

b. NIM : 1141905005

c. Jurusan : Teknik Kimia

Institusi Sumber Dana^{d)} : Hibah Internal ITI

Biaya Penelitian : Rp. 8.000.000,-

Kota Tangerang Selatan, 6 September 2021

Mengetahui,

Program Studi Teknik Kimia

Ketua

(Dr. Ir. Wahyudin, S.T., M.Sc, IPM)
NIDN : 0323107606

Ketua Tim



(Agam Duma Kalista Wibowo, ST, MT)
NIDN : 0329128103

**Menyetujui,
Kepala**

Pusat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Institut Teknologi Indonesia



(Dr. Ir. Joelianingsih, MT.)
NIDN : 0310076406

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayah-NYA sehingga dapat menyelesaikan laporan penelitian yang berjudul **“Karakterisasi surfaktan *Polymeric Methyl Ester Sulfonate* berbasis minyak sawit dengan Etil Akriolat untuk pengambilan minyak tahap lanjut”**. Dalam pelaksanaan penelitian ini juga dibantu oleh Dr. Ir. Kudrat Sunandar MT sebagai anggota peneliti serta dibantu oleh 2 orang mahasiswa yang sedang melaksanakan tugas penelitian di Program Studi Teknik Kimia ITI yaitu :

1. Moh Fahril Firujal (1141905005)
2. Naila Faroh (1141800013)

Kendala yang dihadapi selama penelitian adalah bahan baku monomer yang sulit dicari dan mahal biaya analisis.. Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang Teknik Kimia. Selain itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada PRPM ITI yang telah membiayai penelitian ini. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ketua Program studi dan koordinator penelitian teknik kimia ITI yang telah mendukung kegiatan penelitian ini. Semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan ini membawa manfaat bagi perkembangan IPTEK khususnya di bidang Teknik Kimia.

Serpong, September 2021

Tim Penulis

DAFTAR ISI

	Hal
LAPORAN PENELITIAN.....	1
HALAMAN PENGESAHAN	2
KATA PENGANTAR	3
DAFTAR ISI.....	4
DAFTAR GAMBAR	6
DAFTAR TABEL.....	7
RINGKASAN	8
BAB I.....	9
PENDAHULUAN	9
1.1. Latar Belakang.....	9
1.2 Rumusan Masalah.....	10
1.3 Tujuan Penelitian	11
1.4 Batasan Masalah	11
BAB II	12
TINJAUAN PUSTAKA.....	12
2.1 Enhanced Oil Recovery (EOR).....	12
2.2 Surfaktan	12
2.3. Minyak Sawit.....	14
2.4. Metil Ester	14
2.4.1. Esterifikasi	15
2.4.2. Transesterifikasi.....	16
2.5. Metil Ester Sulfonat (MES)	17
2.6. State of the Art.....	17
BAB III	20
METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Alat dan Bahan	20
3.1.1 Rangkaian Alat Percobaan	20
3.1.1 Bahan.....	21
3.2. Variabel Penelitian.....	21
3.2.1. Preparasi Pembuatan MES.....	21
3.2.2. Proses Polimerisasi	22
3.3. Prosedur Percobaan	24
3.3.1. Persiapan Bahan Baku	24
3.3.2. Proses Sulfonasi.....	24

3.3.3.	Sintesis Polimeric Surfaktant	24
3.3.4.	Pengujian Densitas Terhadap PMES.....	24
3.3.5.	Pengujian Viskositas Terhadap PMES.....	25
3.3.6.	Uji PMES menggunakan Furier Transformation Infra Red (FTIR).....	25
3.3.7.	Uji PMES menggunakan H <i>Nuclear Magnetic Resonance</i> (HNMR).....	25
3.3.8.	Pegujian Critical Micelle Concentration (CMC) Terhadap PMES.....	25
3.3.9.	Pengujian <i>Interfacial Tension</i> (IFT) Terhadap PMES.....	26
3.3.10.	Pengujian Sudut Kontak (<i>Contact Angle</i>)	26
3.3.11.	Uji Kinerja PMES pada Sandpack Column.....	26
BAB IV		27
HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Reaksi Sulfonasi Metil Ester Sulfonat (MES).....	27
4.2	Proses Polimerisasi	28
4.3	Karakteristik Polymeric Surfactant (PMES)	28
4.3.1.	Pengaruh Densitas PMES pada Suhu Polimerisasi	28
4.3.2.	Pengaruh Viskositas pada Suhu Polimerisasi	30
4.3.3.	Analisa FTIR (Furier Transformation Infra Red).....	31
4.3.4.	Analisa HNMR (H Nuclear Magnetic Resonance).....	32
4.4.	Uji Kinerja PMES.....	34
4.4.1.	Uji Kinerja PMES Pengaruh kosentrasi PMES terhadap tegangan antarmuka	34
4.4.2.	Analisa sudut kontak (<i>Contact Angle</i>).....	37
4.4.3.	Uji Kinerja PMES pada Sandpack Column.....	40
BAB V		43
KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA		44
LAMPIRAN.....		46

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2. 1 Ekspor dan Impor Minyak Bumi	12
Gambar 2. 2 Reaksi Pembuatan Metil Ester	15
Gambar 2. 3 Mekanisme Reaksi Esterifikasi.....	16
Gambar 2. 4 Reaksi Sulfonasi metil ester dengan H ₂ SO ₄	17
Gambar 2. 5 Bilangan Gelombang FTIR MES	18
Gambar 2. 6 (a) Reaksi Pembentukan MES (b) Reaksi Polimerisasi MES dengan Etil Akrilat.....	19
Gambar 3. 1 Rangkaian Alat Penelitian	20
Gambar 3. 2 Rangkaian Alat Uji Sandpack Column	20
Gambar 3. 3. Diagram alir sintesis MES	22
Gambar 3. 4 Diagram Alis Sintesis PMES	23
Gambar 4. 1 Pengaruh Suhu Polimerisasi dan Rasio Mol MES:EA (Ethyl Acrylate) Terhadap Densitas PMES	29
Gambar 4. 2 Pengaruh Suhu Polimerisasi MES:EA terhadap Viskositas	30
Gambar 4. 3 Spektrum FTIR PMES.....	31
Gambar 4. 4 (a) Spektrum HNMR dengan pelarut CdCl ₃ (b) Spektrum HNMR Chemdraw	33
Gambar 4. 5 Pengaruh Rasio Mol MES:EA (Ethyl Acrylate) 1:0.5 terhadap nilai IFT (Interfacial Tension) dengan CMC (Critical Micelle Concentration)	35
Gambar 4. 6 Pengaruh Rasio Mol MES:EA terhadap Nilai IFT (Interfacial Tension) pada CMC (Critical Micelle Concentration) (0.5%) serta Yield.....	36
Gambar 4. 7 IFT (Interfacial Tension) Rasio Mol 1:0.5 pada CMC (Critical Missel Concentration) dan Suhu 60°C	37
Gambar 4. 8 Perbandingan Brine, Oil, dan Surfaktan pada Contact Angle Terhadap Waktu.....	38
Gambar 4. 9 Contact Angle Brine atau Air Formasi (a) pada waktu 0 detik dan (b) pada waktu 60 detik.....	39
Gambar 4. 10 Contact Angle Oil a) Pada Waktu 0 detik dan b) Pada Waktu 60 detik	39
Gambar 4. 11 Contact Angle Surfaktan a) Pada Waktu 0 detik dan b) Pada Waktu 60 detik	39

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2. 1 Komposisi Asam Lemak Bebas Pada Minyak Sawit	15
Tabel 3. 1 Daftar Bahan Penelitian	21
Tabel 3. 2 Desain Preparasi Pembuatan MES	21
Tabel 3. 3 Desain Proses Polimerisasi PMES	22
Tabel 4. 1 Bilangan Gelombang FTIR	32

RINGKASAN

Metil Ester Sulfonat (MES) merupakan salah satu surfaktan anionik yang dapat dibuat dengan menggunakan bahan baku metil ester dari minyak inti sawit dan metil ester dari *Crude Palm Oil* (CPO). MES berfungsi menurunkan tegangan antar muka atau *Interfacial Tension (IFT)* minyak dengan air sehingga dapat bercampur secara homogen. Oleh karena itu, MES dapat diterapkan sebagai alternatif *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Prinsip dilakukan penelitian ini yaitu mencangkokkan sulfonat dari MES ke dalam rantai polimer. Dengan mereaksikan Metil Ester dari minyak sawit dengan asam sulfat (H_2SO_4) sehingga terbentuk Metil Ester Sulfonat (MES). Selanjutnya Metil Ester Sulfonat (MES) direaksikan dengan polimer Etil Akrilat. Berdasarkan pengujian, hasil polimerisasi terbaik diperoleh pada rasio mol 1:0.5 dari MES terhadap *Ethyl Acrylate* (EA). Berdasarkan pengujian viskositas terhadap suhu, nilai viskositas mengalami penurunan secara signifikan pada suhu $60^{\circ}C$ dan $70^{\circ}C$, dan pada suhu 80 dan $90^{\circ}C$ mengalami kenaikan pada rasio mol 1:1. Berdasarkan pengukuran *Critical Micelle Concentration*(CMC), pada rasio mol 1:0.5 yang diencerkan menggunakan air formasi 0.1% - 0.5% mengalami penurunan nilai *Interfacial Tension (IFT)* dari $6.55 \times 10^{-3} mN/m$ hingga $1.95 \times 10^{-3} mN/m$. Sintesis polimerik surfaktan menghasilkan Yield 123 wt% hingga 189wt%. Berdasarkan pengukuran nilai sudut kontak (*Contact Angle*), nilai sudut kontak surfaktan mengalami penurunan secara drastis dari 58.44° hingga 11.79° .

Kata kunci : Metil Ester Sulfonat (MES), *Enhanced Oil Recovery* (EOR), *Interfacial Tension (IFT)*, *Critical Missel Concentration*(CMC), *Contact Angle*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Proses pengambilan minyak sekarang diklasifikasikan sebagai proses primer, sekunder, dan EOR. *Enhanced Oil Recovery* (EOR) adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan produksi minyak pada suatu sumur minyak dengan cara meningkatkan volume minyak yang sebelumnya masih tertinggal diantara pori-pori batuan dalam *reservoir* agar minyak-minyak yang kental, berat, dan permeabilitas rendah dan bisa diangkat ke permukaan untuk memperoleh lebih banyak minyak setelah menurunnya proses produksi minyak (Green & Willhite, 2017). *Surface active agent* (*surfaktan*) adalah suatu zat yang ketika dilarutkan dalam pelarut maka molekul-molekulnya akan tertarik ke permukaan dan kehadirannya dapat menurunkan tegangan permukaan dan zat yang sangat penting dalam polimer emulsi (Amalia & Agustinus, 2017).

Sintesis Metil Ester Sulfonat (MES) dari *Crude Palm Oil* (CPO) telah dilakukan oleh (Supriningsih, 2010) dengan H_2SO_4 sebagai agen pensulfonasi. Diperoleh hasil penelitian dengan waktu reaksi optimum 1.5 jam dan konsentrasi metanol 40% pada proses pemurnian menghasilkan MES dengan nilai *Interfacial Tension* (IFT) 3.68×10^{-2} mN/m pada konsentrasi 0.3%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Khaled Abdalla Elraies & Tan, 2012) menunjukkan nilai IFT mengalami penurunan yang dipengaruhi konsentrasi dan waktu *Sodium Methyl Ester Sulfonate* (SMES). Nilai IFT dengan larutan minyak mentah dari bahan baku *Sodium Methyl Ester Sulfonate* (SMES) mengalami penurunan secara drastis seiring meningkatnya konsentrasi surfaktan dari 0.2%wt menjadi 0.4%wt dan 0.6%wt, IFT turun terus menerus ke nilai masing-masing 0.56 mN/m dan 0.45 mN/m. Pada surfaktan berbanding rasio akrilamide 1:0.4 (rasio 2.5 surfaktan / akrilamida), nilai IFT mencapai 0.296 mN/m. Hal ini menunjukkan sifat agregat dari gugus tersulfonasi yang melekat pada rantai polimer. Dengan meningkatnya rasio surfaktan terhadap akrilamida, semakin banyak surfaktan yang melekat pada kekuatan dari polimer dan demikian nilai

IFT akan didapatkan lebih rendah.

Penelitian yang dilakukan oleh (Kumar, et al., 2016) yang mensintesis *Polymeric Surfactant* dari minyak jarak dengan monomer akrilamid berpotensi untuk aplikasi EOR dengan mengevaluasi pengukuran tegangan permukaan untuk penentuan *Critical Micelle Concentration* (CMC), penurunan IFT, sudut kontak, dan viskositas. Hasilnya tegangan permukaan berkurang dari 72 menjadi 40 mN/m pada CMC dari larutan PMES 6g/L. Dengan penambahan NaCl 2.5% wt dan tanpa penambahan NaCl diperoleh nilai IFT masing-masing 0.37 dan 2.74 mN/cm.

Eksperimen oil recovery dengan *Ethyl Acrylate* (EA) merupakan suatu kopolimer yang mengandung sejumlah polimer acak. Pengganti *Vinyl Acetate* (VA) dapat diusulkan dengan hidrofobik akrilat seperti *Ethyl Acrylate* (EA) dan *Buthyl Acrylate* (BA), karena lebih tahan terhadap hidrolisis (Caneba, 2010).

Sintesis *Polymeric Surfactant* ini dilakukan dari dua tahap yaitu Sintesis MES dan dilanjutkan dengan sintesis *polymeric surfactant*. Tahap pertama, pembuatan MES dilakukan dengan mereaksikan metil ester berbasis minyak sawit dan Asam Sulfat (H₂SO₄) sebagai bahan pensulfonasi. Tahap kedua, Sintesis *Polymeric Surfactant* dilakukan dengan mereaksikan MES, *Ethyl Acrylate* (EA) sebagai monomer menggunakan proses polimerisasi yang kemudian akan dilakukan pemurnian untuk memisahkan PMES dengan bahan sampingnya.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas bahwa penelitian untuk mensintesis *Polymeric Surfactant*/PMES dari Metil ester berbasis minyak sawit masih belum dilakukan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis PMES dari metil ester minyak sawit dengan monomer *Ethyl Acrylate* (EA).

1.2 Rumusan Masalah

Sintesis *Polymeric Surfactant* berbasis minyak sawit dengan menggunakan monomer *Ethyl Acrylate* (EA) masih belum dilakukan untuk menurunkan nilai IFT sebagai *Chemical Flooding*. Penggunaan monomer *Ethyl Acrylate* (EA) dapat dilakukan karena termasuk hidrofobik akrilat. Sehingga perlu dilakukan sintesis

Polymeric surfactant agar dapat menurunkan nilai IFT sesuai dengan kriteria *Chemical Flooding* dengan viskositas terkontrol.

1.3 Tujuan Penelitian

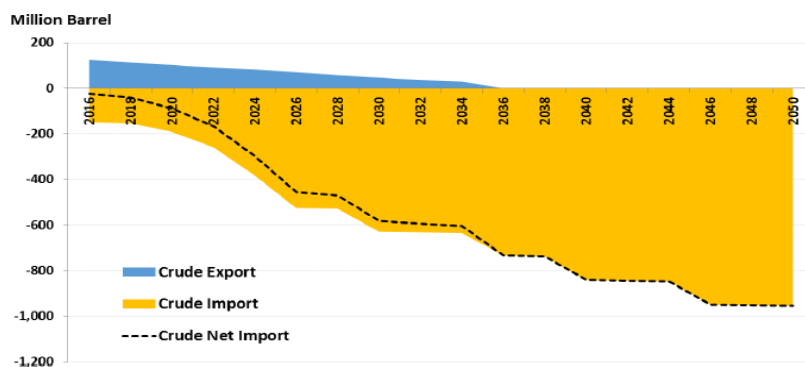
Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh parameter suhu dan rasio mol antara MES dengan monomer *Ethyl Acrylate (EA)* pada sintesis *Polymeric Surfactant (PMES)* dari Metil Ester Sulfonat berbasis minyak sawit untuk memperoleh struktur kimia yang terdiri H-NMR dan FTIR. Karakteristik PMES dengan nilai IFT yang sangat rendah sebagai *Chemical Flooding* dibawah 10^{-3} mN/m , nilai sudut kontak, dan Kinerja dari produk PMES dengan metode Sandpack Column.

1.4 Batasan Masalah

1. Mereaksikan metil ester berbasis minyak sawit dan Asam Sulfat (H_2SO_4) bahan pensulfonasi.
2. Mereaksikan MES, dan *Ethyl Acrylate (EA)* sebagai monomer menggunakan proses polimerisasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada tahun 2016, produksi minyak bumi sebesar 338 juta barel dan diperkirakan menurun menjadi 85 juta barel pada tahun 2050. Ekspor minyak bumi pada tahun 2016 sebesar 128 juta barel yang diperkirakan terus menurun secara perlahan dan akan berakhir pada tahun 2035 (BPPT, 2018). Untuk mengatasi ketidakseimbangan tersebut upaya yang dilakukan dalam meningkatkan lifting minyak yaitu melalui teknologi *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Disajikan pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Ekspor dan Impor Minyak Bumi

2.1 Enhanced Oil Recovery (EOR)

Enhanced Oil Recovery (EOR) merupakan teknologi yang dapat diterapkan untuk *recovery* minyak yang tidak dapat diproduksi oleh *recovery* primer atau *waterflooding* (Teledyne Isco, 2007). Pengangkatan primer menggunakan tekanan alamiah dari *reservoir*, sementara pengangkatan sekunder, menggunakan cara injeksi (air atau gas) sebagai upaya untuk mempertahankan tekanan *reservoir* yang turun secara alamiah. Total produksi minyak dengan menggunakan teknologi primer dan sekunder kurang lebih mampu mengambil 40% minyak yang terkandung (Chilingarian & Donaldson, 1985).

2.2 Surfaktan

Surface active agent (surfaktan) adalah suatu zat yang ketika dilarutkan dalam pelarut maka molekul-molekulnya akan tertarik ke permukaan dan dapat menurunkan tegangan permukaan dan zat yang sangat penting dalam polimer emulsi (Amalia & Agustinus, 2017). Surfaktan primer yang umum digunakan untuk teknologi EOR adalah Petroleum Sulfonat. Surfaktan ini sangat mahal dan terbuat dari minyak bumi. Oleh karena itu perlu dibuat alternatif pengganti petroleum sulfonat. Surfaktan Metil Ester Surfomat (MES) merupakan golongan baru dalam surfaktan anionik yang telah dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam proses *chemical flooding*, karena MES berfungsi menurunkan tegangan antarmuka atau *Interfacial Tension (IFT)* minyak dengan air sehingga dapat bercampur secara homogen. Selain digunakan pada aplikasi *EOR*, MES juga dimanfaatkan sebagai bahan aktif pada produk-produk pencuci dan pembersih (*washing and cleaning product*) (Putra, et al., 2017). Pada umumnya molekul surfaktan mempunyai dua gugus yang terdiri dari bagian kepala dalam jumlah yang sedikit yang terpisah pada kedua ujung rantai molekul, yaitu gugus hidrofil (menyukai air atau larut dalam air) atau lipofob (menolak minyak) dan bagian ekor dalam jumlah yang cukup besar yang disebut sebagai gugus hidrofob (tidak menyukai air tetapi larut dalam minyak) atau lipofil (menolak air), kedua gugus tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.4 Struktur Surfaktan (Supriningsih, 2010).

Hal yang penting dalam proses penggunaan surfaktan untuk memperoleh (*recovery*) minyak yang tinggi adalah:

- a. memiliki IFT yang sangat rendah (minimal 10^{-3} mN/m),
- b. memiliki kecocokan/kompatibilitas dengan air formasi dan kestabilan terhadap suhu,
- c. memiliki *mobility control* dan
- d. lebih ekonomis dalam proses.

Pada konsentrasi surfaktan masih rendah, misel belum terbentuk. Bila konsentrasi kritik misel sudah tercapai, maka terbentuklah misel, dengan kata lain *Critical Micellar Concentration (CMC)* adalah konsentrasi dimana molekul surfaktan mulai membentuk misel. Karena harga CMC ini sangat kecil yaitu 10^{-5} sampai 10^{-3} mN/m, maka praktis larutan surfaktan selalu terdapat dalam bentuk misel.

Struktur misel ini tidak tetap dan dapat berubah dalam berbagai bentuk. Bila larutan surfaktan kontak dengan fasa berminyak (oleic phase), surfaktan cenderung berakumulasi pada permukaan (permukaan antara fasa minyak dan fasa cair). Gugus yang suka minyak larut dalam fasa berminyak sedangkan gugus yang suka air larut dalam fasa air. Karena sifat tersebut maka surfaktan akan menyebabkan tegangan permukaan antara dua fasa yang tidak campur tersebut menurun (Supriningsih, 2010).

2.3.Minyak Sawit

Minyak sawit adalah salah satu minyak yang paling banyak dikonsumsi dan diproduksi di dunia. Minyak yang murah, mudah diproduksi dan sangat stabil ini digunakan untuk berbagai variasi makanan, kosmetik, produk kebersihan, dan juga bisa digunakan sebagai sumber biofuel atau biodiesel. Produksi minyak sawit dunia didominasi oleh Indonesia dan Malaysia.

Pemanfaatan minyak sawit menjadi surfaktan MES dapat dilakukan mengingat kandungan asam lemak yang terkandung pada asam palmitat, asam stearat, dan asam oleat mempunyai sifat deterjensi yang sangat baik (Watkins, 2001). Metil ester yang memiliki ikatan rangkap adalah metil palmitoleat, metil oleat, dan metil linolenat yang berarti kandungan asam lemak tak jenuh dari biodiesel berbasis minyak sawit. Hal ini menunjukkan bahwa biodiesel berbasis minyak sawit memiliki potensi sebagai bahan baku untuk pembuatan MES.

2.4.Metil Ester

Metil Ester turunan dari trigliserida (minyak atau lemak) yang disintesa melalui esterifikasi dan transesterifikasi. Senyawa Metil Ester yang dihasilkan dari proses esterifikasi dan transesterifikasi di peroleh dari PT SINARMAS. Komposisi yang terdapat didalam Metil Ester Minyak Sawit disajikan dalam tabel 2.1 dibawah ini:

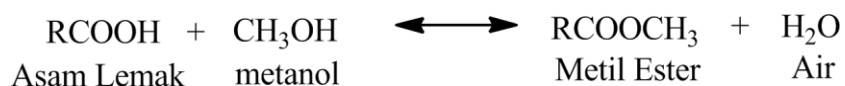
Tabel 2. 1 Komposisi Asam Lemak Bebas Pada Minyak Sawit

Asam Lemak	Struktur	Kadar (%)
Asam Laurat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$	4.4
Asam Miristat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CO}_2\text{H}$	1.04
Asam Palmitat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$	46.03
Asam Strearat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$	4.84
Asam Oleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	39.2
Asam Linoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$	4.49

2.4.1. Esterifikasi

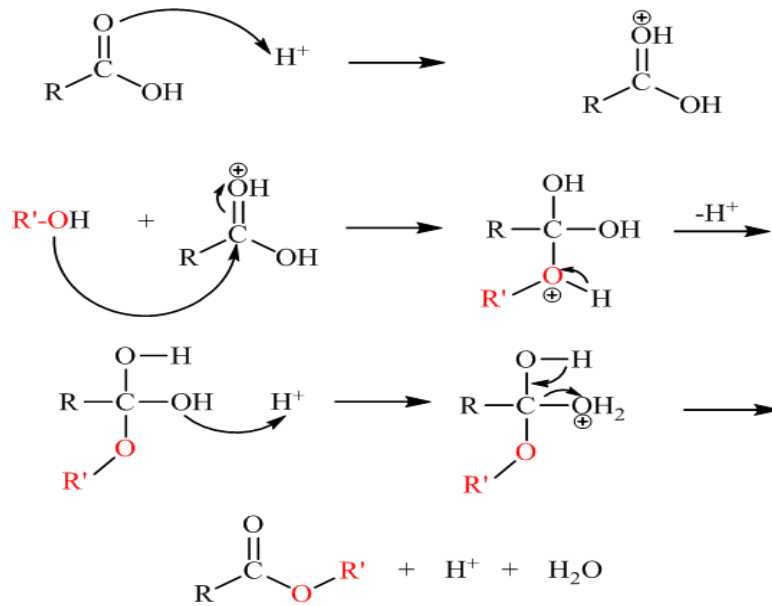
Reaksi esterifikasi adalah suatu reaksi antara asam karboksilat dan alkohol membentuk ester. Turunan asam karboksilat membentuk ester asam karboksilat. Ester asam karboksilat ialah suatu senyawa yang mengandung gugus - CO_2R dengan R dapat berupa alkil. Esterifikasi dikatalisis asam dan bersifat dapat balik (Susila Arita, 2008). Dengan esterifikasi, kandungan asam lemak bebas dapat dihilangkan dan diperoleh tambahan ester. Reaksi ini dilaksanakan dengan menggunakan katalis padat atau katalis cair.

Reaksi Esterifikasi:



Gambar 2. 2 Reaksi Pembuatan Metil Ester

Mekanisme Reaksi Esterifikasi



Gambar 2. 3 Mekanisme Reaksi Esterifikasi

Reaksi esterifikasi berkatalis asam berjalan lebih lambat, namun metode ini lebih sesuai untuk minyak atau lemak yang memiliki kandungan asam lemak bebas relatif tinggi. Karena, dari bentuk reaksi di atas, FFA yang terkandung di dalam trigliserida akan bereaksi dengan methanol membentuk metil ester dan air. Jadi, semakin berkurang FFA, methanol akan bereaksi dengan trigliserida membentuk metal ester.

Laju reaksi esterifikasi sangat dipengaruhi oleh struktur molekul reaktan dan radikal yang terbentuk dalam senyawa antara. Data tentang laju reaksi serta mekanismenya disusun berdasarkan karakter kinetiknya, sedangkan data tentang perkembangan reaksi dinyatakan sebagai konstanta kesetimbangan.

2.4.2. Transesterifikasi

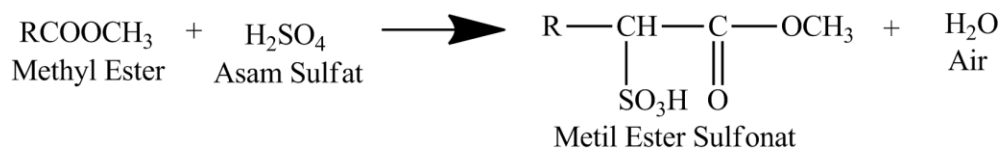
Reaksi transesterifikasi secara umum merupakan reaksi alkohol dengan trigliserida menghasilkan methyl ester dan gliserol dengan bantuan katalis basa. Alkohol yang umumnya digunakan adalah methanol dan ethanol. Reaksi ini cenderung lebih cepat membentuk metil ester dari pada reaksi esterifikasi yang

menggunakan katalis asam. Namun, bahan baku yang akan digunakan pada reaksi transesterifikasi harus memiliki asam lemak bebas yang kecil (<2%) untuk menghindari pembentukan sabun. Penggunaan katalis basa dalam jumlah ekstra dapat menetralkan asam lemak bebas di dalam trigliserida. Sehingga, semakin banyak jumlah katalis basa yang digunakan, maka metal ester yang terbentuk akan semakin banyak (Susila Arita, 2008).

2.5. Metil Ester Sulfonat (MES)

Metil Ester Sulfonat (MES) merupakan salah satu surfaktan anionik yang dapat dibuat dengan menggunakan bahan baku metil ester dari minyak inti sawit dan metil ester dari CPO. MES dibuat melalui proses sulfonasi dengan menggunakan pereaksi kimia yang mengandung gugus sulfat atau sulfit (Bernardini, 1983).

Pengembangan produk turunan minyak sawit penting untuk dilakukan mengingat peningkatan nilai tambah yang dapat diperoleh. Nilai tambah produk hilir sawit tersebut akan lebih besar dibandingkan nilai tambah produk-produk oleokimia salah satunya surfaktan MES. Surfaktan MES lebih ekonomis dari pada Linier Alkilbenzene Sulfonat (LAS). MES menawarkan dua kelebihan, yaitu efisien dan ramah lingkungan. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam proses EOR yang mencampurkan zat seperti Surfaktan Polimer (SP) atau Alkali-Surfaktan-Polimer (ASP) seperti interaksi antara polimer dan surfaktan, hilangnya surfaktan yang larut dalam fasa minyak atau adsorpsi dalam bebatuan dan pemisahan kromatografi dari berbagai komponen, yang dapat merugikan untuk seluruh proses (Sheng, 2011).



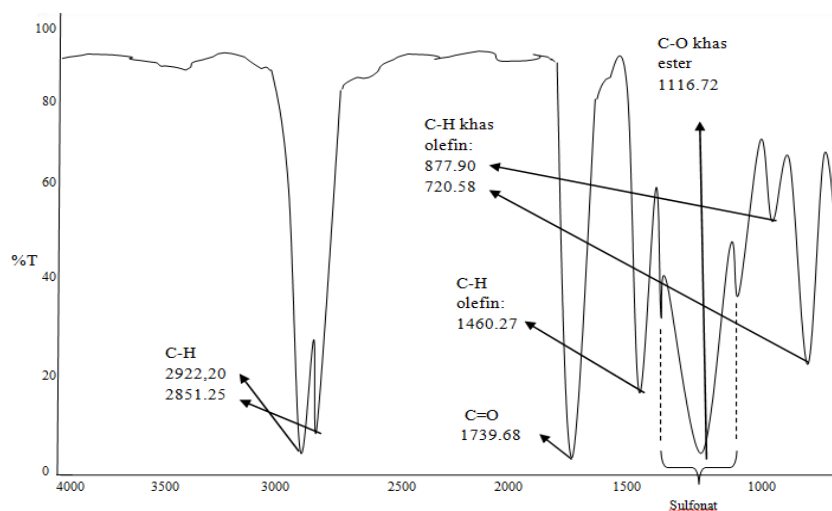
Gambar 2. 4 Reaksi Sulfonasi metil ester dengan H₂SO₄

2.6.State of the Art

Menurut (Farn, 2006) sulfonasi dengan asam sulfat berlangsung secara cepat dan reaksi bersifat eksoterm. Tingkat Reaksi sangat tergantung pada konsentrasi asam

sulfat, sehingga reaksinya melambat secara signifikan karena zat sulfonat yang telah bereaksi dan selanjutnya menghasilkan produk samping yaitu air dari reaksi Sulfonasi. Proses berdasarkan asam sulfat menggunakan kelebihan yang besar, menghasilkan dalam asam limbah tingkat tinggi atau residu sulfat dalam produk yang dinetralkan. Sebuah alternative adalah untuk menghilangkan air dari campuran reaksi, biasanya dengan distilasi dua fase, dengan kelebihan media sebagai media pembawa.

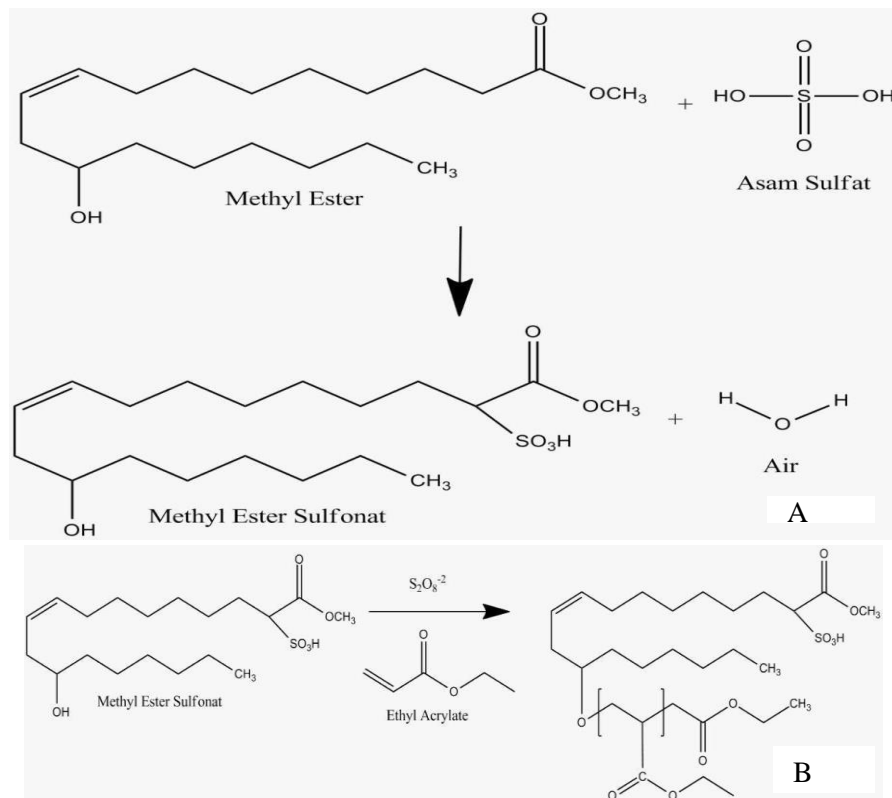
Polymeric surfactant merupakan polimer yang memiliki gugus sulfonat pada salah satu ujung dari polimer. Surfaktan dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu: Anionik, Kationik dan Non-Ionik. Surfaktan Anionik telah banyak telah digunakan dalam berbagai penelitian, diantaranya penelitian (Supriningsih, 2010) dengan membuat Metil Ester Sulfonat melalui metode Sulfonasi Metil Ester CPO direaksikan dengan Asam Sulfat (H₂SO₄) sebagai agen persulfonasi didapatkan kondisi waktu reaksi optimum 1.5 jam dengan kosentrasi metanol optimum 40%. Dan mencapai nilai antarmuka/ Interfacial Tension (IFT) 3.68×10^{-2} ; 3.52×10^{-2} ; 3.17×10^{-2} ; dan 3.07×10^{-2} mN/m pada kosentrasi surfaktan 0.3; 0.5; 0.7; dan 1 %.



Gambar 2. 5 Bilangan Gelombang FTIR MES

(Kumar, et al., 2016) melakukan penelitian dengan metode Sulfonasi pada minyak jarak. Dengan proses polimerisasi radikal menggunakan akrilamida sebagai

monomer, dan kalium metabisulfit ($K_2S_2O_5$) sebagai inisiator. Dari sintesa tersebut dihasilkan PMES dengan karakteristik PMES telah mengalami proses polimerisasi yang sesuai dengan penelitian, dengan adanya bilangan gelombang 1160 cm^{-1} yang merupakan gugus sulfonat dan merupakan hasil *Polymeric Methyl Ester Sulfonat* (PMES). Tegangan permukaan mengalami pengurang dari 72 menjadi 40 mN/m pada CMC dari larutan PMES 6 g/L yang selanjutnya dikurangi menjadi 33 mN/m setelah diberi salinitas (2.5 wt% NaCl). Nilai IFT dari 0.37 dan 2.74 mN/m pada konsentrasi surfaktan polimer 6 g/L diperoleh masing-masing dengan adanya 2.5 wt% NaCl. Nilai Flooding pada penelitian tersebut mengalami peningkatan 2.59 wt%.



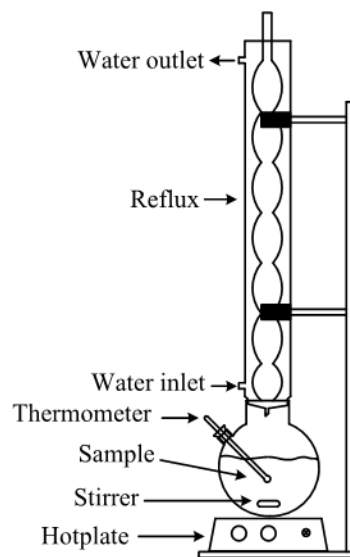
Gambar 2. 6 (a) Reaksi Pembentukan MES (b) Reaksi Polimerisasi MES dengan Etil Akrilat

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

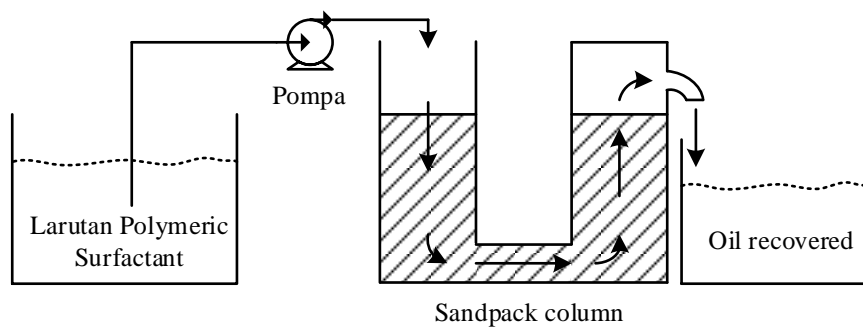
3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Rangkaian Alat Percobaan

Rangkaian alat untuk melakukan percobaan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. Rangkaian tersebut terdiri dari, 1) Labu leher 3 ukuran 500 mL, 2) tabung kondenser, 3) *thermometer*, 4) Hotplate, 5) magnetic stirrer, 6) statip.



Gambar 3. 1 Rangkaian Alat Penelitian



Gambar 3. 2 Rangkaian Alat Uji Sandpack Column

3.1.1 Bahan

Daftar bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Daftar Bahan Penelitian

Bahan	Spesifikasi
Metil Ester Berbasis Minyak Kelapa Sawit	PT SINARMAS Marunda
Metanol	Merck, No. Catalog 106009
NaOH	Merck, No. Catalog 109136
Aquadest	Lab. Penelitian ITI
Potasium Persulfat ($K_2S_2O_8$)	Merck, No. Catalog 105091
<i>Ethyl Acrylate</i> (EA) H_2SO_4	Merck, No.Catalog 8.00836 Merck, No. Catalog 160314

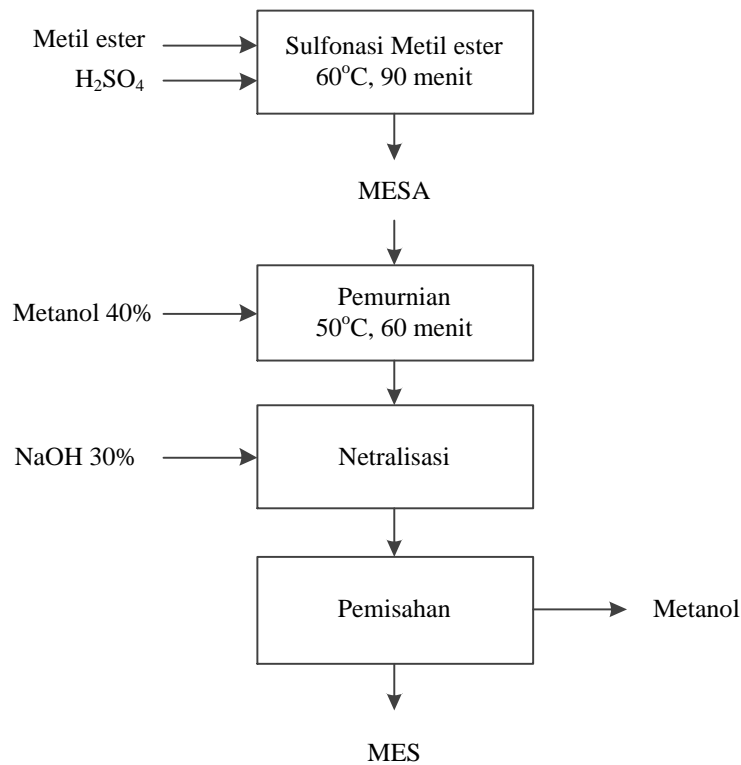
3.2.Variabel Penelitian

3.2.1. Preparasi Pembuatan MES

Tahap Pertama dari eksperimen ini adalah preparasi atau pembuatan MES dari ME yang direaksikan oleh H_2SO_4 dengan dimurnikan menggunakan Metanol 40% dan dinetralkan menggunakan NaOH 30%. Desain pembuatan MES tidak divariasikan, karena telah dilakukan optimasi pada penelitian sebelumnya (Supriningsih, 2010).

Tabel 3. 2 Desain Preparasi Pembuatan MES

Variabel	Satuan	Baseline	Parameter
Rasio mol MES	mol	0.35	Densitas Viskitas
Rasio mol H_2SO_4	mol	0.39	
Suhu ME+ H_2SO_4	$^{\circ}C$	65	
Waktu pencampuran ME + H_2SO_4	Jam	1.5	
Suhu Pemurnian MES	$^{\circ}C$	50	



Gambar 3. 3. Diagram alir sintesis MES

3.2.2. Proses Polimerisasi

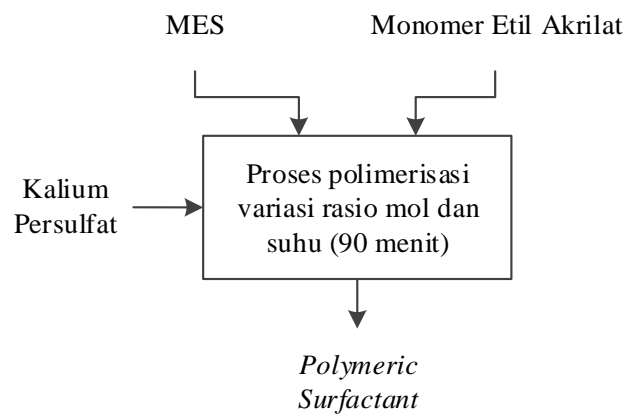
Tahap kedua dari eksperimen ini adalah polimerisasi PMES dari MES yang dihasilkan, di polimerisasi menggunakan *Ethyl Acrylate* (EA) dengan perbandingan mol MES : EA dan berbagai suhu pada waktu polimerisasi 1.5 jam. Desain Proses Polimerisasi PMES dengan perbandingan rasio mol MES : EA dengan berbagai suhu.

Tabel 3. 3 Desain Proses Polimerisasi PMES

Variabel	Satuan	Baseline	Rentang	Parameter
Rasio Mol ME: EA	mol:mol	1:0.1	1:0.1 – 1:2	1. Densitas 2. Viskositas 3. <i>Critical Micelle Concentration</i> (CMC)

Suhu Polimerisasi	°C	50	50-90	4. IFT 5. FTIR 6. HNMR
Waktu Polimerisasi	Jam	1.5	1.5	7. Sudut kontak 8. Uji kinerja dengan Sandpack column

Dalam proses polimerisasi dilakukan variasi rasio mol MES dengan *Ethyl Acrylate* (EA): 1:0.1; 1:0.5 ; 1:1 ; 1:1.5; dan 1:2. Selanjutnya dilakukan variasi suhu polimerisasi yaitu 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, dan 90°C selama 90 menit. Dilakukannya variasi suhu dan rasio mol MES dengan *Ethyl Acrylate* (EA) untuk dapat diketahui nilai IFT pada *Polymeric Surfactant* dengan dua variasi dan lima level sehingga didapatkan 25 percobaan sample. Ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.



Karakterisasi PMES:

1. Uji Densitas
2. Uji Viskositas
3. Uji FTIR (*Furier Transformation Infra Red*)
4. Uji HNMR (*Nuclear Magnetic Resonance*)
5. Uji *Critical Micelle Concentration* (CMC)
6. Uji IFT (*Interfacial Tension*)
7. Uji Sudut Kontak (*Contact Angle*)
8. Uji Kinerja PMES pada Sandpack Column

Gambar 3. 4 Diagram Alis Sintesis PMES

3.3. Prosedur Percobaan

3.3.1. Persiapan Bahan Baku

Disiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Disiapkan bahan Metil Ester Kelapa Sawit 100 g dan H₂SO₄ sebagai bahan pensulfonsi dengan perbandingan mol 0.35mol:0.39mol. Untuk selanjutnya dilakukan proses sulfonasi dengan menggunakan alat *Rotary Evaporator*.

3.3.2. Proses Sulfonasi

Proses sulfonasi dari Metil Ester berbasis minyak sawit direaksikan dengan asam sulfat (H₂SO₄) dengan perbandingan 0.35mol : 0.39 mol ke dalam reaktor labu bulat leher tiga yang dilengkapi dengan condenser, *thermometer*, dan corong penetes untuk meneteskan H₂SO₄ tetes demi tetes. Kondisi optimum yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya, proses Pemurnian menggunakan *Methanol* (CH₃OH) 40% dengan suhu 50°C selama 90 menit. Selanjutnya proses Penetralkan dilakukan dengan menggunakan larutan Natrium Hidroksida (NaOH) 30% sambil dicek pH dalam kondisi 5-6.

3.3.3. Sintesis Polimeric Surfaktant

Proses polimerisasi dilakukan menggunakan 250 ml labu leher tiga. Reaksi dilakukan menggunakan Metil Ester Sulfonat (MES) yang dihasilkan dari proses sulfonasi dengan *Ethyl Acrylate* (EA) sebagai monomer menggunakan dengan Potasium Pesulfat (K₂S₂O₈) sebagai katalis. Selanjutnya proses polimerisasi dengan pengerjaan variasi suhu 50°C – 90°C. Pada tahap proses polimerisasi suhu dijaga tetap selama 90 menit.

3.3.4. Pengujian Densitas Terhadap PMES

Proses pengujian densitas dilakukan dengan menggunakan alat piknometer. Pengukuran densitas menggunakan piknometer dengan menghitung selisih antara berat piknometer

yang telah diisi oleh PMES dan berat piknometer yang belum diisi oleh PMES persatuan volume.

3.3.5. Pengujian Viskositas Terhadap PMES

Proses pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan alat viskometer Oswald. Pengukuran viskositas menggunakan viskometer Oswald dengan mengukur waktu PMES untuk mencapai batas tertentu.

3.3.6. Uji PMES menggunakan Furier Transformation Infra Red (FTIR)

Proses *Furier Transformation Infra Red* (FTIR) dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometer *Furier Transformation Infra Red* (FTIR). Sampel PMES pada rasio mol 1:0.5 dengan suhu 60°C dimasukkan ke dalam kuvet. Selanjutnya kuvet yang diisi oleh sample PMES, dimasukkan ke dalam alat spektrofotometer FTIR. Alat spektrofotometer FTIR akan membaca sampel PMES seperti pada gambar 4.6 Spektrum FTIR.

3.3.7. Uji PMES menggunakan H Nuclear Magnetic Resonance (HNMR)

Proses *H Nuclear Magnetic Resonance*(HNMR) dilakukan dengan menggunakan alat spektrofotometer *Nuclear Magnetic Resonance*(NMR). Sampel PMES pada rasio mol 1:0.5 dengan suhu 60°C dimasukkan ke dalam tabung reaksi spektrofotometer *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR). Selanjutnya tabung reaksi dimasukkan kedalam spiner plastik untuk memutar sample. Kemudian spiner plastik dimasukkan ke dalam spektrofotometer *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) dengan spiner plastik berada ditengah medan magnet. Alat spektrofotometer *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR) akan membaca sampel PMES seperti pada gambar 4.7 dengan menghasilkan spektrum NMR.

3.3.8. Pegujian Critical Micelle Concentration (CMC) Terhadap PMES

Proses *Critical Micelle Concentration* (CMC) dilakukan dengan sample PMES dengan brine formasi dicampurkan dengan konsentrasi 0.1%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, dan 1%. Pengukuran CMC dengan mengukur PMES 0.1% , 0.3% , 0.5%, 0.7%, dan 1% dalam 10 mL air formasi. Selanjutnya PMES dengan konsentrasi tertentu dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan menggunakan suntikan 1 ml yang didapat dari alat IFT tersebut. Selanjutnya crude oil dimasukkan juga ke dalam

tabung reaksi menggunakan suntikan yang ukurannya 10 μ ml dengan pengambilan minyak kurang lebih 2 μ ml. Kemudian tabung reaksi tersebut dimasukan ke dalam alat pengukuran IFT. Suhu yang digunakan pada alat IFT tersebut adalah suhu reservoir atau suhu surfaktannya. Kemudian tabung reaksi yang telah dimasukan kedalam IFT dengan kecepatan putar sebesar 6000 rpm.

3.3.9. Pengujian *Interfacial Tension* (IFT) Terhadap PMES

Proses *Interfacial Tension* (IFT) dilakukan dengan sample PMES yang dimasukan ke dalam tabung reaksi dengan menggunakan suntikan 1 ml yang didapat dari alat IFT tersebut. Selanjutnya crude oil dimasukan juga ke dalam tabung reaksi menggunakan suntikan yang ukurannya 10 μ ml dengan pengambilan minyak kurang lebih 2 μ ml. Kemudian tabung reaksi tersebut dimasukan ke dalam alat pengukuran IFT, pada surfaktan dengan polimerisasi antara MES dengan EA (*Ethyl Acrylate*) tersebut diusahakan harus dalam bentuk droplet karena termasuk ke dalam minyak ringan. Suhu yang digunakan pada alat IFT tersebut adalah suhu reservoir atau suhu surfaktannya. Kemudian tabung reaksi yang telah dimasukan kedalam IFT dengan kecepatan putar sebesar 6000 rpm. Nilai IFT akan muncul dalam bentuk gambar 4.5.

3.3.10. Pengujian Sudut Kontak (*Contact Angle*)

Proses Sudut Kontak (*Contact Angle*) dilakukan dengan sample PMES yang telah dicampurkan dengan brine formasi, oil, dan brine formasi. Sample PMES dimasukan ke dalam jarum suntik khusus dengan suhu sesuai dengan reservoir atau sesuai dengan suhu sample PMES. Selanjutnya sample PMES yang berada didalam jarum suntik khusus diteteskan pada media kaca. Kemudian direkam selama waktu tertentu hingga kondisi sudut kontak stabil. Hasil pengujian sudut kontak disajikan pada gambar 4.9 dan penurunan sudut kontak disajikan pada gambar 4.10.

3.3.11. Uji Kinerja PMES pada Sandpack Column

Proses sandpack coloumn dilakukan dengan perbandingan 1:15 pada crude oil dengan pasir putih di dalam sandpack column. Selanjutnya *Polymeric Surfactant* (PMES) di pompakan ke sandpack column. Oleh karena itu, PMES akan mengangkat crude oil keatas, sehingga crude oil akan keluar dari sandpack

coloumn. Crude oil yang keluar dari sandpack column selanjutnya ditimbang untuk mengetahui banyaknya crude oil yang keluar dibagi dengan massa awal crude oil yang dimasukkan. Oleh karena itu, persen recovery adalah massa produk yang keluar dibagi dengan massa awal crude oil dikali seratus persen.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis surfaktan dilakukan melalui 2 tahap reaksi, yaitu reaksi sulfonasi Metil Ester Sulfonat (MES) dan proses polimerisasi *Polymeric Surfactant* (PMES).

4.1 Reaksi Sulfonasi Metil Ester Sulfonat (MES)

Reaksi sulfonasi merupakan langkah pertama dalam proses pembentukan Metil Ester Sulfonat (MES). Dalam penelitian ini metil ester yang digunakan berasal dari minyak sawit sebagai reaktan. Penggunaan minyak sawit memiliki kandungan asam lemak tidak jenuh yang besar sehingga kemungkinan keberhasilan dari reaksi sulfonasi dikarenakan gugus sulfonat berhasil menyerang ikatan rangkap pada metil ester akan lebih besar. Mekanisme reaksi mengacu pada Gambar 2.4 (a) Reaksi Pembentukan MES.

Proses pemurnian jumlah *methanol* yang ditambahkan 40% pada suhu 50°C dengan waktu 60 menit. Dan proses penetralan dengan penambahan NaOH 30% sambil di aduk menggunakan magnetic stirrer dan di ukur pH 5-6. Dari hasil pemurnian, didiamkan selama beberapa jam dan terjadi pemisahan 3 lapisan. Lapisan bawah merupakan Air, Lapisan tengah adalah asam lemak, dan lapisan atas adalah hasil Sulfonasi Metil Ester. Hal tersebut bisa terjadi karena ada reaksi hidrolisis pada saat proses penetralan sehingga hasil yang didapat terbentuk 3 lapisan. Setelah dilakukan pemurnian yang di dapat 3 lapisan, selanjutnya dilakukan pemisahan. Pemisahan dilakukan dengan menggunakan corong pisah dan yang diambil adalah bagian atas yaitu hasil Sulfonasi Metil Ester.

Berdasarkan hasil pengujian, massa jenis MES yang dihasilkan sebesar 0.914

g/mL. Berdasarkan penelitian sebelumnya (Supriningsih, 2010), metode *Enhanced Oil Recovery* (EOR) dengan *water based* dapat diaplikasikan dengan densitas yang rendah seperti air

Berdasarkan data yang diperoleh, Viskositas Kinematika pada Metil Ester Sulfonat (MES) yang dihasilkan sebesar 12.24 mm²/s. Ternyata, Viskositas kinematika MES yang dihasilkan memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan nilai viskositas kinematika *Crude oil* pada lapangan X yaitu 10.2 mm²/s (Pertamina, 2014).

4.2 Proses Polimerisasi

Tahapan selanjutnya untuk mereaksikan monomer *Ethyl Acrylate* (EA) dan Metil Ester Sulfonat (MES) disebut proses polimerisasi. Proses polimerisasi dilakukan variasi suhu dan rasio mol MES dengan *Ethyl Acrylate* (EA) sebanyak 25 percobaan sample, dengan pengerjaan pada perbandingan mol antara MES dengan monomer *Ethyl Acrylate* (EA) 1:0.1 ; 1:0.5 ; 1:1 ; 1:1.5 ; 1:2 dengan variasi suhu 50°C – 90°C. Pada tahap proses polimerisasi suhu dijaga tetap selama 90 menit Mekanisme reaksi polimerisasi mengacu pada gambar 2. 4 (b) Reaksi Polimerisasi MES dengan *Ethyl Acrylate*

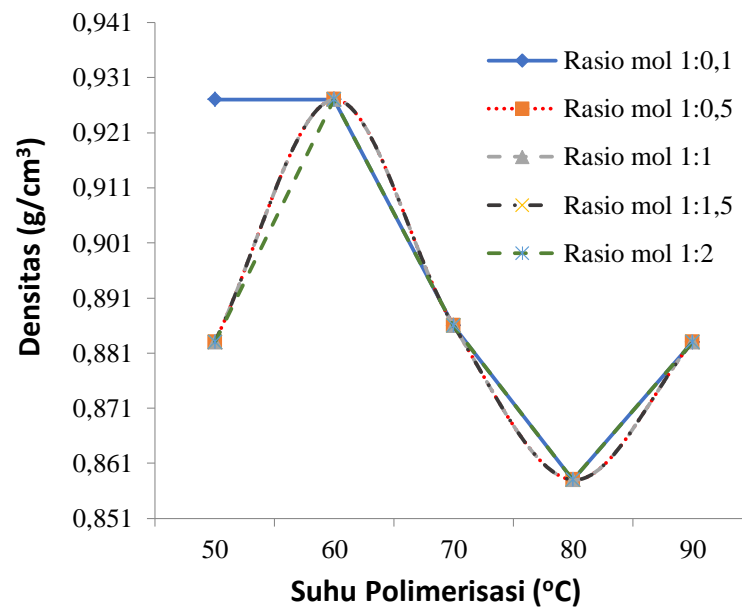
4.3 Karakteristik Polymeric Surfactant (PMES)

Hasil reaksi polimerisasi dipelajari dengan melihat karakterisasi PMES dengan dilakukan Uji Karakteristik yang terdiri dari Densitas, Viskositas, Uji perubahan gugus fungsi, yaitu FTIR (*Furier Transformation Infra Red*), dan HNMR (*H Nuclear Magnetic Resonance*). Dan Uji Kinerja PMES yaitu CMC (*Critical Micelle Concentration*), IFT (*Interfacial Tension*), sudut kontak (*Contact Angle*), dan Uji Kinerja PMES pada Sandpack Column.

4.3.1. Pengaruh Densitas PMES pada Suhu Polimerisasi

Uji densitas dilakukan untuk mengetahui massa jenis PMES yang telah terbentuk, dimana massa jenis ini juga berpengaruh terhadap kelarutan pada air garam dan minyak (Kesuma & Kasmungin, 2015). Pengaruh suhu reaksi terhadap densitas disajikan pada gambar 4.1 Pengaruh Suhu Polimerisasi dan Rasio Mol MES:EA

(*Ethyl Acrylate*) terhadap densitas selama 90 Menit, sebagai berikut.



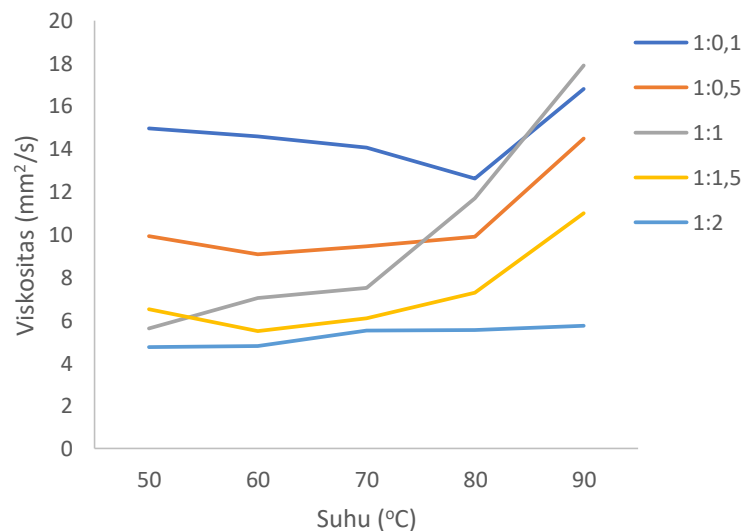
Gambar 4. 1 Pengaruh Suhu Polimerisasi dan Rasio Mol MES:EA (*Ethyl Acrylate*) Terhadap Densitas PMES

Berdasarkan Gambar 4.1, pada waktu polimerisasi selama 90 menit pada rasio mol 1:0.1 pada temperature 50°C sampai 60°C tidak mengalami perubahan densitas. Hal ini disebabkan karena sudah mencapai batas maksimum dari suhu polimerisasi 50°C sampai 60°C dan kemungkinan densitas pada rasio 1:0.1 merupakan densitas MES. Pada rasio mol 1:0.5 sampai 1:2 dengan temperature 50°C sebesar 0.883 gr/ml. Pada temperature 60°C dengan ke-4 rasio mol tersebut, mengalami kenaikan menjadi 0.927 g/mL. Kemudian mengalami penurunan drastis pada temperature 60-80°C sebanyak 7%. Dan mengalami kenaikan densitas pada temperature 90°C sebesar 3%.

Berdasarkan hasil analisis karakteristik *Polymeric Surfactant* PMES, penurunan temperatur maka densitas akan mengalami penurunan pula. Pada temperature 90°C mengalami kenaikan densitas, karena dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya dapat dipengaruhi oleh titik didih dari *Ethyl Acrylate* (EA) yang digunakan.

4.3.2. Pengaruh Viskositas pada Suhu Polimerisasi

Uji viskositas dilakukan untuk meningkatkan kualitas minyak mentah (*Crude Oil*) dengan menurunkan tegangan antar muka yang diakibatkan oleh peningkatan suhu reservoir (Mohammadian, 2010). Pengaruh PMES terhadap viskositas dengan suhu disajikan pada gambar 4.2, sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Pengaruh Suhu Polimerisasi MES:EA terhadap Viskositas

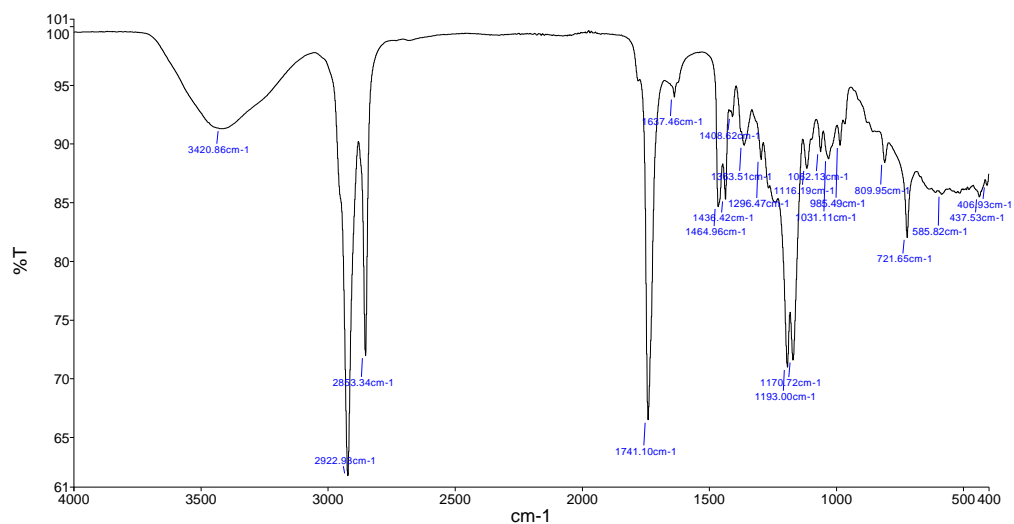
Berdasarkan gambar 4.2, pada waktu polimerisasi selama 90 menit dengan rasio mol 1:0.5 sampai 1:2 mengalami peningkatan dari suhu 50°C sampai 90°C. Pada rasio 1:0.1 pada suhu 50° C di dapat viskositas kinematik sangat besar yaitu 14.957 mm²/s dan mengalami penurunan sampai suhu 80°C yaitu 12.604 mm²/s. Tetapi pada suhu 90°C mengalami kenaikan, hal ini disebabkan partikel pada PMES mengalami saling berbenturan sehingga viskositas sangat besar dan juga ada zat yang terlarut pada PMES sehingga menghambat pergerakan zat pelarut. Pada rasio mol 1:0.5 mengalami peningkatan secara signifikan dan melonjak pada suhu 90 °C, pada suhu 50°C sampai 80°C dengan rasio mol 1:0.5 mendapatkan

nilai viskositas kinematik yang mendekati Nilai viskositas kinematika pada *Crude Oil* berdasarkan literature pada (Pertamina, 2014) sebesar $10.2 \text{ mm}^2/\text{s}$.

Berdasarkan hasil uji karakteristik PMES, pada rasio mol 1:0.1 sampai rasio mol 1:2 dengan suhu 90°C ini disebabkan partikel pada surfaktan mengalami saling berbenturan sehingga viskositas sangat besar dan juga ada zat yang terlarut pada surfaktan sehingga menghambat pergerakan zat pelarut. Menurut Jialing (Jialing, 2011), viskositas meningkat dengan meningkatnya suhu konsentrasi rasio mol dan berat molekul (BM), karena dengan meningkatnya suhu dan konsentrasi rasio mol ini disebabkan partikel pada surfaktan mengalami saling berbenturan sehingga viskositas sangat besar dan juga ada zat yang terlarut pada surfaktan sehingga menghambat pergerakan zat pelarut. Partikel memperoleh energi dari panas dengan naiknya suhu dan mengubah panas menjadi energi kinetik.

4.3.3. Analisa FTIR (Furier Transformation Infra Red)

Spektrum FTIR dari masing-masing ikatan yang dimiliki oleh senyawa organik dapat dilihat pada gambar 4.3, sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Spektrum FTIR PMES

Berdasarkan data gambar 4.3 Spektrum FTIR diatas dengan bilangan gelombang $1400-4000 \text{ cm}^{-1}$ yang berada di bagian kiri spektrum IR merupakan bilangan yang berguna untuk mengidentifikasi gugus-gugus fungsional. FTIR lebih sensitif dan lebih akurat dibandingkan dengan spektrum IR. FTIR dapat membedakan bentuk *cis* dan *trans*, ikatan rangkap yang terkonjugasi dan terisolasi pada spectrum IR

tidak dapat dibedakan.

Pengamatan awal pada uji FTIR yaitu asam karboksilat, alkohol, dan fenol(-OH) pada ikatan hidrogen dengan memperhatikan adanya serapan yang melebar secara khas pada bilangan gelombang 3200-3550 cm^{-1} . Berdasarkan gambar 4.3 spektrum FTIR terdapat serapan pada 3420.86 cm^{-1} , hal ini menunjukkan bahwa adanya gugus alkohol. Kemudian terdapat gugus alkana dengan memperhatikan adanya serapan yang meruncing tajam pada bilangan gelombang 3000-2840 cm^{-1} , sesuai dengan gambar 4.6 Spektrum FTIR terdapat serapan pada 2922.93 cm^{-1} dan 2853.34 cm^{-1} . Adanya serapan pada bilangan gelombang antara 1735-1750 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa terdapat gugus fungsi dari ester. Berdasarkan gambar 4.3 Spektrum FTIR terdapat serapan tajam pada 1741.10 cm^{-1} sehingga menunjukkan adanya senyawa $\text{OR}'\text{-C=O}$ pada daerah tersebut. Adanya serapan pada daerah antara 1600-1650 cm^{-1} menunjukkan bahwa terdapat gugus alkena. Berdasarkan gambar 4.6 Spektrum FTIR terdapat serapan pada daerah 1637.46 cm^{-1} yang berarti terdapat senyawa C=C pada spectrum FTIR tersebut. Selanjutnya terdapat kelompok senyawa sulfonat (S=O) pada bilangan gelombang 1415-1380 dan 1200-1185 cm^{-1} yaitu pada serapan spektrum 1464.96 cm^{-1} , 1436.42 cm^{-1} , 1408.62 cm^{-1} , 1363.51 cm^{-1} , 1296.21 cm^{-1} , 1193.00 cm^{-1} . Analisis gugus fungsi dengan FTIR disajikan pada tabel 4.1 dibawah ini:

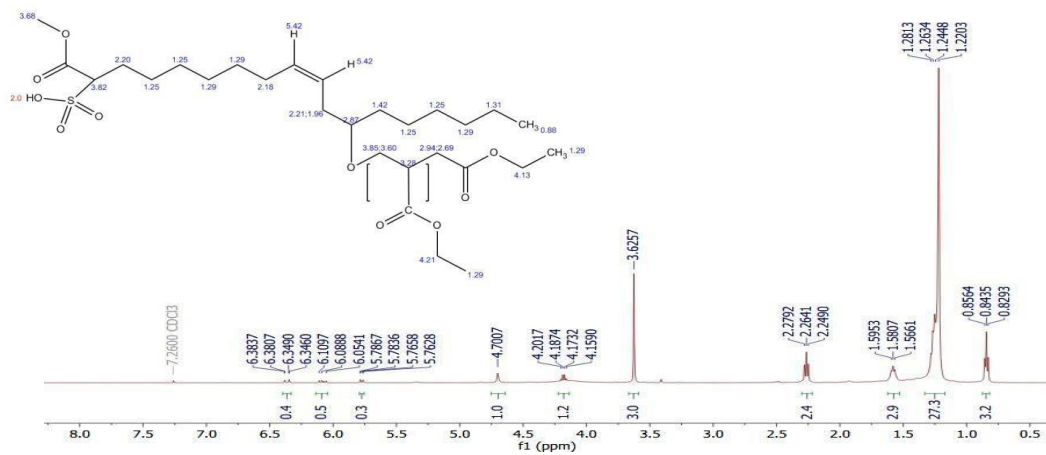
Tabel 4. 1 Bilangan Gelombang FTIR

No	Ikatan	Bilangan Gelombang Standar (cm^{-1})	Bilangan Gelombang Analisis (cm^{-1})
1.	Alkohol (-OH)	3.200 – 3550 cm^{-1}	3420.86 cm^{-1}
2.	Alkana (C-C)	3000-2840 cm^{-1}	2922.93 cm^{-1} dan 2853.34 cm^{-1}
3.	Ester ($\text{OR}'\text{-C=O}$)	1735-1750 cm^{-1}	1741.10 cm^{-1}
4.	Alkena (C=C)	1600-1650 cm^{-1}	1637.46 cm^{-1}
5.	Sulfonat (S=O)	1415-1380 cm^{-1} dan 1200-1185 cm^{-1}	1464.96 cm^{-1} , 1436.42 cm^{-1} , 1408.62 cm^{-1} , 1363.51 cm^{-1} , 1296.21 cm^{-1} , 1193.00 cm^{-1} .

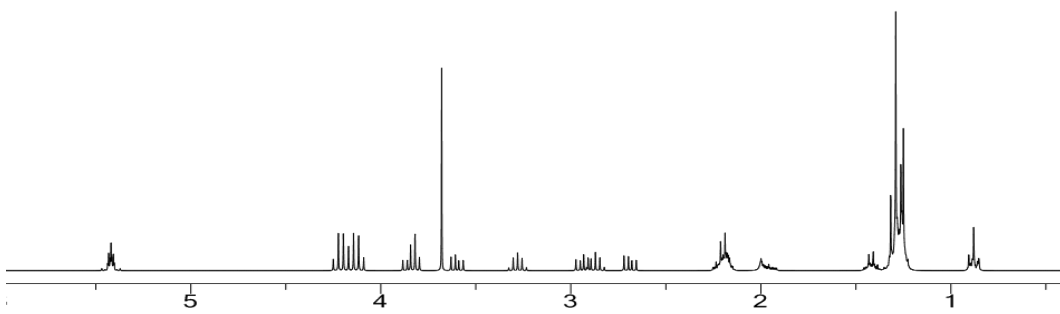
4.3.4. Analisa HNMR (H Nuclear Magnetic Resonance)

Menurut (Bharti & Roy, 2012) analisis HNMR (*H Nuclear Magnetic Resonance*)

memberikan banyak informasi mengenai intra resonansi molekuler dan antar-molekul. Dalam NMR yang diukur adalah perbedaan intensitas antara suatu jenis proton dengan intensitas resonansi proton senyawa pembanding. Spektrum HNMR menggunakan pelarut CDCl_3 disajikan pada gambar 4.4, sebagai berikut:



(a)



(b)

Gambar 4. 4 a) Spektrum HNMR dengan pelarut CDCl_3 (b) Spektrum HNMR Chemdraw

Menggunakan senyawa CDCl_3 sebagai pelaut agar diukur seberapa jauh pergeseran dari CDCl_3 dengan larutan yang dianalisa. Dalam resonansi karakteristik yang dikaitkan dengan struktur surfaktan polimer diamati Hasil analisis spektrum ^1H NMR mengindikasikan adanya satu sinyal besar proton

alkana (H_3) δH 0.8293 ppm dan mengalami pergeseran hingga δH 0.8546 ppm, satu sinyal panjang runcing proton alkana (H_2) δH 1.248 ppm dan mengalami pergeseran hingga δH 1.2813 ppm, satu sinyal kecil proton alkana (H) δH 1.5661 ppm. Adanya sinyal sulfonat ($-S=O$) pada dengan δH 3.625 ppm, tiga sinyal proton gugus eter δH 2.2490-2.2792 ppm, empat sinyal proton ester dengan δH 4.159-4.2017 ppm. Adanya gugus alkena pada δH 5.7628 ppm dan mengalami pergeseran hingga δH 6.3837 ppm.

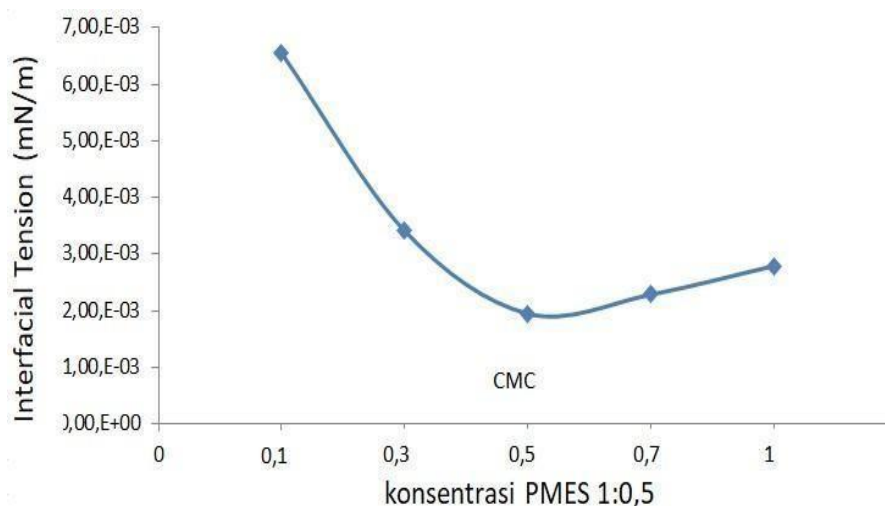
Dari hasil perbandingan antara analisa reaksi PMES dengan reaksi versi ChemDraw dari pengujian HNMR ini memiliki kesamaan antara sinyal proton H pada ChemDraw maupun pada hasil analisa HNMR PMES.

4.4. Uji Kinerja PMES

Hasil reaksi polimerisasi dipelajari dengan melihat PMES menyerap *Crude Oil* dengan dilakukan Uji Kinerja PMES yaitu CMC (*Critical Micelle Concentration*), IFT (*Interfacial Tension*), sudut kontak (*Contact Angle*), dan Uji Kinerja PMES pada Sandpack Column.

4.4.1. Uji Kinerja PMES Pengaruh konsentrasi PMES terhadap tegangan antarmuka

Analisis CMC (*Critical Micelle Concentration*) dilakukan dengan mengukur tegangan antar muka yang dipengaruhi oleh konsentrasinya (Lin, et al., 1999). Pengaruh PMES terhadap CMC (*Critical Micelle Concentration*) dengan Rasio Mol PMES 1:0.5 disajikan pada gambar 4.5, sebagai berikut:



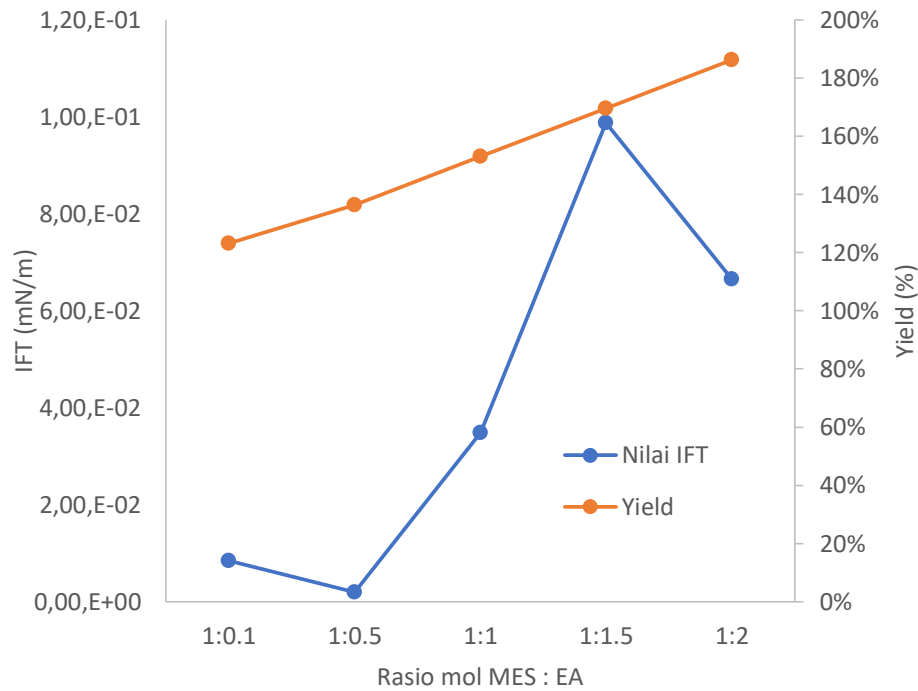
Gambar 4. 5 Pengaruh Rasio Mol MES:EA (*Ethyl Acrylate*) 1:0.5 terhadap nilai IFT (*Interfacial Tension*) dengan CMC (*Critical Micelle Concentration*)

Berdasarkan gambar 4.5, pada PMES dengan rasio mol 1:0.5 yang diencerkan menggunakan air formasi atau *brine formasi* dengan konsentrasi 0.1% sampai 1%. Pada rasio mol 1:0.5 dengan pengenceran 0.1% sampai 0.5 % mengalami penurunan pada nilai IFT sebesar 1.95×10^{-3} mN/m. Pada konsentrasi 1% mengalami kenaikan nilai IFT sebesar 2.79×10^{-3} mN/m.

Berdasarkan hasil uji CMC (*Critical Micelle Concentration*) PMES, nilai CMC ditandai dengan nilai IFT yang paling rendah. Semakin rendah Nilai CMC (*Critical Micelle Concentration*) pada surfaktan maka rantai hidrofobik pada PMES semakin panjang. Menurut (Mahmood & Al-Koofee, 2013) dalam larutan air *formasi*, molekul surfaktan dimulai untuk mengumpulkan dan membentuk misel dalam konsentrasi yang disebut *Critical Micelle Concentration* atau Konsentrasi Misel Kritis. Dengan meningkatnya suhu akan sangat mempengaruhi nilai CMC (*Critical Micelle Concentration*) yang didapatkan pada kondisi konsentrasi yang lebih rendah (Mahmood & Al-Koofee, 2013).

4.4.1 Uji Kinerja PMES pada (*Interfacial Tension*) IFT

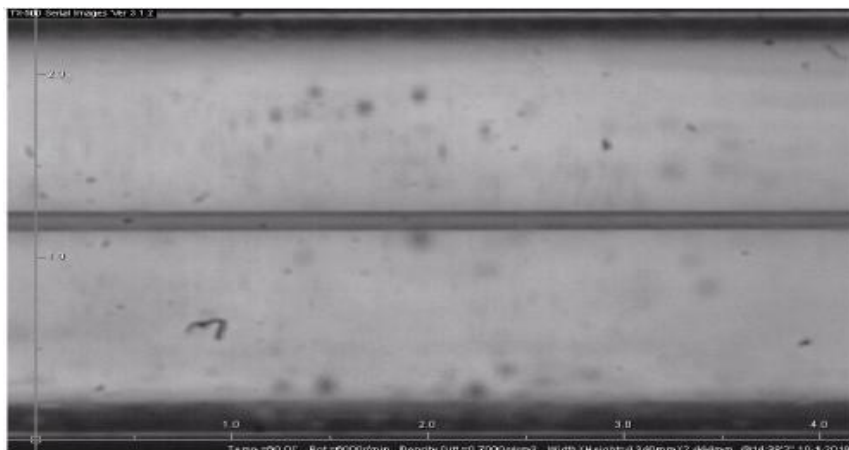
Analisa IFT (*Interfacial Tension*) atau tegangan antar muka disebabkan oleh adanya gaya tarik-menarik antar molekul di permukaan zat cair tersebut. Nilai tegangan antar muka harus lebih kecil dari 10^{-3} mN/m karena untuk meningkatkan produksi minyak pada bebatuan di dalam reservoir (Kumar, et al., 2016). Pengaruh PMES terhadap nilai IFT dengan CMC 0.5% disajikan pada gambar 4.6, sebagai berikut



Gambar 4. 6 Pengaruh Rasio Mol MES:EA terhadap Nilai IFT (*Interfacial Tension*) pada CMC (*Critical Micelle Concentration*) (0.5%) serta Yield

Berdasarkan gambar 4.6 a), pada uji IFT dengan CMC 0.5% mengalami penurunan pada rasio mol 1:0.5 dari 8.43×10^{-3} mN/m hingga 1.95×10^{-3} mN/m. Rasio mol 1:1.5 mengalami kenaikan nilai IFT secara drastis sebesar 9.88×10^{-2} mN/m.

Hasil yang diperoleh dalam *polymeric surfactant* (PMES) ini yaitu peningkatan secara tajam pada yield karena adanya peningkatan rasio mol dari 1:0.1 hingga 1:2. Menurut Gambar 4.6 rasio mol 1:0.1 hingga 1:2 yaitu 123wt% hingga 189wt%. Yield didapatkan dengan membandingkan massa PMES yang didapatkan dengan massa MES yang digunakan.

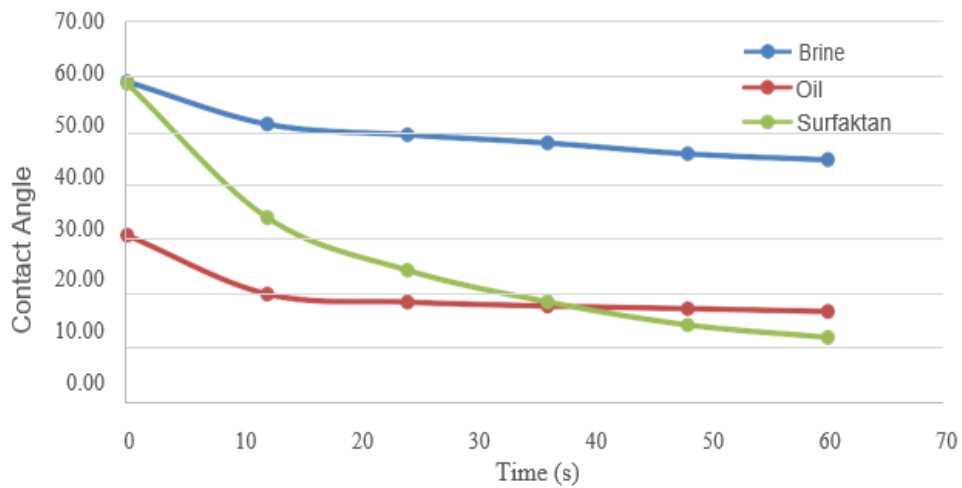


Gambar 4. 7 IFT (*Interfacial Tension*) Rasio Mol 1:0.5 pada CMC (*Critical Missel Concentration*) dan Suhu 60°C

Dari gambar 4.7 uji IFT tersebut didapatkan data yang mendekati 10^{-3} mN/m yaitu pada rasio mol 1:0.5 dengan nilai 1.95×10^{-3} mN/m. Sehingga memiliki kemungkinan bahwa PMES (*Polymeric Surfactant*) dapat mengikat minyak yang terdapat di dalam bebatuan reservoir lebih banyak. Semakin tinggi konsentrasi surfaktannya maka nilai tegangan permukaan atau IFT (*Interfacial Tension*) memiliki nilai yang lebih kecil (Kumar, et al., 2016). Tetapi dari data yang didapatkan semakin tinggi konsentrasi pada CMC, maka memiliki nilai yang lebih besar. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu tercampurnya minyak dengan surfaktan sehingga menghasilkan nilai IFT yang kurang baik. Menurut (Campbell, et al., 2009), formulasi surfaktan untuk meningkatkan kembali perolehan minyak dan yang lebih khusus lagi untuk meningkatkan proses *alkali surfactant flooding* yang menghasilkan tegangan antar muka lebih rendah.

4.4.2. Analisa sudut kontak (*Contact Angle*)

Pengukuran sudut kontak adalah tes tambahan yang paling penting untuk studi perubahan keterbatasan. Sudut kontak antara permukaan kuarsa dan minyak mentah diukur dengan cairan yang tidak larut seperti sintesis surfaktan dan larutan *polymeric surfactant* (Babu, et al., 2015). Dalam pengujian *contact angle* perlu dilakukan untuk mengukur pembasahan sifat permukaan padat sehubungan dengan dua cairan tak bercampur (Shedid & Ghannam, 2004). Perbandingan antara brine formasi, oil, dan surfaktan terhadap waktu pada sudut kontak disajikan pada gambar 4.8, sebagai berikut:

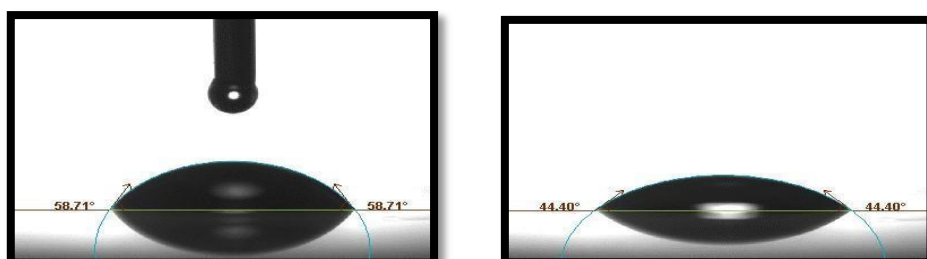


Gambar 4. 8 Perbandingan Brine, Oil, dan Surfaktan pada Contact Angle Terhadap Waktu

Berdasarkan Gambar 4.8 pada titik awal didapatkan nilai brine atau air formasi dan surfaktan berada dititik yang tidak jauh berbeda yaitu 58.71° dan 58.44° . Penurunan secara signifikan pada brine, oil, dan surfaktan hingga mencapai titik konstan. Penurunan nilai sudut kontak pada brine atau air formasi dari 0 hingga 60 detik yaitu sebesar 58.71° sampai 44.40° dan dapat dilihat pada gambar 4.10. Selanjutnya penurunan nilai sudut kontak pada oil dari 0 hingga 60 detik yaitu sebesar 30.59° sampai 16.56° dan dapat dilihat pada Gambar

4.11. Kemudian penurunan nilai sudut kontak pada surfaktan dari 0 hingga 60 detik yaitu sebesar 58.44° sampai 11.79° dan dapat dilihat pada Gambar 4.12

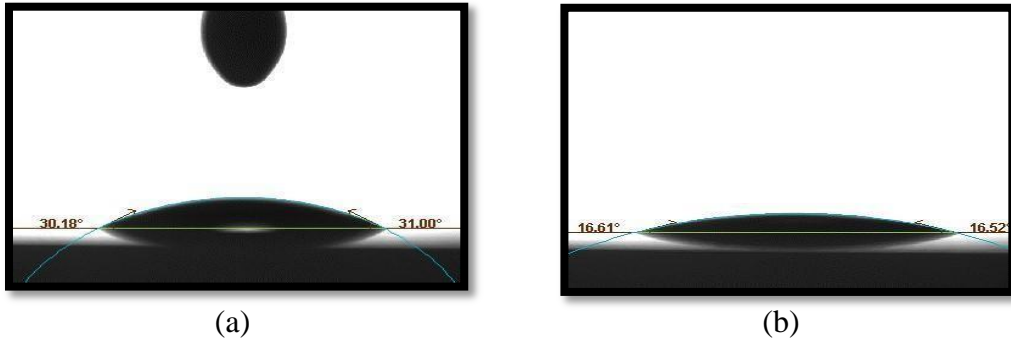
Pengurangan sudut kontak ini dapat dikaitkan dengan efek garam pada tegangan antarmuka antara minyak mentah fase oil-aqueous. Kehadiran garam di fase aqueous memiliki kemampuan yang kuat untuk meningkatkan akumulasi spesies permukaan-aktif (Shedid & Ghannam, 2004).



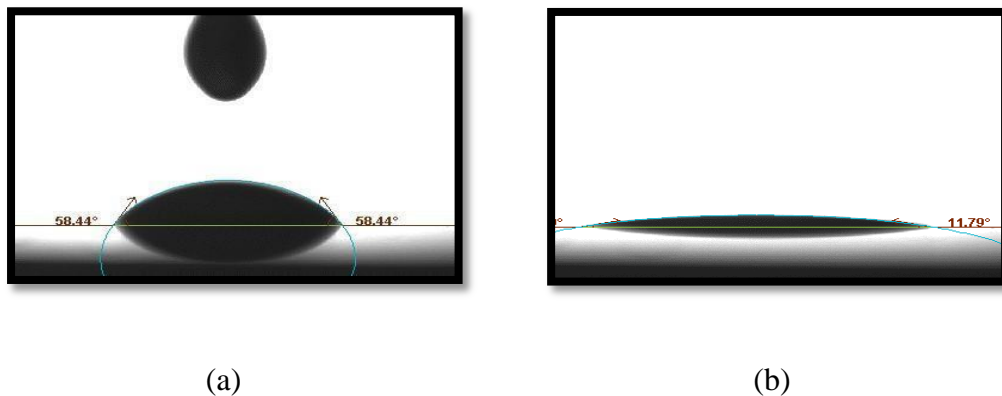
(a)

(b)

Gambar 4. 9 *Contact Angle* Brine atau Air Formasi (a) pada waktu 0 detik dan (b) pada waktu 60 detik



Gambar 4. 10 *Contact Angle* Oil a) Pada Waktu 0 detik dan b) Pada Waktu 60 detik



Gambar 4. 11 *Contact Angle* Surfaktan a) Pada Waktu 0 detik dan b) Pada Waktu 60 detik

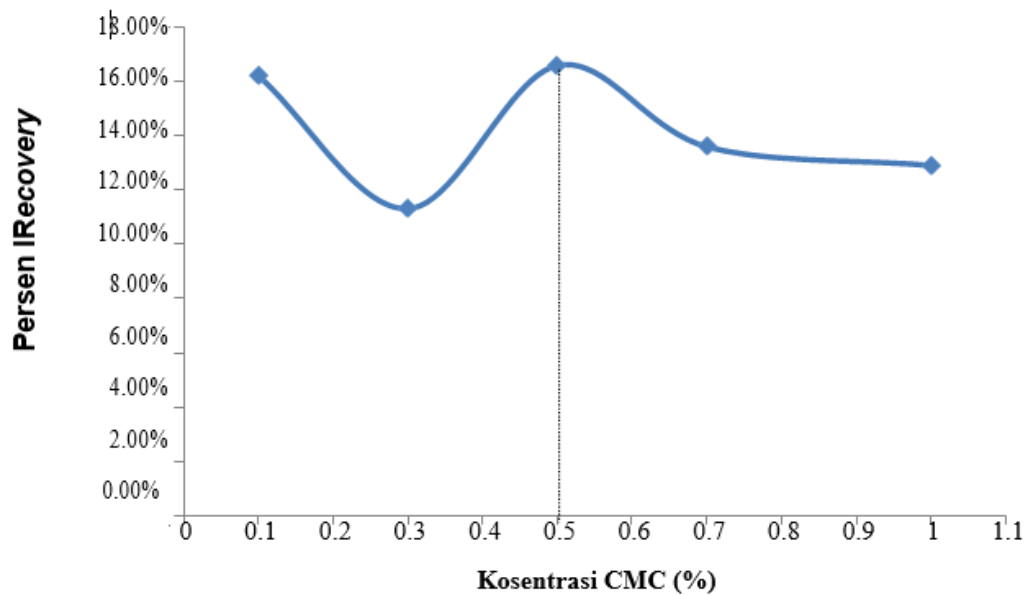
Berdasarkan Gambar 4.9, 4.10 dan 4.11 mengalami penurunan surfaktan hingga nilai sudut kontak nya menjadi stabil, menunjukan bahwa nilai sudut kontak yang didapatkan lebih kecil daripada nilai *oilnya*. Nilai *contact angle* surfaktan harus lebih kecil daripada nilai *oilnya*, hal ini disebabkan oleh surfaktan memiliki tegangan antarmuka yang mendekati air brain formasi sehingga mengakibatkan tidak dapat diserap oleh surfaktan saling berikatan dan minyak . Menurut (Babu, et al., 2015), permukaan kaca hidrofilik ditutupi oleh bagian hidrofobik (larut pada minyak) dan hidrofilik (larut pada air) dari molekul surfaktan polimer sebagai sudut kontak tidak melebihi 22°.Sudut kontak awal PMES mendekati

dengan brine atau air formasi dengan sudut yang melebihi 50° . Hal ini disebabkan karena sifat larutan PMES yang kental mendekati brinenya atau air formasinya.

Jika dibandingkan dengan hasil penelitian oleh (Babu, et al., 2015) sudut kontak PMES yang didapatkan kurang dari 10° , yaitu sebesar 8° . Dan pada sudut kontak PMES *Ethyl Acrylate* (EA) sebesar 11.79° . Hal ini disebabkan adanya perubahan pada surfaktan yang diteteskan pada kuarsa dengan suhu reservoir sehingga PMES untuk permukaan *oil-wet* menjadi *water-wet* sehingga ditemukan hampir mendekati 10° . Sudut kontak antara surfaktan yang disintesis, dan kuarsa permukaan diukur menggunakan goniometer sudut kontak pada suhu reservoirnya (Babu, et al., 2015).

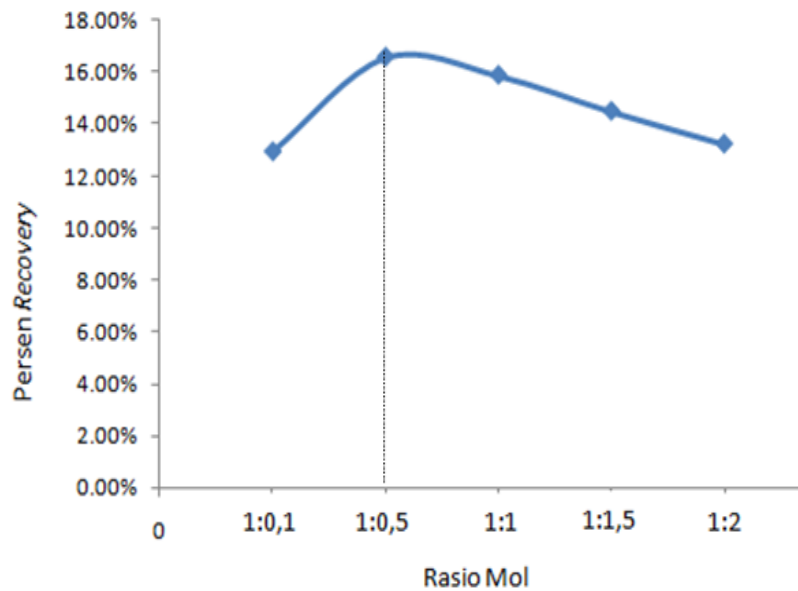
4.4.3. Uji Kinerja PMES pada Sandpack Column

Menurut (Babu, et al., 2015), tegangan antar muka dan sudut kontak adalah parameter penting khusus untuk mengidentifikasi yang tepat bahan kimia untuk pemulihan minyak dalam metode tersier. Untuk mengetahui persen minyak yang dapat menyerap dengan menggunakan PMES, yaitu:



Gambar 4. 12 Persen *Recovery* Berdasarkan Konsentrasi CMC dengan Menggunakan PMES 1:0.5

Berdasarkan Gambar 4.12, persentase minyak yang dapat diambil menggunakan sandpack column pada konsentrasi CMC 0.1% dan 0.5% memiliki hasil hampir sama yaitu 16.20wt% dan 16.57wt%. Kemudian konsentrasi CMC dari 0.7% hingga 1% terjadi penurunan secara bertahap mulai dari 13.58wt% hingga 12.89wt%. Oleh karena itu, didapatkan hasil persen recovery yang lebih besar yaitu pada konsentrasi CMC 0.5% sebesar 16.57wt%. Semakin tinggi konsentrasinya maka sedikit minyak yang dapat diambil pada sumur minyak.



Gambar 4. 13 Persen *Recovery* Berdasarkan Rasio Mol MES:EA dengan Konsentrasi CMC 0.5%

Berdasarkan gambar 4 13, persen *recovery* secara bertahap pada rasio mol 1:0.5 hingga 1:2 yaitu sebesar 16.57wt% sampai 13.23wt%. Pada rasio mol 1:0.1 dan rasio mol 1:0.5 mengalami kenaikan persen *recovery* dari 12.93wt% sampai 16.57wt%. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa rasio mol 1:0.5 dapat mengikat *crude oil* lebih banyak dibandingkan dengan rasio mol yang lainnya. Menurut (Kumar, et al., 2016) persen *Recovery* atau Persen Flooding mengalami peningkatan yaitu 2.59wt% dari 5-8 g/L didapat dari 25.19wt% sampai 27.78wt% hal ini dipengaruhi oleh konsentrasi surfaktan. Semakin besarnya nilai konsentrasi surfaktan maka semakin besar minyak yang dapat mengikat dengan *crude oil* nya. Namun pada hasil rasio mol 1:1 sampai 1:2 mengalami penurunan disebabkan surfaktan telah bercampur dengan *air brain formasi*, sehingga tidak dapat mengikat surfaktan pada minyak.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian diatas, dapat ditarik kesimpulan yaitu: Nilai dari *Critical Micelle Concentration* (CMC) ditandai dengan nilai IFT yang didapatkan dari pengujian CMC, IFT, *persen Recovery* dan *Yield*. Nilai CMC pada rasio mol MES:EA 1:0.5 dengan konsentrasi CMC 0.5% didapatkan nilai IFT sebesar 1.95×10^{-3} mN/m. Nilai persen *recovery* menggunakan Sandpack Column pada rasio mol MES:EA 1:0.5 dengan konsentrasi PMES 0.5% sebesar 16.57wt%. Nilai Yield yang didapatkan pada Rasio Mol MES: EA 1:0.5 adalah 136%wt.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

- a. Metil Ester dilakukan pengujian Spe GCMS dan pengujian HNMR
- b. Pada Metil Ester Sulfonat (MES) dilakukan pengujian Spectrofotometri GCMS, FTIR dan HNMR
- c. Dilakukan pengujian Aquous (Pencampuran Air Formasi dengan PMES) dan di diamkan selama beberapa menit, agar mengetahui PMES bercampur dengan Air Formasi atau tidak untuk aplikasi pengambilan minyak di dalam tanah. Jika pengujian Aquous berhasil, maka bisa dilanjutkan pengujian *Critical Micelle Concentration* (CMC), IFT dan Sudut Kontak

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, T. & Agustinus, R., 2017. *Dictio*. [Online] Available at: <https://www.dictio.id/t/apakah-yang-dimaksud-dengan-surfactan-surfactant/5044> [Accessed 22 Maret 2019].
- Babu, K. et al., 2015. Studies on Interfacial Tension and Contact Angle of Synthesized Surfactant and Polymeric from Castor Oil for Enhanced Oil Recovery. *Applied Surface Science*.
- Bernardini, E., 1983. *Vegetable Oils and Fats Processing*. II ed. Roma: Interstampa.
- Bharti, S. K. & Roy, R., 2012. Quantitative ¹H NMR spectroscopy. *Trends in Analytical Chemistry*, Volume 35, pp. 5-26.
- BPPT, 2018. *INDONESIA ENERGY OUTLOOK 2018*. Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE).
- Campbell, C. B. et al., 2009. Enhanced Oil Recovery Surfactant Formulation And Method Of Making The Same. *US Patent*, 30 April. Volume US 2009/0111717 A1.
- Caneba, G., 2010. Multifunctional multipolymeric surfactants for oil and bitumen recovery and other applications. *US Patent*, Issue US 7691 260 B2.
- Chilingarian, G. V. & Donaldson, E. C., 1985. Enhanced Oil Recovery, I : Fundamentals and Analyses. In: G. V. Chilingarian & E. C. Donaldson, eds. New York: Elsevier Science Publishers B.V., p. 1.
- Farn, R. J. ed., 2006. *Chemistry and Technology of Surfactants*. 1 ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd.
- Green, D. W. & Willhite, G. P., 2017. Enhanced Oil Recovery Second Edition. p. 17.
- Jialing, Z., 2011. *education.com Science project : Viscosity, Surface Tension and Temperature*. [Online] Available at: <https://www.education.com/science-fair/article/viscosity-surface-tension-temperature/> [Accessed 5 January 2020].
- Khaled Abdalla Elraies & Tan, I. M., 2012. The Application of a New Polymeric Surfactant for Chemical EOR. In: L. Romero-Zerón, ed. *Introduction to Enhanced Oil Recovery (EOR) Processes and Bioremediation of Oil-Contaminated Sites*. Rijeka: InTech.
- Kumar, S., Saxena, N. & Mandal., A., 2016. Synthesis and evaluation of physicochemical properties of anionic polymeric surfactant derived from Jatropha

oil for application in enhanced oil recovery. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 43, p. 106–116.

Lin, S.-Y. et al., 1999. A Study of the Equilibrium Surface Tension and the Critical Micelle Concentration of Mixed Surfactant Solutions. *Langmuir*, 15(13), pp. 4370-4376.

Mahmood, M. E. & Al-Koofee, D. A. F., 2013. Effect of Temperature Changes on Critical Micelle Concentration for Tween Series Surfactant. *Global Journal of Science Frontier Research*, 13(4), pp. 1-8.

Mohammadian, E., 2010. *A project report submitted in partial fulfillment of the requirements for the award of the Degree of Master of Engineering (Petroleum) : ULTRASONIC ASSISTED WATER FLOODING*. Malaysia: Faculty of Petroleum And Renewable Energy Engineering (FPREE) Universiti Teknologi Malaysia.

Pertamina, 2014. Crude Assay Pertamina. *Crude Assay Pertamina*, pp. 1-3.

Putra, R. A., Ismayanti, R. & Wibowo, A. D. K., 2017. Sintesis Metil Ester Sulfonat Melalui Sulfonasi Metil Ester Minyak Kedelai Untuk Aplikasi Chemical Flooding. *Jurnal Sains Materi Indonesia (JUSAMI)*, 19(2), pp. 77-82.

Shedid, S. A. & Ghannam, M. T., 2004. Factors affecting contact-angle measurement of reservoir rocks. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Issue 44, pp. 193-203.

Sheng, J. J., 2011. *Modern Chemical Enhanced Oil Recovery: Theory and Practice*. Burlington, USA: Elsevier Inc.

Supriningsih, D., 2010. *Pembuatan Metil Ester Sulfonat (MES) sebagai Surfaktan untuk Enhanced Oil Recovery (EOR)*, Depok: FMIPA UI.

Susila Arita, I. A. Y. F., 2008. Produksi Biodisel Dari Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Reaksi 2 Tahap. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(4).

Teledyne Isco, I., 2007. *arcsciences*. [Online] Available at: http://www.arcsciences.com/media/15551/san7_enhanced_oil_recovery.pdf [Accessed 29 Oktober 2018].

Watkins, C., 2001. All Eyes Are On Texas. Volume 12, pp. 1152-1159.

LAMPIRAN

a. Proses Pembuatan MES



(a)

(b)



(c)

(c)

Gambar L. 1. Proses Pembuatan MES (a) Proses Sulfonasi (b) Proses Pemurnian dengan Metanol 40% dan Proses Penetralan dengan NaOH (c) Pemisahan dengan Corong Pisah

b. Proses Pembuatan PMES



Gambar L. 2. Proses Polimerisasi

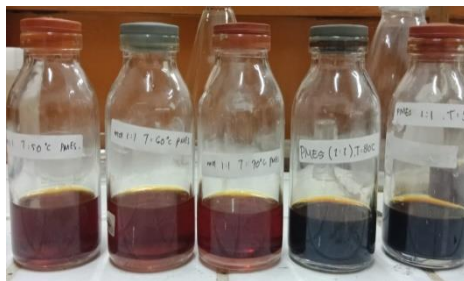
c. PMES berdasarkan Rasio Mol



(a)



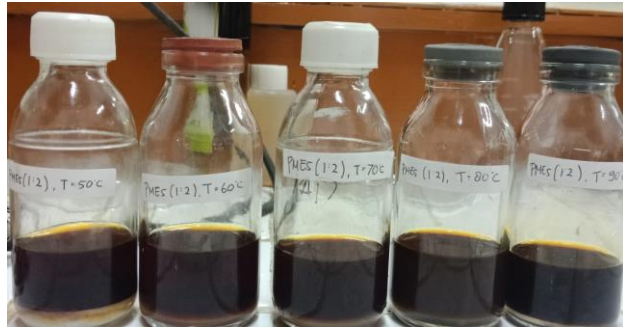
(b)



(c)



(d)



(e)

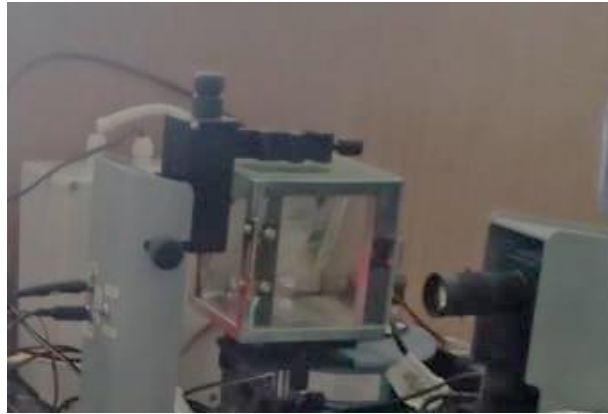
Gambar L. 3. Sample PMES Berdasarkan (a) Rasio Mol 1:0.1 (b) Rasio Mol 1:0.5 (c) Rasio Mol 1:1 (d) Rasio Mol 1:1.5 (e) Rasio Mol 1:2

d. *Alat Interfacial Tension (IFT)*



Gambar L. 4. Alat Untuk Pengukuran Nilai IFT (*Interfacial Tension*)

e. Alat Untuk *Contact Angle*



Gambar L. 5 Rangkaian Alat *Contact Angle*

f. Alat Untuk Pengukuran Persen Recovery



Gambar L. 6. Rangkaian Alat Sandpack Column