



UNIVERSITAS INDONESIA

**FORMULASI SURFAKTAN
UNTUK *SCREENING* AWAL *CHEMICAL FLOODING*
PADA EOR (*ENHANCED OIL RECOVERY*)**

SKRIPSI

**IKHA NOVITA MA'WA SUKRIYA
0806367935**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JANUARI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**FORMULASI SURFAKTAN
UNTUK *SCREENING* AWAL *CHEMICAL FLOODING*
PADA EOR (*ENHANCED OIL RECOVERY*)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik

**IKHA NOVITA MA'WA SUKRIYA
0806367935**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JANUARI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Ikha Novita Ma'wa Sukriya

NPM : 0806367935

Tanda Tangan :

Tanggal : 11 Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ikha Novita Ma'wa Sukriya
NPM : 0806367935
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia
Judul Skripsi : Formulasi Surfaktan untuk *Screening Awal*
Chemical Flooding pada *Enhanced Oil Recovery i*
(EOR)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Ekstensi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Dewi Tristantini MT. PhD ()
Hestuti Eni, ST ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. M. Nasikin ()
Penguji : Ir. Setiadi, M, Eng ()
Penguji : Ir. Dianursanti, MT ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Januari 2011

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim,

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan laporan skripsi ini. Penulisan laporan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan laporan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan laporan skripsi ini, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Dewi Tristantini, MT., PhD. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA selaku ketua Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
3. Ir. Letty BrioleTTY, MT, selaku Kepala Kelompok Peningkatan Pengurusan, KPRT Eksploitasi PPPTMGB “LEMIGAS”.
4. Hestuti Eni, ST selaku pembimbing lapangan penulis.
5. Orang tua dan keluarga saya, terutama Mas Dani Sotanto yang telah memberikan dukungan materil dan moral, serta
6. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Januari 2011

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ikha Novita Ma'wa Sukriya
NPM : 0806367935
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia
Departemen : Fakultas Teknik
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:
Formulasi Surfaktan untuk *Screening* Awal *Chemical Flooding* pada *Enhanced Oil Recovery* (EOR)

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di :
Pada Tanggal : 11 Januari 2011
Yang menyatakan

(Ikha Novita Ma'wa Sukriya)

ABSTRAK

Nama : Ikha Novita Ma'wa Sukriya
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia
Judul : Formulasi Surfaktan untuk *Screening* Awal *Chemical Flooding* pada *Enhanced Oil Recovery* (EOR)

Dalam rangka menanggulangi turunnya produksi minyak bumi, telah dikembangkan teknologi *Enhanced Oil Recovery* (EOR) yaitu pengurasan tahap lanjut pada sumur minyak tua. Salah satu teknologi EOR yaitu injeksi kimia yang dapat berupa surfaktan, alkali-surfaktan, alkali-surfaktan-polimer. Penggunaan surfaktan ini dimaksudkan untuk menurunkan tegangan antar-muka (*interfacial tension*=IFT) antara minyak dan air sehingga mampu membawa minyak keluar dari pori-pori batuan *reservoir*. Surfaktan untuk EOR harus memenuhi kriteria parameter *screening test* yaitu *compatibility test* dan pengukuran IFT. Pada penelitian ini *reservoir* yang dituju adalah lapangan Rantau. Surfaktan diperoleh dengan memformulasikan 25% w/w Metil Ester Sulfonat (MES), 25% w/w Surfaktan Tween dan 50% w/w berbagai pelarut (EGBE, Etanol dan EGBE-Etanol). Alkali (Na_2CO_3) yang ditambahkan dalam larutan surfaktan bertujuan untuk menurunkan nilai IFT. Proses formulasi dilakukan tanpa dan dengan pemanasan 40°C . Hasil formulasi surfaktan terbaik dalam penelitian ini adalah 25% MES, 25% Surfaktan Tween dan 50% EGBE yang memenuhi kriteria *compatibility* meskipun nilai IFTnya belum tercapai. Formula surfaktan ini dilarutkan dalam *brine water* dengan konsentrasi 0,1%; 0,5%; 1% dan 2%. Hasil *screening test* terbaik adalah pada konsentrasi 0,1% yaitu nilai IFT mencapai 10^{-2} dyne/cm.

Kata kunci:
Surfaktan, formulasi, IFT

ABSTRACT

Nama : Ikha Novita Ma'wa Sukriya
Study Program : Ekstensi Teknik Ki
Tittle : An Initial Screening Test of Surfactant Formulation for
Chemical Flooding in Enhanced Oil Recovery i (EOR)

In order to overcome the decline of crude oil production, it has been developed Enhanced Oil Recovery (EOR) technolog, that is an recovery of depletion of old oil wells. EOR technology is one of the chemical injection which may be a surfactant, an alkaline-surfactant, alkali-surfactant-polymer. The use of surfactant is intended to reduce the interface tension (interfacial tension = IFT) between oil and water so it makes the oil out from the pores of reservoir rock. Surfactants for EOR must fulfil the criteria for a screening test parameters, there are compatibility and IFT test. In this study, the target reservoir is Rantau field. Surfactant obtained by formulating 25% w/w Methyl Ester Sulfonate (MES), 25% w/w surfactant Tween 80 and 50% w/w various solvents (EGBE, EGBE-Ethanol and Ethanol). Alkaline (Na_2CO_3) was added to the surfactant solution aims to reduce the value of IFT. Formulation process carried out without and with heating 40°C . The best surfactant formulation results in this study is 25% MES, 25% Tween 80 and 50% EGBE that accomplish the criteria of compatibility, even though IFT value has not been reached. Formula surfactant is dissolved in the brine water with a concentration of 0.1%, 0.5%, 1% and 2%. The best results screening test at a concentration of 0.1% when the value of IFT reached 10^{-2} dyne / cm.

Key words:
Surfactant, formulation, IFT

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Enhanced Oil Recovery (Peningkatan Produksi Minyak)	6
2.2. Surfaktan	8
2.2.1. Struktur Surfaktan dan Stabilitas Emulsi	12
2.2.2. Surfaktan dalam Industri Perminyakan	13
2.2.4. <i>Screening test</i> Surfaktan Sebelum Proses Injeksi Kimia	16
2.3. Metil Ester Sulfonat (MES)	17
2.4. Tween 80	18

2.5. Formulasi Surfaktan	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. Tahapan Penelitian	23
3.2. Metode Penelitian	24
3.2.1. Bahan dan Alat	24
3.2.2. Prosedur Penelitian	25
3.2.3. Variabel Penelitian	28
3.3. <i>Screening Test</i> Hasil Formulasi Surfaktan	29
3.3.1 <i>Compatibility Test</i>	29
3.3.2. Pengukuran Nilai IFT	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. <i>Screening Test</i> Bahan Baku	31
4.1.1. Metil Ester Sulfonat NSB45	31
4.1.2. Tween 80	34
4.2. Formulasi Surfaktan	36
4.2.1. Pengaruh Pemanasan Terhadap <i>Compatibility</i> dan Nilai IFT	36
4.2.2. Pengaruh Pelarut Terhadap <i>Compatibility</i> dan Nilai IFT	40
4.2.3. Pengaruh Alkali Terhadap Nilai IFT	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	45
DAFTAR REFERENSI	46
LAMPIRAN	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Produksi Minyak Bumi per Tahun (Barrel) – Produksi, Konsumsi, Ekspor, Impor (www. dtwh.esdm.go.id)	1
Gambar 2.1 Metode Injeksi EOR	8
Gambar 2.2. Molekul Surfaktan	9
Gambar 2.3. Bentuk Misel.....	10
Gambar 2.4. Grafik <i>Capillary Number Vs Oil Recovery</i> [Morrow, 1992].	15
Gambar 2.5. Lebar drop minyak pada pengukuran IFT	16
Gambar 2.6. Struktur kimia metil ester sulfonat.....	18
Gambar 2.7. Struktur Kimia Tween 80	19
Gambar 2.8. Surfaktan Primer	20
Gambar 2.9 Interaksi alkali dan minyak.....	22
Gambar 3.1 Diagram alir percobaan	24
Gambar 3.2. Diagram alir pembuatan MES NSB45.....	26
Gambar 3.3. Proses Pembuatan MES NSB45	26
Gambar 3.4. Proses Formulasi Surfaktan	27
Gambar 3.5. Alat <i>Spinning Drop Interfacial Tensiometer</i>	30
Gambar 4.1. Produk MES NSB45	32
Gambar 4.2. Larutan Surfaktan Tween 80	32
Gambar 4.3. Contoh lebar drop MES NSB45 Konsentrasi 0.5%	34
Gambar 4.4. Larutan Surfaktan Tween 80	35
Gambar 4.5. Produk Formulasi Surfaktan Dengan Pemanasan	37
Gambar 4.6. Pengaruh Pemanasan Terhadap Nilai IFT pada Formulasi Surfaktan Tween 80, MES NSB45, EGBE (F11).	39
Gambar 4.7. Pengaruh Pemanasan Terhadap Nilai IFT pada Formulasi Surfaktan Tween 80, MES NSB45, Etanol (F12)	39
Gambar 4.8. Pemanasan Terhadap Nilai IFT pada Formulasi Surfaktan Tween 80, MES NSB45, Etanol (F13)	40
Gambar 4.9. Pengaruh Pelarut Terhadap Nilai IFT pada Proses Tanpa Pemanasan	42

Gambar 4.10. Pengaruh Pelarut Terhadap Nilai IFT pada Proses Dengan Pemanasan 40°C	42
Gambar 4.11. Pengaruh Alkali terhadap Formulasi Surfaktan	44

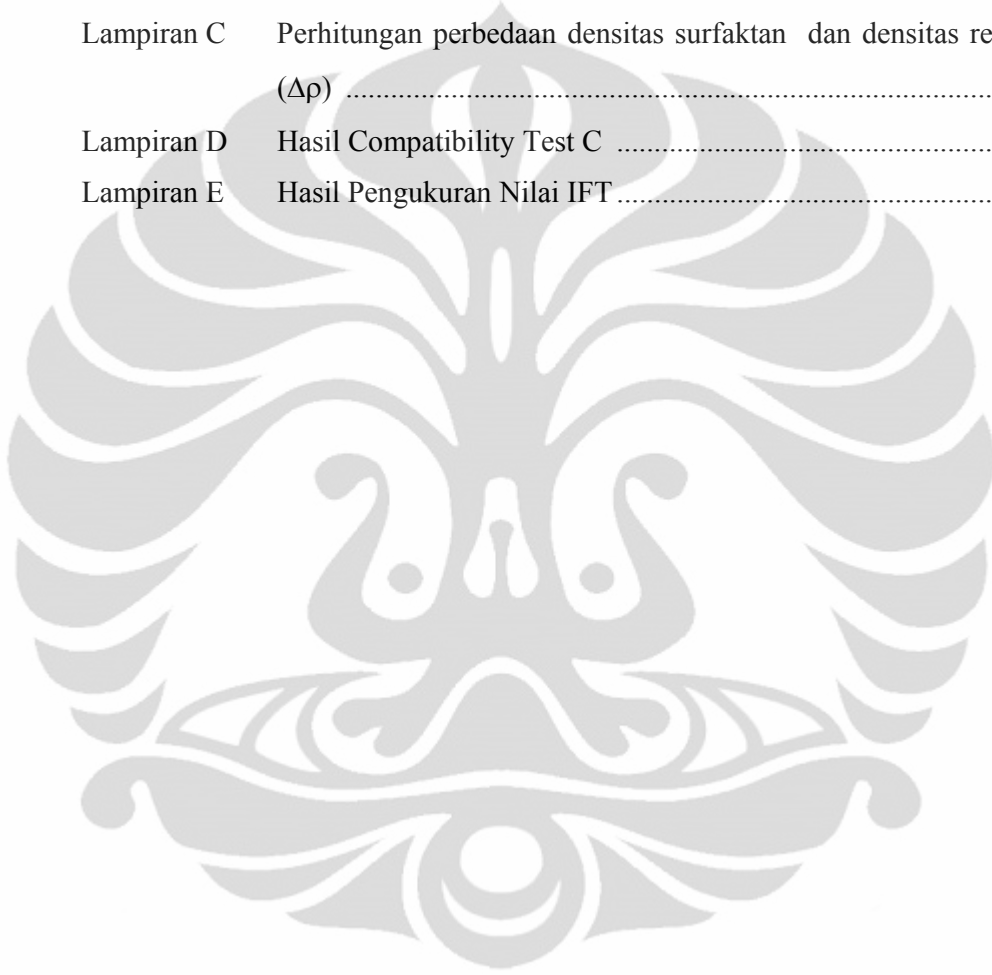


DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Grup hidrofilik pada surfaktan komersial	11
Tabel 2.2 Nilai HLB dan Aplikasinya	13
Tabel 3.1. Susunan Formulasi Surfaktan	28
Tabel 4.1. Sifat Fisika dan Kimia Minyak Rantau.....	31
Tabel 4.2. Hasil Compatibility Test Surfaktan MES NSB45.....	33
Tabel 4.3. Nilai IFT MES NSB45	33
Tabel 4.4. Hasil Compatibility Test Surfaktan Tween 8	35
Tabel 4.5. Nilai IFT Surfaktan Tween 80	35
Tabel 4.6. Hasil Pengukuran Nilai IFT reaktan	38
Tabel 4.7. Hasil pengamatan compatibility	41
Tabel 4.8. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formulasi Surfaktan dengan Alkali	43

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A	Perhitungan NaHSO_3 pada pembuatan MES 49
Lampiran B	Perhitungan konsentrasi surfaktan dan penambahan Alkali .. 50
Lampiran C	Perhitungan perbedaan densitas surfaktan dan densitas reservoir ($\Delta\rho$) 51
Lampiran D	Hasil Compatibility Test C 54
Lampiran E	Hasil Pengukuran Nilai IFT 58

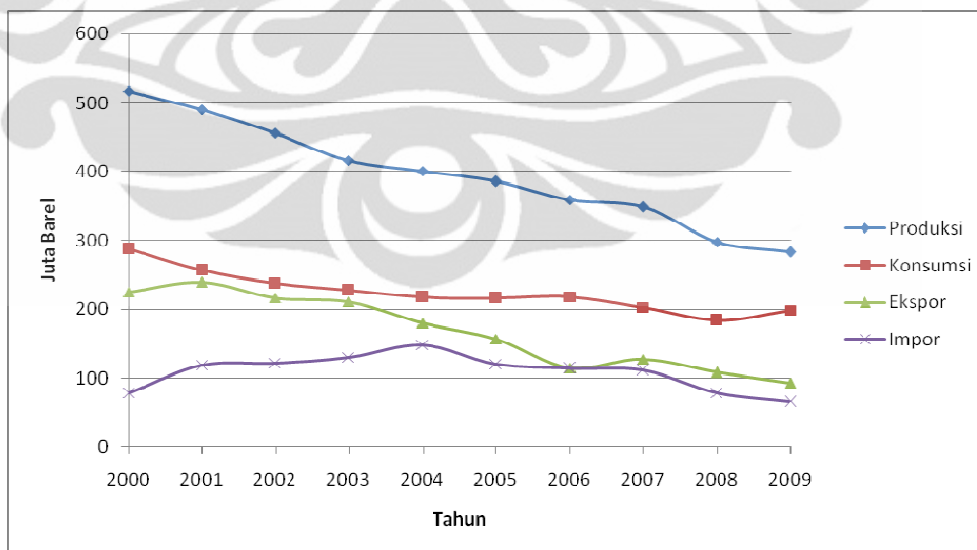


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tahun ini produksi minyak mengalami penurunan, sedangkan konsumsi minyak selalu mengalami kenaikan. Menurut Pusat Data Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, bahwa sejak tahun 2000 hingga saat ini produksi minyak bumi di Indonesia terus mengalami penurunan, yaitu dari 517.415.696 barrel pada tahun 2000 menjadi 283.315.682 barel pada tahun 2009 atau sekitar 1,4 juta barel/hari menjadi 1 juta barel/hari. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut yang menunjukkan Produksi Minyak Bumi per Tahun (Barrel) – Produksi, Konsumsi, Ekspor, Impor dari Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Republik Indonesia (Pusdatin Energi dan Sumber Daya Mineral, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral).



Gambar 1.1. Produksi Minyak Bumi per Tahun (Barrel) – Produksi, Konsumsi, Ekspor, Impor

Sumber: <http://www.dtw.esdm.go.id>

Turunnya produksi minyak bumi Indonesia disebabkan oleh penurunan jumlah cadangan minyak yang ditemukan, kurang-mampuan pemerintah secara finansial untuk mengembangkan lapangan baru, kurang tersedianya teknologi yang diperlukan untuk mengembangkan lapangan, serta sumber daya manusia (SDM) yang mengembangkan dan mengelola lapangan minyak yang belum memadai.

Untuk menanggulangi turunnya produksi minyak bumi, beberapa tahun terakhir telah dikembangkan teknologi pengurasan tahap lanjut (EOR) pada sumur minyak tua yang masih mempunyai sisa minyak cukup banyak di dalam reservoir. 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 Selatan 100 unit [<http://www.antaraneews.com>].

Salah satu dari beberapa teknologi EOR yaitu *chemical flooding* (injeksi kimia) dengan menggunakan surfaktan, alkali-surfaktan atau alkali-surfaktan-polimer. Penggunaan surfaktan dalam teknologi injeksi kimia ini dimaksudkan untuk menurunkan tegangan antar-muka antara minyak dan air serta membawa minyak yang tidak dapat terbawa oleh air.

Dalam skala nasional, pemenuhan kebutuhan surfaktan untuk EOR ini masih tertinggal, baik dalam hal teknologi pembuatan surfaktan maupun komposisi campurannya yang baik dan efisien untuk diaplikasikan dalam proses pendesakan minyak. Selama ini kebutuhan surfaktan tersebut masih didatangkan dari luar negeri yang berarti pemborosan devisa negara. Disamping itu, sampai sekarang belum ditemukan formula (komposisi) campuran surfaktan yang efisien untuk sumur-sumur minyak tua di Indonesia.

Pada penelitian ini akan melakukan formulasi surfaktan untuk memperoleh nilai tegangan antar muka (IFT) tertentu, yang selanjutnya dilakukan *screening test* surfaktan untuk pengurasan minyak tahap lanjut di Lapangan Rantau.

Formulasi surfaktan yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah membuat formula surfaktan dengan mencampurkan surfaktan berbahan dasar

minyak bumi, surfaktan berbahan dasar minyak nabati dan ditambahkan pelarut, agar dapat diperoleh surfaktan yang cocok untuk *crude oil* lapangan Rantau. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Campbel [2009], yaitu formulasi surfaktan dilakukan dengan mencampurkan surfaktan primer (surfaktan utama), surfaktan skunder (surfaktan kedua atau surfaktan pembantu), pelarut, sedangkan passivator dan polimer digunakan pada saat *core flooding*. Formula surfaktan hasil penelitian ini dapat meningkatkan produksi minyak 85% [Campbel *et al.*, 2009].

Penelitian lain menyebutkan bahwa dengan mencampurkan surfaktan anionik kuat dan anionik lemah secara bersama-sama ditambahkan pada solvent, *co-surfactant*, polimer dan alkali akan memperoleh surfaktan yang lebih larut dalam larutan *brine* dengan total padatan terlarut atau TDS (*Total Dissolve Solid*) yang tinggi serta mengandung kation divalen (Ca dan Mg). Hasil formulasi ini dapat memenuhi kriteria parameter *screening test* surfaktan EOR, yaitu nilai Inter Facial Tension (IFT) mencapai 10^{-3} dyne/cm [Berger *et al.*, 2007].

Surfaktan primer yang sering digunakan dalam teknologi EOR adalah petoleum sulfonat (Lake dalam Purwono, 2000). Surfaktan ini sangat mahal dan berbahan dasar minyak bumi yang takterbarukan. Permasalahan ini dapat diatasi dengan mencampurkan surfaktan berbahan dasar minyak bumi dan minyak nabati, tanpa harus mengurangi fungsi surfaktan untuk teknologi EOR itu sendiri. Pencampuran ini akan mengurangi konsumsi minyak bumi sebagai bahan dasar surfaktan. Maka pada penelitian ini, formulasi surfaktan akan dilakukan dengan mencampurkan surfaktan berbahan dasar minyak nabati yaitu MES (Metil Ester Sulfonat), surfaktan yang sudah ada dipasaran dan beberapa pelarut. MES dipilih sebagai bahan baku formulasi karena produksi MES mudah dan ketersediaannya yang berlimpah (terbarukan), yaitu berasal dari bahan nabati FAME, sedangkan bahan baku FAME sendiri adalah minyak jarak atau *crude palm oil* (CPO). Alasan pemilihan bahan baku inilah diharapkan dapat meningkatkan nilai guna MES dalam rangka peningkatan produksi minyak melalui teknologi EOR.

Berdasarkan tinjauan di atas, dapat dipahami jika penelitian tentang formulasi surfaktan perlu dilakukan sebagai *screening test* tahap awal untuk dikembangkan lebih lanjut dalam teknologi EOR.

1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang hendak diselesaikan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana cara menyusun komposisi surfaktan yang terdiri atas MES, surfaktan Tween 80 dan beberapa macam pelarut.
2. Bagaimana kriteria parameter *screening test* hasil formulasi surfaktan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Membuat formula surfaktan yang terdiri atas MES, Surfaktan Tween 80 dan beberapa macam pelarut.
2. Mempelajari pengaruh pemanasan terhadap kriteria parameter *screening test* (*compatibility* dan nilai IFT) surfaktan untuk "chemical flooding" teknologi EOR.
3. Mempelajari pengaruh pelarut terhadap kriteria parameter *screening test* (*compatibility* dan nilai IFT) surfaktan untuk "chemical flooding" teknologi EOR.
4. Mempelajari pengaruh alkali terhadap kriteria parameter *screening test* (*compatibility* dan nilai IFT) surfaktan untuk "chemical flooding" teknologi EOR.

1.4 Batasan Masalah

1. MES yang digunakan berasal dari dari PPPTMGB "LEMIGAS".
2. Formulasi dilakukan dengan mencampur surfaktan nabati MES, surfaktan yang sudah ada dipasaran (Tween 80) dan beberapa macam pelarut sampai memperoleh nilai IFT mendekati 10^{-3} dyne/cm.
3. Sampel minyak yang digunakan adalah sampel minyak dari lapangan Rantau, Nangroe Aceh Darussalam.

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri atas lima bab yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

meliputi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

berisi teori tentang Enhanced Oil Recovery (EOR), Surfaktan, MES, Tween 80 dan Formulasi Surfaktan untuk EOR.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

berisi tentang tahapan penelitian, diagram alir penelitian, metode penelitian, bahan dan alat penelitian, prosedur penelitian, variabel penelitian, *screening test* hasil formulasi surfaktan yaitu *compatibility test* dan pengukuran IFT.

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

berisi tentang hasil penelitian dan pembahasannya sesuai dengan tujuan penelitian dan batasan masalah yang telah dirumuskan

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil dan saran penelitian secara keseluruhan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Enhanced Oil Recovery* (Peningkatan Produksi Minyak)

Enhanced Oil Recovery (EOR) umumnya digunakan untuk meningkatkan produksi minyak setelah menggunakan energi alamiah *reservoir* (*recovery primer*). Setelah energi alamiah habis, produksi minyak menurun maka dilakukan teknologi produksi skunder, biasa disebut dengan *secondary production* dengan menginjeksikan air. Teknologi injeksi air cukup mahal, jika selisih keekonomian antara hasil produksi minyak dan injeksi sedikit, maka dilakukan teknologi produksi tersier, biasa disebut *tertiary production*. Pada teknologi ini menggunakan injeksi panas dan kimia, inilah yang baru disebut dengan *Enhanced Oil Recovery* (EOR). Total produksi minyak dengan menggunakan teknologi primer dan skunder kurang lebih mampu mengambil 40% minyak yang terkandung. Diharapkan dengan menggunakan teknologi EOR, dapat meningkatkan produksi minyak [Donaldson,1985]

Teknologi EOR menggunakan fluida sehingga dapat menurunkan viskositas dan meningkatkan aliran minyak. Fluida ini dapat berupa gas yang larut dalam minyak (misal karbon dioksida), *steam*, udara atau oksigen, larutan polimer, *gel*, formulasi surfaktan-polimer, formulasi alkali-surfaktan-polimer atau formulasi mikroorganisme. Gambar 2.1 menunjukkan teknologi EOR yang banyak digunakan saat ini. *Teledyne Isco* menuliskan mengenai teknologi EOR, antara lain:

- *Thermal EOR*

Thermal EOR melalui injeksi *steam* telah banyak digunakan. Panas dari *steam* atau air panas dapat mengurangi viskositas minyak, dan membuatnya lebih mudah mengalir. Proses ini ada beberapa macam, termasuk *cyclic steam injection* (*huff and puff*) yaitu *steam* diinjeksikan terlebih dahulu mengikuti produksi minyak pada sumur yang sama, kemudian dilanjutkan injeksi *steam* (dari sumur yang terpisah/sumur lain), *hot water injection* dan

steam assisted gravity drainage (SAGD) menggunakan sumur horizontal. Metode *thermal EOR* yang lain yaitu *in-situ combustion* atau *fire flooding* termasuk injeksi udara atau oksigen.

- *Miscible EOR*

Metode ini menggunakan CO₂ superkritis dengan karakteristik minyak yang sesuai (biasanya kandungan minyak ringan). CO₂ superkritis dapat mempertahankan sifat gas-nya dengan memiliki densitas cairan. Injeksi *miscible* CO₂ akan terjadi pencampuran CO₂ dan minyak di dalam reservoir, sehingga tegangan antar muka kedua zat tersebut hilang. CO₂ dapat meningkatkan *recovery* minyak dengan cara melarutkan dan menurunkan viskositas minyak. Untuk reservoir dengan tekanan tinggi maka dapat menggunakan nitrogen sebagai pengganti CO₂.

CO₂, nitrogen, gas hidrokarbon dan gas buang juga dapat diinjeksikan untuk melarutkan minyak.

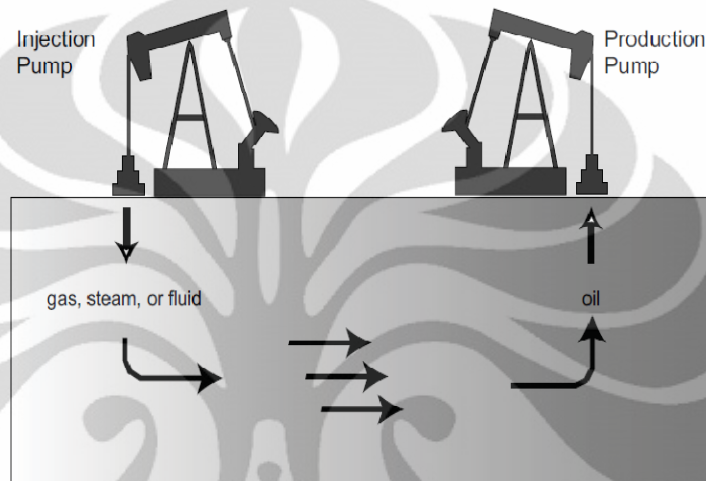
- *Chemical EOR*

Chemical EOR atau *chemical flooding* (teknik injeksi kimia) adalah salah satu metode EOR yang berhasil me-*recovery* minyak dari *depleted reservoir* pada tekanan rendah [Moghny, 2006].

Proses *chemical flooding* yang biasa digunakan adalah *polymer flooding*, *surfactant-polymer flooding*, dan *alkaline-surfactant-polymer* (ASP) *flooding*. Teknologi *polymer flooding* menggunakan sifat polimer yang dapat larut dalam air, dapat meningkatkan viskositas injeksi air dan lebih efisien untuk minyak yang cukup kental. Penambahan surfaktan pada formulasi polimer dapat mengurangi tegangan antar muka air dan minyak hingga mendekati nol, membuat minyak terperangkap sehingga minyak dapat mengalir. Sebuah variasi dari proses ini adalah dengan menambahkan alkali untuk formulasi surfaktan-polimer. Untuk beberapa jenis minyak, alkali dapat mengubah asam dalam minyak dan membantu me-*recovery* minyak. Alkali bermanfaat dalam mengurangi retensi surfaktan dalam batuan.

- Proses EOR yang lain

Sejumlah inovasi EOR lainnya adalah injeksi air berkarbonasi, mikroorganisme, *foams*, alkalin (tanpa surfaktan) dan formulasi lain. Metode ini menjanjikan tetapi masih memerlukan tambahan pengembangan sebelum dapat diaplikasikan.



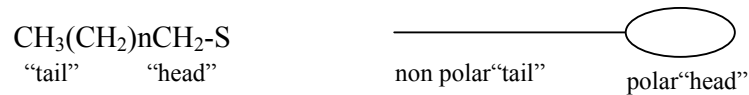
Gambar 2.1 Metode Injeksi EOR

Sumber: Teledyne Isco, 2007

2.2. Surfaktan

Menurut Warren S. Perkins [1998], istilah *surfactant* berasal dari kata *surface active agent* (permukaan agen aktif). Surfaktan sangat banyak digunakan karena kemampuannya dalam mempengaruhi sifat permukaan (*surface*) dan antar muka (*interface*). *Interface* adalah bagian atau lapisan tempat dua fasa yang tidak sama saling bertemu/kontak [Perkins, 1998]. Surfaktan mempunyai gugus hidrofobik (*hydrophobic/ lyophobic*) dan hidrofilik (*hydrophilic/ lyophilic*). Bagian “kepala” mengacu pada pelarut dari hidrofilik, dan bagian “ekor” mengacu pada grup hidrofobik.

Di dalam air, grup hidrofobik adalah hidrokarbon, fluorocarbon, rantai pendek polimer atau rantai panjang *siloxane* [Myers, 1987].



Gambar 2.2. Molekul Surfaktan

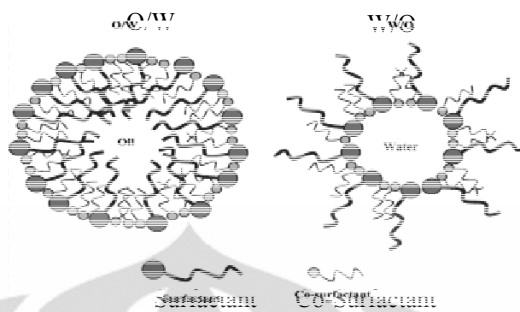
Sumber : Perkins, 1998

Kehadiran gugus hidrofobik dan hidrofilik yang berada dalam satu molekul, menyebabkan surfaktan cenderung berada pada antar muka antara fasa yang berbeda derajat polaritas dan ikatan hidrogennya seperti minyak/air atau udara/air. Pembentukan film pada antar muka ini mampu menurunkan energi antar muka dan menyebabkan sifat-sifat khas pada molekul surfaktan (Georgiou *et al.*, dalam Hambali, 1992).

Surfaktan dapat mengurangi tegangan permukaan air dengan cara adsorpsi antar muka cair-gas. Surfaktan juga dapat mengurangi tegangan antar muka antara minyak dan air dengan cara adsorpsi pada antar muka cair-cair. Menurut Drew Myers, grup hidrofilik adalah polar dan dapat berupa ionik atau nonionik, hal ini dapat menyebabkan kelarutan molekul air. Gambar 2.2 menunjukkan gambar molekul surfaktan [Myers, 1987].

Molekul agregat surfaktan dalam air membentuk misel (*micell*), yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Misel terdiri atas daerah interior hidrofobik, yaitu tempat ekor hidrofobik saling bergabung. Pada daerah ini, ekor hidrofobik dikelilingi oleh hidrofilik, yaitu tempat kepala molekul surfaktan berinteraksi dengan air. Konsentrasi ketika terbentuk misel disebut konsentrasi kritis misel (CMC). Tegangan permukaan air mengalami penurunan, dan detergensi campuran meningkat secara drastis di daerah CMC itu [Perkins, 1998].

Nilai CMC surfaktan pada industri perminyakan sangat penting. Konsentrasi surfaktan yang digunakan harus lebih tinggi dari CMC, karena berpengaruh pada penurunan tegangan antar muka. Jika konsentrasi diatas nilai CMC, maka adsorpsi surfaktan ke permukaan batuan meningkat sangat kecil. CMC mewakili konsentrasi larutan surfaktan karena hampir terjadi adsorpsi maksimum [Schramm, 2000].



Gambar 2.3. Bentuk Misel

Sumber: Myers, 1987

Klasifikasi surfaktan didasarkan pada sifat hidrofilik, dengan subkelompok berdasarkan sifat hidrofobiknya. Grup hidrofilik pada surfaktan komersial dapat dilihat pada Tabel 1.1. Empat kelas surfaktan didefinisikan sebagai berikut [Myers, 1987]:

1. Anionik

Hidrofiliknya merupakan grup senyawa bermuatan negatif seperti karboksil ($\text{RCOO}^- \text{M}^+$), sulfonat ($\text{RSO}_3^- \text{M}^+$), sulfat ($\text{ROSO}_3^- \text{M}^+$) atau fosfat ($\text{ROPO}_3^- \text{M}^+$)

2. Kationik

Hidrofiliknya merupakan grup senyawa bermuatan positif misal, kuartar ammonium halide ($\text{R}_4\text{N}^+ \text{X}^-$) dan empat group R tersebut bisa sama atau berbeda tetapi masih dalam satu famili.

3. Nonionik

Hidrofiliknya tidak mempunyai muatan, tapi berasal dari turunan grup air yang sangat polar seperti polioksitelina (POE atau $\text{R-OCH}_2\text{CH}_2\text{O-}$) atau grup R-polyol termasuk garam

4. Amphoter

Molekulnya biasanya mengandung muatan positif dan negatif seperti sulfobetaines $\text{RN}^+ (\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$.

Tabel 2.1. Grup hidrofilik pada surfaktan komersial

Nama Kelas	Struktur kelarutan
Sulfonate	$R-SO_3^- M^+$
Sulfate	$R-OSO_3^- M^+$
Carboxylate	$R-COO^- M^+$
Phosphate	$R-OPO_3^- M^+$
Ammonium	$R-N^+R'_xH_yX^- (x = 1 - 3, y = 3 - 1)$
Quaternary ammonium	$R-N^+R'_3X^-$
Betines	$R-N^+(CH_3)_2CH_2COO^-$
Sulfobetaines	$R-N^+(CH_3)_2CH_2CH_2SO_3^-$
Polyoxyethylene (POE)	$R-OCH_2CH_2(OCH_2CH_2)_nOH$
Polyoxyethylene sulfates	$R-OCH_2CH_2(OCH_2CH_2)_nOSO_3^- M^+$
Polyols	$R-OCH_2CH(OH)CH_2OH$
Sucrose esters	$R-O-C_6H_7O(OH)_3-O-C_6H_7(OH)_4$
Polyglycidyl esters	$R-(OCH_2CH[CH_2OH]CH_2)_n-OCH_2CH[CH_2OH]CH_2OH$

Sumber: Myers, 1987

Secara umum, sifat grup hidrofobik lebih bervariasi dibandingkan grup hidrofilik. Grup hidrofobik yang sering digunakan adalah kelompok hidrokarbon berantai panjang, namun mencakup struktur yang bervariasi [Myers, 1987] seperti:

1. Grup alkil rantai lurus dan panjang ($n=C_8-C_{22}$ dengan terminal substitusi pada bagian "kepala"); $CH_3(CH_2)_n-S$
2. Grup alkil rantai bercabang (C_8-C_{22} , substitusi internal); $CH_3(CH_2)_nC(CH_3)H(CH_2)_mCH_2-S$
3. Rantai alkil jenuh seperti minyak nabati; $CH_3(CH_2)_nCH=CH(CH_2)_mCH_2-S$
4. Alkilbenzena ($C_8-C_{15}C_6H_4$ dengan berbagai pola substitusi) $C_9H_{19}(C_6H_4)-S$
5. Alkilynaptalena (alkil R biasana C_3 atau lebih); $R_n-C_{10}H_{(7-n)}-S$
6. Fluoroalkil ($n>4$, sebagian atau seluruhnya fluoro); $CF_3(CF_2)_n-S$
7. Polidimetilsiloksana; $CH_3(CH_2)_nCH=CH(CH_2)_mCH_2-S$
8. Polidimetilsilopropilena
9. Biosurfaktan
10. Turunan polimer alami dan sintetik

2.2.1. Struktur Surfaktan dan Stabilitas Emulsi

Myers menjelaskan bahwa tidak ada metode kuantitatif dan mutlak dalam pemilihan surfaktan untuk aplikasi tertentu. Untuk mempersempit kemungkinan dan membatasi jumlah percobaan dalam pemilihan surfaktan, dapat dilihat dari keefektifan surfaktan dalam adsorpsi antarmuka minyak-air. Hal tersebut harus sesuai dengan kondisi aktual yang digunakan, termasuk sifat fase minyak serta kondisi suhu dan tekanan. Surfaktan yang digunakan harus menghasilkan lapisan antarmuka yang stabil dan kuat (ulet) dengan viskositas tinggi dan kemampuannya menghasilkan ukuran tetesan (droplet) sesuai dengan kondisi emulsifikasi. Hal ini dapat memperlihatkan keefektifan surfaktan dalam menurunkan tegangan antar muka [Myers, 1987].

Pemilihan surfaktan untuk aplikasi tertentu, harus mempertimbangkan jenis emulsi yang diinginkan dan sifat fase minyak (*oil phase*). Surfaktan yang larut air disebut emulsi O/W (*Oil in Water*), sedangkan surfaktan larut dalam minyak disebut W/O (*Water in Oil*). Lapisan antarmuka sangat berperan dalam stabilitas emulsi, campuran surfaktan yang mempunyai perbedaan sifat kelarutan, akan menghasilkan emulsi dengan stabilitas yang lebih baik. Makin polar fase minyak, maka diperlukan surfaktan yang makin polar, agar memberikan stabilitas dan emulsifikasi optimum.

Hubungan kuantitatif struktur kimia molekul surfaktan dengan efektifitasnya sebagai pengemulsi adalah *Hidrophile-Lipophile Balance* (HLB). Nilai HLB ditentukan secara empiris, skala HLB berkisar pada 0 – 20. Semakin tinggi nilai HLB maka surfaktan semakin hidrofilik, yang memiliki kelarutan air sangat tinggi, atau disebut emulsi O/W. Sedangkan nilai HLB rendah menunjukkan surfaktan tersebut merupakan emulsi W/O, baik sebagai agen pelarut, deterjen dan stabilisator. Oleh karenanya efektifitas surfaktan dalam menstabilkan emulsi bergantung pada kesetimbangan antara nilai HLB dan oil phase. Nilai HLB digunakan untuk penentuan stabilitas emulsi surfaktan nonionik.. Sementara surfaktan ionik (anionik, kationik) tidak dapat ditentukan dengan nilai HLB, karena sifatnya yang lebih kompleks, membutuhkan muatan listrik untuk mencapai stabilitas. Surfaktan ionik mempunyai struktur hidrofobik

lebih besar dan tidak mudah membentuk misel dalam *aqueous solution*. Nilai HLB dan aplikasinya ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Nilai HLB dan Aplikasinya

Skala HLB	Aplikasi umum
2 – 6	Emulsi W/O
7 – 9	Pembasah
8 – 18	Emulsi O/W
3 – 15	Deterjen
15 – 18	Pelarut

Sumber: Myers, 1987

2.2.2. Surfaktan dalam Industri Perminyakan

Hambali dkk menjelaskan bahwa surfaktan untuk aplikasi EOR dalam industri perminyakan memerlukan karakteristik tertentu. Karakteristik surfaktan yang dibutuhkan diantaranya, tahan pada kondisi air formasi (*brine water*) yang mempunyai tingkat salinitas dan kesadahan yang tinggi, deterjensi baik pada air sadah, tahan pada suhu tinggi (103 – 115 °C), memiliki IFT 10^{-3} - 10^{-6} dyne/cm, adsorpsi < 0,25%. Perlunya surfaktan yang tahan pada salinitas dan kesadahan tinggi mengingat sebagian besar air formasi (air dalam *reservoir*) di sumur minyak Indonesia mempunyai tingkat salinitas (5.000 – 30.000 ppm) dan kesadahan (>500 ppm) yang tinggi. Aplikasi surfaktan petroleum sulfonat pada salinitas air formasi yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan pada pori-pori batuan, sehingga sumur minyak tersebut dapat mengalami kerusakan dan diperlukan biaya sangat mahal untuk memperbaikinya [Amri, 2001].

Umumnya *reservoir* minyak mempunyai kondisi ; suhu tinggi berkisar 70–120 °C, salinitas tinggi, *brine* dengan kandungan *hardness* (kekerasan) dan memiliki TDS (total padatan terlarut) sekitar 20.000 mg/L. Surfaktan yang diinjeksikan kedalam reservoir, harus tetap stabil terhadap kondisi tersebut dalam waktu yang lama karena prosesnya memakan waktu hingga bertahun-tahun. Selain itu injeksi surfaktan harus menghindari adanya pengendapan atau pemisahan fasa lain yang tidak diinginkan. Surfaktan juga harus dapat

mengembangkan tegangan antar muka (IFT) yang sangat rendah dengan minyak mentah di dalam kondisi reservoir, rendah adsorpsi batuan reservoir, larut satu fasa dengan air pada saat pencampuran dan suhu injeksi serta harus dapat meningkatkan *wettability* permukaan pori pada *non water-wet formation* (formasi basah-*non water*) [Puerto *et al.*, 2010].

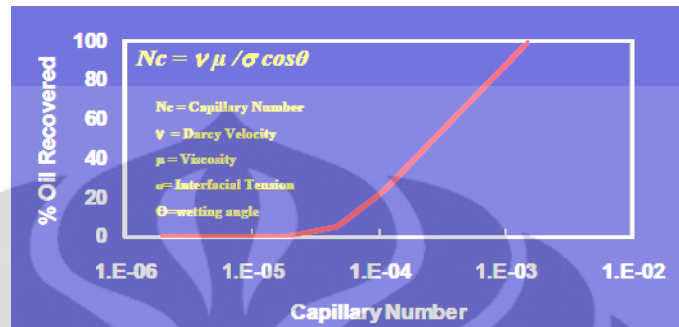
Menurut Myers [1987], terdapat empat mekanisme utama dalam pencapaian EOR menggunakan senyawa aditif *surface active*, antara lain;

- a) Tegangan antarmuka antara minyak dan larutan kurang dari 10^{-3} mN/m
- b) Secara spontan, membentuk emulsifikasi atau mikroemulsi dari minyak yang terjebak dalam pori-pori batuan
- c) Kontrol keterbasahan pori-pori batuan, untuk mengoptimalkan pengambilan minyak

Seperti yang telah dijelaskan, bahwa *chemical flooding* merupakan salah satu metode *recovery* tersier dengan cara menginjeksikan zat-zat kimia ke dalam reservoir. Penambahan zat-zat kimia ini bertujuan untuk merubah sifat fisik fluida reservoirnya dengan sasaran untuk menurunkan tegangan antar muka minyak-air.

Dalam industri perminyakan, penggunaan surfaktan dapat diformulasikan dengan alkali, polimer ataupun alkali-polimer untuk meningkatkan *recovery* minyak. Efektivitas surfaktan dalam menurunkan tegangan antar muka minyak-air dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya jenis surfaktan yang digunakan, konsentrasi surfaktan dan kosurfaktan yang digunakan, karakteristik air formasi (fluida), karakteristik batuan *core*, kadar garam larutan, dan adsorpsi larutan cosurfaktan. Jenis surfaktan yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi *reservoir* terutama terhadap kadar garam, suhu, dan tekanan karena akan mempengaruhi daya kerja surfaktan untuk menurunkan tegangan antar muka (IFT) minyak-air. Semakin tinggi kesesuaian formula surfaktan yang dihasilkan dengan kondisi *reservoir* (fluida dan batuan *core*), maka perolehan (*recovery*) minyak bumi juga akan makin tinggi (Mucharam dalam Hambali, 2001). Selain itu, surfaktan yang diinjeksikan pada teknologi EOR juga dipengaruhi oleh temperatur dan permeabilitas [Wibowo *et al.*, 2007]. Agar surfaktan efektif

meningkatkan % *oil recovery*, surfaktan harus mampu menurunkan IFT sampai 10^{-3} Dyne/cm seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.4. Grafik *Capillary Number Vs Oil Recovery*

Sumber: Morrow, 1992

Untuk memaksimalkan jumlah minyak dalam emulsi mikro, penggunaan komponen lain dalam kombinasi dengan alkylarylsulfonate seperti garam anorganik, *co-solvent*, bahan polimer dan *co-surfactant* dapat meningkatkan perilaku fasa. Hal ini disebut dengan formulasi surfaktan [Campbell, 2000].

Kinerja formulasi surfaktan untuk EOR dapat diukur dengan parameter kelarutan minyak, yaitu volume minyak terlarut per satuan volume surfaktan. Kelarutan minyak berbanding terbalik dengan tegangan antarmuka, yang dihubungkan dalam persamaan berikut;

$$Nc = \frac{v\mu_w}{4\sigma} \quad (2.1)$$

[Schramm, 2000]

Dalam persamaan tersebut, Nc adalah *capillary number*, v laju alir efektif, *viscosity of displacing fluid*, σ tegangan antar muka (IFT).

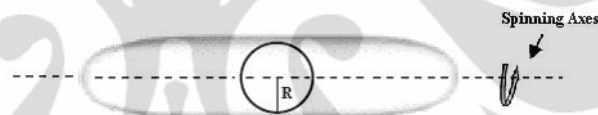
Menurut Delshad dalam Jackson, bahwa *capillary number* (Nc) harus berada pada 10^{-3} , dalam rangka mengurangi kejenuhan minyak sisa hingga mendekati nol [Jackson, 2006]. Hal lain yang sama pentingnya adalah bahwa nilai Nc yang tinggi dibutuhkan untuk menggerakkan minyak dalam campuran *wet rocks* (batuan basah) daripada *water wet rocks*. Namun, bentuk khas surfaktan

sulfonat membentuk mikroemulsi dengan minyak sehingga mengubah keterbasahan batu ke *water wet*.

Huh dalam Levitt menurunkan hubungan antara rasio kelarutan dan IFT. Bentuk sederhananya adalah nilai IFT (γ) berbanding terbalik dengan kuadrat rasio kelarutan (σ^2), yang ditunjukkan pada Persamaan 2.2. Dimana C adalah 0,3 dyne/cm, dan rasio kelarutan didefinisikan sebagai volume minyak atau air terlarut dibagi dengan volume surfaktan pada 100% basis aktif [Levitt, 2006].

$$\gamma = \frac{C}{\sigma^2} \quad (2.2)$$

Perhitungan IFT menggunakan Persamaan Vonnegut yang ditunjukkan pada Persamaan 2.3, dengan mengacu pada lebar drop minyak pada pengukuran IFT seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Lebar drop minyak pada pengukuran IFT

$$\gamma = \frac{1}{4} r^3 \Delta\rho\omega^2 \quad 2.3$$

Keterangan;

γ = nilai tegangan antar muka (IFT)

$\Delta\rho$ = perbedaan densitas fluida

ω = kecepatan putaran

r = radius

Sumber: J. Drelic, 2002

2.2.3. Screening Test Surfaktan Sebelum Proses Injeksi Kimia

Pemilihan surfaktan untuk jenis *reservoir* harus didasarkan pada pengujian laboratorium. Beberapa parameter yang harus diuji dalam laboratorium sebelum diaplikasikan di lapangan adalah; *compatibility* dan stabilitas kelarutan, *phase behavior study*, penentuan nilai tegangan antar muka, viskositas mikroemulsi, *thermal stability* (ketahanan panas), filtrasi dan adsorpsi [Sugihardjo *et al.*, 2008].

Sedangkan menurut Myers [1987], beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan surfaktan untuk EOR adalah;

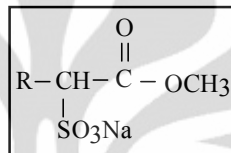
- a) Surfaktan menghasilkan tegangan antarmuka O/W yang rendah
- b) *Compatibility* atau kecocokan surfaktan dengan aditif lain, seperti polimer.
- c) Surfaktan harus stabil pada kondisi minyak-batuan di dalam reservoir meliputi suhu, tekanan, dll.
- d) Aktivitas surfaktan harus tahan dibawah kondisi *brine water* yang mengandung ion dan salinitas tertentu
- e) Karakteristik kelarutan surfaktan dalam fase minyak dan air

Compatibility dan stabilitas kelarutan dapat dilihat pada saat melarutkan surfaktan dalam larutan *brine*. Larutan terbaik untuk diinjeksikan ke dalam reservoir adalah larutan yang jernih (*clear solution*), tidak keruh (*hazy solution*) dan tidak membentuk endapan. Tetapi, bukan berarti larutan keruh tidak dapat diinjeksikan. Larutan yang keruh dapat diinjeksikan tetapi harus stabil, yang dapat dilakukan pengujian dengan membiarkan larutan beberapa hari pada suhu kamar dan menyinarinya dengan menggunakan lampu terpolarisasi. Jika terbentuk suatu *birefringence*, maka baiknya tidak disuntikkan.

2.3. Metil Ester Sulfonat (MES)

Surfaktan MES yang merupakan golongan baru dalam kelompok surfaktan anionik telah mulai dimanfaatkan sebagai bahan aktif pada produk-produk pencuci dan pembersih (*washing and cleaning products*) [Hui, dan Matheson, 1996 dalam Alamanda 2007]. Pemanfaatan surfaktan MES sebagai bahan aktif pada deterjen telah banyak dikembangkan karena prosedur produksinya mudah, memperlihatkan karakteristik dispersi yang baik, sifat deterjensinya tinggi, walaupun pada air dengan tingkat kesadahan yang tinggi dan tidak mengandung fosfat, mempunyai asam lemak C_{16} dan C_{18} yang mampu memberikan tingkat deterjensi yang terbaik, memiliki sifat toleransi terhadap ion Ca^{2+} yang lebih baik, memiliki tingkat pembusaan yang lebih rendah dan memiliki stabilitas yang baik terhadap pH. Bahkan MES C_{16} - C_{18} memperlihatkan aktivitas permukaan yang baik, yaitu sekitar 90 % dibandingkan alkil benzen sulfonat linier (LABS) [de Groot, 1991; Hui, 1996; Matheson, 1996 dalam Amri, 2009].

Dibandingkan petroleum sulfonat, surfaktan MES menunjukkan beberapa kelebihan di antaranya yaitu pada konsentrasi MES yang lebih rendah daya deterjensinya sama dengan petroleum sulfonat MES dapat mempertahankan aktivitas enzim yang lebih baik, toleransi yang lebih baik terhadap keberadaan kalsium, dan kandungan garam (disalt) lebih rendah. Struktur kimia MES disajikan pada Gambar 2.6 [Setiyono, 2009].



Gambar 2.6. Struktur kimia metil ester sulfonat

Sumber: Setiyono (2009), <http://lutfiblurry.blogspot.com/2010/01/surfaktan-nabati.html>

Proses produksi surfaktan MES dilakukan dengan mereaksikan metil ester dengan agen sulfonasi. Menurut Bernardini dan Pore, pereaksi yang dapat dipakai pada proses sulfonasi antara lain asam sulfat (H₂SO₄), oleum (larutan SO₃ di dalam H₂SO₄), sulfur trioksida (SO₃), NH₂SO₃H, dan ClSO₃H (Hambali, 2009). Untuk menghasilkan kualitas produk MES terbaik, beberapa perlakuan penting yang harus dipertimbangkan adalah rasio mol, suhu reaksi, konsentrasi grup sulfonat yang ditambahkan, waktu netralisasi, jenis dan konsentrasi katalis, pH dan suhu netralisasi [Foster, 1996].

Daya tarik MES adalah bahan baku yang terbarukan berbasis oleo, kemampuan biodegradasi yang sangat baik (mudah didegradasi), tahan terhadap *calcium hardness* dan kemampuan deterjensi yang baik. MES juga layak untuk memproduksi LABS sebagai bahan baku deterjen [Trivedi, 2005].

2.4. Tween 80

Surfaktan Tween 80 dengan nama lain Polysorbate 80 atau Polyoxyethylene (80) sorbitan monooleate, mempunyai formula C₆₄H₁₂₄O₂₆. Surfaktan Tween 80 merupakan surfaktan nonionik dan bahan pengemulsi yang diturunkan dari polietoksilat sorbitan dan asam oleat. Surfaktan Tween 80 sangat

larut dalam air dan larut juga dalam etanol, minyak jagung, etil asetat, metanol dan toluene. Hidrofilik senyawa ini adalah polieter, juga dikenal sebagai kelompok polioksietilena, polimer etilena oksida. Senyawa ini tidak stabil jika ada panas berlebih. Struktur kimia senyawa tween 80 ditunjukkan pada Gambar 2.7. [<http://www.wikipedia.com> dan <http://www.sciencelab.com>].



Gambar 2.7. Struktur Kimia Tween 80

Sumber: http://en.wikipedia.org/wiki/Polysorbate_80

Surfaktan Tween 80 mempunyai nilai HLB yang cukup tinggi, yaitu 15 [<http://www.floratech.com/Uploads/testmethods/TW10e.pdf> dan http://www.theherbarie.com/files/resource-center/formulating/Emulsifiers_HLB_Values.pdf]. Hal ini menunjukkan bahwa Tween 80 merupakan surfaktan yang mengandung hidrofilik lebih besar dibanding hidrofobiknya (lebih polar), memiliki kelarutan sangat tinggi di dalam air. Sifat kelarutan Tween 80 ini dapat memenuhi kriteria parameter *compatibility* sebagai surfaktan EOR.

Pada penelitian ini, surfaktan Tween 80 digunakan sebagai surfaktan sekunder atau kosurfaktan, untuk mendukung keaktifan surfaktan primer, dalam hal ini MES.

2.5. Formulasi Surfaktan

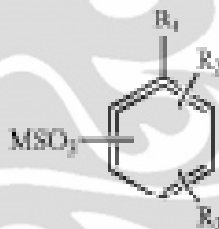
Formula surfaktan adalah susunan yang tepat antara surfaktan dengan bahan lain sehingga dapat memenuhi kriteria yang diinginkan. Dalam penelitian ini diharapkan hasil formulasi dapat digunakan sebagai bahan yang cocok untuk injeksi kimia dalam industri perminyakan.

Campbell [2009] di dalam Patent US 2009/0111717 A1, menyatakan bahwa formulasi surfaktan untuk *surfactant flooding* dalam teknologi EOR dapat

menggunakan *primary surfactant* (surfaktan primer), *secondary co-surfactant*, pelarut, passivator dan polimer dalam larutan encer. Temuan ini dikenal dengan nama ASP atau Alkali-surfaktan-polimer.

Dalam temuan tersebut dijelaskan bahwa, umumnya larutan encer mengandung 500 sampai dengan 10.000 ppm total padatan terlarut. Formulasi surfaktan EOR terdiri atas 0,5-4 wt% berat surfaktan primer, 0,1-3 wt% berat *secondary co-surfactant*, 0,5-6 wt% pelarut, 0,3-1 wt% passivator dan 500-4000 ppm polimer, semua berada dalam larutan encer yang mengandung total padatan terlarut 500-10000 ppm. Formulasi surfaktan yang banyak disukai terdiri atas 1,0-3,0 wt % surfaktan primer, dari 0,3 - 2,0 aktif wt% surfaktan sekunder, 1,0-4,0 wt% pelarut, 0,5-0,85 wt% passivator dan sekitar 1000 sampai 3000 ppm polimer, semua berada dalam larutan encer yang mengandung total padatan terlarut sekitar 1000 sampai 10.000 ppm.

Surfaktan primer dalam penemuan Campbell mempunyai rumus kimia seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Surfaktan Primer

Sumber: Campbell, 2009

R_1 dan R_2 masing-masing adalah hydrogen atau grup senyawa alkil yang mempunyai atom karbon 1 hingga 3 ($C_1 - C_3$), R_3 adalah grup alkil dengan kandungan atom karbon 8 sampai 60 ($C_8 - C_{60}$), sedangkan M adalah kation monovalen.

Co-surfactant atau surfaktan skunder yang digunakan mempunyai rumus kimia R_4-SO_3X , dimana R_4 adalah grup alifatik hidrokarbil yang mempunyai kandungan atom karbon 12 hingga 40 ($C_{12} - C_{40}$). X adalah kation monovalen, bisa berupa logam alkali, ammonium atau substituent ammonium.

Solvent atau pelarut yang dapat digunakan adalah alkohol, seperti alkohol rantai karbon pendek misalnya isopropil alkohol, etanol, n-propil alkohol, alkohol n-butyl, alkohol sec-butyl, n-amyl alkohol, Etil alkohol, dan sejenis eter alkohol, eter polyalkylene alkohol, glycols polyalkylene, poli (oxyalkylene) glycols, poli (oxyalkylene) glycols eter atau kombinasi lainnya pelarut organik atau bisa dari dua atau lebih pelarut.

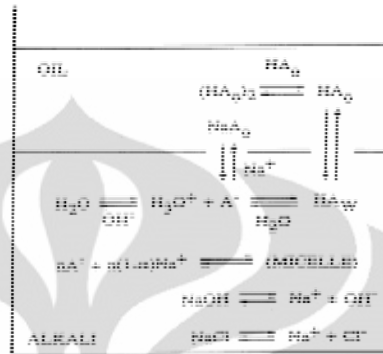
Passivator yang biasa digunakan merupakan garam logam alkali. Garam logam alkali yang banyak digunakan, seperti logam alkali hidroksida, karbonat atau bikarbonat, namun tidak terbatas pada natrium karbonat, natrium bikarbonat, natrium hidroksida, kalium hidroksida, lithium hidroksida dan sejenisnya.

Polimer yang biasa digunakan untuk EOR dalam mengoptimasi pendesakan minyak, berfungsi untuk mengontrol mobilitas larutan yang diinjeksi. Polimer yang dapat digunakan adalah xanthan, parsial hidrolisat polyacrylamides (HPAM) dan kopolimer-2-methylpropane acrylamido 2-asam sulfonat dan / atau garam natrium dan poliakrilamida (PAM) yang lazim disebut sebagai kopolimer AMPS. bobot molekul polimer berkisar dari sekitar 10.000 daltons menjadi sekitar 20.000.000 daltons. Konsentrasi polimer yang digunakan sekitar 500 sampai 2500 ppm, agar melebihi viskositas minyak reservoir di bawah kondisi suhu dan tekanan reservoir.

Alkali seperti sodium hidroksida (*caustic soda*) dan sodium silikat saat ini sudah diuji dan digunakan. Keuntungan penambahan alkali pada larutan kimia adalah untuk menurunkan nilai IFT dan untuk menurunkan adsorpsi kimia pada batuan *reservoir*, tetapi harus hati-hati dalam menginjeksikannya. Jika *reservoir brine* mengandung ion divalent seperti magnesium dan kalsium, disarankan menggunakan alkali organik [Sugihardjo *et al.*, 2008]. Peningkatan konsentrasi alkali dapat menurunkan nilai IFT [Elkamel. *et al.*, 2002].

Pengaruh penambahan alkali pada minyak ringan juga dibahas oleh T.R. French, yang menyebutkan bahwa nilai IFT awal yang sangat rendah adalah surfaktan yang dihasilkan oleh reaksi agen alkali. Campuran surfaktan sintesis dan alkali menghasilkan IFT yang rendah pada minyak dengan bilangan asam sangat rendah. Ekstraksi asam dari crude oil asam oleh alkali membuat minyak lebih

interfacially reactive. [French. *et al.*, 1991]. Interaksi alkali dan *acidic oil* ditunjukkan pada Gambar 2.9 [Wasan, 1994].



Gambar 2.9 Interaksi alkali dan minyak

Sumber: Wasan, 1994

Peneliti lain menyebutkan bahwa dengan mencampurkan surfaktan anionik kuat dan anionik lemah, *aqueous solvent (brine synthetic, produced brine, injected brine)*, *co surfactant/ solvent* (alkohol, glikol, gliserin, glikol eter), *viscosity increasing agent* dan alkali dapat menurunkan nilai tegangan antar muka sampai 10^{-3} dyne/cm. Formula dari pencampuran tersebut cocok atau *compatible* dalam *brine water* dengan *range* kandungan TDS (*Total Dissolved Solid*) lebih lebar dan mengandung kation divalen seperti kalsium dan magnesium. [Berger P.D *et al.*, 2007]

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium *Chemical Flooding*, KPRT Eksploitasi PPPTMGB “LEMIGAS”. Sedangkan data-data sampel Minyak Rantau diperoleh dari Laboratorium Sifat Fisika dan Kimia Produk Minyak Bumi, KPRT Proses PPPTMGB “LEMIGAS”.

3.1. Tahapan Penelitian

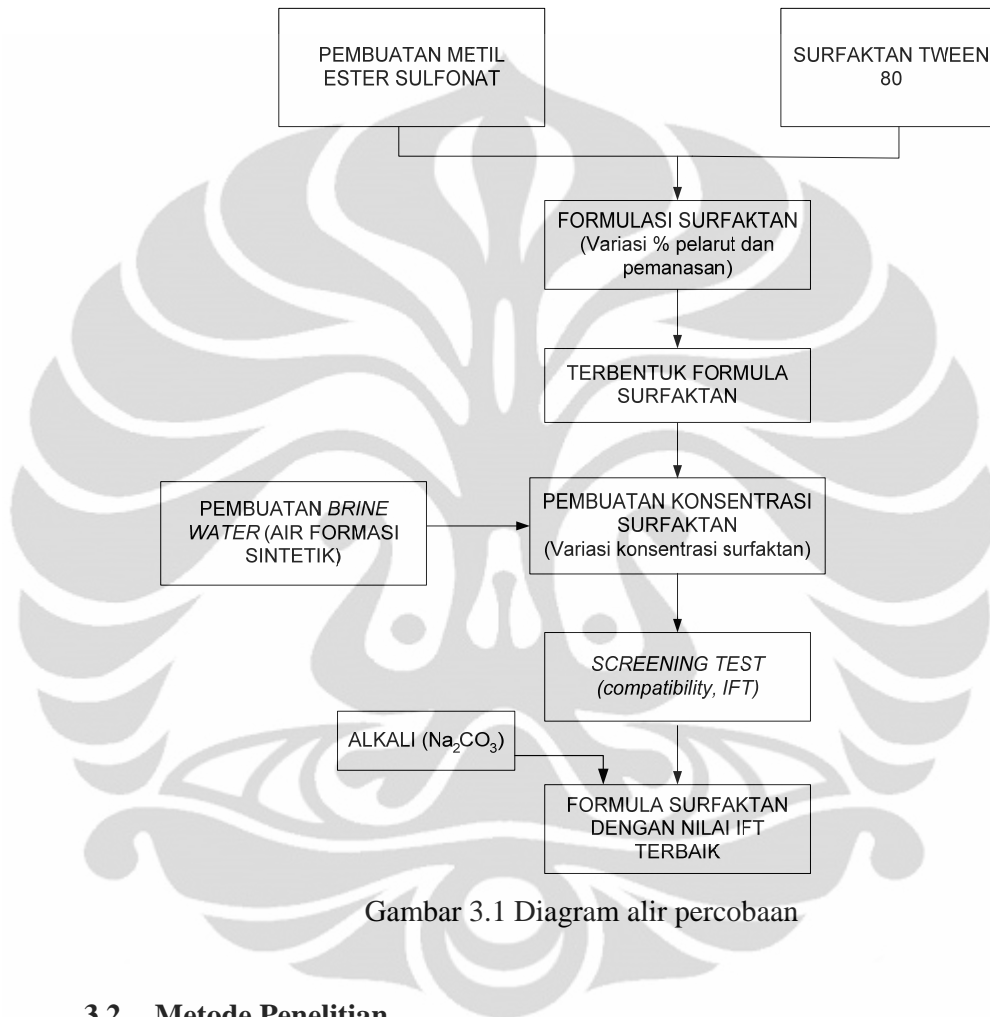
Penelitian tentang formulasi surfaktan ini dilakukan melalui tiga tahap yaitu persiapan bahan baku, proses pembuatan formulasi dan *screening test* hasil formulasi.

Persiapan bahan baku meliputi pembuatan Metil Ester Sulfonat (MES), *screening test* MES dan surfaktan Tween 80 terhadap *brine water*. *Screening test* bertujuan untuk mengetahui karakterisasi surfaktan pada *brine water* (air formasi sintetik) sebelum dilakukan formulasi. *Screening test* meliputi uji *compatibility* (kecocokan terhadap *brine water*) dan nilai tegangan antarmuka minyak dan air (*Interfacial Tension*, IFT). Pembuatan Metil Ester Sulfonat (MES) dengan cara mereaksikan Fatty Acid Methyl Ester (FAME) dan Natrium Bisulfat (NaHSO_3) sesuai kondisi operasi penelitian sebelumnya oleh kelompok Hestuti Eni dari PPPTMGB “LEMIGAS”. MES yang digunakan adalah MES NSB45 [Eni, 2010].

Tahap selanjutnya yaitu membuat formulasi surfaktan. Formulasi dilakukan dengan mencampurkan MES NSB45, surfaktan Tween 80 dan beberapa macam pelarut (EGBE, etanol atau campuran EGBE-etanol) selama 30 menit. Kondisi pencampuran menggunakan dua variasi yaitu tanpa pemanasan dan dengan pemanasan 40°C .

Tahap akhir yaitu melakukan *screening test* hasil formulasi surfaktan. Formula surfaktan dilarutkan dalam *brine water* dengan variasi konsentrasi, untuk dilihat *compatibility* (kecocokan/ kelarutan dalam *brine water*) dan diukur nilai IFT nya.

Dari hasil formulasi surfaktan, surfaktan terbaik dipilih adalah surfaktan dengan nilai IFT mendekati 10^{-3} dyne/cm. Untuk lebih jelasnya, diagram alir percobaan, dapat dilihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir percobaan

3.2. Metode Penelitian

3.2.1. Bahan dan Alat

➤ Bahan:

- Surfaktan Tween 80 (Polysorbat 80)
- Bahan-bahan kimia untuk pembuatan MES ; Fatty Acid Metil Ester (FAME), Natrium bisulfit (NaHSO₃), metanol dan NaOH
- Bahan-bahan kimia untuk formulasi: Etilen Glikol Butil Eter (EGBE), Etanol, Alkali Natrium karbonat (Na₂CO₃)
- Sampel minyak lapangan Rantau

- Bahan-bahan kimia untuk pembuatan *brine water* ; NaCl, aquadest

➤ **Alat**

- Labu leher 3
- Pendingin gelas (kondensor)
- Thermometer
- Klem dan statif
- Erlenmeyer
- *Hotplate*
- *Magnetic stirrer*
- Alat timbang Mettler Toledo
- Indikator pH universal
- Alat Ukur IFT; Spining Drop Interfacial Tensiometer model TX 500C
- Densitymeter DMS 4500

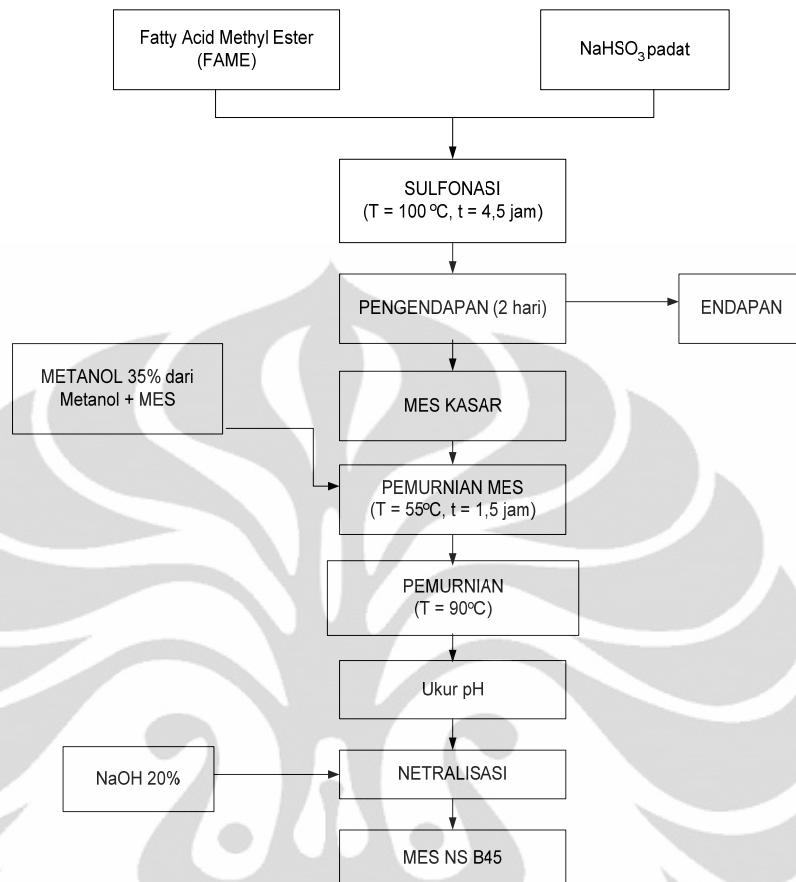
3.2.2. Prosedur Penelitian

a. Pembuatan Metil Ester Sulfonat

Pada penelitian ini, MES yang digunakan adalah MES NSB45, dibuat dengan proses Sulfonasi, yaitu mereaksikan FAME dan NaHSO₃ (perbandingan mol 1:1) dengan lama reaksi 4,5 jam pada suhu 100°C.

Hasil Sulfonasi didiamkan selama dua hari, agar terpisah produk MES kasar (bagian atas). Kemudian diambil MES kasar dan dipucatkan dengan menggunakan metanol sebanyak 35% berat (dari metanol + MES kasar), dipanaskan sampai suhu sampai 55°C selama 1,5 jam. Setelah selesai, metanol diambil kembali dengan cara destilasi (titik didih metanol 65 °C).

Tahap selanjutnya adalah netralisasi, yaitu dengan menambahkan NaOH 20% sampai pH 6-8. Setelah mencapai pH tersebut, dipanaskan sampai suhu 55°C selama 30 menit. Untuk lebih jelasnya, ditunjukkan pada Gambar 3.2. Diagram alir pembuatan MES NSB45 dan Gambar 3.3. Proses Pembuatan Metil Ester Sulfonat.



Gambar 3.2. Diagram alir pembuatan Metil Ester Sulfonat



Gambar 3.3. Proses Pembuatan Metil Ester Sulfonat

b. Pembuatan *Brine Water* (Air Formasi Sintetik)

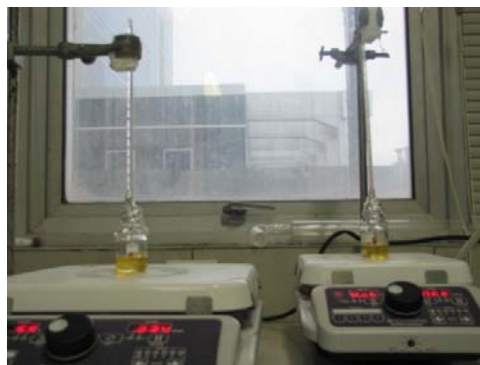
Brine water dibuat sesuai dengan kondisi *brine water* di lapangan Rantau, dengan cara melarutkan 20 gr NaCl kedalam 2000 gr aquadest. Kemudian diaduk menggunakan stirrer selama 4 jam. *Brine water* ini digunakan untuk melarutkan surfaktan yang telah diformulasikan.

c. *Screening Test* Surfaktan Tween 80 dan MES

Surfaktan Tween 80 dan MES sebagai bahan baku formulasi surfaktan dilakukan *Screening Test*. Caranya adalah dengan melarutkan masing-masing surfaktan Tween 80 dan MES dalam *brine water* dengan konsentrasi 0,1; 0,5; 1,0 dan 2,0 % diaduk menggunakan stirrer. Setelah itu mengukur IFT nya.

d. Proses Formulasi Surfaktan

Surfaktan MES NSB45 yang telah dibuat, digunakan sebagai bahan baku dalam proses formulasi surfaktan. Selain MES, surfaktan lain yang digunakan adalah Surfaktan Tween 80 (Polysorbat 80). Dua surfaktan ini dicampurkan dengan perbandingan tertentu (variasi) kemudian ditambahkan berbagai macam pelarut (Etanol, EGBE atau campuran Etanol dan EGBE). Kondisi pencampuran menggunakan dua variasi yaitu tanpa pemanasan dan dengan pemanasan 40°C selama 30 menit, kemudian didiamkan pada suhu kamar. Proses formulasi surfaktan ditunjukkan Gambar 3.4. Susunan komposisi formulasi surfaktan ditunjukkan pada Tabel 3.1. Setelah membuat formulasi, maka dilakukan *screening test*. Hasil terbaik yaitu dengan nilai IFT terendah, kemudian dilakukan formulasi lagi dengan menggunakan alkali, Na₂CO₃ 1%.



Gambar 3.4. Proses Formulasi Surfaktan

Tabel 3.1. Susunan Formulasi Surfaktan

Surfaktan Primer	Surfaktan Sekunder	Suhu	Pelarut		
			EGBE	Etanol	Campuran EGBE + Etanol
MES NSB45 (25%)	Tween 80 (25%)	Tanpa Pemanasan	25% Kode:F.11	25% Kode:F.12	EGBE (25%) Etanol (25%) Kode: F.13
		Pemanasan 40 °C	25% Kode:F.11T	25% Kode:F.12T	EGBE (25%) Etanol (25%) Kode:F.13T

3.2.3. Variabel Penelitian

Variabel Tetap

- Surfaktan primer yang digunakan adalah Surfaktan Tween 80
- Surfaktan sekunder yang digunakan adalah Metil Ester Sulfonat (MES), MES NSB45
- Sampel minyak yang digunakan minyak lapangan Rantau
- Konsentrasi *brine water* sintetik yang digunakan adalah 10000 ppm
- Waktu pengadukan saat proses formulasi adalah 30 menit
- % berat surfaktan MES dalam formulasi adalah 25%
- % berat surfaktan Tween 80 dalam formulasi adalah 25%

Variabel Bebas

- Suhu formulasi (tanpa pemanasan dan dengan pemanasan suhu 40 °C)
- Jenis pelarut (EGBE (1) , Etanol (2), EGBE + Etanol (3))
- Konsentrasi surfaktan dalam air formasi sintetik

Variabel Terikat

- *Screening test compatibility* sebelum formulasi dan setelah formulasi
- Nilai IFT sebelum formulasi dan setelah formulasi

3.3. *Screening Test Hasil Formulasi Surfaktan*

3.3.1. *Compatibility Test*

Compatibility test atau Uji *compatibility* adalah uji kecocokan terhadap *brine water* dilakukan dengan cara melarutkan masing-masing surfaktan MES, Surfaktan Tween 80 atau surfaktan hasil formasi ke dalam *brine water* dengan konsentrasi 0,1%, 0,5%, 1% dan 2%. Selanjutnya larutan surfaktan tersebut diaduk menggunakan stirrer, lalu didiamkan dan diamati apakah surfaktan larut dalam air formasi sintetik atau tidak. Larutan yang telah diaduk ini disebut larutan surfaktan.

3.3.2 *Pengukuran Nilai IFT*

Larutan surfaktan MES, Surfaktan Tween 80 atau surfaktan hasil formasi yang sudah dilarutkan dalam *brine water* diukur density nya, selanjutnya dilakukan pengukuran tegangan antarmuka minyak dan air (IFT) dengan menggunakan alat *Spinning Drop Interfacial Tensiometer*.

Cara kerja *Spinning Drop Interfacial Tensiometer* sebagai berikut : alat *spinning drop* dipanaskan, kemudian suhu di set pada suhu 62°C dan 3000 rpm. Setelah kondisi tersebut stabil, larutan surfaktan dengan konsentrasi yang telah dibuat diisikan ke dalam *glass tube*. Kemudian diberi 2 μL minyak (crude oil Rantau) ke dalam *glass tube* yang telah berisi larutan surfaktan, Dalam *glass tube* tidak boleh ada gelembung udara. *Glass tube* dimasukkan ke dalam alat *spinning drop interfacial tensiometer*, dengan permukaan *glass tube* menghadap ke arah luar. Power dan tombol lampu dihidupkan. Setiap setengah jam, data lebar *drop* (tetesan) dalam *tube* dicatat dengan memutar drum. Lebar *drop* minyak pada pengukuran IFT seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5. Pembacaan ini diulang-ulang sampai didapatkan harga yang konstan dari pembacaan lebar tetesan. Di layar komputer akan menunjukkan nilai IFT larutan surfaktan yang telah diukur. Alat *Spinning Drop Interfacial Tensiometer* ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Alat *Spinning Drop Interfacial Tensiometer*



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai variabel-variabel yang berpengaruh pada formulasi surfaktan dan unjuk kerjanya terhadap *brine water*.

4.1. *Screening Test Bahan Baku*

Screening test bahan baku perlu dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kriteria surfaktan terhadap *brine water* sebelum dilakukan formulasi. *Brine water* yang digunakan adalah *brine water* dari lapangan Rantau. Sedangkan sifat fisika dan kimia minyak Rantau yang digunakan pada penelitian diperoleh dari Laboratorium Sifat Fisika dan Kimia Minyak Bumi, KPRT Proses, PPPTMGB Lemigas seperti yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Sifat Fisika dan Kimia Minyak Rantau

No.	Sifat Fisika Kimia	Nilai
1.	Viscosity pada 100 °F	1,181 cSt
2.	API Gravity	45
3.	Specific Gravity 60/60 F	0,8016
4.	Density 62 °C	0,76974 mg/cm ³
5.	Total Acid Number	0,328 mg KOH/gr
6.	Total Base Number	0,260 mg KOH/gr

Sumber : Lab. Sifat Fisika dan Kimia Minyak Bumi, Lemigas, 2010

Screening test bahan baku formulasi surfaktan, yaitu MES NSB45 dan Surfaktan Tween 80, yang akan dibahas lebih lanjut.

4.1.1. Metil Ester Sulfonat NSB45

MES yang digunakan dalam penelitian ini adalah MES NSB45. MES tersebut adalah hasil penelitian berbagai macam variasi (perbandingan mol reaktan-agen sulfonasi dan waktu reaksi) oleh Lab. Chemical Flooding Kelompok EOR PPPTMGB “LEMIGAS” sebelumnya. MES tersebut adalah MES dengan

nilai IFT terendah, yang dibuat dengan perbandingan mol FAME dan $\text{NaHSO}_3 = 1:1$ dan lama reaksi 4,5 jam. Hasil pembuatan MES NSB45 ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar. 4.1. Produk MES NSB45

Untuk mengetahui kinerja surfaktan MES sebagai *chemical* untuk EOR maka dilakukan beberapa *screening test*, diantaranya *compatibility* dan pengukuran tegangan antarmuka (IFT=Interfacial Tension) sebagai parameter paling awal. Hasil *compatibility test* surfaktan MES NSB45 dengan *brine water* disajikan pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.2.



Gambar 4.2. Larutan Surfaktan MES NSB45

Larutan terbaik untuk memenuhi *compatibility test* sebagai surfaktan “chemical flooding” adalah larutan yang membentuk emulsi O/W, jernih (*clear solution*), tidak keruh (*hazy solution*) dan tidak membentuk endapan. Sedangkan MES NSB45 yang digunakan dalam penelitian tidak larut sempurna dalam air, atau membentuk dua fasa yaitu air dan minyak. Hal ini menunjukkan bahwa

Universitas Indonesia

surfaktan MES NSB45 tidak memenuhi kriteria parameter *compatibility screening test*.

Tabel 4.2. Hasil *Compatibility Test* Surfaktan MES NSB45

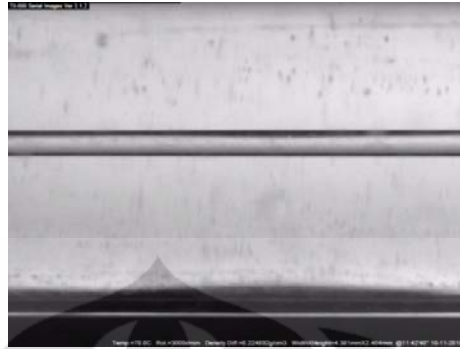
No.	Konsentrasi (% wt)	Pengamatan <i>Compatibility</i>
1	0,1	Light milky, agak keruh, larut
2	0,5	Light milky, agak keruh, tidak larut (butiran minyak)
3	1	Light milky, agak keruh, tidak larut (butiran minyak)
4	2	Light milky, agak keruh, tidak larut (butiran minyak)

MES merupakan surfaktan ionik dengan kandungan hidrofob (benci air) lebih besar dibandingkan hidrofiliknya. Hal ini menunjukkan bahwa MES kurang polar, sehingga pada saat *compatibility test* cenderung membentuk dua fasa. Hal yang perlu dilakukan untuk memenuhi *compatibility screening test*, adalah formulasi dengan surfaktan lain yang mempunyai kandungan hidrofilik lebih besar (surfaktan nonionik) yaitu Tween 80.

Namun, untuk lebih meyakinkan peran surfaktan MES dalam menurunkan tegangan antarmuka, dilakukan pengukuran nilai IFT. Nilai IFT merupakan fungsi dari lebar drop minyak yang dihasilkan pada pencampuran dengan larutan surfaktan. Semakin sempit lebar drop yang dihasilkan, maka nilai IFT juga semakin kecil. Hasil pengukuran IFT MES NSB45 ditunjukkan pada Tabel 4.3. sedangkan contoh lebar drop MES NSB45 ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Tabel 4.3. Nilai IFT MES NSB45

No.	Konsentrasi (%)	Nilai IFT (dyne/cm)
1	0,1	$3,22 \cdot 10^{-2}$
2	0,5	$5,19 \cdot 10^{-3}$
3	1	$1,56 \cdot 10^{-3}$
4	2	$9,78 \cdot 10^{-3}$



Lebar Drop

Gambar 4.3. Contoh lebar drop MES NSB45 Konsentrasi 0.5%

Berdasarkan hasil pengukuran, nilai IFT MES NSB45 yang diperoleh berada pada range $10^{-2} - 10^{-3}$ dyne/cm. Hal ini menunjukkan bahwa, nilai IFT MES NSB45 sudah memenuhi kriteria parameter *screening test* injeksi kimia sebagai “chemical flooding” untuk EOR, karena nilai IFT yang diinginkan adalah 10^{-3} dyne/cm.

Uji IFT dan *compatibility test* menunjukkan bahwa MES NSB45 sudah memenuhi syarat jika dilihat dari nilai IFT tetapi tidak dapat memenuhi persyaratan jika dilihat dari *compatibility*, karena terbentuknya suspensi, campuran dua fasa (tidak dapat larut sempurna di dalam *brine water*). Oleh karenanya perlu dilakukan formulasi, agar dapat memenuhi persyaratan sebagai “chemical flooding” untuk EOR.

4.1.2. Tween 80

Tween 80 digunakan dalam penelitian ini berfungsi sebagai ko-surfaktan, Ko-surfaktan dibutuhkan untuk membuat surfaktan primer (dalam hal ini adalah MES NSB45) cukup larut di dalam *brine water*. Alasan pemilihan Tween 80 sebagai ko-surfaktan karena Tween 80 merupakan jenis surfaktan nonionik dengan kandungan HLB 15, sifatnya lebih polar sehingga mudah larut dalam air. Diharapkan dengan penambahan Tween 80 pada saat formulasi, dapat memperbaiki sifat kelarutan MES NSB45 dalam *brine water*, sehingga dapat memenuhi kriteria parameter *compatibility test*. Selain itu, Tween 80 banyak terdapat di pasaran sehingga mudah diperoleh dan harganya relatif murah, jika

digunakan dalam kapasitas besar akan menghemat biaya produksi. Oleh karenanya, dalam penelitian ini dilakukan formulasi dengan surfaktan

Sesuai dengan teori diatas, hasil percobaan *compatibility test* menunjukkan bahwa Tween 80 dapat larut sempurna dalam *brine water* (Gambar 4.4), lebih lengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.4.



Gambar 4.4. Larutan Surfaktan Tween 80

Sedangkan nilai IFT Tween 80 masih relatif tinggi, yaitu berkisar $10^0 - 10^{-1}$ dyne/cm seperti yang terangkum dalam pada Tabel 4.5.

Tabel 4.4. Hasil *Compatibility Test* Surfaktan Tween 80

No.	Konsentrasi (% wt)	Pengamatan <i>Compatibility</i>
1	0,1	Jernih, larut
2	0,5	Jernih, larut
3	1	Jernih, larut
4	2	Jernih, larut

Tabel 4.5. Nilai IFT Surfaktan Tween 80

No.	Konsentrasi (%)	Nilai IFT (dyne/cm)
1	0,1	$2.30.10^0$
2	0,5	$2.36.10^{-1}$
3	1	$2.47.10^{-1}$
4	2	$2.51.10^{-1}$

Dari hasil *screening test* pada Surfaktan Tween 80 dan MES NSB 45 tersebut diatas, terlihat bahwa surfaktan Tween 80 bagus dalam hal *compatibility* terhadap *brine water* lapangan Rantau, sedangkan MES NSB45 bagus dalam hal penurunan tegangan antar muka, yang ditunjukkan dari nilai IFT yang relatif rendah ($10^{-2} - 10^{-3}$ dyne/cm). Oleh karena itu, untuk memenuhi kriteria parameter *screening test* surfaktan sebagai “chemical flooding” untuk EOR, yaitu *compatibility* dan nilai IFT, perlu dilakukan formulasi surfaktan.

4.2. Formulasi Surfaktan

Formulasi surfaktan dalam penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki sifat surfaktan yang sudah ada (MES) agar memenuhi surfaktan untuk EOR yaitu dapat membentuk emulsi O/W dengan nilai IFT 10^{-3} dyne/cm. Oleh karenanya formulasi dilakukan dengan mencampurkan MES NSB45 dan Surfaktan Tween 80, serta beberapa macam pelarut agar mendapatkan formula surfaktan terbaik, yang dapat memenuhi kriteria parameter *screening test*.

Formulasi dibuat dengan melakukan beberapa variasi seperti; dengan pemanasan dan tanpa pemanasan, jenis pelarut dan konsentrasi surfaktan dalam *brine water*. Pengaruh variasi tersebut akan dilihat dari *screening test* surfaktan yaitu uji *compatibility* dan uji pengukuran IFT. Semua uji dilakukan pada satu salinitas *brine water*, yaitu 10.000 ppm dari sumur lapangan Rantau. Pengaruh variabel pembuatan formulasi surfaktan akan dibahas lebih rinci berikut ini.

4.2.1. Pengaruh Pemanasan Terhadap *Compatibility* dan Nilai IFT

Pada penelitian ini, dilakukan formulasi dengan menggunakan pemanasan 40°C dan tanpa pemanasan sehingga diketahui pengaruh pemanasan terhadap *compatibility* dan nilai IFT pada formulasi surfaktan. Produk formulasi surfaktan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.5.

Uji *compatibility* merupakan pengujian awal sebelum dilakukan pengujian-pengujian yang lain. Apabila pada uji ini surfaktan tidak lolos, maka surfaktan dianggap tidak layak untuk *reservoir* yang bersangkutan. Uji *compatibility* ini dilakukan dengan melarutkan hasil formulasi surfaktan dengan

brine water 10.000 ppm pada konsentrasi surfaktan 0,1; 0,5; 1,0 dan 2,0 % (% *wt*). Hasil uji *compatibility* formulasi surfaktan ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Pemilihan konsentrasi surfaktan pada 0,1; 0,5; 1,0 dan 2,0 % didasarkan pada perwakilan konsentrasi surfaktan terendah yang akan diinjeksikan ke *reservoir*. Semakin rendah konsentrasi surfaktan yang diinjeksikan, maka biaya produksi injeksi semakin kecil. Jika konsentrasi surfaktan yang diinjeksikan lebih dari 2%, maka dianggap injeksi *chemical* kurang ekonomis.

Diharapkan pada konsentrasi rendah, surfaktan sudah membentuk CMC yang ditandai dengan nilai IFT pada kisaran 10^{-3} dyne/cm. CMC mewakili konsentrasi larutan surfaktan agar terjadi adsorpsi maksimum.



Gambar 4.5. Produk Formulasi Surfaktan Dengan Pemanasan

Hasil pengamatan *screening test compatibility* pada formulasi surfaktan (Tabel 4.7) memperlihatkan setiap larutan surfaktan membentuk larutan *milky* (putih seperti emulsi susu), keruh dan larut (tidak membentuk dua fasa atau butiran minyak). Semakin tinggi konsentrasi surfaktan, larutan menjadi semakin keruh, tetapi tidak menimbulkan endapan atau gumpalan. Endapan atau gumpalan dapat menimbulkan penyumbatan pada batuan *reservoir*.

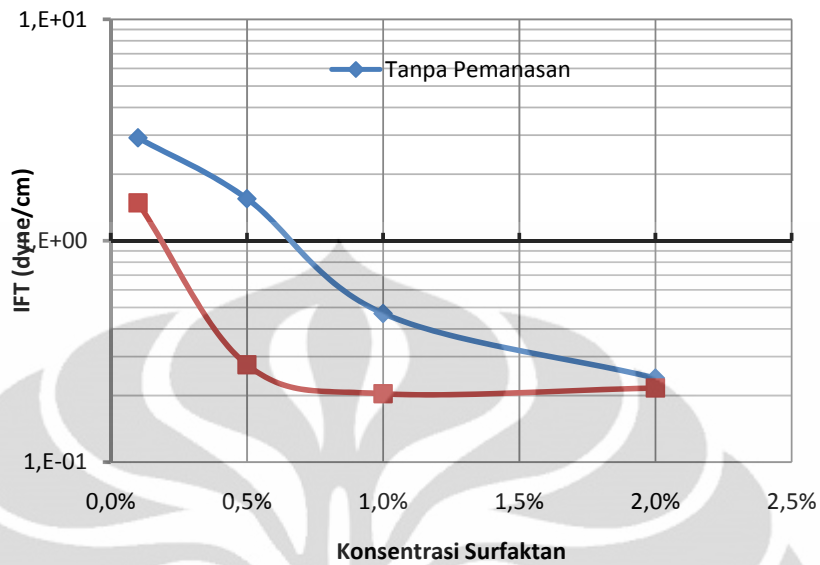
Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, disimpulkan bahwa formulasi surfaktan dengan dan tanpa pemanasan pada konsentrasi 0,1%; 0,5%; 1,0% dan 2,0 % *compatible* (cocok) terhadap *brine water*, karena pada hasil uji tidak menunjukkan adanya dua fasa ataupun terbentuk endapan/ gumpalan. Jika dibandingkan dengan *compatibility* MES NSB45 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, hasil formulasi surfaktan dapat dikatakan bagus karena larut sempurna dalam *brine water*.

Setelah formulasi surfaktan lolos pada *screening test compatibility*, maka perlu dilakukan pengukuran IFT. Hasil pengukuran nilai IFT pada proses formulasi dengan pemanasan dan tanpa pemanasan ditunjukkan pada Tabel 4.6.

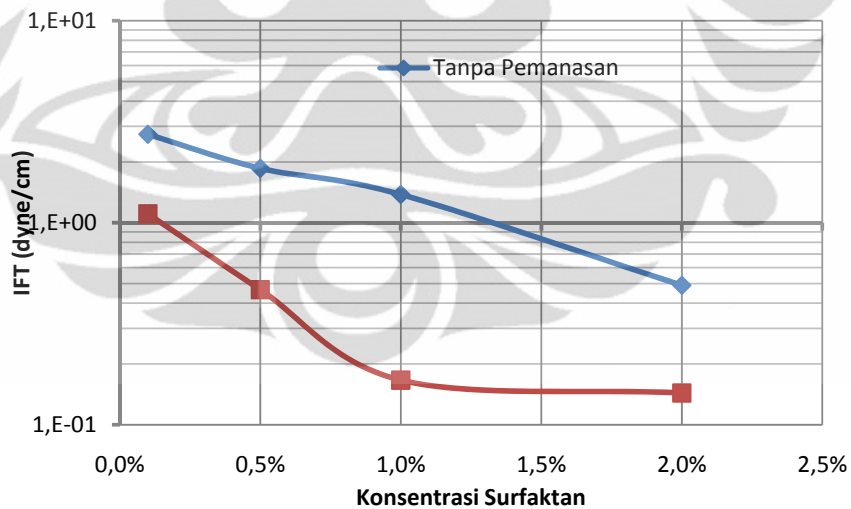
Pada Gambar 4.6 hingga Gambar 4.8 terlihat secara jelas perbandingan nilai IFT akibat pengaruh pemanasan dan tanpa pemanasan. Semua produk formulasi dengan pemanasan 40°C mempunyai nilai IFT lebih kecil bila dibandingkan dengan formulasi tanpa pemanasan. Hal ini karena pada saat formulasi dengan pemanasan, reaktan-reaktan (MES, Tween 80 dan pelarut) bergerak lebih cepat dan saling bertumbukan sehingga dapat mempercepat laju reaksi. Peningkatan suhu berpengaruh dalam mempercepat reaksi [Bird, 1985]. Jika tanpa pemanasan, reaktan-reaktan tidak mempunyai energi yang cukup untuk bereaksi. Pada saat pemanasan, diasumsikan senyawa aktif terbentuk [Tong, 1986]. Diasumsikan bahwa terbentuknya senyawa aktif baru dapat menurunkan nilai IFT.

Tabel 4.6. Hasil Pengukuran Nilai IFT

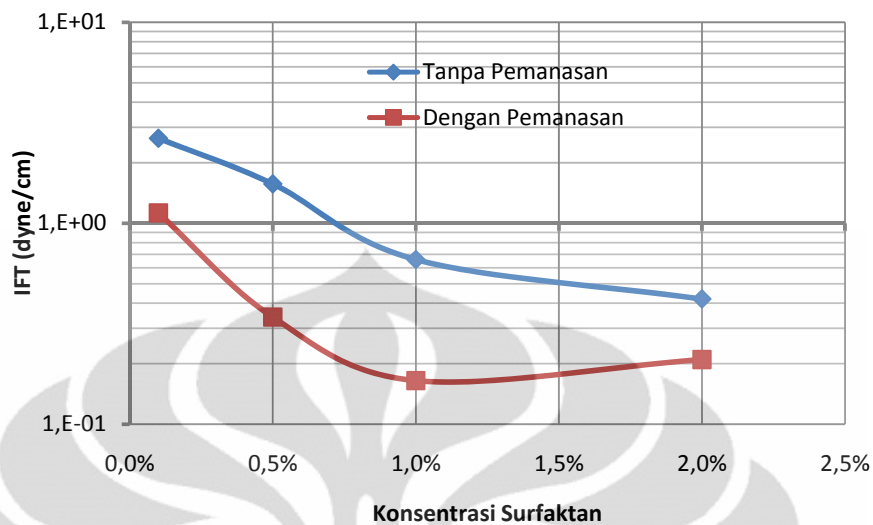
No	Nama Surfaktan	Konsentrasi	Nilai IFT	
			TANPA PEMANASAN	PEMANASAN 40°C
1	Surfaktan Tween 80, MES NSB45, EGBE (F.11)	0,1%	2,92	1,48
		0,5%	1,55	$2,76 \cdot 10^{-1}$
		1%	$4,69 \cdot 10^{-1}$	$2,04 \cdot 10^{-1}$
		2%	$2,40 \cdot 10^{-1}$	$2,16 \cdot 10^{-1}$
2	Surfaktan Tween 80, MES NSB45, Etanol (F.12)	0,1%	2,74	1,11
		0,5%	1,85	$4,67 \cdot 10^{-1}$
		1,0%	1,38	$1,66 \cdot 10^{-1}$
		2,0%	$4,95 \cdot 10^{-1}$	$1,44 \cdot 10^{-1}$
3	Surfaktan Tween 80, MES NSB45, EGBE-Etanol (F.13)	0,1%	2,65	1,13
		0,5%	1,57	$3,41 \cdot 10^{-1}$
		1,0%	$6,64 \cdot 10^{-1}$	$1,65 \cdot 10^{-1}$
		2,0%	$4,15 \cdot 10^{-1}$	$2,10 \cdot 10^{-1}$



Gambar 4.6. Pengaruh Pemanasan Terhadap Nilai IFT pada Formulasi Surfaktan Tween 80, MES NSB45, EGBE (F.11)



Gambar 4.7. Pengaruh Pemanasan Terhadap Nilai IFT pada Formulasi Surfaktan Tween 80, MES NSB45, Etanol (F.12)



Gambar 4.8. Pengaruh Pemanasan Terhadap Nilai IFT pada Formulasi Surfaktan Tween 80, MES NSB45, EGBE-Etanol (F.13)

Dari uraian tersebut diatas disimpulkan bahwa, proses formulasi dengan dan tanpa pemanasan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *compatibility* tetapi berpengaruh cukup besar terhadap nilai IFT. Jika dibandingkan dengan nilai IFT MES NSB45 yang ditunjukkan pada Tabel 4.2, nilai IFT formulasi surfaktan justru menunjukkan hasil yang lebih tinggi. Kenaikan nilai IFT ini mungkin disebabkan perbandingan berat antara surfaktan primer (MES NSB45) dan surfaktan sekunder (Tween 80) belum tepat. Surfaktan dapat dikatakan efektif dalam meningkatkan % *oil recovery*, jika surfaktan mampu menurunkan IFT sampai 10^{-3} dyne/cm [Jackson, 2006].

4.2.2. Pengaruh Pelarut Terhadap *Compatibility* dan Nilai IFT

Pelarut digunakan dalam formulasi surfaktan mempunyai tujuan untuk membantu melarutkan hasil formulasi dengan *brine water*.

Jenis surfaktan yang dicampur dengan bahan kimia lain seperti pelarut, pada *brine water* dengan salinitas tertentu harus mempunyai sifat *slug be a clear*, yaitu larutan yang stabil tanpa membentuk endapan atau fasa terpisah, karena akan mengganggu transportasi surfaktan kedalam *reservoir*. *Co solvent* dan atau *co surfactant* dibutuhkan untuk membuat surfaktan primer cukup larut di dalam

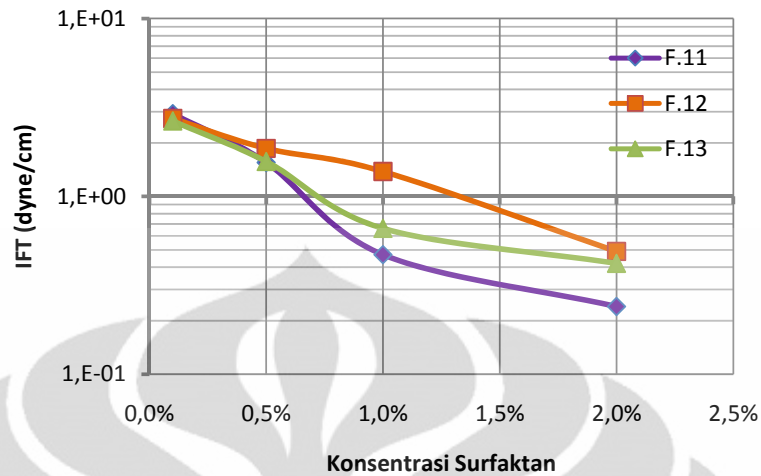
brine water. Pada penelitian ini, pelarut yang digunakan adalah Etilen Glikol Butil Eter (EGBE), Etanol dan campuran EGBE-Etanol. Hasil pengamatan *Compatibility test* pada formulasi surfaktan ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Penambahan pelarut pada formulasi, membantu surfaktan larut sempurna dalam *brine water*. Hal ini menunjukkan bahwa pelarut memberi pengaruh yang signifikan terhadap *compatibility* surfaktan terhadap *brine water*. Pelarut EGBE yang digunakan dalam penelitian masih dalam golongan eter dan alkohol, dengan karakteristik mempunyai kelarutan yang tinggi terhadap minyak dan air, volatilitas yang rendah dan kecenderungan untuk mengikat tanah atau sedimen. Sedangkan etanol merupakan pelarut serbaguna, larut dengan air dan pelarut organik seperti asam asetat, aseton, benzene, karbon tetraklorida, dietil eter, etilen glikol, gliserol, nitrometane, piridin dan toluen. Oleh karenanya, EGBE dan etanol dapat membantu kelarutan surfaktan dalam *brine water*.

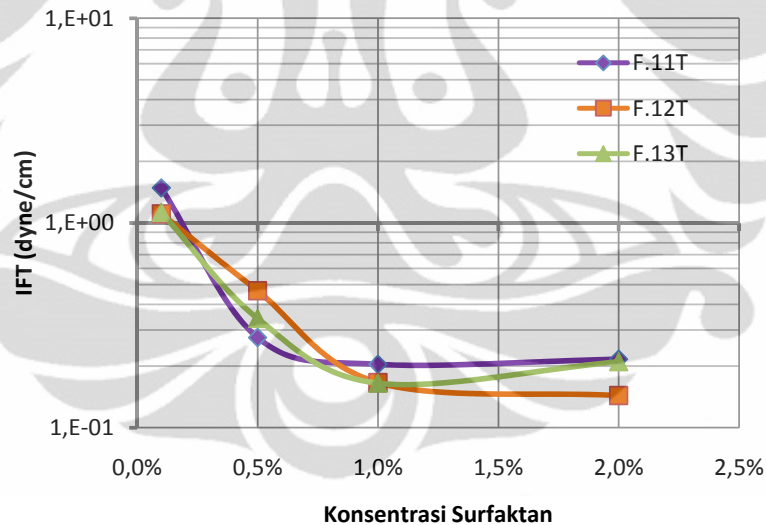
Tabel 4.7. Hasil pengamatan *compatibility*

No	Nama Surfaktan	Konsentrasi	Pengamatan <i>Compatibility</i>	
			TANPA PEMANASAN	PEMANASAN 40°C
1	F.11	0,1%	Light milky, agak keruh, larut	Light milky, agak keruh, larut
		0,5%	Milky, agak keruh, larut	Light milky, agak keruh, larut
		1,0%	Milky, keruh, larut	Light milky, keruh, larut
		2,0%	Milky, keruh, larut	Milky, keruh, larut
2	F.12	0,1%	Light milky, agak keruh, larut	Light milky, agak keruh, larut
		0,5%	Milky, keruh, larut	Light milky, keruh, larut
		1,0%	Milky, keruh, larut	Milky, keruh, larut
		2,0%	Milky, sangat keruh, larut	Milky, keruh, larut
3	F.13	0,1%	Light milky, agak keruh, larut	Light milky, agak keruh, larut
		0,5%	Milky, keruh, larut	Light milky, agak keruh, larut
		1,0%	Milky, keruh, larut	Light milky, keruh, larut
		2,0%	Milky, sangat keruh, larut	Milky, sangat keruh, larut

Sedangkan pengaruh pelarut terhadap nilai IFT ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9. Pengaruh Pelarut Terhadap Nilai IFT pada Proses Tanpa Pemanasan



Gambar 4.10. Pengaruh Pelarut Terhadap Nilai IFT pada Proses Dengan Pemanasan 40°C

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.9, terlihat bahwa surfaktan dengan pelarut etanol (F12) tanpa pemanasan mempunyai nilai IFT yang lebih besar dibanding kedua pelarut lainnya. Nilai IFT dengan menggunakan pelarut EGBE (F11) sedikit lebih rendah dibandingkan

menggunakan pelarut etanol. Pada pelarut campuran EGBE-etanol (F13) diperoleh nilai IFT sedikit lebih besar daripada pelarut EGBE (F11), yang mungkin disebabkan oleh adanya pengaruh etanol. Sedangkan berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, nilai IFT dari ketiga pelarut berdekatan pada proses formulasi dengan pemanasan 40°C,.

Sehingga disimpulkan bahwa pengaruh pelarut terhadap nilai IFT tidak signifikan, karena nilai IFT tiap pelarut berdekatan. Tetapi pelarut membantu kelarutan surfaktan dalam *brine water*. Untuk itu, perlu penelitian lebih lanjut untuk menurunkan nilai IFT, agar surfaktan memenuhi kriteria parameter *screening test* sebagai “chemical flooding” untuk EOR.

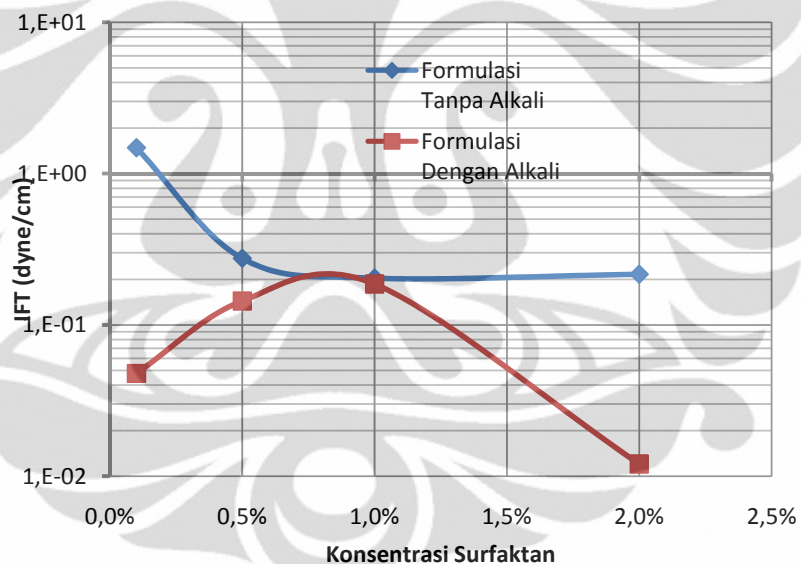
4.2.3. Pengaruh Alkali Terhadap Nilai IFT

Berdasarkan hasil pengukuran IFT dari proses formulasi, menunjukkan bahwa proses formulasi dengan pemanasan 40°C mempunyai potensi menurunkan nilai IFT. Maka, dalam penelitian ini dilakukan penambahan alkali (Na_2CO_3) pada proses formulasi dengan pemanasan 40°C, diharapkan nilai IFT akan lebih kecil lagi. Penambahan alkali (Na_2CO_3 , NaOH atau Na_4SiO_4) dapat menurunkan nilai IFT [Elkamel, 2002]. Penambahan alkali menyebabkan pengurangan H^+ dan membuat disosiasi HA, asam terionisasi akan mencapai konsentrasi kritis untuk membentuk misel [Wasan, 1994]. Konsentrasi alkali yang digunakan adalah 1%, konsentrasi ini cukup baik digunakan, karena jika semakin tinggi konsentrasi alkali maka akan semakin keruh larutan surfaktan-alkali dalam *brine water*, selain itu jika diaplikasikan dalam jumlah besar akan lebih ekonomis. Tabel 4.8 dan Gambar 4.11 menunjukkan hasil pengukuran nilai IFT formulasi surfaktan dengan alkali.

Tabel 4.8. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formulasi Surfaktan dengan Alkali

No	Konsentrasi	Nilai IFT Rata-rata	
		F.11T	F.11TA
1	0.10%	$1,48.10^0$	$4,78. 10^{-2}$
2	0.50%	$2,76.10^{-1}$	$1,44.10^{-1}$
3	1%	$2,04.10^{-1}$	$1,86.10^{-1}$
4	2%	$2,16.10^{-1}$	$1,20.10^{-2}$

Dilihat dari nilai IFT, bahwa penambahan alkali dapat menurunkan nilai IFT. Penurunan nilai IFT sampai 10^{-2} dyne/cm pada konsentrasi surfaktan 0,1% dan 2%, tetapi nilai IFT ini masih belum memenuhi kriteria parameter *screening test* “chemical flooding” untuk EOR. Hal ini disebabkan oleh nilai Total Acid Number (Bilangan Asam) minyak Rantau sangat rendah, sehingga alkali hanya berpengaruh sedikit dalam penurunan nilai IFT. Selain itu, berbagai zat dalam minyak mentah lapangan Rantau tidak seluruhnya dapat bereaksi dengan alkali untuk menghasilkan spesies yang aktif dalam menurunkan tegangan antar muka. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian dengan konsentrasi surfaktan kurang dari 0,1%, untuk mengetahui kemungkinan penurunan nilai IFT sampai 10^{-3} dyne/cm.



Gambar 4.11. Pengaruh Alkali terhadap Nilai IFT

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diambil dari penelitian ini adalah;

1. Pengaruh pelarut dalam formulasi surfaktan meskipun memenuhi kriteria parameter *screening test compatibility*, tetapi tidak signifikan dalam menurunkan nilai IFT.
2. Formulasi surfaktan menggunakan proses pemanasan 40°C dapat menurunkan nilai IFT lebih besar (hingga 10^{-1} dyne/cm) dibandingkan dengan proses tanpa pemanasan.
3. Pengaruh alkali dalam formulasi surfaktan dengan proses pemanasan 40°C dapat menurunkan nilai IFT hingga 10^{-2} dyne/cm.
4. Formula surfaktan yang terdiri atas 25% Metil Ester Sulfonat (MES) NSB45, 25% Surfaktan Tween 80 dan 50% pelarut dapat memenuhi kriteria parameter *screening test compatibility* dan sedikit menurunkan nilai tegangan antar muka (IFT)

4.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai;

1. variasi komposisi bahan baku formulasi surfaktan (surfaktan primer, surfaktan skunder/ ko-surfaktan, pelarut dan alkali),
2. variasi jenis MES, ko-surfaktan temperatur pemanasan atau penambahan alkali,
3. variasi konsentrasi larutan surfaktan yaitu kurang dari 0,1%, agar terpenuhi kriteria parameter *screening test* yaitu *compatibility* dan nilai IFT terpenuhi.

DAFTAR REFERENSI

- Abdel Moghny, Th. (2006). *Surfactant Formulations in Enhanced Oil Recovery*, Chapter 11, pp. 325 - 345, "In Surfactant Science Series", Vol. 128, Handbook of Detergents, Part D: Formulation. Edited by Showell, S.M., CRC Press, Taylor and Francis Group, New York.
- Alamanda, Jelita. (2007). *Pembuatan Ester Metil Sulfonat dari CPO untuk Surfaktan Flooding*. Bandung: ITB Central Library.
- Amri, Qayyum. (2009). *Surfaktan Metil Ester Sulfonat Guna Meningkatkan Recovery Minyak Bumi*. E. Hambali, M. Rivai, P. Suarsana, Sugiharjo, E. Zulchaidir, H. Handoko. [http:// www.infosawit.com](http://www.infosawit.com) .
- Berger, Paul D, Huimin Christie. (2007, Aug 16). *Mixed Anionic Surfactant Composition for Oil Recovery*. US Paten 2007/0191655A1.
- Campbell Curtis Bay, Denslow Theresa A *et al.*, (2009). *Enhanced Oil Recovery Surfactant Formulation and Method of Making the Same*. Chevron Cooperation. US Patent 2009/0111717 A1.
- Donaldson Erle C, Chilingarian George V, The Fu Yen.(1985). *Enhanced Oil Recovery Fundamentals and Analyses*. Netherlands: Elsevier Science Publishers B.V.
- Drelich J, Fang Ch, Whit C.L. (2002). *Measurement of Interfacial Tension in Fluid-Fluid System*. Encyclopedia of Surface and Colloid Science. Michigan Technological University. Michigan: Marcel Dekker, Inc.
- Elkamel A , Al-Sahhaf T, Ahmed S. (2002). *Studying the Interactions Between an Arabian Heavy Crude Oil and Alkaline Solutions*. New York: Petroleum Science and Technology Vol. 20, Nos.7 & 8, pp. 789-807.

Eni, Hestuti. (2010). *Pembuatan Surfaktan untuk Aplikasi Pendesakan Minyak dengan Injeksi Kimia*. Jakarta: PPPTMGB “LEMIGAS”

Foster, N.C., Hovda, K., (1997). *Manufacture of Methyl Ester Sulfonates and other Derivatives*. Presentation Outlines of the Soaps, Detergents and Oleochemicals Conference and Exhibit, AOCS Publication.

French T.R, Josephson C.B, Evans D.B. (1991). *The Effect of Alkaline Additives on the Performance of Surfactants Systems Designed to Recover Light Crude Oil*. Bartlesville UK: IIT Research Institute, National Institute for Petroleum and Energy Research.

Hambali, Erliza. (2008, Agustus). *Proses Pembuatan Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES) Untuk Aplikasi Industri Migas*. Bogor: Seminar Teknologi Surfaktan dan Aplikasinya pada Industri Migas untuk Peningkatan Produksi Minyak.

<http://www.antaranews.com>

<http://www.floratech.com/Uploads/testmethods/TW10e.pdf>

http://www.theherbarie.com/files/resource-center/formulating/Emulsifiers_HLB_Values.pdf

<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=9926645>

http://www.wikipedia.org/wiki/Polysorbate_80

Jackson A.C, (2006). *Experimental Study of the Benefit of Sodium Carbonate on Surfactant for Enhanced Oil Recovery*. Texas: The University of Texas at Austin

Morrow. (1992, March 10). *Enhanced Oil Recovery using Alkylated, Sulfonated, Oxidized Lignin Surfactants*. US Paten 5,094,295.

Myers, Drew.(1946). *Surfactant Science and Technology* (3rd ed). United States of America: Wiley Interscience A John Wiley & Sons, Inc., Publication.

Universitas Indonesia

- Perkins, Warren S.(1998, August). *Surfactans A Primer*: 51-54. February 21, 2010. [http:// www.p2pays.org](http://www.p2pays.org).
- Pusat Data dan Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2010. www.dtwh.esdm.go.id
- Schramm, Laurier L. (2000). *Surfactants: Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry*. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Setiyono, Lutfi, Karatika Ika dan Nurhidayanti. (2009). *Makalah "Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES)"*. Departemen Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Sugihardjo, Tobil Edward ML, Syahrial Ego.(2008 May). *Important Parameters of Injecting Fluid Design In ASP-EOR Projects IPA08-E-024*. Jakarta: Proceeding, Indonesian Petroleum Association.
- Tong, Mingzhe, Liu, Pu, Zhang, Lufang, Zhu, Yajie. (1986). *An Improved Model for Interfacial Activity of Acidic Oil/Caustic System for Alkaline Flooding*. Beijing, China : International Meeting on Petroleum Engineering, Beijing Post Graduate School, East China Petroleum Institute.
- Trivedi, S.N. (2005). *Methyl Ester Sulfonates (MES) – an Alternate Surfactant from Renewable Natural Resources*. Mumbai: Chemiton Engineers Pvt. Ltd.
- Wasan, Darsh T. (1994). *Surfactant-Enhanced Alkaline Flooding for Light Oil Recovery*. Annual Report 1992-1993. Chicago, Illinois: Illinois Institute of Technology.
- Wibowo Eko Bagus, Buntoro Aris, Natsir M. (2007). *Upaya Peningkatan Perolehan Minyak Menggunakan Metode Chemical Flooding Di Lapangan Limau*. Yogyakarta: Proceeding Simposium Nasional IATMI 25 – 28 Juli 2007, UPN “Veteran” Yogyakarta. <http://www.elib.iatmi.or.id>

Lampiran A

Perhitungan NaHSO₃ pada pembuatan MES

Diketahui : Berat Molekul Fatty Acid Methyl Ester (FAME) = 257, 516 gr/grmol

Berat Molekul NaHSO₃ = 104 gr/grmol

Berat FAME = 150 gr

Berat NaHSO₃ yang dibutuhkan adalah:

- Menghitung mol FAME

$$\text{mol FAME} = \frac{\text{berat FAME}}{\text{Berat Molekul FAME}}$$

$$\text{mol} = \frac{150 \text{ gr}}{257,516 \text{ gr/grmol}}$$

$$\text{mol FAME} = 0,58 \text{ mol}$$

- Menghitung berat NaHSO₃

Perbandingan mol FAME dan NaHSO₃ = 1 : 1

Mol NaHSO₃ = 0,58 mol

$$\text{berat NaHSO}_3 = \text{mol NaHSO}_3 \times \text{Berat Molekul NaHSO}_3$$

$$\text{berat NaHSO}_3 = 0,58 \text{ mol} \times 104 \text{ gr/grmol}$$

$$\text{berat NaHSO}_3 = 60,6 \text{ gr}$$

Lampiran B

Perhitungan konsentrasi surfaktan dan penambahan Alkali

1. Perhitungan konsentrasi surfaktan

Basis: Konsentrasi 0,1% = “a” gr berat surfaktan

Konsentrasi 0,1 % = 0,1 gr surfaktan ditambahkan pada *brine water* sampai diperoleh berat total 20 gr .

- Konsentrasi 0,1% = a
- Konsentrasi 0,5% = 5a
- Konsentrasi 1% = 10a
- Konsentras 2% = 20a

2. Perhitungan penambahan alkali (Na₂CO₃)

$$\begin{aligned} 1\% \text{ b/b alkali dalam larutan surfaktan} &= 1\% \times 20 \text{ gr larutan surfaktan} \\ &= 2 \text{ gr.} \end{aligned}$$

Maka, 2 gr Na₂CO₃ ditambahkan ke setiap konsentrasi surfaktan 0,1; 0,5; 1 dan 2%

Lampiran C

Perhitungan perbedaan densitas surfaktan dan densitas reservoir ($\Delta\rho$)

1. Hasil pengukuran densitas tiap larutan surfaktan

Identitas	Konsentrasi	Hasil pengukuran densitas (ρ), kg/m ³
F.11	0,1 %	0,99998
	0,5 %	0,99917
	1,0 %	0,99880
	2,0 %	0,99756
F.12	0,1 %	0,99971
	0,5 %	0,99803
	1,0 %	0,99615
	2,0 %	0,99214
F.13	0,1 %	0,99986
	0,5 %	0,99868
	1,0 %	0,99732
	2,0 %	0,99450
F.11T	0,1 %	1,00535
	0,5 %	1,00473
	1,0 %	1,00393
	2,0 %	1,00204
F.12T	0,1 %	0,99747
	0,5 %	1,00135
	1,0 %	1,00339
	2,0 %	1,00511
F.13T	0,1 %	0,99964
	0,5 %	1,00261
	1,0 %	1,00412
	2,0 %	0,99729
F.11TA	0,1 %	1,00910
	0,5 %	1,00836
	1,0 %	1,00767
	2,0 %	1,00815

2. Perhitungan perbedaan densitas surfaktan dan densitas reservoir ($\Delta\rho$)

Tahap pertama untuk menghitung $\Delta\rho$ adalah menghitung densitas surfaktan pada suhu reservoir (ρ_1), yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_1 = \rho_0 / (1 + \beta (t_1 - t_0)) \quad (1)$$

Universitas Indonesia

dimana

ρ_1 = densitas akhir (kg/m^3), densitas surfaktan pada suhu reservoir

ρ_0 = densitas awal (kg/m^3), pengukuran densitas surfaktan pada suhu 40°C

β = *volumetric temperature expansion coefficient* ($\text{m}^3/\text{m}^3\text{ }^\circ\text{C}$) =

$$= 0,0002 \text{ m}^3/\text{m}^3\text{ }^\circ\text{C}$$

t_1 = *final temperature* ($^\circ\text{C}$), suhu reservoir = 62°C

t_0 = *initial temperature* ($^\circ\text{C}$), suhu pengukuran densitas = 40°C

Tahap kedua yaitu dengan mengurangi densitas surfaktan pada suhu reservoir dengan densitas minyak Rantau, dimana densitas minyak rantau = $0,76974 \text{ kg/m}^3$

Hasil perhitungan perbedaan densitas ($\Delta\rho$) ini sebagai data untuk pengukuran nilai IFT menggunakan alat *Spinning Drop Tensiometer*.

Hasil Perhitungan perbedaan densitas ($\Delta\rho$)

Identitas	Konsentrasi	Hasil pengukuran densitas (ρ_0), kg/m^3	Hasil perhitungan densitas (ρ_1), kg/m^3	$\Delta\rho$, kg/m^3
F.11	0,1 %	0,99998	0,995599	0,225859
	0,5 %	0,99917	0,994793	0,225053
	1,0 %	0,99880	0,994425	0,224685
	2,0 %	0,99756	0,99319	0,22345
F.12	0,1 %	0,99971	0,995331	0,225591
	0,5 %	0,99803	0,993658	0,223918
	1,0 %	0,99615	0,991786	0,222046
	2,0 %	0,99214	0,987794	0,218054
F.13	0,1 %	0,99986	0,99548	0,22574
	0,5 %	0,99868	0,994305	0,224565
	1,0 %	0,99732	0,992951	0,223211
	2,0 %	0,99450	0,990143	0,220403
F.11T	0,1 %	1,00535	1,000946	0,231206
	0,5 %	1,00473	1,000329	0,230589
	1,0 %	1,00393	0,999532	0,229792
	2,0 %	1,00204	0,99765	0,22791
F.12T	0,1 %	0,99747	0,9931	0,22336
	0,5 %	1,00135	0,996963	0,227223
	1,0 %	1,00339	0,998994	0,229254
	2,0 %	1,00511	1,000707	0,230967
F.13T	0,1 %	0,99964	0,995261	0,225521
	0,5 %	1,00261	0,998218	0,228478
	1,0 %	1,00412	0,999721	0,229981
	2,0 %	0,99729	0,992921	0,223181
F.11TA	0,1 %	1,00910	1,004679	0,234939
	0,5 %	1,00836	1,003943	0,234203
	1,0 %	1,00767	1,003256	0,233516
	2,0 %	1,00815	1,003734	0,233994

Lampiran D

Hasil Compatibility Test

1. Hasil *Compatibility Test* Larutan Surfaktan Tween 80



Gambar 1. Larutan Surfaktan Tween 80

2. Hasil *Compatibility Test* Larutan Surfaktan MES NSB45



Gambar 2. Larutan Surfaktan MES NSB45

3. Hasil *Compatibility Test* Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan EGBE, Tanpa Pemanasan



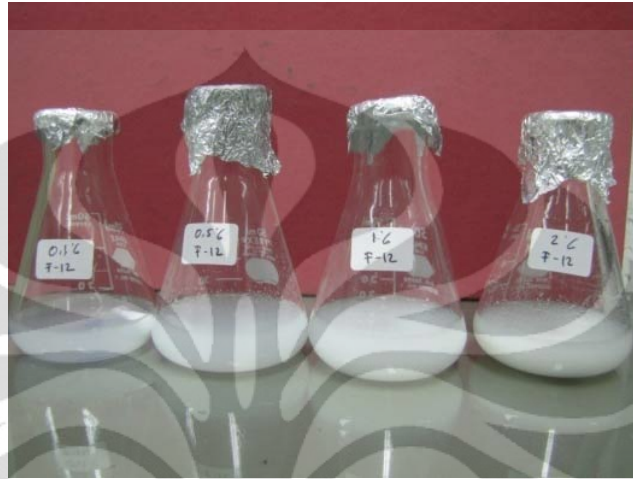
Gambar 3. Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan EGBE, Tanpa Pemanasan

4. Hasil *Compatibility Test* Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan EGBE, Tanpa Pemanasan Dengan Pemanasan 40°C



Gambar 4. Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan EGBE, Dengan Pemanasan 40°C

5. Hasil *Compatibility Test* Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan Etanol, Tanpa Pemanasan



Gambar 5. Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan Etanol Tanpa Pemanasan

6. Hasil *Compatibility Test* Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan Etanol Dengan Pemanasan 40°C



Gambar 6. Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan Etanol Dengan Pemanasan 40°C

7. Hasil *Compatibility Test* Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan Etanol, Tanpa Pemanasan



Gambar 7. Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan EGBE-Etanol Tanpa Pemanasan

8. Hasil *Compatibility Test* Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan EGBE-Etanol Dengan Pemanasan 40°C



Gambar 8. Larutan Sufaktan Formulasi MES NSB45, Tween 80 dan EGBE-Etanol, Dengan Pemanasan 40°C

Lampiran E

Hasil Pengukuran Nilai IFT

1. Hasil Pengukuran Nilai IFT MES NSB45, Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 NSB45
 Outer Phase **_0.1%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.2259
 Magn. Factor 1
 Date 10/11/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	10/11/2010 10:57	62	3000	0.351		0.0299654
2	10/11/2010 10:58	62	3000	0.36		0.0323301
3	10/11/2010 10:59	62	3000	0.356		0.0312643
4	10/11/2010 11:00	62	3000	0.356		0.0312643
5	10/11/2010 11:01	62	3000	0.373		0.0359605
						0.03215692

2. Hasil Pengukuran Nilai IFT MES NSB45 Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 NSB45
 Outer Phase **_0.5%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.2249
 Magn. Factor 1
 Date 10/11/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	10/11/2010 11:40	62	3000	0.214		0.0067941
2	10/11/2010 11:42	62	3000	0.189		0.0046803
3	10/11/2010 11:42	62	3000	0.193		0.0049838
4	10/11/2010 11:42	62	3000	0.184		0.0043186
5						0.0051942

Universitas Indonesia

3. Hasil Pengukuran Nilai IFT MES NSB45 Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **NSB45_1%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.225
 Magn. Factor 1
 Date 10/11/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	10/11/2010 13:27	62	3000	0.129		0.0014889
2	10/11/2010 13:27	62	3000	0.133		0.0016317
3	10/11/2010 13:28	62	3000	0.133		0.0016317
4	10/11/2010 13:28	62	3000	0.129		0.0014889
5						0.0015603

4. Hasil Pengukuran Nilai IFT MES NSB45 Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **NSB45_2%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.224
 Magn. Factor 1
 Date 10/11/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	10/12/2010 10:06	62	3000	0.24		0.0095452
2	10/12/2010 10:07	62	3000	0.266		0.0129956
3	10/12/2010 10:08	62	3000	0.244		0.0100305
4	10/12/2010 10:09	62	3000	0.219		0.0072524
5	10/12/2010 10:10	62	3000	0.236		0.0090758
						0.0097799

5. Hasil Pengukuran Nilai IFT Tween 80 Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **Tween 80_0.1%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.2237
 Magn. Factor 1
 Date 10/22/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	10/22/2010 17:20	61.8	3000	1.282	1.879	2.439405
2	10/22/2010 17:20	62.1	3000	1.273	1.902	2.317263
3	10/22/2010 17:21	62.2	3000	1.277	1.908	2.339176
4	10/22/2010 17:22	62.1	3000	1.26	1.925	2.104918
5						2.30019

6. Hasil Pengukuran Nilai IFT Tween 80 Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **Tween 80_0.5%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.2243
 Magn. Factor 1
 Date 10/22/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	10/22/2010 17:37	62	3000	0.703		0.240214
2	10/22/2010 17:38	62	3000	0.703		0.240214
3	10/22/2010 17:39	62	3000	0.694		0.231106
4	10/22/2010 17:40	62	3000	0.694		0.231106
5						0.23566

7. Hasil Pengukuran Nilai IFT Tween 80 Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **Tween 80_1%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.2243
 Magn. Factor 1
 Date 10/22/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	10/22/2010 18:00	62	3000	0.711		0.248509
2	10/22/2010 18:01	62	3000	0.711		0.248509
3	10/22/2010 18:02	62	3000	0.707		0.244338
4	10/22/2010 18:02	62	3000	0.711		0.248509
5						0.247466

8. Hasil Pengukuran Nilai IFT Tween 80 Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **Tween 80_2%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.2251
 Magn. Factor 1
 Date 10/22/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	10/22/2010 18:13	61.8	3000	0.716		0.254693
2	10/22/2010 18:14	62.1	3000	0.711		0.249395
3	10/22/2010 18:15	62.2	3000	0.711		0.249395
4	10/22/2010 18:16	62.1	3000	0.711		0.249395
						0.250719

9. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.11_0.1%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.2259
 Magn. Factor 1
 Date 12/14/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/14/2010 11:54	61.8	3000	1.303	1.782	2.9607788
2	12/14/2010 11:55	62.1	3000	1.303	1.788	2.9607788
3	12/14/2010 11:56	62.2	3000	1.303	1.788	2.9607788
4	12/14/2010 11:57	62.1	3000	1.294	1.788	2.8259204
						2.9270642

10. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.11_0.5%**
 Density
 Diff.(g/cm³) 0.2251
 Magn. Factor 1
 Date 12/14/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/14/2010 12:06	62	3000	1.217	2.034	1.69969
2	12/14/2010 12:07	62	3000	1.2	2.062	1.58389
3	12/14/2010 12:08	62.1	3000	1.187	2.102	1.493514
4	12/14/2010 12:09	62.1	3000	1.179	2.125	1.439639
						1.554183

11. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.11_1%**
 Density 0.2248
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/14/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/14/2010 14:14	62.1	3000	0.891	3.284	0.493585
2	12/14/2010 14:15	62.1	3000	0.883	3.313	0.479932
3	12/14/2010 14:16	62.1	3000	0.87	3.353	0.458589
4	12/14/2010 14:17	62	3000	0.861	3.387	0.444503
						0.469152

12. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.11_2%**
 Density 0.2234
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/14/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/14/2010 15:00	62.1	3000	0.72		0.25703
2	12/14/2010 15:01	62.1	3000	0.707		0.243357
3	12/14/2010 15:02	62	3000	0.699		0.235189
4	12/14/2010 15:03	61.9	3000	0.69		0.226221
						0.24045

13. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan Etanol, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.12_0.1%**
 Density 0.2256
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/14/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/14/2010 14:41	62	3000	1.286	1.776	2.770147
2	12/14/2010 14:42	62	3000	1.286	1.759	2.842618
3	12/14/2010 14:43	62.1	3000	1.282	1.782	2.744379
4	12/14/2010 14:44	62	3000	1.273	1.782	2.618124
						2.743817

14. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan Etanol, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.12_0.5%**
 Density 0.2239
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/14/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/14/2010 15:08	62.1	3000	1.243	1.936	1.95242
2	12/14/2010 15:09	62	3000	1.23	1.942	1.8918
3	12/14/2010 15:10	62	3000	1.23	1.982	1.819878
4	12/14/2010 15:11	61.9	3000	1.217	1.988	1.762783
						1.85672

15. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan Etanol, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.12_1%**
 Density 0.222
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/14/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/14/2010 15:21	61.9	3000	1.2	2.228	1.452106
2	12/14/2010 15:22	62	3000	1.192	2.239	1.413985
3	12/14/2010 15:23	62.1	3000	1.179	2.262	1.35028
4	12/14/2010 15:24	62	3000	1.17	2.273	1.309729
						1.381525

16. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan Etanol, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.12_2%**
 Density 0.2181
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/15/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/15/2010 13:46	61.9	3000	0.909	2.999	0.512022
2	12/15/2010 13:47	62.1	3000	0.9	2.987	0.496963
3	12/15/2010 13:48	62.1	3000	0.9	3.045	0.495983
4	12/15/2010 13:49	62	3000	0.887	3.079	0.47433
						0.494825

17. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE-Etanol, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.13_0,1%**
 Density 0.2257
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/15/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/15/2010 14:00	62	3000	1.282	1.805	2.675233
2	12/15/2010 14:01	62	3000	1.282	1.799	2.675233
3	12/15/2010 14:02	62	3000	1.282	1.794	2.675233
4	12/15/2010 14:03	62	3000	1.277	1.811	2.573062
						2.64969

18. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE-Etanol, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.13_0,5%**
 Density 0.2246
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/15/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/15/2010 14:14	61.9	3000	1.204	2.039	1.6264374
2	12/15/2010 14:15	61.9	3000	1.2	2.051	1.5947283
3	12/15/2010 14:16	62	3000	1.192	2.045	1.5560105
4	12/15/2010 14:17	62.1	3000	1.187	2.068	1.5133542
						1.5726326

19. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan
EGBE-Etanol, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
Inner Phase **Rantau**
Outer Phase **F.13_1%**
Density 0.2232
Diff.(g/cm³) 1
Magn. Factor 1
Date 12/15/2010
Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/15/2010 14:37	62	3000	0.994	2.873	0.6939479
2	12/15/2010 14:38	62	3000	0.981	2.902	0.6670751
3	12/15/2010 14:39	62	3000	0.973	2.947	0.6477191
4	12/15/2010 14:40	62	3000	0.973	2.976	0.6477191
						0.6641153

20. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan
EGBE-Etanol, Tanpa Pemanasan, Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
Inner Phase **Rantau**
Outer Phase **F.13_2%**
Density 0.2204
Diff.(g/cm³) 1
Magn. Factor 1
Date 12/15/2010
Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/15/2010 14:58	62	3000	0.857	3.684	0.4276191
2	12/15/2010 14:59	62	3000	0.853	3.684	0.4216594
3	12/15/2010 15:00	62	3000	0.844	3.684	0.4084529
4	12/15/2010 15:01	62	3000	0.84	3.701	0.402673
						0.4151011

21. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.11T_0.1%**
 Density 0.2312
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/26/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/26/2010 9:30	62	3000	1.256	1.868	1.54693104
2	11/26/2010 9:31	62	3000	1.252	1.879	1.48422906
3	11/26/2010 9:32	62	3000	1.243	1.874	1.45245046
4	11/26/2010 9:33	62.1	3000	1.247	1.885	1.46651766
5	11/26/2010 9:34	61.9	3000	1.247	1.885	1.46651766
						1.48332917

22. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.11T_0.5%**
 Density 0.2306
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/26/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/26/2010 15:50	62	3000	0.844	3.519	0.28708886
2	11/26/2010 15:51	62	3000	0.836	3.576	0.27900227
3	11/26/2010 15:52	62.1	3000	0.831	3.627	0.27402615
4	11/26/2010 15:53	62	3000	0.819	3.679	0.2623256
						0.27561072

23. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.11T_1%**
 Density 0.2298
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/26/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/26/2010 16:24	62	3000	0.759		0.20774599
2	11/26/2010 16:25	61.9	3000	0.754		0.20366728
3	11/26/2010 16:26	62	3000	0.754		0.20366728
4	11/26/2010 16:27	62	3000	0.75		0.20044312
						0.20388092

24. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.11T_2%**
 Density 0.2279
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/15/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/15/2010 16:23	62	3000	0.69		0.230778
2	12/15/2010 16:24	62	3000	0.686		0.226788
3	12/15/2010 16:25	62	3000	0.66		0.201966
4	12/15/2010 16:26	62.1	3000	0.664		0.205661
						0.216298

25. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan Etanol, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.12T_0,1%**
 Density 0.2234
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/25/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/25/2010 15:25	62	3000	1.2		1.1514517
2	11/25/2010 15:26	62	3000	1.192		1.1126450
3	11/25/2010 15:27	62	3000	1.192		1.1017450
4	11/25/2010 15:28	62	3000	1.183		1.0663222
						1.1080410

26. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan Etanol, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.12T_0,5%**
 Density 0.2272
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/25/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/25/2010 15:59	61.9	3000	0.99	2.776	0.4804453
2	11/25/2010 16:00	62	3000	0.981	2.793	0.4656561
3	11/25/2010 16:01	62	3000	0.977	2.81	0.4599833
4	11/25/2010 16:02	62	3000	0.977	2.822	0.4599833
						0.4665170

27. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan Etanol, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.12T_1%**
 Density 0.2293
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/25/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/25/2010 16:34	62.1	3000	0.724		0.1757750
2	11/25/2010 16:35	62	3000	0.716		0.1700123
3	11/25/2010 16:36	61.9	3000	0.703		0.1609190
4	11/25/2010 16:37	62	3000	0.699		0.1581877
						0.1662235

28. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan Etanol, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.12T_2%**
 Density 0.2310
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/25/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/25/2010 17:01	62.1	3000	0.686		0.1424011
2	11/25/2010 17:02	62	3000	0.686		0.1424011
3	11/25/2010 17:03	62.1	3000	0.69		0.1449067
4	11/25/2010 17:04	62	3000	0.69		0.1449067
						0.1436539

29. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE-Etanol, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.13T_0,1%**
 Density 0.2255
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/25/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/25/2010 8:32	62.1	3000	1.234	2.074	1.1510998
2	11/25/2010 8:33	62	3000	1.23	2.091	1.1240049
3	11/25/2010 8:34	62	3000	1.226	2.074	1.1180585
4	11/25/2010 8:35	62.1	3000	1.222	2.068	1.1071507
						1.1250785

30. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE-Etanol, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.13T_0,5%**
 Density 0.2285
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/25/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/25/2010 9:13	62	3000	0.913	3.067	0.3691837
2	11/25/2010 9:14	61.9	3000	0.896	3.199	0.3472205
3	11/25/2010 9:15	62	3000	0.879	3.233	0.3275042
4	11/25/2010 9:16	62	3000	0.874	3.29	0.3216274
						0.3413840

31. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE-Etanol, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.13T_1%**
 Density 0.2299
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/25/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/25/2010 14:17	62	3000	0.711		0.1682822
2	11/25/2010 14:18	62	3000	0.707		0.1654580
3	11/25/2010 14:19	62	3000	0.707		0.1654580
4	11/25/2010 14:20	62	3000	0.703		0.1626654
5	11/25/2010 14:21	62	3000	0.703		0.1626654
						0.1649058

32. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE-Etanol, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase **F.13T_2%**
 Density 0.2232
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 11/25/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	11/25/2010 14:58	62	3000	0.771	4.084	0.2140781
2	11/25/2010 14:59	62	3000	0.767	4.147	0.2107633
3	11/25/2010 15:00	62.1	3000	0.759	4.147	0.2042370
4	11/25/2010 15:01	62.1	3000	0.767	4.153	0.2107633
						0.2099604

33. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Alkali, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 0,1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase F.11TA_0.1%
 Density 0.2349
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/2/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/2/2010 16:34	61.9	3000	0.399		0.045994
2	12/2/2010 16:35	62	3000	0.407		0.048817
3	12/2/2010 16:36	62.1	3000	0.403		0.047392
4	12/2/2010 16:37	62.1	3000	0.407		0.048817
						0.047755

34. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Alkali, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 0,5%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase F.11TA_0.5%
 Density 0.2342
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/2/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia . (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/2/2010 17:00	62	3000	0.583		0.143053
2	12/2/2010 17:01	62	3000	0.583		0.143053
3	12/2/2010 17:02	62	3000	0.583		0.143053
4	12/2/2010 17:04	62	3000	0.587		0.146017
						0.143794

35. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Alkali, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 1%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase F.11TA_1%
 Density 0.2335
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/2/2010
 Remark

No	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia. (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/2/2010 17:22	62	3000	0.66		0.206929
2	12/2/2010 17:23	62.1	3000	0.664		0.210714
3	12/2/2010 17:24	62.1	3000	0.669		0.21551
4	12/2/2010 17:25	62	3000	0.664		0.210714
						0.210967

36. Hasil Pengukuran Nilai IFT Formula MES NSB45, Surfaktan Tween 80 dan EGBE, Alkali, Dengan Pemanasan 40°C, Konsentrasi 2%

Test Title The Interfacial Tension of A and B Measurement
 Inner Phase **Rantau**
 Outer Phase F.11TA_2%
 Density 0.2340
 Diff.(g/cm³)
 Magn. Factor 1
 Date 12/6/2010
 Remark

No.	Time	Temp.of Test(C)	Rot.Speed (r/min)	DropDia. (mm)	DropLen. (mm)	Interfacial Tension (mN/M)
1	12/6/2010 16:13	62	3000	0.343		0.0111768
2	12/6/2010 16:14	62	3000	0.347		0.0115724
3	12/6/2010 16:15	62	3000	0.356		0.0124964
4	12/6/2010 16:16	62	3000	0.36		0.0129224
						0.0120420