



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KONSENTRASI *NONYL PHENOL ETHOXYLATE*
NON-IONIK TERHADAP KINERJA SURFAKTAN METIL ESTER
SULFONAT SEBAGAI BAHAN *CHEMICAL FLOODING***

SKRIPSI

**HUMALA PAULUS HALIM
0706269823**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH KONSENTRASI *NONYL PHENOL ETHOXYLATE*
NON-IONIK TERHADAP KINERJA SURFAKTAN METIL
ESTER SULFONAT SEBAGAI BAHAN *CHEMICAL*
*FLOODING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HUMALA PAULUS HALIM
0706269823**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

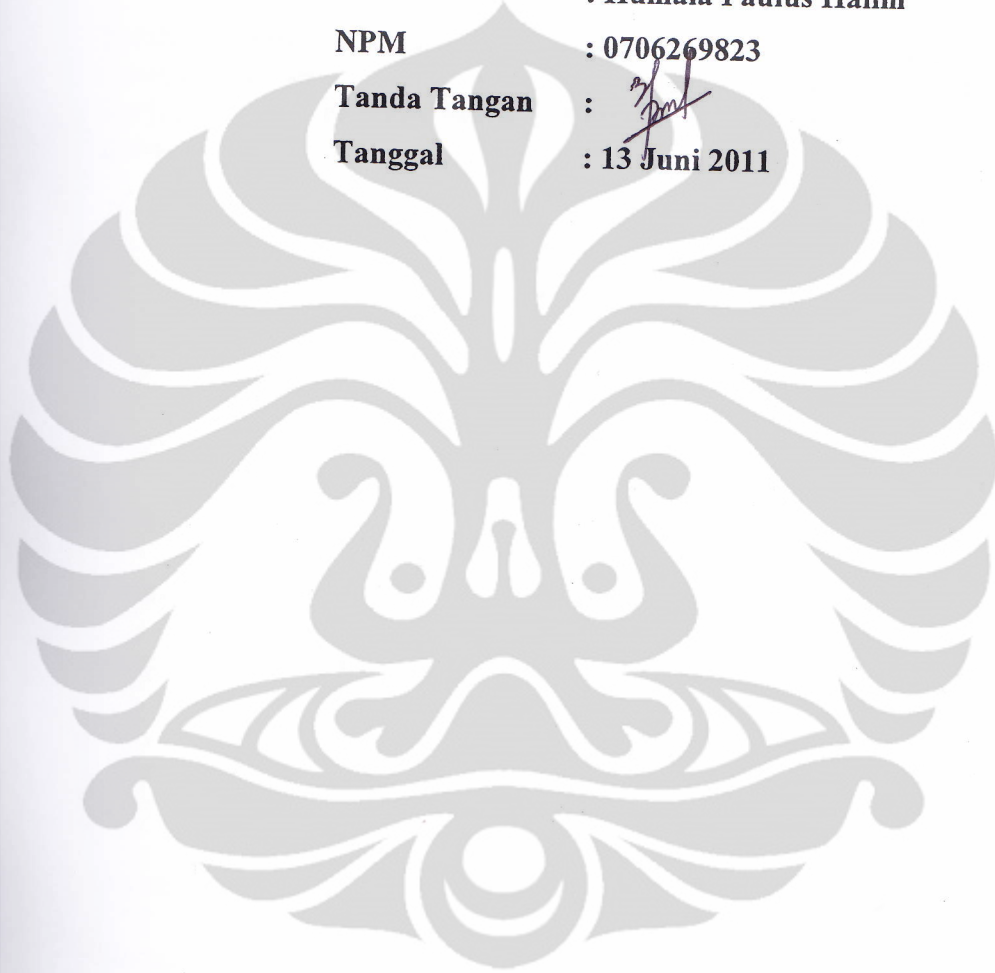
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Humala Paulus Halim

NPM : 0706269823

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Juni 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Humala Paulus Halim
NPM : 0706269823
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengaruh Konsentrasi *Nonyl Phenol Ethoxylate*
Non-Ionik Terhadap Kinerja Surfaktan Metil Ester
Sulfonat Sebagai Bahan *Chemical Flooding*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1: Ir. Dewi Tristantini, M.T., Ph.D.

(*Dewi Tristantini*)

Pembimbing 2: Hestuti Eni, S.T.

(*Hestuti Eni*)

Penguji : Dr. Ir. Sukirno, M.Eng

(*Sukirno*)

Penguji : Dr. Eny Kusriani, S.Si

(*Eny Kusriani*)

Penguji : Ir. Rita Arbianti, M.Si

(*Rita Arbianti*)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Juni 2011

KATA PENGANTAR

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

- Ir. Dewi Tristantini, MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing dan pembimbing akademik yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing saya selama penyusunan skripsi ini;
- Hestuti Eny S.T., selaku pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu dan tenaga untuk membimbing saya melakukan penelitian di Lemigas;
- Perpustakaan Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, yang memudahkan saya dalam hal peminjaman buku-buku yang diperlukan untuk skripsi;
- Papa, Mama, dan Monica, keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- David Karunia Mulyono, teman saat suka maupun duka, selalu saling mendukung sehingga kita bisa bersama-sama tiba di penghujung perkuliahan semester 7;
- Muhammad Faldy Zuliardy, teman satu pembimbing yang menjadi tempat bertukar pikiran kala ide-ide terkait skripsi mulai buntu;
- Charles Tirta, Epon Ray Kinko, Martinus, Silviani, dan Willy Purnomo, teman yang bersedia membantu selama penulisan skripsi, baik dalam membangunkan saya di pagi hari maupun menemani saat malam hari;
- Yang Luhur Hendry Frily, guru spiritual yang selalu memberikan pencerahan dan kedamaian hati pada saat suasana hati sedang tidak tenang;

- Eric Tanoto, Jessica Tanuwijaya, dan Tiffany Patra, junior sekaligus generasi penerus ilmiah saya yang tidak kenal lelah memberikan semangat;
- Hermando Firgus, Riswanto, dan Wilson, senior panutan saya yang telah mendidik saya selama berada di KMBUI;
- Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia 2007, yang menjadi teman panik dan heboh bersama lewat *facebook*, di kala bekerja hingga larut malam;
- Bapak Kamino, Bapak Machmud, Ibu Yani, Ibu Suwartiningsih, dan peneliti *chemical flooding* EOR lainnya di Lemigas yang telah bersedia membimbing dan memberikan wawasan tentang alat-alat yang digunakan dalam proses EOR;
- Teman-teman di KMBUI, yang selalu memberikan semangat dan dukungan agar mampu menyelesaikan skripsi ini;
- Sumber-sumber elektronik yang membantu saya dalam melengkapi data-data yang masih kurang;
- Seluruh tempat *print* dan fotokopi yang membantu selama proses penulisan skripsi ini berjalan;
- Seluruh pihak yang berperan baik secara langsung maupun tak langsung. Terima kasih telah memberikan saran, kritik, inspirasi, pengalaman, dorongan dan semangat, baik moral maupun material, yang berperan besar selama proses penulisan hingga akhirnya skripsi ini selesai juga.

Akhir kata, semoga semua pihak yang terlibat mendapatkan karma baik yang berlimpah. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu dan berbagai hal yang positif.

Depok, 13 Juni 2011

Humala Paulus Halim

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Humala Paulus Halim
NPM : 0706269823
Departemen : Teknik Kimia
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:

**PENGARUH KONSENTRASI *NONYL PHENOL ETHOXYLATE*
NON-IONIK TERHADAP KINERJA SURFAKTAN METIL ESTER
SULFONAT SEBAGAI BAHAN *CHEMICAL FLOODING***

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). 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: Depok
Pada Tanggal : 13 Juni 2011
Yang menyatakan

(Humala Paulus Halim)

ABSTRAK

Nama : Humala Paulus Halim
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengaruh Konsentrasi *Nonyl Phenol Ethoxylate* Non-Ionik Terhadap Kinerja Surfaktan Metil Ester Sulfonat Sebagai Bahan *Chemical Flooding*

Teknologi *Enhanced Oil Recovery*, khususnya *chemical flooding* surfaktan metil ester sulfonat (MES), dibutuhkan untuk meningkatkan produksi minyak. Pada penelitian ini, *nonyl phenol ethoxylate* (tergitol) digunakan sebagai surfaktan sekunder dan konsentrasinya divariasikan untuk formulasi surfaktan. Tujuannya adalah memperoleh formula surfaktan yang memenuhi syarat *chemical flooding*. Parameter keberhasilan dari formulasi adalah tingkat kelarutan dalam air dan nilai *Interfacial Tension* (IFT) 10^{-3} dyne/cm. Parameter atau variabel yang diuji adalah konsentrasi optimum setelah penambahan tergitol, pengaruh penambahan alkali, dan pengaruh waktu pemanasan terhadap nilai IFT dan kelarutan. Hasil penelitian menunjukkan semua formula yang dibuat memiliki kelarutan yang baik, sedangkan nilai IFT terbaik terdapat pada formula MES (40%), tergitol (20%), dan EGBE (40%) dengan konsentrasi 0,3% terhadap *brine water*. Penambahan alkali dan waktu pemanasan berpengaruh terhadap perubahan nilai IFT. Peningkatan nilai IFT terjadi setelah konsentrasi alkali ditambahkan sebesar 1% dan dipanaskan selama 1 dan 7 hari.

Kata kunci:

Surfaktan, EOR, metil ester sulfonat, non-ionik, *Interfacial Tension*

ABSTRACT

Name : Humala Paulus Halim
Study Program : Chemical Engineering
Judul : The Effect of Non-Ionic Nonyl Phenol Ethoxylate to Methyl Ester Sulfonate Surfactant Performance as Chemical Flooding Material

Enhanced Oil Recovery technology, especially chemical flooding of methyl ester sulfonate (MES) surfactant is required to increase crude oil production. This research is conducted by selecting nonyl phenol ethoxylate (tergitol) as secondary surfactant and varying its concentration to surfactant formulation. The purpose is gaining formula of surfactant that fulfills the chemical flooding requirement. The success of this formulation is the solubility level in water and the interfacial tension (IFT) to 10^{-3} dyne/cm. The test procedure is searching the optimum concentration after tergitol addition, effect of alkali addition, and the influence of heating time duration to IFT value and solubility. All formulas have good solubility. The best IFT value is obtained from MES (40%), tergitol (20%), and EGBE (40%) with 0,3% concentration to brine water. The alkali addition and heating time affect IFT value changes. It is increasing after alkali concentration has been 1% and heating for 1 and 7 days.

Kata kunci:

Surfactant, EOR, methyl ester sulfonate, non-ionic, Interfacial Tension

DAFTAR ISI

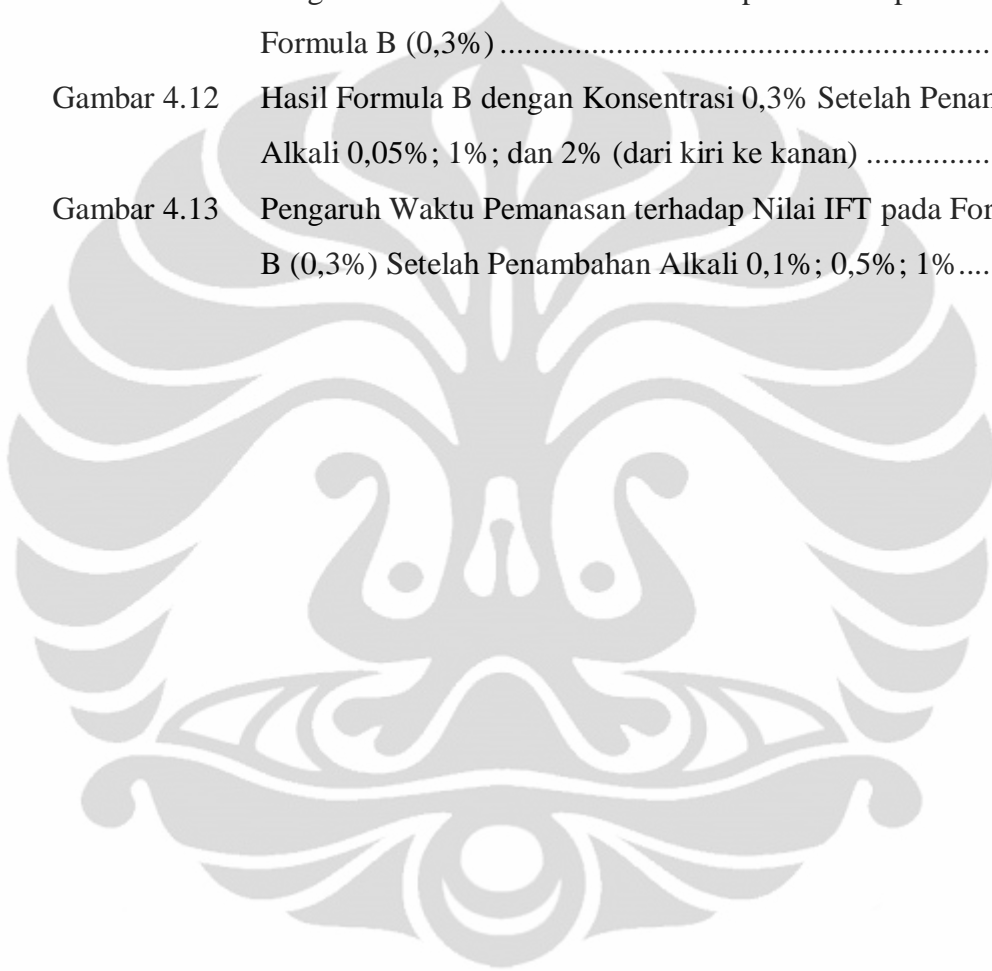
	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 <i>Enhanced Oil Recovery</i> (EOR)	7
2.2 Surfaktan Sebagai <i>Enhanced Oil Recovery Agent</i>	7
2.3 Surfaktan	9
2.4 Metil Ester Sulfonat (MES)	9
2.5 Surfaktan Non-Ionik	10
2.6 Hubungan <i>Interfacial Tension</i> dengan Surfaktan	11
2.6.1 <i>Interfacial Tension</i> (IFT)	11
2.6.2 Pengaruh Konsentrasi Surfaktan terhadap IFT	16
2.7 <i>Hydrophilic and Lipophilic Balance</i> (HLB)	17
2.8 <i>Critical Micelle Concentration</i> (CMC) dan <i>Krafft Point</i>	18
2.9 Pengaruh Alkali terhadap IFT	19

	Halaman
2.10 Hubungan Pelarut dan <i>Phase Behaviour</i>	20
2.11 Efek Hidrofobik dan Pembentukan <i>Micelle</i>	22
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1 Preparasi Bahan	24
3.2 Formulasi Surfaktan.....	25
3.3 Uji Kinerja Hasil Formulasi Surfaktan	26
3.4 Diagram Alir Penelitian	27
3.4.1 Bahan dan Alat	28
3.4.2 Persiapan Metil Ester Sulfonat (MES), Tergitol, dan EGBE	28
3.4.3 Formulasi Surfaktan MES, Tergitol, dan EGBE.....	28
3.4.4 Formulasi Surfaktan (MES, Tergitol, EGBE) dengan <i>Brine</i> dan Uji Kompatibilitas	29
3.4.5 Pengukuran Densitas Hasil Formulasi Akhir Surfaktan	30
3.4.6 Pengukuran Nilai IFT	31
3.4.7 Uji <i>Thermal Stability</i> (Ketahanan Termal)	32
3.4.8 Formulasi Penambahan Alkali	33
3.4.9 Uji <i>Thermal Stability</i> Penambahan Alkali	34
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Formulasi Surfaktan MES, Tergitol, EGBE dan <i>Brine</i>	35
4.1.1 Pengukuran Nilai IFT MES, Tergitol, dan EGBE	35
4.1.2 Pengaruh Formulasi MES terhadap Nilai IFT	36
4.2 Pengaruh Formulasi terhadap <i>Thermal Stability</i>	41
4.3 Pengaruh Alkali terhadap Nilai IFT	42
4.4 Pengaruh Penambahan Alkali terhadap <i>Thermal Stability</i>	45
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	49
DAFTAR REFERENSI	50

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1	Grafik Produksi Minyak Mentah Indonesia Tahun 1996-2007..... 1
Gambar 2.1	Struktur MES..... 10
Gambar 2.2	Reaksi Transesterifikasi antara Trigliserida dan Metanol 10
Gambar 2.3	Reaksi Esterifikasi antara Asam Lemak dan Alkohol 10
Gambar 2.4	Peran <i>Interfacial Tension</i> pada Proses <i>Surfactant Flooding</i> 12
Gambar 2.5	Pengaruh Konsentrasi Surfaktan terhadap <i>Interfacial Tension</i> ... 13
Gambar 2.6	Nilai IFT antara n-C7 dan <i>Brine</i> pada Suhu 50°C 14
Gambar 2.7	Nilai IFT antara n-heptana dan Air Laut..... 15
Gambar 2.8	IFT Vs Salinitas (Fraksi Air Laut)..... 16
Gambar 2.9	Pengaruh Alkali terhadap Nilai IFT dengan Variasi Salinitas 20
Gambar 2.10	Skema Struktur <i>Micelle</i> : (a) tumpang tindih ekor di tengah, (b) air menembus ke pusat, (c) rantai memanjang dan membengkok 22
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian 27
Gambar 4.1	Pengaruh Konsentrasi MES, Tergitol, dan EGBE terhadap Nilai IFT..... 35
Gambar 4.2	Perbandingan Nilai IFT Formula A, B, C, dan D..... 37
Gambar 4.3	Hasil Formula A dengan Konsentrasi 0,1%; 0,3%; 0,5%; dan 1% (dari kiri ke kanan)..... 39
Gambar 4.4	Hasil Formula A dengan Konsentrasi 2%; 3%; dan 5% (dari kiri ke kanan) 39
Gambar 4.5	Hasil Formula B dengan Konsentrasi 0,1%; 0,3%; 0,5%; 1%; dan 2% (dari kiri ke kanan) 40
Gambar 4.6	Hasil Formula C dengan Konsentrasi 0,1%; 0,3%; dan 0,5% (dari kiri ke kanan)..... 40
Gambar 4.7	Hasil Formula C dengan Konsentrasi 1%; 2%; dan 7% (dari kiri ke kanan) 40
Gambar 4.8	Hasil Formula D dengan Konsentrasi 0,1%; 0,3%; dan 0,5% (dari kiri ke kanan)..... 40

	Halaman
Gambar 4.9 Hasil Formula D dengan Konsentrasi 1%; 2%; dan 7% (dari kiri ke kanan)	40
Gambar 4.10 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Nilai IFT pada Formula B (0,1%; 0,3%; dan 0,5%).....	41
Gambar 4.11 Pengaruh Penambahan Alkali terhadap Nilai IFT pada Formula B (0,3%)	43
Gambar 4.12 Hasil Formula B dengan Konsentrasi 0,3% Setelah Penambahan Alkali 0,05%; 1%; dan 2% (dari kiri ke kanan)	45
Gambar 4.13 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Nilai IFT pada Formula B (0,3%) Setelah Penambahan Alkali 0,1%; 0,5%; 1%.....	46



DAFTAR TABEL

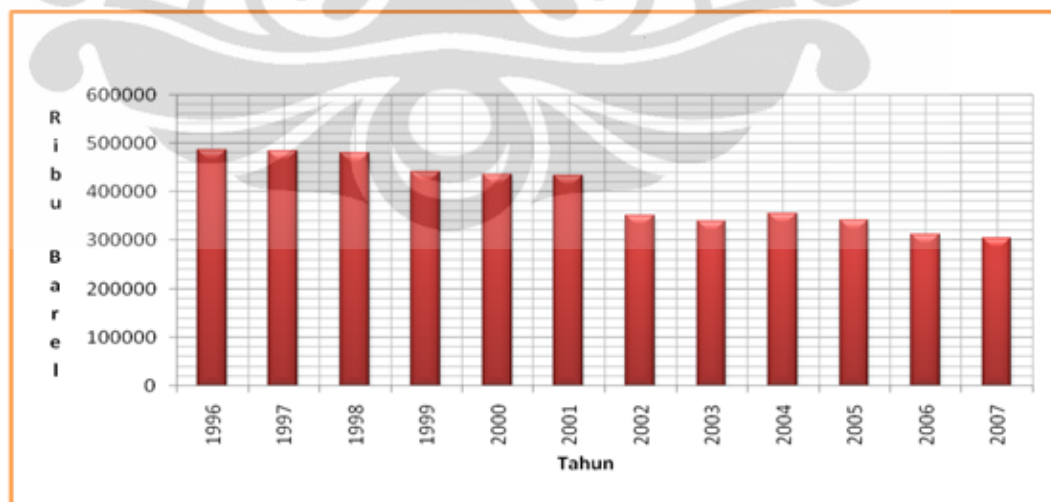
	Halaman
Tabel 3.1	Sifat Fisik dan Kimia Minyak Rantau 25
Tabel 3.2	Daftar Alat dan Bahan Penelitian 28
Tabel 3.3	Variabel pada Tahap Formulasi MES, Tergitol, EGBE, dan <i>Brine</i> 32
Tabel 3.4	Variabel pada Tahap Uji Kestabilan Termal Formulasi Tanpa Alkali..... 33
Tabel 3.5	Variabel pada Tahap Penambahan Alkali dan Uji Kestabilan Termal 34
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran IFT MES 35
Tabel 4.2	Hasil Pengukuran IFT Formula A, B, C, dan D 36
Tabel 4.3	Hasil Pengukuran IFT Formula B Setelah Pemanasan 1 dan 7 Hari..... 41
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran IFT Formula B dengan Konsentrasi 0,3% Setelah Penambahan Alkali..... 42
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran IFT Formula B dengan Konsentrasi 0,3% Setelah Penambahan Alkali dan Pemanasan 1-7 Hari 45

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Target *lifting* (pengambilan) minyak di Indonesia menjadi isu yang penting akhir-akhir ini. Hal ini tak lepas dari tidak tercapainya target *lifting* minyak bumi pada tahun anggaran 2009. Isu ini menjadi lebih heboh lagi karena untuk sementara, pada tahun 2010 ini, target *lifting* minyak bumi per harinya tetap masih kurang dari yang ditetapkan di APBN 2010. Target *lifting* menjadi hal penting, karena hingga saat ini, 30% sumber pemasukan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara, berasal dari sektor migas. Lebih jauh lagi, jika *lifting* minyak bumi berkurang 10.000 barel per hari dari yang ditetapkan, maka penerimaan negara per tahunnya akan berkurang Rp 3 triliun [Rakhmanto, 2010]. Tingkat produktivitas minyak Indonesia terus mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Hal tersebut dapat dilihat dari tingkat produktivitas minyak sejak tahun 1996, yaitu dari 480 jutaan barel/ hari menjadi 300 jutaan barel/ hari pada tahun 2007. Gambar 1.1. berikut menunjukkan tingkat produktivitas minyak mentah Indonesia yang cenderung menurun.



Gambar 1.1. Grafik Produksi Minyak Mentah Indonesia Tahun 1996-2007
[Badan Pusat Statistik, 2010].

Sebenarnya pada saat ini, terdapat berbagai macam teknologi yang bisa digunakan untuk mengoptimalkan jumlah *lifting* minyak bumi per harinya. Upaya ini sering disebut sebagai *Enhance Oil Recovery* (EOR). Tujuan dari EOR ialah untuk meningkatkan efektifitas proses penghilangan (penarikan) minyak dari pori-pori batuan dan meningkatkan volume batuan yang terkena cairan yang diinjeksikan (*sweep efficiency*). Salah satu teknik yang digunakan untuk EOR ialah *chemical flooding* dan salah satu bahan kimia yang digunakan adalah surfaktan [Hambali, 2008].

Hingga saat ini, surfaktan yang banyak digunakan oleh industri perminyakan di Indonesia dalam proses EOR adalah petroleum sulfonat. Surfaktan ini mempunyai kinerja yang cukup bagus dalam proses tersebut karena dapat menghasilkan nilai tegangan permukaan (*Interfacial Tension/ IFT*) 10^{-3} hingga 10^{-6} dyne/cm. Akan tetapi, surfaktan tersebut bersifat tidak terbarukan dan harganya relatif mahal, yaitu USD 6.000 – 10.000 per ton karena harus diimpor seratus persen [Ariawiyana, 2010].

Berdasarkan permasalahan di atas, berbagai penelitian tentang pembuatan surfaktan dari bahan alam, khususnya yang terdapat berlimpah di Indonesia, dilakukan. Salah satunya adalah metil ester sulfonat (MES) yang dapat disintesis dari metil ester minyak kelapa sawit. Akan tetapi, muncul sebuah permasalahan baru, yaitu MES mempunyai kinerja yang lebih rendah dibandingkan dengan petroleum sulfonat. Kinerja yang sangat diharapkan dari aplikasi MES untuk EOR adalah tercapainya nilai IFT menjadi 10^{-3} dyne/cm.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian yang berkaitan dengan surfaktan MES. Pada tahun 1989, Kalpakci *et al.* mendapat hak paten (*United States Patent 4.825.950*) tentang metode EOR dengan memformulasi *linear alkyl propoxy ethoxy sulfonate*, olefin yang telah disulfonasi, Actigum CS-11, *polyvinylpyrrolidone*. Hasil perbandingan nilai IFT yang didapatkan ketika menggunakan dan tanpa *linear alkyl propoxy ethoxy sulfonate* adalah $5,6 \cdot 10^{-3}$ dan 8,1 dyne/cm. Perbedaan yang signifikan tersebut membuktikan adanya pengaruh surfaktan terhadap nilai IFT [Kalpakci *et al.*, 1989].

Pada tahun 2006, Asti Lestari melakukan variasi suhu, lama pemanasan, dan konsentrasi HCl terhadap surfaktan MES. Hasil penelitian itu menunjukkan

bahwa makin tinggi suhu, nilai IFT menjadi semakin besar, sedangkan lama pemanasan tidak mempengaruhi nilai IFT. Begitu pula dengan HCl; kenaikan konsentrasi HCl memberikan hasil yang cukup memuaskan terhadap kenaikan nilai IFT. Akan tetapi, konsentrasi HCl tidak dapat menjaga kestabilan nilai IFT surfaktan MES dari kenaikan suhu [Lestari, 2006].

Setelah itu, tahun 2010, Ikha Novita memformulasi surfaktan MES dengan surfaktan non-ionik Tween 80 (*polyoxyethylene*) dan pelarut (*Ethylene Glycol Monobutyl Ether* (EGBE) atau etanol). Tween 80 digunakan karena memiliki nilai *Hydrophile-Lipophile Balance* (HLB) yang tinggi sehingga daya larut dalam air sangat tinggi. Akan tetapi, penelitian tersebut menunjukkan Tween 80 justru meningkatkan IFT surfaktan MES yang sebelumnya 10^{-3} menjadi 10^{-1} dan 10^0 dyne/cm. Hasil lain yang didapat adalah Tween 80 dapat menjaga kestabilan nilai IFT surfaktan pada saat pemanasan sehingga nilai IFT menjadi turun walaupun tidak signifikan. Selain itu, pada penelitian ini juga dilakukan penambahan alkali yang dapat menurunkan nilai IFT. Hal yang belum dilakukan dari pengujian alkali tersebut adalah pengaruhnya terhadap kestabilan termal [Novita, 2010].

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dilihat bahwa surfaktan MES sendiri saja masih belum dapat menggantikan surfaktan petroleum sulfonat. Pada suhu kamar, surfaktan MES memang dapat menurunkan nilai IFT menjadi 10^{-3} , tetapi pada saat suhu dinaikkan, nilai IFT-nya justru meningkat. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah penelitian agar diperoleh kinerja surfaktan MES yang tahan terhadap suhu dan waktu pemanasan. Selain itu, pemakaian surfaktan lokal juga menjadi aspek pertimbangan mengingat bahan baku yang melimpah dan berharga murah.

Penelitian yang dilakukan Kalpakci *et al.* dengan menambahkan surfaktan *linear alkyl propoxy ethoxy sulfonate* patut dijadikan sebuah acuan. Hal tersebut karena pada tahun 1995, Taugbol *et al.* telah berhasil menurunkan tegangan permukaan n-heptan dan air laut dengan menggunakan *propoxy ethoxy sulfonate*. Hasil yang didapatkan adalah nilai IFT menurun dari 10^{-2} menjadi 10^{-3} . Kedua penelitian ini menunjukkan sebuah persamaan, yaitu bahwa dengan adanya gugus *propoxy* (PO) dan *ethoxy* (EO) pada kedua surfaktan telah terjadi penurunan IFT.

Bahkan menurut Taugbol, salah satu dari gugus PO atau EO saja cukup untuk menurunkan nilai IFT [Schramm, 2000; Taugbol 1995].

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan memilih jenis surfaktan terlebih dahulu, yaitu jenis surfaktan lokal yang memiliki gugus *ethoxy* (EO) dan nilai HLB tinggi. Untuk itu, dipilih tergitol (*nonyl phenol ethoxylate*) yang harganya cukup murah, yaitu Rp 70.000 per liter. Langkah selanjutnya adalah formulasi kedua surfaktan tersebut dengan pelarut EGBE dengan cara memvariasikan konsentrasi tergitol agar diperoleh kinerja surfaktan yang optimum. Di samping itu, dilakukan penambahan alkali untuk mengetahui perubahan IFT yang ditimbulkannya dan selanjutnya, surfaktan dengan penambahan alkali tersebut diuji kestabilan termalnya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu:

1. Bagaimana memformulasi surfaktan yang terdiri atas MES, tergitol, dan pelarut EGBE yang memenuhi kriteria sebagai bahan *chemical flooding* untuk EOR? Untuk itu perlu dipelajari pengaruh konsentrasi surfaktan, suhu, dan waktu pemanasan terhadap besarnya nilai *IFT* surfaktan yang dihasilkan.
2. Bagaimana pengaruh penambahan alkali terhadap nilai IFT dan kestabilan termal dari surfaktan yang dihasilkan?
3. Mencari komposisi formula surfaktan optimum yang memenuhi standar untuk EOR.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan menghasilkan formula surfaktan yang terdiri atas MES, tergitol, dan EGBE dalam memenuhi syarat *chemical flooding* EOR. Untuk itu, tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut.

1. Mempelajari pengaruh konsentrasi surfaktan dan kestabilan termal terhadap besarnya nilai IFT surfaktan yang dihasilkan.

2. Mempelajari pengaruh penambahan alkali terhadap kestabilan termal dan nilai IFT surfaktan yang dihasilkan.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini menggunakan bahan baku utama metil ester sulfonat (MES) dan EGBE yang telah tersedia di Lemigas.
2. Surfaktan tambahan yang akan digunakan adalah tergitol yang diperoleh dari toko kimia Bratachem di Bogor.
3. Alkali yang dipakai berupa Na_2CO_3 yang juga telah tersedia di Lemigas.

1.5. Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini terdiri atas 5 bagian utama, antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang gambaran umum permasalahan yang diangkat mencakup latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang informasi dan teori-teori yang mendukung penelitian tentang surfaktan metil ester sulfonat untuk aplikasi *Enhance Oil Recovery* yang akan dijadikan landasan dan selanjutnya menjadi dasar acuan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi metode yang dipakai dalam penelitian yang mencakup tahapan-tahapan penelitian yaitu mulai dari metode pengumpulan data hingga pengolahan data. Bagian ini juga menjelaskan diagram alir penelitian, prosedur percobaan, jenis bahan dan alat yang dipakai serta susunan dan fungsinya dalam percobaan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi perumusan hasil penelitian dan analisis yang berkaitan dengan fenomena yang terjadi dalam optimasi konsentrasi tergitol

dengan suhu dan kestabilan termal terhadap tegangan permukaan (IFT) surfaktan MES.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Enhanced Oil Recovery (EOR)*

Pada dasarnya definisi *Enhanced Oil Recovery* adalah suatu metode peningkatan perolehan minyak bumi dengan cara menginjeksikan material atau bahan lain ke dalam reservoir untuk memperbaiki efisiensi pendesakan dan efisiensi penyapuan volumetrik. Metode ini dikenal dengan nama *Tertiary Recovery* yang dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu tahap perolehan kedua (*secondary recovery*) dan tahap perolehan ketiga (*tertiary recovery*).

Metode EOR ini dilakukan setelah tahap perolehan pertama (*primary recovery*) tidak mampu lagi mengambil secara optimal sisa minyak yang terdapat di dalam batuan reservoir. Proses pada EOR ini meliputi beberapa prinsip yang umumnya melibatkan karakter minyak dan interaksinya terhadap batuan dan air yang terdapat di sekelilingnya. Proses-proses tersebut termasuk pengurangan gaya tegangan antar muka, emulsifikasi minyak dan air, pengurangan viskositas *driving fluid* dan *oil oveling* [Idris, 2007].

2.2. Surfaktan Sebagai *Enhanced Oil Recovery Agent*

Injeksi surfaktan merupakan suatu metode EOR yang bertujuan untuk menurunkan tegangan antar muka antara minyak dan air di *reservoir* sehingga dapat menurunkan saturasi minyak yang masih terjebak di dalam pori-pori batuan. Di dalam pori-pori batuan yang bersifat kapiler terdapat beberapa sifat fisik dari batuan itu sendiri dan fluida-fluida yang mengalir di dalamnya yang akan mempengaruhi aliran fluida-fluida di dalam *reservoir*. Sifat-sifat fisik tersebut diantaranya adalah tekanan kapiler, sifat kebasahan, tegangan antar muka, dan viskositas fluida-fluida yang mengalir di dalam *reservoir*. Sifat-sifat fisik ini dapat dipengaruhi oleh perubahan temperatur, ukuran pori, dan fluida-fluida yang mengalir di dalamnya. Perubahan sifat-sifat fisik ini dapat terlihat dari perubahan waktu alir fluida-fluida yang mengalir di dalam batuan berpori tersebut. Pipa kapiler dianggap merepresentasikan keadaan di dalam media berpori batuan

reservoir. Dengan demikian, studi ini diharapkan dapat merepresentasikan tingkah laku aliran surfaktan dan minyak di dalam batuan *reservoir*.

Untuk aplikasi surfaktan pada teknologi EOR, industri perminyakan membutuhkan karakteristik surfaktan tertentu. Karakteristik surfaktan yang dibutuhkan diantaranya, tahan pada kondisi air formasi 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/cm², adsorpsi < 0,25%, 3 fasa. 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 yang sangat mahal untuk memperbaikinya.

Menurut App (2005), beberapa *reservoir* secara alami bersifat padat dan memperlihatkan permeabilitas yang rendah yang diakibatkan oleh kandungan endapan lumpur dan lempung yang tinggi serta ukuran butiran yang kecil. Sebagian besar air formasi (air dalam *reservoir*) mempunyai tingkat salinitas dan kesadahan yang tinggi [App, 2005]. Tentunya kondisi ini akan sangat mempengaruhi efektivitas surfaktan saat diaplikasikan pada aktivitas EOR untuk memproduksi minyak bumi. Efektivitas surfaktan dalam menurunkan tegangan antar muka minyak-air dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya yaitu jenis surfaktan yang digunakan, konsentrasi surfaktan dan co-surfaktan 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 atau *Interfacial Tension* (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 pula [Pieseshiwie, 2008].

2.3. Surfaktan

Surfaktan (*surface active agents*) merupakan zat yang dapat mengaktifkan tegangan permukaan zat cair karena cenderung untuk terkonsentrasi pada permukaan atau antar muka [Hackley, 2001]. Sabun merupakan salah satu contoh dari surfaktan. Molekul surfaktan mempunyai dua ujung yang terpisah, yaitu ujung polar (hidrofilik) dan ujung non-polar (hidrofobik). Surfaktan dapat digolongkan menjadi dua golongan besar, yaitu surfaktan yang larut dalam minyak dan surfaktan yang larut dalam air.

- Surfaktan yang larut dalam minyak

Ada tiga yang termasuk dalam golongan ini, yaitu senyawa polar berantai panjang, senyawa fluorokarbon, dan senyawa silikon.

- Surfaktan yang larut dalam pelarut air

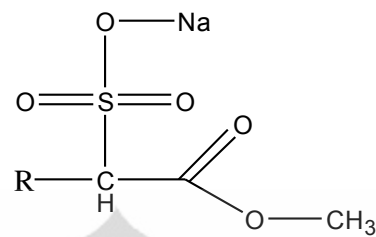
Golongan ini banyak digunakan antara lain sebagai zat pembasah, zat pembusa, zat pengemulsi, zat anti busa, detergen, zat flotasi, pencegah korosi, dan lain-lain. Ada empat macam surfaktan yang termasuk dalam golongan ini, yaitu surfaktan anionik yang bermuatan negatif, surfaktan kationik yang bermuatan positif, surfaktan non-ionik yang tak terionisasi dalam larutan, dan surfaktan amfoterik yang bermuatan negatif dan positif bergantung pada pH-nya.

2.4. Metil Ester Sulfonat (MES)

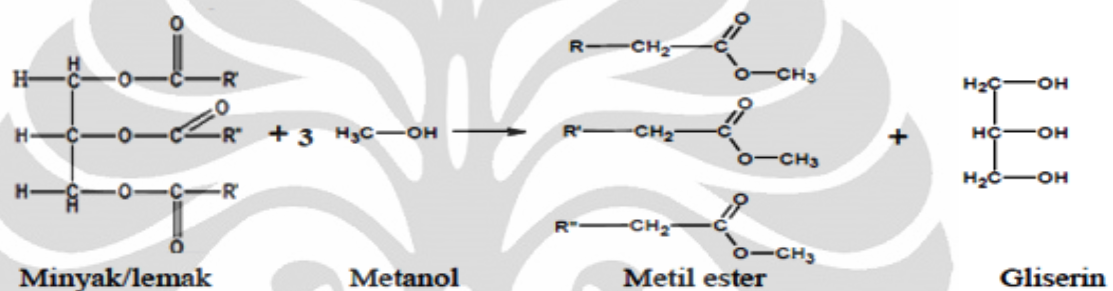
Penelitian pembuatan MES telah dilakukan oleh Chemiton Corporation, Inc. Sheats dan MacArthur (2002). Dari penelitian mereka tersebut menjelaskan bahwa metil ester sulfonat dapat disintesis dari beberapa tanaman seperti kelapa, kelapa sawit, dan kedelai. Metil ester termasuk ke dalam golongan ester dan ester dapat dibuat dengan mereaksikan asam karboksilat dan alkohol [MacArthur, 2002].

Di sisi lain, Cox dan Weerasoriya (2001) melaporkan bahwa sebagian besar metil ester diproduksi dari oleokimia. Metil ester dapat diproduksi melalui esterifikasi asam lemak dengan metanol. Reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.2. Sebagai contoh, metil ester juga dapat diperoleh melalui reaksi esterifikasi antara asam lemak dengan alkohol seperti pada reaksi yang terlihat

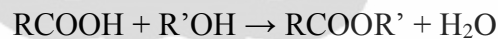
pada Gambar 2.3. Adapun struktur MES dapat dilihat pada Gambar 2.1. berikut [Cox, 2001].



Gambar 2.1. Struktur MES [Cox, 2001]



Gambar 2.2. Reaksi Transesterifikasi antara Trigliserida dan Metanol [Cox, 2001]



Gambar 2.3. Reaksi Esterifikasi antara Asam Lemak dan Alkohol [Cox, 2001]

Menurut Hovda (2002), ada tiga jenis proses pembuatan MES, yaitu proses yang menggunakan dua tahap pemucatan sehingga diperlukan halogen, proses yang menggunakan pemurnian ultra, proses/teknologi yang dikembangkan Chemiton Corporation dengan menggunakan agen peroksida untuk tahap pemucatan [Hovda, 2002].

2.5. Surfaktan Non-Ionik

Surfaktan non-ionik adalah surfaktan yang tidak mengandung gugus fungsional bermuatan baik positif maupun negatif dan tidak mengalami ionisasi di dalam larutan. Menurut Salager (2002), surfaktan non-ionik mempunyai kelebihan dibandingkan surfaktan anionik dan kationik, yaitu tidak dipengaruhi oleh kesadahan dan perubahan pH. Surfaktan non-ionik dianggap memiliki

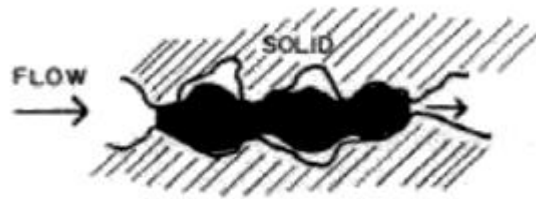
karakteristik pembusaan medium yang rendah. Keunikan surfaktan non-ionik adalah tidak mengalami disosiasi menjadi ion-ion ketika dilarutkan dalam cairan (pelarut) sehingga sangat kompatibel bila dikombinasikan dengan tipe surfaktan lainnya. Surfaktan ini mampu memasuki struktur molekul yang kompleks. Karakter lain dari surfaktan non-ionik adalah tidak sensitif terhadap cairan elektrolit, pH, surfaktan ionik lain, dan dapat digunakan pada salinitas tinggi dan air sadah [Salager, 2002].

Menurut Australian Research Council's Research Centres Program (2005), surfaktan non-ionik dari golongan *Alcohol Ethoxylates* dan *Alkylphenol Ethoxylates* telah digunakan luas dalam formulasi pembersih logam, pembersih di rumah sakit, pengeboran minyak bumi, dan reaksi polimerisasi emulsi. Kebanyakan surfaktan non-ionik menjadi bersifat tidak larut (*insoluble*) dalam air panas. Suhu pada saat surfaktan menjadi berkabut dan mulai mengalami presipitasi disebut sebagai *cloud point* [Australian Research Council's Research Centres Program, 2005].

2.6. Hubungan *Interfacial Tension* dengan Surfaktan

2.6.1. *Interfacial Tension* (IFT)

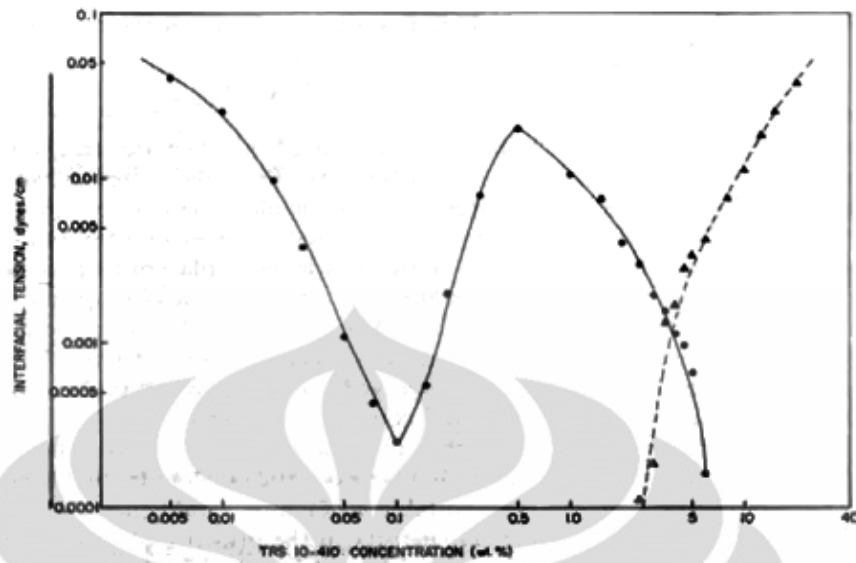
Suatu keadaan IFT yang rendah antara minyak mentah dan *brine water* dibutuhkan untuk mempermudah proses pengaliran tetesan-tetesan minyak yang terperangkap di dalam pori-pori batuan. Alasannya karena kondisi tersebut akan mengurangi kerja deformasi yang dibutuhkan untuk menggerakkan minyak mentah yang terperangkap di dalam pori-pori bebatuan. Telah diteliti Wilson dan Brandner (1973) pula bahwa apabila ada surfaktan yang sesuai ditempatkan di antara permukaan minyak mentah dan *brine* tersebut, maka akan dicapai nilai IFT yang rendah diantara permukaan-permukaan tersebut [Schramm, 2000]. Bentuk dari tetesan-tetesan minyak mentah yang terperangkap pada pori-pori batuan di *reservoir* bisa dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.4. Peran *Interfacial Tension* pada Proses *Surfactant Flooding* [Schramm, 2000]

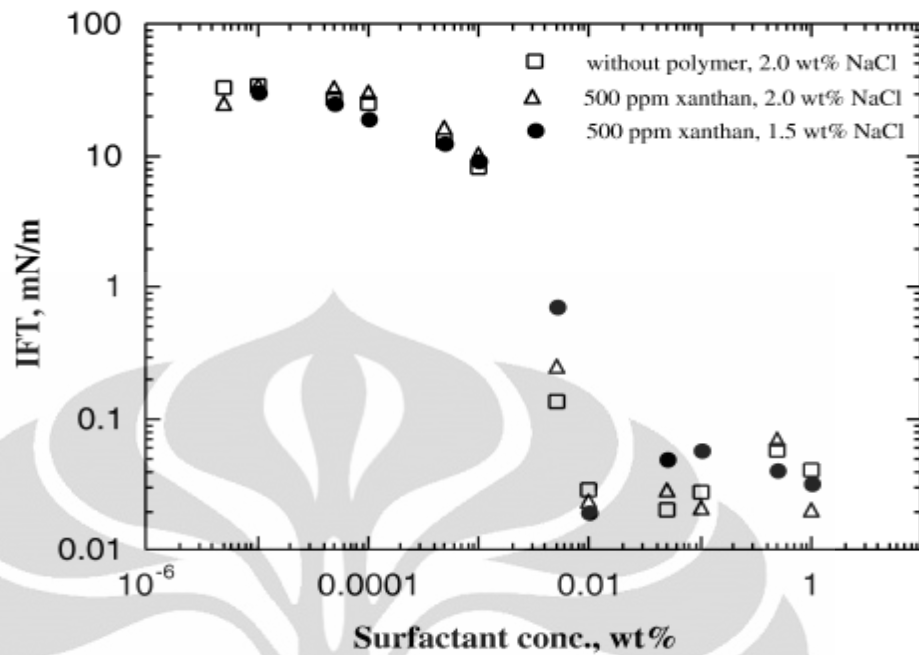
Perhitungan telah dilakukan untuk menghitung besar tekanan yang dibutuhkan untuk mengaliskan minyak mentah melalui Berea Sandstone. Nilai tekanan tersebut ialah 47.300 dyne/cm^2 untuk suatu sistem minyak *brine* yang memiliki nilai IFT sebesar 25 dyne/cm . Banyak peneliti yang telah melakukan penghitungan serupa dan diketahui bahwa nilai IFT harus lebih rendah dari 10^{-2} dyne/cm agar *residual oil* bisa dikeluarkan dari *reservoir*. Peneliti sebelumnya Foster (1973) telah menemukan bahwa sejumlah kecil konsentrasi *petroleum sulfonate* dapat menghasilkan nilai *interfacial tension* yang rendah, sesuai dengan nilai yang dibutuhkan sebelumnya antara permukaan minyak mentah dan *brine*. Penelitian lebih lanjut yang dilakukan oleh Wilson telah menunjukkan bahwa *petroleum sulfonate*, dengan spesifikasi variasi berat molekul yang tidak terlalu jauh, merupakan zat yang efektif untuk mengurangi besarnya *interfacial tension* [Schramm, 2000].

Peneliti sebelumnya, Morgan (1977), telah membuat daftar beberapa parameter yang mempengaruhi terbentuknya *ultra low* IFT. Daftar tersebut mencakup berat molekul rata-rata surfaktan, distribusi berat molekul surfaktan, struktur molekul surfaktan, konsentrasi surfaktan, tipe dan konsentrasi elektrolit, berat rata-rata molekul minyak mentah beserta bentuk molekulnya, *elapsed time*, suhu sistem, yang bisa divariasikan nilainya menyesuaikan kondisi proses produksi dari suatu *reservoir* ke *reservoir* yang lain [Al-Sahhaf, 2002]. Berikut gambar grafik konsentrasi surfaktan terhadap IFT.



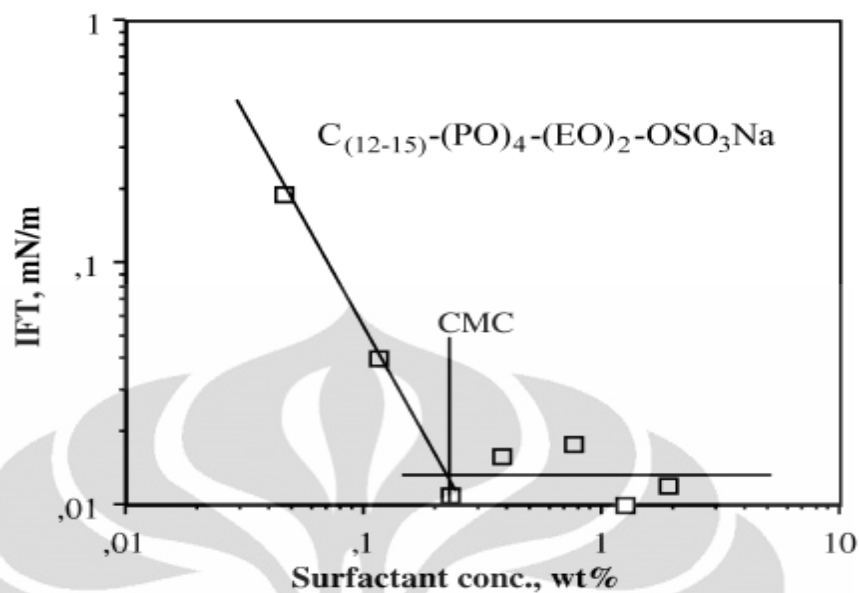
Gambar 2.5. Pengaruh Konsentrasi Surfaktan terhadap *Interfacial Tension* [Schramm, 2000]

Peneliti-peneliti yang lain, Kalpacki *et al.*, menjelaskan bahwa sebuah interaksi disosiatif antara surfaktan dan polimer akan menghasilkan efek tertentu pada IFT. Salah satu sifat dari polimer ialah kemampuan untuk berikatan dengan air. Volume hidrodinamis dari layar rangkap yang elektrikal akan dipengaruhi oleh salinitas dan suhu tergantung dari sifat polimer tersebut. Volume hidrodinamis layar elektrikal biasanya akan menurun pada saat suhu dan salinitas meningkat. Mereka mengukur besar IFT dan besar *Critical Micelle Concentration* (CMC) untuk 2 sistem surfaktan yang berbeda. Sistem yang terdiri dari *xanthan* 1500 ppm dibandingkan dengan sistem yang tidak memiliki kandungan polimer sama sekali. Di samping itu, Austad dan Taugbol mendapatkan bahwa sebuah campuran yang terdiri dari 500 ppm *xanthan* tidak akan mempengaruhi nilai IFT secara signifikan apabila dibandingkan dengan sistem bebas kandungan polimer [Schramm, 2000]. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Nilai IFT antara n-C7 dan *Brine* pada Suhu 50°C [Schramm, 2000]

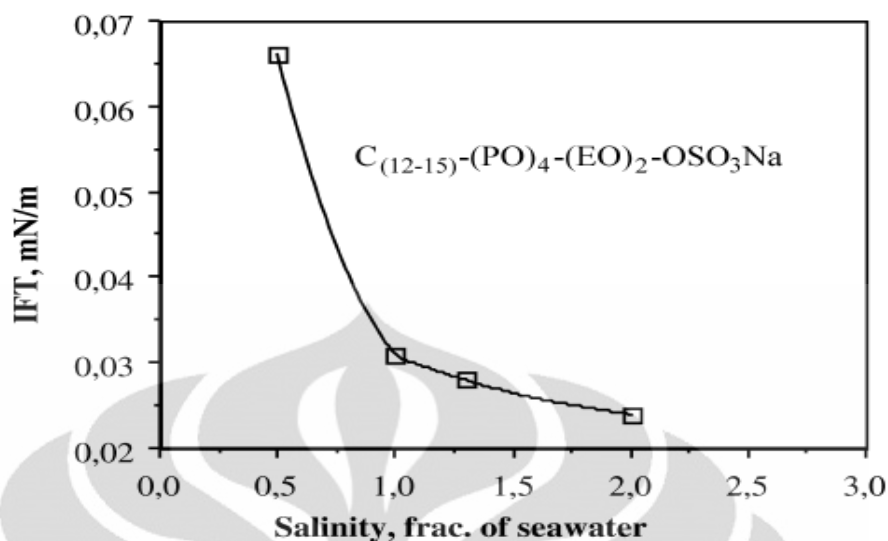
Propoxy ethoxy sulfonate digunakan oleh Taugbol *et al.* juga menunjukkan nilai IFT sebesar 10^{-2} mN/m pada sistem n-heptane dalam air laut mengalami penurunan hingga 10^{-3} . Hal tersebut karena adanya surfaktan dengan sistem gugus EO-PO yang dapat menurunkan tegangan antar muka antara air dan minyak dan juga membentuk fasa campuran tipe II(-), yaitu fasa air dengan minyak terlarut di dalam *micelle*. Peningkatan *capillary number* mengindikasikan bahwa sejumlah *residual oil* yang tidak bisa dikuras pada saat *waterflooding*, akan dikuras dari batuan *reservoir* oleh *chemical flooding* yang berlangsung pada keadaan 2 fasa [Schramm, 2000]. Berikut gambar grafik hasil pengukuran IFT n-heptana dan air laut.



Gambar 2.7. Nilai IFT antara n-heptana dan Air Laut [Schramm, 2000]

Menurut Taugbol, keberadaan gugus EO dan PO tidak harus berada pada satu molekul. Campuran surfaktan *propoxylated* dan *ethoxylated* dapat digunakan untuk membentuk sistem tersebut. Hal ini memberikan manfaat tersendiri dalam hal desain dan produksi bahan kimia karena gugus EO dan PO mungkin berada pada molekul yang berbeda. Beberapa parameter dapat digunakan untuk mendesain tingkat keseimbangan *Hydrophilic and Lipophilic Balance* (HLB) yang diinginkan, yaitu jumlah relatif gugus PO-EO dan jumlah relatif dari kedua jenis surfaktan tersebut [Schramm, 2000].

Salah satu karakteristik surfaktan tipe PO/EO sulfonat ialah kinerja yang baik pada saat terdapat kandungan Ca^{2+} dan Mg^{2+} pada konsentrasi tinggi. Keberadaan garam kalsium dan magnesium dalam surfaktan akan membatasi kelarutan surfaktan tersebut dalam minyak. Hal ini akan mengurangi kemungkinan surfaktan terperangkap dalam *residual oil* pada konsentrasi rendah [Schramm, 2000]. Dapat dilihat pada Gambar 2.8., tidak terjadi perubahan nilai IFT yang signifikan pada saat salinitas dinaikkan.



Gambar 2.8. IFT Vs Salinitas (Fraksi Air Laut) [Schramm, 2000]

Hal serupa juga dialami Kalpakci. Pada tahun 1989, penelitian yang dilakukan Kalpakci *et al.* tahun 1988 menghasilkan sebuah hak paten (*United States Patent* 4,825,950) tentang metode EOR dengan memformulasi *linear alkyl propoxy ethoxy sulfonate*, olefin yang telah disulfonasi, Actigum CS-11, *polyvinylpyrrolidone*. Hak paten ini berisi tentang penelitian untuk mengetahui pengaruh masing-masing surfaktan di atas. Oleh karena itu, dapat dibandingkan dalam penelitian ini bahwa ketika hanya digunakan Actigum CS-11 saja, nilai IFT yang diperoleh adalah 8,1 dyne/cm. Akan tetapi, ketika Actigum CS-11 ditambahkan dengan *linear alkyl propoxy ethoxy sulfonate*, nilai IFT berubah secara signifikan, yaitu $5,6 \cdot 10^{-3}$ dyne/cm. Hal tersebut membuktikan penambahan surfaktan tersebut memberikan pengaruh yang cukup besar. Penurunan nilai IFT ini disebabkan adanya pengaruh gugus *propoxy* dan *ethoxy* [Kalpakci, 1989].

2.6.2. Pengaruh Konsentrasi Surfaktan terhadap IFT

Salah satu faktor yang memiliki pengaruh besar untuk mencapai nilai IFT minimum adalah konsentrasi surfaktan. Cayias *et al.* dalam Sheng (2011) menjelaskan bahwa tegangan antar muka (IFT) menurun seiring bertambahnya konsentrasi surfaktan. Penurunan sampai pada sebuah nilai konsentrasi tertentu, nilai tegangan antar muka akan mencapai nilai minimum [Sheng, 2011]. Ketika

konsentrasi terus ditingkatkan hingga melebihi nilai konsentrasi kritis ini, nilai tegangan antar muka justru meningkat. A.K. Sharma *et al.* dalam Sheng (2011) menunjukkan bahwa penambahan sebuah surfaktan non-ionik yang terdiri atas sebuah gugus fosfat ester dapat membantu penyebaran zona tegangan antar muka minimum dan meningkatkan ketahanan sistem petroleum sulfonat terhadap garam [Sheng, 2011]. Chan dan Shah dalam Sheng (2011) menjelaskan bahwa nilai konsentrasi surfaktan tertentu yang menunjukkan nilai tegangan antar muka dan tegangan permukaan minimal merupakan nilai *Critical Micelle Concentration* (CMC) yang sebenarnya. Jumlah molekul suatu surfaktan dalam campuran minyak mentah dan *brine* meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi surfaktan. Ketika konsentrasi surfaktan pada fasa cair mendekati nilai CMC, nilai tegangan antar muka dan tegangan permukaan akan mencapai nilai minimum. [Sheng, 2011].

2.7. *Hydrophilic and Lipophilic Balance (HLB)*

HLB sering digunakan untuk mengkarakterisasi surfaktan. Nilai HLB yang bernilai rendah kebanyakan menandakan sifat surfaktan yang lebih cenderung larut dalam minyak dan membentuk emulsi air dalam minyak. Ketika kondisi formasi bersalinitas rendah, surfaktan dengan nilai HLB rendah lebih baik untuk digunakan karena dapat membentuk fasa mikroemulsi. Sedangkan ketika salinitas formasi tinggi, sebuah surfaktan dengan nilai HLB tinggi lebih baik untuk digunakan karena bersifat lebih hidrofil dan dapat membentuk fasa tengah mikroemulsi.

HLB ditentukan dengan menghitung nilai daerah yang berbeda pada suatu molekul seperti yang pernah dirumuskan oleh Griffin dalam Sheng (2011). Persamaan Griffin yang digunakan untuk menghitung nilai HLB pada surfaktan non-ionik sebagai berikut.

$$HLB = \frac{20MW_h}{MW} \dots\dots\dots(1)$$

di mana MW_h adalah massa molekul bagian atau gugus hidrofil pada surfaktan, sedangkan MW merupakan massa molekul keseluruhan. Nilai HLB bervariasi dari 0 hingga 20 [Sheng, 2011].

Nilai HLB yang bernilai 0 menunjukkan bahwa molekul surfaktan tersebut bersifat hidrofobik, dan nilai maksimal 20 mengindikasikan molekul tersebut bersifat hidrofilik secara keseluruhan. Suatu nilai HLB dapat digunakan untuk menentukan sifat-sifat tertentu dari surfaktan.

- Nilai HLB 0 - 3 = surfaktan bersifat *anti-foaming agent*.
- Nilai HLB 4 - 6 = surfaktan bersifat *emulsifier* W/O (air dalam minyak).
- Nilai HLB 7 - 9 = surfaktan bersifat *wetting agent*.
- Nilai HLB 8 - 18 = surfaktan bersifat *emulsifier* O/W (minyak dalam air).
- Nilai HLB 13 - 15 = surfaktan bersifat deterjen.
- Nilai HLB 10 - 18 = surfaktan bersifat pelarut hidrotop.

2.8. Critical Micelle Concentration (CMC) dan Krafft Point

CMC merupakan karakteristik yang penting dari suatu surfaktan di dunia perminyakan. Sebagai contoh, beberapa proses *Enhanced Oil Recovery* (EOR) menggunakan surfaktan termasuk *micellar*, alkali/surfaktan/polimer (A/S/P) dan gas (hidrokarbon, N₂, CO₂ atau uap). CMC didefinisikan sebagai suatu nilai konsentrasi yang apabila konsentrasi surfaktan lebih besar daripada CMC, maka secara otomatis akan terbentuk *micelle* pada larutan tersebut. Pada saat surfaktan ditambahkan ke dalam suatu sistem, surfaktan tersebut akan bergerak ke bidang batas, mengurangi energi bebas pada bidang batas, dan menghilangkan bagian hidrofobik pada surfaktan sehingga tidak kontak dengan air. Ketika permukaan batas antar muka yang ditutupi surfaktan meningkat dan energi bebas permukaan (*surface tension*) menurun, surfaktan menyatu dan membentuk *micelle*. *Micelle* membantu menurunkan energi bebas sistem dengan mengurangi luas bidang sentuh bagian hidrofobik surfaktan dengan air.

Penambahan surfaktan pada saat nilai konsentrasi surfaktan tersebut telah berada di atas nilai CMC, akan meningkatkan jumlah *micelle* yang ada pada larutan. Dengan kata lain, sebelum konsentrasi surfaktan mencapai CMC, tegangan permukaan menurun dengan tajam seiring dengan peningkatan konsentrasi surfaktan. Setelah mencapai nilai CMC, nilai tegangan permukaan akan tetap atau hanya sedikit berubah. Pada suatu sistem, pembentukan *micelle*

terjadi pada konsentrasi yang cukup kecil. Konsentrasi tersebut ialah berkisar antara 10^{-5} hingga 10^{-4} mol/l untuk surfaktan yang digunakan dalam aplikasi EOR.

Salah satu parameter yang terkait dengan CMC ialah *Krafft temperature* atau *critical micelle temperature*. Parameter ini merupakan suhu minimum yang memungkinkan *micelle* terbentuk pada surfaktan. Ketika suhu sistem berada di bawah nilai *Krafft temperature*, maka tidak ada nilai CMC, yang berarti *micelle* tidak mungkin terbentuk [Sheng, 2011].

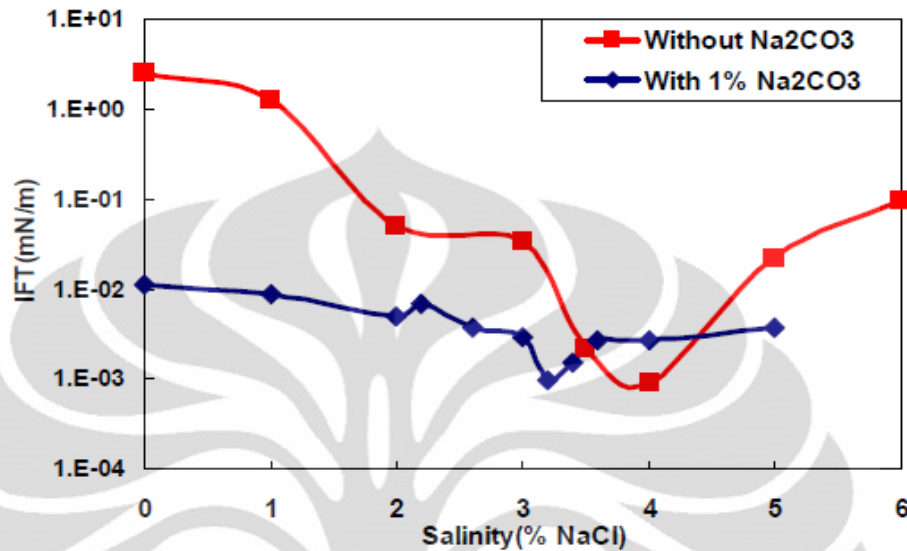
Sebuah parameter yang berhubungan dengan surfaktan non-ionik adalah *cloud point* yang berhubungan dengan HLB. Nilai HLB yang semakin tinggi akan menyebabkan nilai *cloud point* juga semakin tinggi. Parameter ini merupakan suhu yang menyebabkan surfaktan menjadi keruh. Fenomena ini merupakan karakter dari surfaktan non-ionik yang terdiri atas rantai *polyoxyethylene*. Gugus hidrofil pada surfaktan non-ionik merupakan suatu gugus fungsi dengan oksigen yang kelarutannya disebabkan oleh adanya ikatan hydrogen-oksigen. Pada saat suhu meningkat, ikatan ini akan terputus karena aktivitas molekul surfaktan meningkat. Setelah itu, molekul surfaktan akan terpecah dan larutan menjadi keruh [Mobius, 2000].

2.9. Pengaruh Alkali terhadap IFT

Alkali adalah suatu bahan dasar yang menghasilkan ion hidroksida (OH⁻) ketika dilarutkan dalam air atau alkohol. Senyawa alkali seperti natrium hidroksida, natrium karbonat, natrium silikat, natrium fosfat, dan ammonium hidroksida sering digunakan untuk perolehan minyak karena dapat menghasilkan pH tinggi. Selain itu, keuntungan penambahan alkali yang lain adalah dapat menurunkan nilai IFT dan adsorpsi kimia pada batuan reservoir. Jika *brine* pada *reservoir* mengandung ion *divalent* seperti magnesium dan kalsium, maka digunakan alkali organik. Peningkatan konsentrasi alkali juga dapat menurunkan nilai IFT [Al-Sahhaf, 2002].

Pada tahun 2007, Liu membuktikan pengaruh alkali terhadap IFT dengan variasi salinitas (%NaCl) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.10. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai IFT surfaktan dengan alkali cenderung lebih stabil dibandingkan tanpa adanya alkali seperti diketahui bahwa salinitas

berbanding lurus dengan suhu. Penurunan nilai IFT ini disebabkan oleh ekstraksi asam dari minyak oleh alkali yang membuat gaya antarmuka minyak lebih reaktif [Liu,2008].



Gambar 2.9. Pengaruh Alkali terhadap Nilai IFT dengan Variasi Salinitas [Liu, 2008]

2.10. Hubungan Pelarut dan *Phase Behaviour*

Pelarut adalah bahan aditif yang digunakan pada proses stimulasi sumur minyak yang mempunyai sifat larut dalam air, minyak dan fluida asam. Bahan aditif ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti menghilangkan deposit hidrokarbon fraksi berat dan mengendalikan *wettability* dari batuan formasi. Jenis pelarut yang sering dipakai di lapangan adalah *Ethylene Glycol Monobutyl Ether* (EGBE) yang memiliki rumus kimia $C_6H_{14}O_2$ dengan sifat fisik berupa cairan jernih tidak berwarna. Penggunaan pelarut dapat menyebabkan terjadinya emulsifikasi. Pelarut bekerja dengan memindahkan lapisan film organik sehingga menjadi bersifat *water-wet*. EGBE (*butoxy ethanol*) telah digunakan sebagai *oil spill dispersant* oleh Exxon Mobile [Clark, 2004].

Secara umum, surfaktan memiliki kelarutan yang lebih tinggi tanpa penambahan pelarut. Pelarut atau *co-surfactant* merupakan bahan kimia yang molekulnya bisa membentuk lapisan *interfacial*. Pelarut selalu ditambahkan pada saat memformulasikan surfaktan karena dapat meminimalisasi kemunculan *gels*, kristal, emulsi fasa kaya polimer yang terpisah dari larutan surfaktan, mengurangi

waktu kesetimbangan, dan mengurangi viskositas mikroemulsi. Rasio penambahan surfaktan dengan pelarut adalah 2 : 3 [Sheng, 2011].

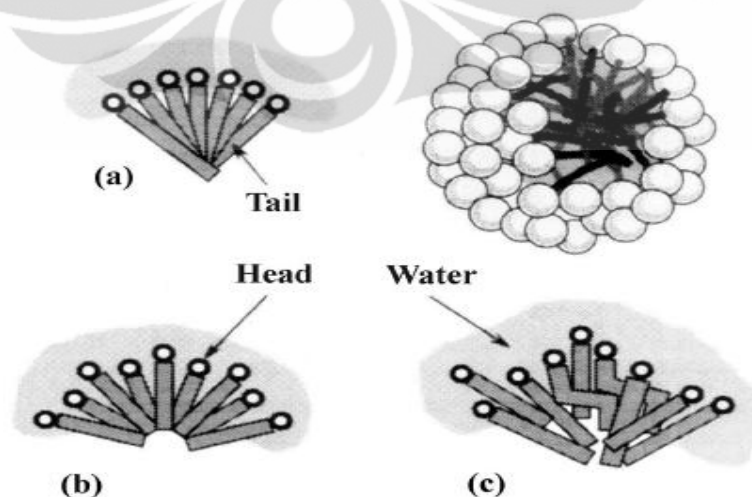
Polimer dan surfaktan kadang-kadang tidak cocok pada saat pelaksanaan metode *micellar flooding* dengan menggunakan sebuah surfaktan berkonsentrasi tinggi. Larutan *micelle* meningkatkan viskositas pada saat proses pembentukan *micelle*. Proses tersebut membutuhkan *co-surfactant* dan alkohol. Alkohol memiliki fungsi lain, yaitu menstabilkan mikroemulsi. Ketika sebuah mikroemulsi dihasilkan oleh suatu surfaktan tanpa ada alkohol di dalamnya, maka *micelle* tersebut memiliki kemampuan terlarut yang tidak terbatas. Selanjutnya, kondisi ini memungkinkan mikroemulsi untuk dibalik berdasarkan perkembangan fasa di dalamnya (*inner*). Dengan adanya alkohol, mikroemulsi dapat dijaga pada jenis kondisi yang diinginkan, dan fasa *inner* tidak bisa berkembang bebas. Sebuah fasa tengah mikroemulsi dapat muncul pada kondisi konsentrasi yang sesuai. Alkohol kadang-kadang dapat membantu surfaktan untuk mengurangi nilai IFT dengan mengubah nilai HLB surfaktan tersebut. Oleh karena itu, ketika alkohol ditambahkan (walaupun kompatibilitas sistem dapat ditingkatkan), nilai IFT tetap menjadi lebih tinggi daripada saat sistem belum ditambahkan alkohol [Sheng, 2011].

Hirasaki *et al.* dalam Sheng (2011) meneliti sebuah metode penggunaan alkohol dengan cara mencampur 2 surfaktan yang berbeda sifat, yaitu sebuah cabang *alkoxylated* sulfat dan olefin sulfonat internal berekor ganda. Kehadiran pelarut mempengaruhi efektifitas salinitas dan menyebabkan perubahan pada bidang batas fasa. Alkohol merupakan senyawa organik dengan sebuah gugus fungsi OH. Pada suatu larutan, hidrogen dapat terlepas dan menghasilkan larutan asam. Alkohol yang berantai pendek seperti propanol meningkatkan nilai salinitas optimal untuk surfaktan sulfonat, sedangkan alkohol berantai panjang seperti pentanol dan hexanol akan mengurangi nilai salinitas optimal. Berdasarkan penelitian ini, diketahui bahwa 2-butanol (SBA) sebagai pelarut, tetapi tidak memiliki efek yang terlalu signifikan terhadap nilai salinitas optimal pada sistem petroleum sulfonat dan *synthetic alkyl/aryl sulfonate* dengan minyak mentah ringan [Sheng, 2011].

Suatu bagian alkohol juga termasuk pada struktur batas fasa *micellar* seperti sulfonat. Sebagai contoh, penambahan iso-propanol meningkatkan kelarutan sulfonat pada fasa cair lebih baik daripada kelarutan pada fasa minyak. Alkohol berantai pendek yang hanya memiliki 3 atom karbon, tidak bisa membentuk *micelle*. Panjang rantai karbon setidaknya harus mencapai 8 – 10 buah. Selain itu, gugus OH pada alkohol tidak cukup polar untuk berlaku seperti sebuah gugus hidrofilik yang baik [Sheng, 2011].

2.11. Efek Hidrofobik dan Pembentukan *Micelle*

Suatu larutan dengan kandungan surfaktan pada konsentrasi tertentu berlaku sebagai elektrolit normal. Akan tetapi, pada konsentrasi surfaktan yang lebih tinggi, sifat larutan tersebut menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil tersebut dapat dijelaskan dengan meninjau proses pembentukan agregat molekul surfaktan dalam jumlah banyak yang disebut *micelle*. Proses pembentukan tersebut menyebabkan bagian lipofilik surfaktan saling berikatan pada bagian dalam agregat, sedangkan bagian hidrofilik berada di bagian luar menghadap media cair. *Micelle* yang terbentuk digambarkan oleh Hiemenz dan Rajagopalan pada Gambar 2.14. Proses pembentukan *micelle* pada larutan surfaktan adalah sebuah solusi atau titik tengah antara kecenderungan rantai alkil untuk menghindari kebutuhan energi karena kontak dengan air dan kecenderungan bagian polar untuk tetap melakukan kontak dengan lingkungan cairan.



Gambar 2.10. Skema Struktur *Micelle*: (a) tumpang tindih ekor di tengah, (b) air menembus ke pusat, (c) rantai memanjang dan membengkok [Schramm, 2000]

Universitas Indonesia

Sebuah deskripsi termodinamika dari proses pembentukan *micelle* akan melibatkan sebuah deskripsi mengenai kontribusi gaya hidrofobik dan elektrostatik kepada energi Gibbs secara keseluruhan yang ada pada sistem. Senyawa hidrokarbon dan air tidak larut. Batas tingkat kelarutan bagian hidrofobik dalam air dianggap sebagai efek hidrofobik.

Salah satu ciri-ciri efek hidrofobik adalah pengaruh entropi lebih dominan daripada pengaruh entalpi. Proses perpindahan larutan hidrokarbon dari pelarut hidrokarbon menuju air disertai peningkatan energi perpindahan Gibbs. Penurunan pada nilai entropi dianggap sebagai akibat dari putusannya ikatan normal hidrogen pada struktur molekul air, disertai dengan pembentukan struktur molekul air yang berbeda seperti es yang berada di sekitar rantai hidrokarbon. Keberadaan senyawa hidrofobik memicu keberadaan molekul air di sekitar rantai hidrokarbon. Untuk mengurangi efek entropi yang besar, “*iceberg*” akan berkelompok dalam rangka mengurangi jumlah molekul air yang terlibat. Proses pengelompokan tersebut didominasi oleh pengaruh entalpi, bukan entropi. Proses yang berlangsung secara keseluruhan memiliki kecenderungan untuk mengelompokkan/mendekatkan molekul hidrokarbon secara bersama-sama (interaksi hidrofobik). Interaksi *molecular* tersebut terjadi karena adanya kecenderungan molekul air yang ingin mencapai bentuk tetrahedral normal dan gaya dispersi atraktif yang terjadi di antara rantai hidrokarbon. Interaksi tersebut dapat menghilangkan keberadaan rantai hidrokarbon dari air “*iceberg*” dan memicu adanya ikatan antara rantai hidrofobik.

Efek hidrofobik menyebabkan molekul surfaktan teradsorpsi di bidang batas walaupun surfaktan berada dalam konsentrasi yang rendah. Pada saat terjadi kesetimbangan adsorpsi dan desorpsi, kondisi bidang batas membutuhkan waktu tertentu untuk tercipta. Aktivitas permukaan surfaktan dianggap sebagai fenomena dinamis pada proses tercapainya kesetimbangan di bidang batas. Hal ini dapat ditentukan dengan mengukur besarnya tegangan permukaan berdasarkan waktu dari saat terbentuknya bidang batas antarmuka [Schramm, 2000].

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, ada tiga tahapan yang akan dilakukan, yaitu preparasi bahan surfaktan, pembuatan formula, dan uji kinerja formula surfaktan.

3.1. Preparasi Bahan

Pada tahap preparasi bahan, surfaktan yang digunakan adalah surfaktan yang memenuhi 2 kriteria. Yang pertama adalah surfaktan sekunder tersebut memiliki nilai HLB yang tinggi. Peranan dari HLB adalah agar terjadi emulsi minyak dalam air pada saat *surfactant flooding*. Kriteria yang kedua adalah keberadaan gugus *ethylene oxide* (EO) yang memiliki sifat hidrofobik yang lemah. Adanya gugus EO akan memberikan hasil nilai IFT yang sangat rendah. Di samping itu, juga dapat meningkatkan ketahanan surfaktan terhadap kalsium [Sheng, 2011].

Berdasarkan 2 kriteria di atas, surfaktan sekunder yang digunakan untuk formulasi dalam penelitian ini adalah tergitol (*nonyl phenol ethoxylate*) yang diperoleh dari toko kimia Bratachem di Bogor. Sesuai dengan namanya, tergitol memiliki gugus EO di dalamnya. Gugus EO inilah yang akan turut berperan dalam menurunkan IFT pada formulasi ini karena banyak gugus EO mempengaruhi nilai *cmc*, *aggregation number* dan koefisien distribusi surfaktan [Landry, 2008]. Kriteria yang lain seperti HLB juga terdapat pada tergitol. Tergitol memiliki nilai HLB yang tinggi, yaitu sekitar 10-12. Nilai HLB tersebut cocok untuk menghasilkan emulsi minyak dalam air yang nantinya akan berperan dalam proses *surfactant flooding*.

Di samping itu, terdapat bahan lain yang juga harus dipersiapkan, yaitu metil ester sulfonat (MES), pelarut, minyak Rantau, dan *brine*. Penelitian ini menggunakan pelarut *Ethylene Glycol Monobutyl Ether* (EGBE) karena pelarut EGBE menunjukkan sifat yang lebih stabil daripada etanol. Penambahan pelarut ini untuk membantu surfaktan larut sempurna dalam *brine*. Pelarut EGBE mempunyai karakteristik tingkat kelarutan yang tinggi terhadap minyak dan air, volatilitas yang rendah, dan cenderung mengikat tanah atau sedimen. Selain itu,

pelarut EGBE masih tergolong eter dan alkohol sehingga dapat mengurangi kemungkinan membentuk *gel* dan memisahkan fasa kaya polimer dari sistem surfaktan. Efek yang lain adalah dapat menurunkan konsentrasi CMC sehingga kebutuhan surfaktan untuk mencapai nilai IFT optimum dapat dikurangi serta mengurangi waktu kesetimbangan dan viskositas emulsi [Sheng, 2011]. Sedangkan *brine* yang digunakan adalah *brine water* dari lapangan Rantau. Berikut sifat fisik dan kimia minyak Rantau yang digunakan pada penelitian ini dari Laboratorium Sifat Fisik dan Kimia Minyak Bumi, KPRT Proses, PPTMGB Lemigas [Eni, 2010].

Tabel 3.1. Sifat Fisik dan Kimia Minyak Rantau [Eni, 2010]

No	Sifat Fisika Kimia	Nilai
1	Viskositas pada 100°F	1,181 cSt
2	API Gravity	45
3	Specific Gravity 60°F	0,8016
4	Densitas 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

3.2. Formulasi Surfaktan

Pada tahap formulasi, yang akan divariasikan adalah konsentrasi dari surfaktan sekunder (tergitol). Konsentrasi MES pada tahap ini bernilai tetap. Surfaktan MES merupakan bahan utama (primer) yang akan diformulasi sehingga konsentrasi acuan MES yang ditetapkan cukup besar, yaitu 40%. Ada 4 variasi konsentrasi tergitol yang dilakukan, yaitu 5%, 20%, 40%, dan 60%. Konsentrasi pelarut berubah sesuai dengan perubahan dari konsentrasi tergitol.

Setelah itu, tahap formulasi berikutnya adalah membuat formula antara formulasi surfaktan sebelumnya (awal) dengan *brine*. Pada tahap ini, konsentrasi dari hasil formulasi surfaktan awal divariasikan 0,1%; 0,3%; 0,5%; 1%; 2%, dan 5%. Tujuan dari pencampuran *brine* adalah untuk meneliti kompatibilitasnya sehingga dapat diketahui kelarutan dan fasa yang terbentuk.

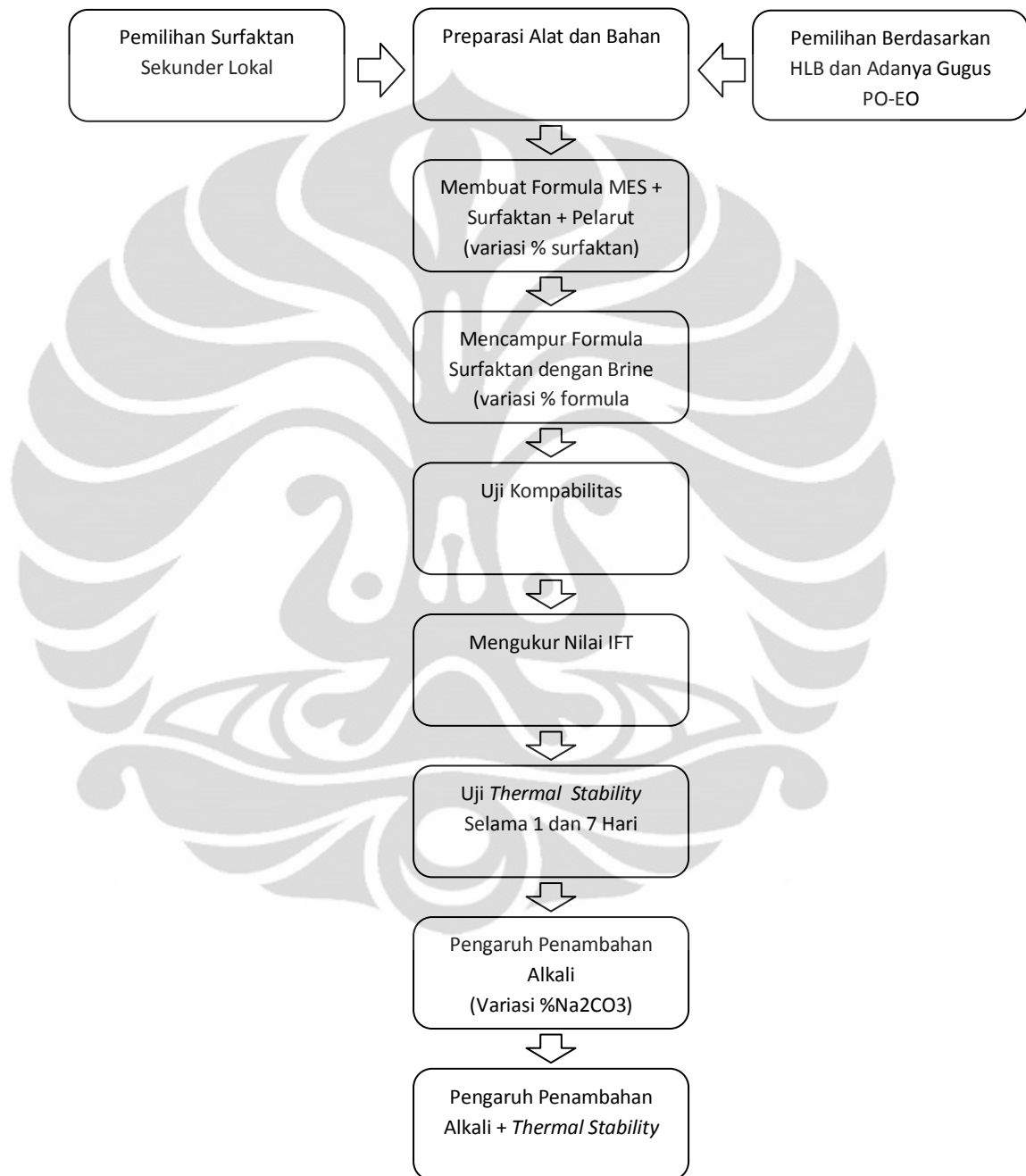
3.3. Uji Kinerja Hasil Formulasi Surfaktan

Pada tahap uji *screening*, hasil formulasi dilihat kompatibilitasnya (kecocokan/ kelarutan dalam *brine*), kemudian dilakukan pengukuran IFT terhadap semua hasil formulasi. Alat yang dipakai untuk mengukur IFT adalah *spinning drop* tensiometer. Setelah itu, dipilih hasil pengukuran IFT terbaik untuk diuji ketahanan termalnya. Uji tersebut dilakukan dengan memanaskan larutan formulasi (surfaktan-*brine*) terbaik dengan jangka waktu 1 dan 7 hari. Setelah itu, diukur IFT-nya untuk melihat ada tidaknya perubahan yang terjadi.

Setelah semua formulasi tersebut diukur IFT-nya, formulasi yang menghasilkan karakteristik terbaik dari sisi IFT dan kestabilan akan dipilih lagi untuk diuji lebih lanjut. Hasil yang terbaik ditambah alkali (Na_2CO_3) sekitar 1% seperti yang dilakukan Liu (2008) untuk melihat pengaruh alkali terhadap IFT [Liu, 2008]. Setelah itu, uji ketahanan termal dilakukan lagi dengan jangka waktu yang sama, yaitu 1 dan 7 hari, kemudian keluaran yang dihasilkan diukur IFT-nya.

3.4. Diagram Alir Penelitian

Tahap penelitian yang dilakukan disederhanakan dalam diagram sebagai berikut.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.4.1. Bahan dan Alat

Bahan dan alat yang harus dipersiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2. Daftar Alat dan Bahan Penelitian

No	Bahan	Alat
1	Metil Ester Sulfonat (MES)	Neraca timbangan
2	Minyak Rantau	Labu erlenmeyer
3	<i>Nonyl Phenol Ethoxylate</i> (tergitol)	<i>Beaker glass</i>
4	EGBE	Pipet tetes
5	<i>Aquabides</i>	<i>Magnetic stirrer</i>
6	Na ₂ CO ₃ (alkali)	Botol plastic
7	-	<i>Density meter</i>
8	-	<i>Syringe</i>
9	-	<i>Spinning drop</i> tensiometer
10	-	Botol kaca
11	-	<i>Oven</i>

3.4.2. Persiapan Metil Ester Sulfonat (MES), Tergitol, dan EGBE

Pertama-tama, MES, tergitol, dan EGBE divariasikan konsentrasinya sebesar 0,5%; 1%; 2,5%; dan 5% atau berat sebesar 0,1 gram; 0,2 gram; 0,5 gram; dan 1 gram dari 20 gram yang nantinya akan dicampur dengan *brine*. Contoh perhitungan konsentrasi 0,5% sebagai berikut.

Konsentrasi MES/ tergitol/ EGBE = 0,5% sehingga beratnya:

$$\frac{0,5}{100} \times 20 \text{ gr} = 0,1 \text{ gr}$$

3.4.3. Formulasi Surfaktan MES, Tergitol, dan EGBE

Pada tahap ini, diformulasikan terlebih dahulu antara MES, surfaktan sekunder (tergitol), dan pelarut (EGBE). Konsentrasi MES dibuat sebagai variabel tetap, sedangkan konsentrasi tergitol divariasikan yang nantinya juga akan mempengaruhi konsentrasi EGBE secara otomatis. Adapun tatacara pemberian label pada formula yang dibuat sebagai berikut.

metode perhitungan pada penimbangan menjadi berbeda dari prosedur sebelumnya. Prosedur percobaan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Total berat total formulasi ditetapkan pada tahap ini sebesar 20 gram.
2. Konsentrasi surfaktan sebelumnya divariasikan sebesar 0,1%; 0,3%; 0,5%; 1%; 2%; 5%, dan 7%. Dengan acuan konsentrasi MES sebelumnya yang hanya 40%, maka berat surfaktan yang harus dicampur adalah 0,05gr; 0,15gr; 0,25gr; 0,5gr; 1gr; 2,5gr; dan 3,5gr. Contoh perhitungan konsentrasi 0,1% sebagai berikut.

Konsentrasi 0,1%, berat surfaktan yang harus dicampur:

$$\frac{0,1\%}{40\%} \times 20gr = 0,05gr$$

3. *Brine* ditambahkan hingga berat total campuran menjadi 20 gram.
4. Semua hasil formulasi diaduk dengan *magnetic stirrer* hingga campuran terlarut merata.
5. Fasa yang terbentuk pada campuran diamati.
6. Larutan hasil formulasi didiamkan selama 1 hari, kemudian diamati kembali bentuk fasa pada larutan.

3.4.5. Pengukuran Densitas Hasil Formulasi Akhir Surfaktan

Pengukuran densitas adalah salah satu langkah kerja yang harus dilakukan sebelum mengukur nilai IFT pada *spinning drop* tensiometer. Alat untuk mengukur densitas surfaktan ini disebut *density meter*. Berikut prosedur tentang pengukuran densitas surfaktan.

1. *Density meter* dinyalakan.
2. Suhu pengukuran diatur 40°C.
3. Kalibrasi dilakukan dengan cara mengukur densitas udara (tabung pengukur dalam keadaan kosong). Jika nilai densitas udara menunjukkan angka 0.00019 gr/cm³, maka *density meter* sudah terkalibrasi dengan baik. Jika belum, tabung pengukur yang ada dalam *density meter* dibersihkan dengan *aquabides* melalui *syringe* disuntikkan ke dalam tabung pengukur, lalu pompa udara dinyalakan agar *aquabides* dapat dikeluarkan, dan mengukur kembali nilai densitas udara.

4. Larutan hasil formulasi diambil dengan *syringe* dan dimasukkan secara perlahan ke dalam tabung pengukur. Adanya gelembung udara di dalam tabung pengukur sebaiknya dihindarkan.
5. Pengukuran dilakukan dengan menekan tombol *start*.
6. Data densitas yang ditampilkan alat dengan suhu 40°C dicatat. Jika tidak, pengukuran dilanjutkan lagi hingga tercatat densitas dengan suhu 40°C.

3.4.6. Pengukuran Nilai IFT

Tujuan dari pengukuran IFT pada percobaan ini adalah untuk mengetahui data konsentrasi hasil formulasi surfaktan mana yang menunjukkan IFT terendah. Hasil yang menunjukkan data terbaik akan diambil untuk diuji kestabilan termalnya. Prosedur pengukuran IFT pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tabung kaca dibersihkan dengan menggunakan *syringe* yang telah diisi *aquabides*.
2. Tabung kaca diisi secara penuh dengan menggunakan *syringe* yang telah diisi dengan larutan hasil formulasi.
3. Minyak mentah Rantau ditambahkan sebanyak $2 \mu\text{m}^3$ ke dalam tabung kaca dengan menggunakan *syringe*.
4. Tabung kaca ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udara pada tabung kaca tersebut.
5. Tabung kaca dimasukkan ke dalam *spinning drop* tensiometer, mengatur suhu sebesar 70°C, dan kecepatan putaran sebesar 3000 rpm.
6. Jika fasa yang terbentuk telah menunjukkan stabil pada tensiometer, pengukuran nilai IFT baru boleh dilakukan.

Variabel-variabel pada tahap formulasi MES, tergitol, EGBE, dan *brine* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.3. Variabel pada Tahap Formulasi MES, Tergitol, EGBE, dan Brine

Variabel	Tetap	Bebas	Terikat
Konsentrasi MES	√		
Konsentrasi Tergitol		√	
Konsentrasi EGBE		√	
Suhu	√		
Konsentrasi MES + Tergitol + EGBE		√	
Konsentrasi Brine		√	
Kompatibilitas			√
IFT			√

3.4.7. Uji *Thermal Stability* (Ketahanan Termal)

Tujuan dari uji ketahanan termal adalah untuk mengetahui pengaruh panas terhadap nilai IFT larutan hasil formulasi. Pengujian dilakukan terhadap larutan hasil formulasi yang menghasilkan nilai IFT terbaik, yaitu 10^{-3} dyne/cm. Prosedur percobaan uji ketahanan termal adalah sebagai berikut.

1. Sisa larutan hasil formulasi yang menunjukkan data IFT terbaik digunakan kembali.
2. Larutan hasil formulasi dimasukkan ke dalam botol kaca yang tahan panas.
3. Botol kaca yang diisi larutan dimasukkan ke dalam *oven* dengan pengaturan suhu sebesar $62,5^{\circ}\text{C}$ sesuai dengan sifat fisik dan kimia minyak Rantau selama 1 hari dan 7 hari.
4. Larutan dari *oven* dikeluarkan pada waktu yang ditentukan dan uji kompatibilitas dilakukan dengan mengamati fasa yang terbentuk pada larutan.
5. Densitas diukur dengan prosedur pengukuran densitas sama seperti sebelumnya.
6. Nilai IFT masing-masing larutan hasil formulasi yang telah dipanaskan diukur dengan prosedur pengukuran IFT yang sama seperti sebelumnya.

Adapun variabel-variabel pada tahap uji kestabilan termal di atas sebagai berikut.

Tabel 3.4. Variabel pada Tahap Uji Kestabilan Termal Formulasi Tanpa Alkali

Variabel	Tetap	Bebas	Terikat
Konsentrasi MES + Tergitol + EGBE	V		
Suhu	V		
Lama Pemanasan		V	
Kompatibilitas			V
IFT			V

3.4.8. Formulasi Penambahan Alkali

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan alkali dalam larutan hasil formulasi sebelumnya terhadap nilai IFT. Alkali yang ditambahkan adalah Na_2CO_3 10%. Adapun prosedur dari percobaan ini sebagai berikut.

1. Hasil larutan formulasi yang menunjukkan data IFT terbaik pada uji ketahanan termal sebelumnya digunakan kembali.
2. Berat total larutan setelah penambahan alkali ditentukan sebesar 20 gram.
3. Larutan hasil formulasi ditimbang dengan berat sesuai data konsentrasi terbaik.
4. Alkali ditambahkan dengan variasi konsentrasi 0,05%; 0,1%; 0,5%; 1%; dan 2%. Konsentrasi alkali yang digunakan adalah 10%, maka berat yang ditambahkan ke dalam larutan adalah 0,1gr; 0,2gr; 1gr; 2gr; dan 4gr. Contoh perhitungan konsentrasi 0,05% sebagai berikut.

Pada konsentrasi 0,05%, berat alkali yang ditambahkan:

$$\frac{0,05\%}{10\%} \times 20\text{gr} = 0,1\text{gr}$$

5. *Brine* ditambahkan hingga berat larutan menjadi 20 gram.
6. Uji kompatibilitas dilakukan dengan mengamati fasa yang terbentuk dari masing–masing larutan.
7. Densitas diukur seperti prosedur pengukuran densitas sebelumnya.
8. Nilai IFT masing–masing larutan hasil formulasi surfaktan, alkali, dan *brine* diukur seperti prosedur pengukuran IFT sebelumnya.

3.4.9. Uji *Thermal Stability* Penambahan Alkali

Setelah alkali ditambahkan, akan dilakukan uji *thermal stability* pada larutan tersebut. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan alkali dan pemanasan terhadap nilai IFT larutan hasil formulasi. Prosedur percobaan ini adalah sebagai berikut.

1. Hasil larutan formulasi yang menunjukkan data IFT terbaik pada uji ketahanan termal sebelumnya digunakan kembali.
2. Berat total larutan setelah penambahan alkali ditetapkan sebesar 20 gram.
3. Larutan hasil formulasi ditimbang dengan berat data konsentrasi terbaik.
4. Alkali ditambahkan dengan variasi konsentrasi 0,1%; 0,5%; dan 1% atau berat masing – masing sebesar 0,2 gram; 1 gram; dan 2 gram.
5. *Brine* ditambahkan hingga berat larutan menjadi 20 gram.
6. Larutan hasil formulasi dimasukkan ke dalam botol kaca yang tahan panas.
7. Botol kaca yang telah diisi larutan dimasukkan ke dalam *oven* dengan pengaturan suhu sebesar 62,5°C selama 1 hari dan 7 hari.
8. Larutan dikeluarkan dari *oven* pada waktu yang ditentukan dan melakukan uji kompatibilitas dengan mengamati fasa yang terbentuk pada larutan.
9. Densitas diukur dengan prosedur pengukuran densitas sama seperti sebelumnya.
10. Nilai IFT masing–masing larutan hasil formulasi yang telah dipanaskan diukur dengan prosedur pengukuran IFT yang sama seperti sebelumnya

Berikut variabel-variabel tahap penambahan alkali dan uji kestabilan termal pada Tabel 3.4.

Tabel 3.5. Variabel pada Tahap Penambahan Alkali dan Uji Kestabilan Termal

Variabel	Tetap	Bebas	Terikat
Konsentrasi MES + Tergitol + EGBE	V		
Konsentrasi Alkali		V	
Suhu	V		
Lama Pemanasan		V	
Kompatibilitas			V
IFT			V

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

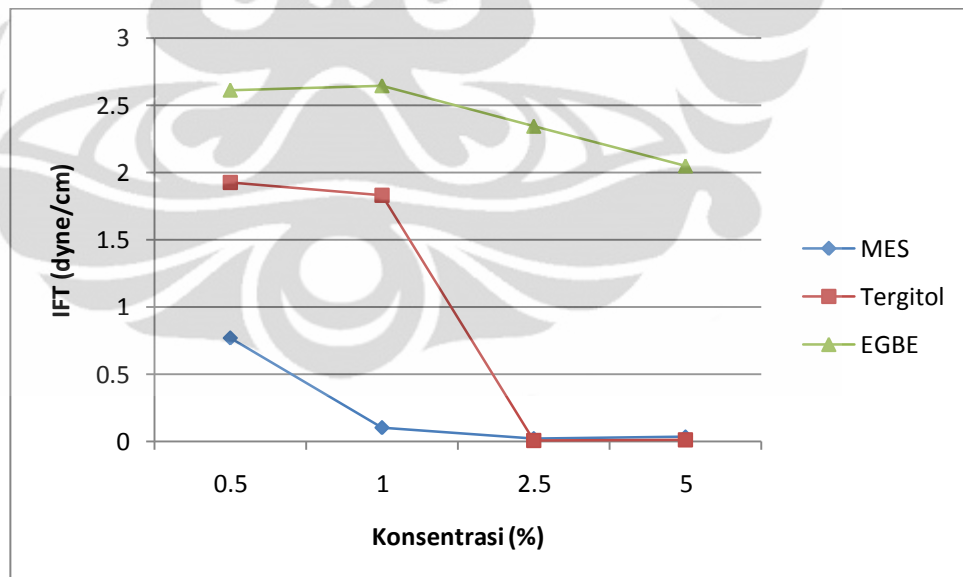
4.1. Formulasi Surfaktan MES, Tergitol, EGBE, dan Brine

4.1.1. Pengukuran Nilai IFT MES, Tergitol, dan EGBE

Sebelum memasuki tahap formulasi, nilai IFT MES, tergitol, dan EGBE diukur terlebih dahulu. Hasil pengukuran nilai IFT ini sebagai dasar pembandingan untuk meneliti pengaruh tergitol. Berikut hasil pengukuran nilai IFT MES, tergitol, dan EGBE yang ditunjukkan oleh alat tensiometer dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Nilai IFT MES, Tergitol, dan EGBE

Konsentrasi (% berat)	IFT MES (dyne/cm)	IFT Tergitol (dyne/cm)	IFT EGBE (dyne/cm)
0,5	$7,69920 \cdot 10^{-1}$	$1,924674 \cdot 10^0$	$2,611867 \cdot 10^0$
1,0	$1,02187 \cdot 10^{-1}$	$1,828101 \cdot 10^0$	$2,644465 \cdot 10^0$
2,5	$2,03350 \cdot 10^{-2}$	$6,872000 \cdot 10^{-3}$	$2,342880 \cdot 10^0$
5,0	$3,25510 \cdot 10^{-2}$	$1,098500 \cdot 10^{-3}$	$2,047277 \cdot 10^0$



Gambar 4.1. Pengaruh Konsentrasi MES, Tergitol, dan EGBE terhadap Nilai IFT

Dapat dilihat pada data di atas, nilai IFT MES yang dihasilkan berkisar antara 10^{-1} hingga 10^{-2} dyne/cm. Hasil tersebut menunjukkan untuk mendapatkan nilai IFT 10^{-3} dyne /cm, konsentrasi MES yang digunakan berkisar

2,5 – 5%. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan Asti Lestari (2006), dibutuhkan konsentrasi MES sebesar 3% untuk memperoleh nilai IFT sebesar 10^{-3} . Nilai IFT ini tidak bertahan lama setelah MES diuji dengan menaikkan suhu sistem. Hasil peningkatan IFT setelah pemanasan menunjukkan ketidakstabilan MES sehingga diperlukan sebuah tambahan surfaktan lain (sekunder) agar MES tetap stabil [Lestari, 2006].

Di samping itu, dapat dilihat nilai IFT tergitol juga memiliki karakteristik yang hampir sama dengan MES. Untuk mendapatkan nilai IFT 10^{-3} dyne/cm, konsentrasi tergitol yang digunakan berkisar 2,5 – 5%. Data tersebut menunjukkan adanya pengaruh tergitol terhadap nilai IFT.

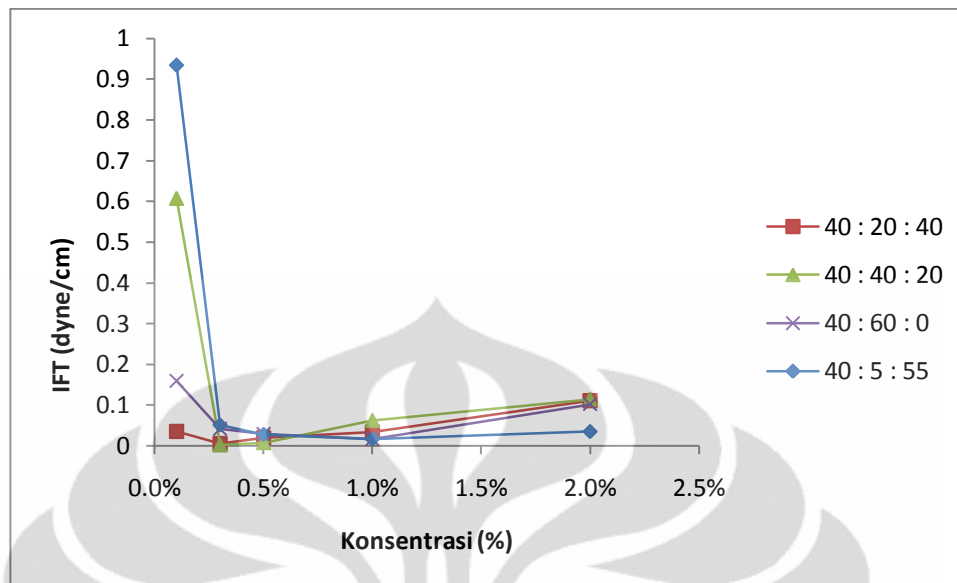
Selain itu, nilai IFT pada pelarut EGBE juga diukur. Penambahan konsentrasi EGBE menyebabkan nilai IFT semakin kecil. Walaupun begitu, nilai IFT yang berubah tidak terlalu signifikan. Nilai IFT yang dihasilkan hanya dapat mencapai 10^0 dyne/cm. Oleh karena itu, penggunaan pelarut EGBE saja tidak dapat digunakan untuk menurunkan nilai IFT. Akan tetapi, pelarut EGBE tetap dibutuhkan untuk menjaga kelarutan dari kedua surfaktan yang dicampur.

4.1.2. Pengaruh Formulasi MES terhadap Nilai IFT

Dalam tahap penelitian ini, komposisi formula divariasikan menjadi 4 jenis konsentrasi tergitol sehingga diperoleh formula A (5%), B (20%), C (40%), dan D (60%). Hal ini dilakukan untuk mengetahui formula yang memiliki kinerja terbaik berdasarkan kandungan tergitol dan EGBE dan pengaruh jumlah kedua bahan tersebut terhadap kinerja formula. Hasil pengukuran IFT masing-masing formula dapat dilihat dalam Tabel 4.2. berikut.

Tabel 4.2. Hasil Pengukuran IFT Formula A, B, C, dan D

Formula	Komposisi (M : T : E)	Konsentrasi Formula Surfaktan				
		0,1%	0,3%	0,5%	1%	2%
A	40 : 5 : 55	$9,33810 \cdot 10^{-1}$	$5,1398 \cdot 10^{-2}$	$2,8284 \cdot 10^{-2}$	$1,6813 \cdot 10^{-2}$	$3,53410 \cdot 10^{-2}$
B	40 : 20 : 40	$3,50550 \cdot 10^{-2}$	$5,3320 \cdot 10^{-3}$	$1,9447 \cdot 10^{-2}$	$3,3547 \cdot 10^{-2}$	$1,10371 \cdot 10^{-1}$
C	40 : 40 : 20	$6,07730 \cdot 10^{-1}$	$2,0080 \cdot 10^{-3}$	$7,7460 \cdot 10^{-3}$	$6,2529 \cdot 10^{-2}$	$1,14355 \cdot 10^{-1}$
D	40 : 60 : 0	$1,59731 \cdot 10^{-1}$	$4,1863 \cdot 10^{-2}$	$2,9106 \cdot 10^{-2}$	$1,6200 \cdot 10^{-2}$	$1,02192 \cdot 10^{-1}$



Gambar 4.2. Perbandingan Nilai IFT Formula A, B, C, dan D

Data nilai IFT formula A, B, C, dan D di atas menunjukkan nilai minimum IFT dapat dicapai pada konsentrasi tertentu. Hampir semua formula dapat memenuhi kriteria nilai IFT yang diinginkan, yaitu 10^{-2} hingga 10^{-3} dyne/cm. Sebagai contoh, pencapaian nilai minimum IFT dari formula A (40:5:55) terdapat pada konsentrasi sekitar 1%. Pada saat penambahan konsentrasi formula A dari 0,1% menjadi 0,3%; terjadi penurunan drastis terhadap nilai IFT. Dengan penambahan konsentrasi berikutnya dari 0,3% hingga 1%, penurunan nilai IFT yang terjadi tidak terlalu signifikan. Penurunan IFT ini terjadi karena surfaktan teradsorpsi pada bidang batas minyak dan air [Bera, 2011]. Akan tetapi, pada saat nilai konsentrasi tertentu, nilai IFT kembali meningkat seperti pada penambahan konsentrasi dari 1% menjadi 2%. Hal tersebut membuktikan adanya sebuah nilai konsentrasi optimum untuk mencapai nilai IFT terendah.

Jika dibandingkan dengan surfaktan MES atau tergitol, perbedaan nilai konsentrasi optimum yang terjadi cukup jauh. Nilai konsentrasi optimum untuk surfaktan MES atau tergitol saja adalah 2,5%. Akan tetapi, setelah pencampuran MES dan tergitol, nilai konsentrasi optimum surfaktan menjadi 0,3% atau 1%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa adanya pengaruh pencampuran kedua surfaktan terhadap penurunan nilai IFT.

Dalam penelitian ini, masing-masing formula menunjukkan hasil nilai konsentrasi optimum yang berbeda. Pada saat konsentrasi tergitol 5% dan 60%, konsentrasi optimum yang dicapai adalah 1%, sedangkan pada saat 20% dan 40%, nilai konsentrasi optimum terdapat pada 0,3%. Hal tersebut menunjukkan konsentrasi tergitol memiliki pengaruh terhadap nilai konsentrasi optimum.

Konsentrasi optimum tersebut terjadi ketika konsentrasi surfaktan telah mencapai CMC. Pada saat konsentrasi hampir mendekati CMC, nilai IFT akan turun. Ketika konsentrasi surfaktan mencapai CMC, *micelle* mulai terbentuk dan nilai IFT pun mencapai nilai terendah. Jika konsentrasi surfaktan terus ditambah melewati CMC, nilai IFT akan meningkat kembali.

Penambahan surfaktan non-ionik membuat interaksi hidrofobik semakin meningkat [Khan, 2007]. Peningkatan interaksi tersebut terjadi karena jumlah gugus hidrofobik meningkat dengan penambahan konsentrasi tergitol. Dengan adanya peningkatan tersebut, gugus hidrofobik akan lebih banyak berinteraksi dengan air sehingga akan membentuk *iceberg* yang lebih banyak juga. *Iceberg* merupakan bentuk perubahan molekul air yang awalnya tetrahedral.

Jumlah pembentukan *Iceberg* yang semakin banyak menyebabkan entropi menjadi tidak stabil. Akibatnya *iceberg* cenderung untuk menggumpal dan membentuk lapisan hidrasi untuk menstabilkan entropi. Kemudian lapisan hidrasi tersebut menyebabkan interaksi hidrofobik sehingga molekul surfaktan teradsorpsi di *interface*. Hidrofilik molekul surfaktan mulai berinteraksi dengan air dan hidrofobik molekul surfaktan mulai berinteraksi dengan minyak. Akibat dari itu, nilai IFT dapat mengalami penurunan karena adanya interaksi tersebut [Schramm, 2000].

Pada percobaan ini, dapat dilihat bahwa penambahan tergitol cenderung menurunkan nilai IFT. Pada formula A (40:5:55), nilai konsentrasi optimum berada pada 1%, sedangkan pada formula B (40:20:40) dan formula C (40:40:20), nilai konsentrasi optimum menjadi 0,3%. Hal tersebut membuktikan nilai CMC mengalami pergeseran menjadi lebih kecil. Terkecuali untuk formula D (40:60:0), nilai konsentrasi optimum kembali meningkat menjadi 1%. Hal tersebut terjadi karena tidak adanya pelarut EGBE yang turut menurunkan nilai CMC.

Pelarut EGBE memiliki karakteristik rantai hidrokarbon yang bersifat hidrofobik. Rantai tersebut menyebabkan molekul EGBE teradsorpsi ke *micelle* lebih dalam karena bagian dalamnya juga terdapat rantai hidrofobik. Jarak antar molekul hidrofilik surfaktan yang terdapat di permukaan *micelle* menjadi meningkat dan kerapatan muatan pada *micelle* berkurang. Hal ini menyebabkan molekul EGBE mengurangi gaya tolak elektrostatis antar gugus hidrofilik surfaktan sehingga energi Gibbs berkurang dalam jumlah besar dan pembentukan *micelle* menjadi lebih mudah. Dengan adanya interaksi hidrofobik ini, nilai CMC menjadi turun [Graciani, 2010].

Selanjutnya, hasil uji kompatibilitas menunjukkan semua larutan formula membentuk larutan *milky*. Hasil ini menunjukkan larutan formula larut dengan air. Hal tersebut disebabkan oleh faktor HLB. Parameter HLB berhubungan dengan *cloud point*. Hasil ini sesuai dengan semakin tinggi HLB, nilai *cloud point* semakin tinggi pula [Mobius, 2000]. *Cloud point* merupakan suhu minimum sebuah larutan yang pada awalnya 2 fasa menjadi 1 fasa (keruh). Surfaktan tergitol terdiri dari rantai *oxyethylene*. Gugus hidrofil pada surfaktan tergitol merupakan suatu gugus fungsi dengan oksigen. Kelarutannya disebabkan oleh adanya ikatan hydrogen-oksigen. Pada saat suhu meningkat mencapai *cloud point*, ikatan ini akan terputus karena aktivitas molekul surfaktan meningkat. Setelah itu, molekul surfaktan akan terpecah dan larutan menjadi keruh [Sheng, 2011]. Gambar-gambar surfaktan hasil formulasi dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 4.3. Hasil Formula A dengan Konsentrasi 0,1%; 0,3%; 0,5%; dan 1% (dari kiri ke kanan)



Gambar 4.4. Hasil Formula A dengan Konsentrasi 2%; 3%; dan 5% (dari kiri ke kanan)



Gambar 4.5. Hasil Formula B dengan Konsentrasi 0,1%; 0,3%; 0,5%; 1%; dan 2% (dari kiri ke kanan)



Gambar 4.6. Hasil Formula C dengan Konsentrasi 0,1%; 0,3%; dan 0,5% (dari kiri ke kanan)



Gambar 4.7. Hasil Formula C dengan Konsentrasi 1%; 2%; dan 7% (dari kiri ke kanan)



Gambar 4.8. Hasil Formula D dengan Konsentrasi 0,1%; 0,3%; dan 0,5% (dari kiri ke kanan)



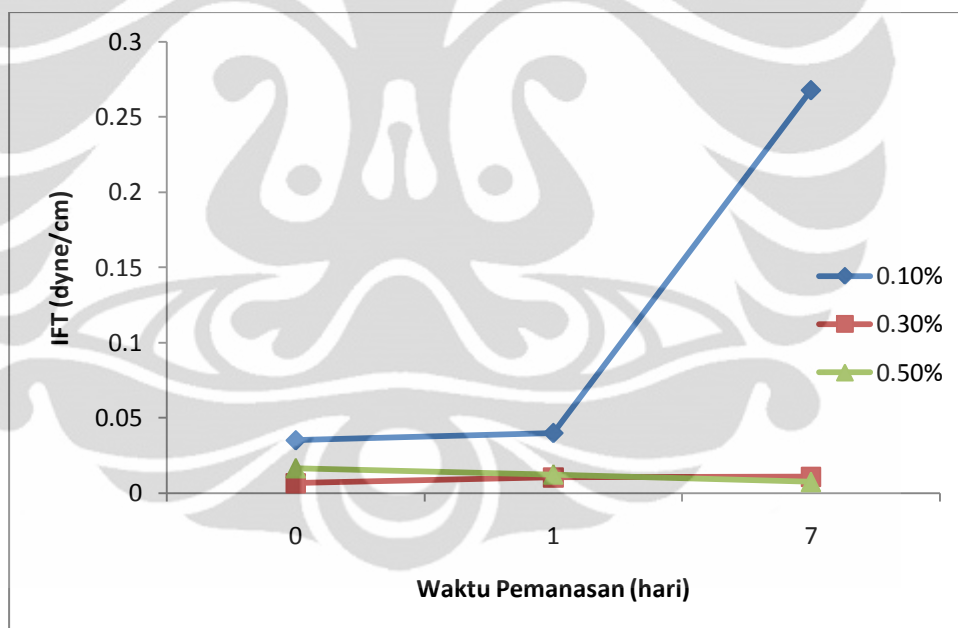
Gambar 4.9. Hasil Formula D dengan Konsentrasi 1%; 2%; dan 7% (dari kiri ke kanan)

4.2. Pengaruh Formulasi terhadap *Thermal Stability*

Selanjutnya, uji *thermal stability* dilakukan dengan memanaskan larutan formulasi dengan jangka waktu 1 hingga 7 hari. Pemanasan dilakukan pada suhu $62,5^{\circ}\text{C}$ dengan menggunakan *oven*. Untuk mengefisiensikan percobaan, maka dipilih salah satu formula dengan 3 konsentrasi yang menunjukkan nilai IFT terendah. Pada tahap ini, formula B (40:20:40) dipilih sebagai sampel karena nilai IFT yang dihasilkan sebelumnya cenderung lebih rendah dibandingkan formula yang lain. Berikut data hasil pengukuran IFT pada uji *thermal stability*.

Tabel 4.3. Hasil Pengukuran IFT Formula B Setelah Pemanasan 1 dan 7 Hari

Formula	Konsentrasi (% berat)	IFT (dyne/cm)		
		0 hari	1 hari	7 hari
B (40 : 20 : 40)	0,1	$3,5055 \cdot 10^{-2}$	$3,9922 \cdot 10^{-2}$	$2,67756 \cdot 10^{-1}$
	0,3	$6,5620 \cdot 10^{-3}$	$1,0510 \cdot 10^{-2}$	$1,08860 \cdot 10^{-2}$
	0,5	$1,6495 \cdot 10^{-2}$	$1,2401 \cdot 10^{-2}$	$7,85800 \cdot 10^{-3}$



Gambar 4.10. Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Nilai IFT pada Formula B (0,1%; 0,3%; dan 0,5%)

Data hasil pengukuran IFT pada tabel dan grafik di atas menunjukkan perubahan nilai IFT pada formula B sebelum dan sesudah pemanasan selama 1 hingga 7 hari. Ada yang mengalami kenaikan nilai IFT pada saat dipanaskan 1 hingga 7 hari (pada konsentrasi 0,1%), ada yang tidak mengalami perubahan nilai IFT (pada konsentrasi 0,3%), dan ada juga yang mengalami penurunan nilai IFT (pada konsentrasi 0,5%).

Dari hasil kenaikan dan penurunan IFT ini, dapat dilihat bahwa konsentrasi optimum (CMC) yang sebelumnya terdapat pada konsentrasi 0,3% berubah. Nilai IFT pada konsentrasi 0,5% menjadi lebih rendah dibandingkan pada konsentrasi 0,3%. Fenomena tersebut membuktikan bahwa adanya pengaruh lamanya pemanasan terhadap nilai konsentrasi optimum (CMC). Pemanasan yang lama menyebabkan nilai CMC bergeser ke arah konsentrasi surfaktan yang lebih besar daripada sebelumnya.

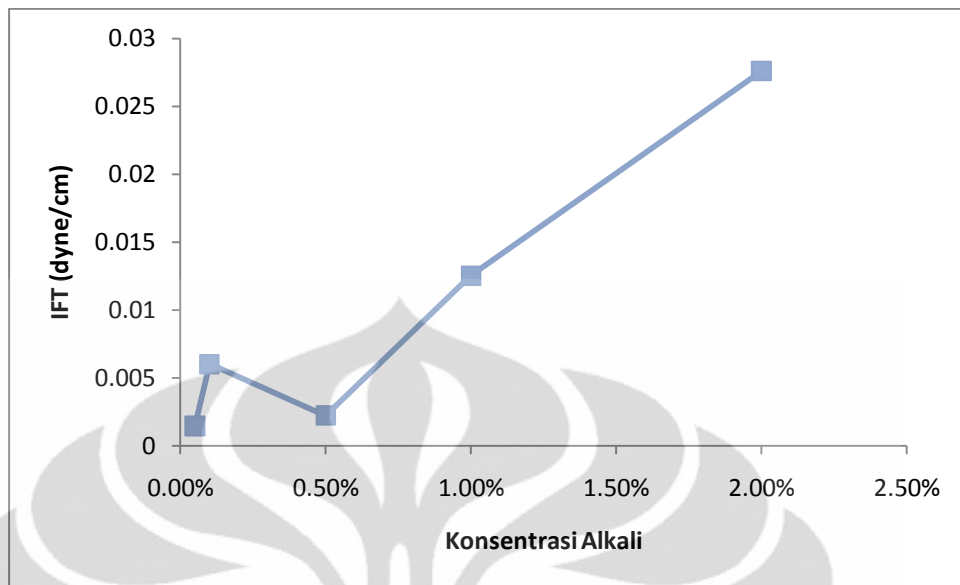
Hal ini sesuai dengan teori oleh Chen (1998) yang menyatakan bahwa peningkatan suhu menjadi 50°C pada surfaktan non-ionik menyebabkan penurunan kemampuan hidrasi oleh hidrofilik sehingga menyebabkan pembentukan *micelle*. Akan tetapi, kenaikan suhu juga dapat mengganggu struktur air yang mengelilingi hidrofobik sehingga menghambat pembentukan *micelle* [Rosen, 2004]. Oleh karena itu, nilai CMC berubah setelah dipanaskan.

4.3. Pengaruh Alkali terhadap Nilai IFT

Pada tahap percobaan ini, alkali (Na_2CO_3) ditambahkan pada sebuah formula dengan konsentrasi yang berbeda, yaitu 0,05%; 0,1%; 0,5%; 1%; dan 2%. Pertama-tama, formula sebelumnya dipilih satu terlebih dahulu sebagai sampel. Formula yang terpilih adalah formula B (40:20:40) dengan konsentrasi 0,3% karena pada tahap uji *thermal stability* sebelumnya, formula tersebut menunjukkan ketahanan terhadap panas (termal) yang lebih stabil daripada konsentrasi 0,1% dan 0,5%. Hasil pengukuran IFT setelah penambahan alkali dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.4. Hasil Pengukuran IFT Formula B dengan Konsentrasi 0,3% Setelah Penambahan Alkali

Formula	Konsentrasi Alkali (% berat)	IFT (dyne/cm)
B (40 : 20 : 40) konsentrasi 0,3%	0,05	$1,4680 \cdot 10^{-3}$
	0,1	$6,0300 \cdot 10^{-3}$
	0,5	$2,2224 \cdot 10^{-3}$
	1	$1,2526 \cdot 10^{-2}$
	2	$2,7597 \cdot 10^{-2}$



Gambar 4.11. Pengaruh Penambahan Alkali terhadap Nilai IFT pada Formula B (0,3%)

Data di atas menunjukkan hasil pengukuran IFT formula B (konsentrasi 0,3%) setelah ditambahkan alkali. Pada saat konsentrasi alkali 0,05% hingga 0,5% ditambahkan, nilai IFT yang dihasilkan mengalami sedikit penurunan. Penurunan nilai IFT ini disebabkan proses difusi yang terjadi saat alkali ditambah dengan jumlah tertentu ke dalam formula B [Qin, 2011]. Alkali menjadi bergerak ke bidang batas minyak dan air, kemudian terjadi kontak antara alkali dengan komponen asam pada minyak dan bereaksi menghasilkan surfaktan alami. Di samping itu, bahan aditif surfaktan (tergitol) juga bergerak menuju bidang batas minyak dan air dan teradsorpsi di bidang batas ini. Saat kondisi konsentrasi optimum terjadi pada bidang batas minyak dan air, nilai IFT mengalami penurunan [Zhao, 2005].

Akan tetapi, pada saat konsentrasi alkali 1% dan 2%, nilai IFT menjadi lebih besar daripada sebelumnya. Konsentrasi alkali yang berlebihan menyebabkan surfaktan alami yang terbentuk menghambat proses adsorpsi surfaktan di bidang batas sehingga waktu untuk mencapai nilai IFT minimum menjadi lebih lama. Waktu yang lebih lama ini menyebabkan konsentrasi elektrolit meningkat karena interaksi elektrolit yang terjadi pada bidang batas. *Micelle* yang terbentuk pada fasa air menjadi bertambah dan jumlah molekul surfaktan menjadi berkurang. Dengan berkurangnya molekul surfaktan, proses

difusi dan adsorpsi surfaktan yang terjadi pada bidang batas berkurang. Proses ini yang mengakibatkan nilai IFT menjadi meningkat [Zhao, 2005].

Hasil pengukuran di atas juga menunjukkan penambahan alkali ke dalam formula surfaktan B tidak terlalu mempengaruhi nilai IFT. Walaupun semakin tinggi konsentrasi alkali yang ditambahkan, semakin naik nilai IFT yang dihasilkan, perubahan nilai IFT yang dihasilkan setelah penambahan alkali tidak terlalu signifikan.

Perubahan nilai IFT yang terjadi dapat disebabkan oleh bergesernya nilai CMC pada formula B konsentrasi 0,3%. Penambahan elektrolit dapat menyebabkan peningkatan atau penurunan nilai CMC tergantung proses *salting out* atau *salting in* yang terjadi. Ion Na^{2+} pada Na_2CO_3 menjadi penyebab bergesernya nilai CMC karena merupakan *water structure makers* sehingga memberikan efek pada gugus hidrofobik surfaktan. Pengaruh penambahan ion Na^{2+} terhadap surfaktan dapat mengurangi gaya tolak (*repulsion*) terhadap gugus kepala surfaktan sehingga menurunkan nilai CMC dan meningkatkan jumlah *micelle* (*salting out*) [Rosen, 2004].

Di samping itu, karena surfaktan yang ditambahkan adalah surfaktan non-ionik, maka ion CO_3^{2-} tidak memberikan pengaruh. Sewaktu penambahan ion, penurunan atau peningkatan CMC juga tergantung dari efek yang ditimbulkan CO_3^{2-} . Ion ini merupakan *water structure breakers* sehingga dapat menaikkan nilai CMC (*salting in*) [Rosen, 2004]. Oleh karena itu, pada tahap ini terjadi perubahan nilai IFT yang tidak terlalu signifikan karena *salting in* dan *salting out* terjadi. Hal tersebut terlihat dari data sewaktu penambahan alkali, beberapa nilai IFT yang dihasilkan mendekati CMC dan ada juga menjauhi nilai CMC. Hal yang dapat dipastikan dari percobaan ini adalah nilai CMC berubah.

Uji kompatibilitas pada Gambar 4.12. yang dilakukan juga menunjukkan kelarutan yang dihasilkan baik karena membentuk larutan *milky*. Hal tersebut terjadi karena penambahan alkali menyebabkan kenaikan tingkat kelarutan dari surfaktan ke dalam inti *micelle* dan mengurangi senyawa polar yang larut di lapisan luar. Hasil formula B setelah penambahan alkali dapat dilihat sebagai berikut.



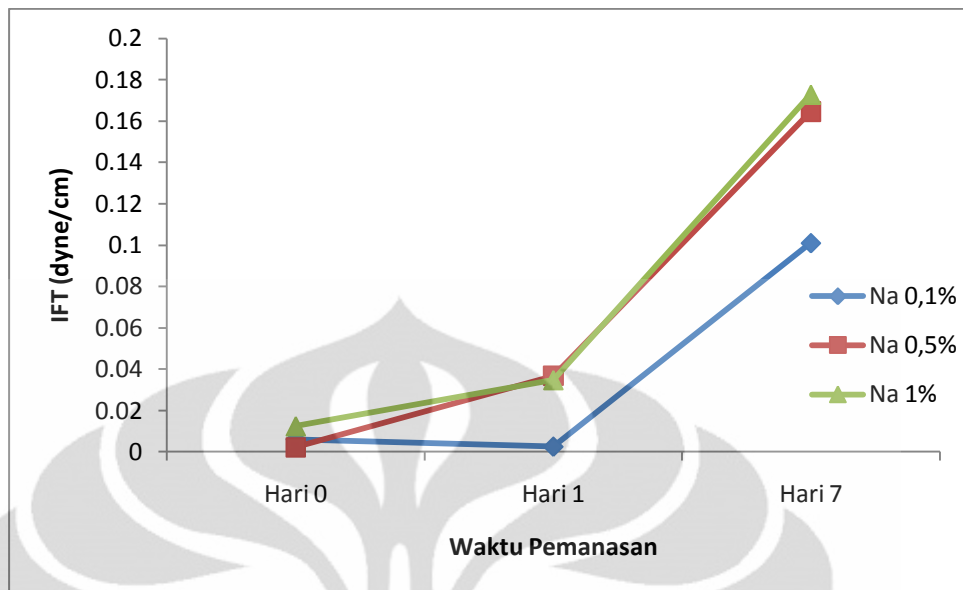
Gambar 4.12. Hasil Formula B dengan Konsentrasi 0,3% Setelah Penambahan Alkali 0,05%; 1%; dan 2% (dari kiri ke kanan)

4.4. Pengaruh Penambahan Alkali terhadap *Thermal Stability*

Setelah proses penambahan alkali, uji *thermal stability* kembali dilakukan. Sama seperti uji *thermal stability* sebelumnya, pemanasan dilakukan pada suhu $62,5^{\circ}\text{C}$ di dalam *oven* selama 1 hingga 7 hari. Pada tahap ini, konsentrasi alkali yang akan diuji *thermal stability* adalah 0,1%; 0,5%; dan 1%. Berikut hasil pengukuran nilai IFT setelah pemanasan selama 1 hingga 7 hari.

Tabel 4.5. Hasil Pengukuran IFT Formula B dengan Konsentrasi 0,3% Setelah Penambahan Alkali dan Pemanasan 1-7 Hari

Formula	Konsentrasi Alkali (% berat)	IFT (dyne/cm)		
		0 hari	1 hari	7 hari
B (40 : 20 : 40) konsentrasi 0,3%	0,1	$6,0300 \cdot 10^{-3}$	$2,4740 \cdot 10^{-3}$	$1,70445 \cdot 10^{-1}$
	0,5	$2,2240 \cdot 10^{-3}$	$3,6830 \cdot 10^{-2}$	$1,57255 \cdot 10^{-1}$
	1	$1,2526 \cdot 10^{-2}$	$3,4835 \cdot 10^{-2}$	$1,53629 \cdot 10^{-1}$



Gambar 4.13. Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Nilai IFT pada Formula B (0,3%) Setelah Penambahan Alkali 0,1%; 0,5%; 1%

Hasil pengukuran nilai IFT pada tabel dan grafik di atas menunjukkan perubahan nilai IFT pada formula B (40:20:40) ditambah alkali sebelum dan sesudah pemanasan selama 1 hingga 7 hari. Pemanasan selama 1 hari tidak menimbulkan perubahan yang terlalu signifikan. Akan tetapi, pemanasan yang berlangsung selama 7 hari menghasilkan perubahan nilai IFT dari 10^{-2} atau 10^{-3} menjadi 10^{-1} .

Pada formula penambahan alkali 0,1%, pemanasan selama 1 hari menyebabkan nilai IFT mengecil. Hal tersebut dapat dibidang nilai CMC bergeser mendekati. Akan tetapi, sewaktu pemanasan dilakukan 7 hari, nilai IFT meningkat drastis. Pemanasan 7 hari menyebabkan nilai CMC yang sebelumnya bergeser mendekati, berubah menjadi menjauhi, sedangkan pada formula penambahan alkali 0,5%, pemanasan selama 1 hari telah dapat membuat nilai IFT semakin besar sehingga dapat diperkirakan nilai CMC telah bergeser menjauhi. Pada akhirnya, pemanasan selama 7 hari makin membuat nilai CMC menjauhi dan mengakibatkan nilai IFT berubah meningkat drastis.

Pada formula hasil penambahan alkali 1%, pemanasan selama 1 hari memang telah membuat nilai IFT meningkat, tetapi tidak terlalu signifikan. Pada pemanasan 7 hari, nilai IFT semakin meningkat, tetapi nilai IFT yang dihasilkan tidak jauh berbeda dari 2 formula di atas. Jika dilihat dari sisi kestabilan, formula

ini masih lebih baik dibandingkan 2 formula di atas. Formula ini sama dengan formula hasil percobaan yang dilakukan Liu (2008). Liu menggunakan konsentrasi alkali (Na_2CO_3) sebesar 1% untuk membandingkan perubahan nilai IFT dengan dan tanpa alkali [Liu, 2008].



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya, diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

- Surfaktan sudah berhasil diformulasi dengan hasil terbaik adalah surfaktan berkomposisi MES(40%), tergitol(20%), EGBE(40%) atau formula B dengan konsentrasi 0,3% terhadap *brine*, bernilai IFT 10^{-3} dyne/cm dan paling stabil terhadap pemanasan.
- Nilai konsentrasi optimum surfaktan MES awal adalah 2,5%, sedangkan nilai konsentrasi optimum formula B (40:20:40) adalah 0,3% terhadap *brine water*. Penurunan nilai IFT terjadi dari konsentrasi 0,1% hingga 0,3% terhadap *brine water*. Setelah itu, peningkatan nilai IFT terjadi pada saat penambahan konsentrasi di atas 0,3%.
- Waktu pemanasan selama 7 hari berpengaruh dalam mengubah nilai konsentrasi optimum surfaktan dari 0,3% menjadi 0,5% (IFT dari 10^{-2} menjadi 10^{-3} dyne/cm)
- Penambahan alkali (Na_2CO_3) dari konsentrasi 0,05% hingga 0,5% menyebabkan penurunan nilai IFT. Akan tetapi, pada saat penambahan konsentrasi alkali mencapai 1 hingga 2%, nilai IFT justru meningkat, yaitu dari 10^{-3} menjadi 10^{-2} dyne/cm.
- Penambahan alkali dengan pemanasan selama 1 dan 7 hari menyebabkan nilai IFT menjadi meningkat, yaitu dari 10^{-3} menjadi 10^{-2} dan 10^{-1} dyne/cm.

5.2. Saran

Peneliti menyarankan penambahan 1 surfaktan sekunder lagi untuk mengembangkan kinerja surfaktan MES. Selama ini, penelitian tentang surfaktan MES hanya dilakukan dengan variasi perilaku terhadap pembuatan MES. Dengan tambahan 1 penelitian ini, berarti telah ada 2 buah penelitian MES dengan penambahan 1 surfaktan sekunder. Untuk ke depannya, penelitian MES mungkin dapat dilakukan dengan penambahan 2 surfaktan sekunder untuk meningkatkan kualitas MES sebagai surfaktan untuk EOR.



DAFTAR REFERENSI

- Al-Sahhaf, Suttar A., Elkamel, *Petroleum Science and Technology: Producing Ultralow Interfacial Tension at the Oil/Water Interface Volume 20*, Department of Chemical Engineering Kuwait University, Kuwait, 2002, pp. 773-788.
- App, J. F., Mohanty K. K., *Relative Permeability Estimation for Rich Gas-Condensate Reservoirs: Transport in Porous Media*, University of Houston, Houston, 2005, pp. 287-313.
- Ariawiyana, F., Rahman, Andri F.R., *Peningkatan Nilai Tambah Minyak Jarak Pagar Menjadi Surfaktan MES Untuk Aplikasi Sebagai Oil Well Stimulation Agent*, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2010, pp. 1-2.
- Australian Research Council's Research Centres Program, 2005. *Uses of Nonionic Surfactants*
<http://www.kcpc.usyd.edu.au/discovery/9.5.5/9.5.5nonionic2.html>
 (5th June 2011)
- Badan Pusat Statistik, 2010
http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&daftar=1&id_subyek=10¬ab=1
 (5th June 2011)
- Bera, A., Ohja, K., Mandal, A., Kumar, T., *Interfacial tension and phase behaviour od surfactant-brine-oil system*, Elsevier, 2011, pp. 114-119.
- Clark, J., *Dispersant Basics: Mechanism, Chemistry, and Physics of Dispersants in Oil Spill Response*, Exxon Mobil Research and Engineering, Texas, 2004, p. 3.
- Cox, M. F., Weerasoriya. *Methyl Ester Ethoxylates*. Marcel Dekker, Inc. USA, 2001, p. 11.

- Eni, H., Suwartiningsih, Sugihardjo, *Studi Laboratorium Untuk Reaktivasi Lapangan-X Dengan Injeksi Kimia*, PPPTMGB "LEMIGAS", Jakarta, 2010, p. 2.
- Graciani, M. d., Rodriguez, A., Martin, V. I., Moya, M. L., *Micellization and micellar growth of alkanediyl-a,x-bis(dimethyldodecylammonium bromide) surfactants in the presence of medium-chain linear alcohols*, Journal of Colloid and Interface Science, 2010, pp. 382-391.
- Hackley, V.A., Ferraris. *The Use of Nomenclature in Dispersion Science and Technology*, National Institute of Standards and Technology, Washington, 2001, p. 5.
- Hambali, E., Rivai, M., Suarsana, P., Sugiharjo., Zulchaidir, E., Handoko, H., *Surfaktan Metil Ester Sulfonat Guna Meningkatkan Recovery Minyak Bumi*, Surfactant and Bioenergy Research Center (SBRC)-LPPM IPB, Bogor, 2008, p. 1.
- Hovda, K., *The Challenge of Methyl Ester Sulfonation*. The Chemithon Corporation, Washington, 2002, p. 2.
- Idris, A., Mariyamni A., *Additives Derived from Local Sources for Enhanced Oil Recovery (EOR)*, Universitas Teknologi Malaysia, Malaysia, 2007, p. 3.
- Kalpakci, B., Tevhide, G.A., *Method of Enhanced Oil Recovery Using a Stabilized Polymer Combination in Chemical Flood*, United States Patent, Ohio, 1989, pp. 8-9.
- Khan, N.M., *Micellar Catalysis*, Taylor & Francis Group, United States of America, 2007, pp. 319-322.
- Landry, J. M., & Marangoni, D. G., *The effect of added alcohol in the micellization process of sodium 8-phenyloctane*. Colloid Polymer Science, 2008, p. 655.

Lestari, A., *Kajian Pengaruh Suhu, Lama Pemanasan, dan Konsentrasi Asam (HCl) Terhadap Kemampuan Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES) Sebagai Oil Well Stimulation Agent*, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2006, pp. 20-45.

Liu, S., *Alkaline Surfactant Polymer Enhanced Oil Recovery Process*, Rice University, Houston, 2008, pp. 83-84.

MacArthur, B.W., Brooks, Sheats, Foster, *Meeting The Challenge of Methylene Sulfonation*, The Chemiton Corporation, Washington, 2002, p. 3.

Mobius, D., Miller, *Hydrophile-Lipophile Balance of Surfactants and Solid Particles: Physicochemical Aspects and Applications*, Elsevier, Amsterdam, 2000, pp. 159-166.

Novita, I., *Formulasi Surfaktan Untuk Screening Awal Chemical Flooding Untuk EOR*, Universitas Indonesia, Depok, 2010, pp. 23-44.

Pieseshiwie, W., *Analisa Pengaruh Konsentrasi Surfaktan Non-Ionik dan Temperatur Terhadap Waktu Alir Surfaktan dan Minyak Pada Berbagai Ukuran Pipa Kapiler (Studi Laboratorium)*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2008, pp. 3-4.

Qin, L. M., Qin, X. X., Jin, L., Hua, Z., Yuan, L. M., & Xia, D. Z., *Interfacial properties of Daqing crude oil-alkaline system*, Journal of Petroleum Science, 2011, pp. 93-98.

Rakhmanto, P.A., *Penurunan Target Lifting Turunkan Penerimaan Negara Rp 3 Triliun*

<http://www.detikfinance.com/read/2010/04/23/134340/1344139/4/penurunan-target-lifting-turunkan-penerimaan-negara-rp-3-triliun> (5th June 2011)

Rosen, M.J., 2004, *Surfactants and Interfacial Tension Third Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, pp. 149, 185-187.

Salager, J.L., *Surfactants Types and Uses: Teaching Aid in Surfactant Science & Engineering*. Universidad De Los Andes, Venezuela. 2002, pp. 11-12.

Schramm, L.L., *Surfactants Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, pp. 27-29, 213-216.

Sheng, J.J., *Modern Chemical Enhanced Oil Recovery Theory and Practice*, Elsevier, United States, 2011, pp. 240-286.

Zhao, Z., Li, Z., Qiao, W., Cheng, L., *Dynamic interfacial behaviour between crude oil and octylmethylnaphthalene sulfonate surfactant flooding systems*. *Colloids and Surfaces*, 2005, pp. 71-80.

