

# Formulasi Optimum Campuran Surfaktan, Air, dan Minyak

Oleh:  
Sugihardjo

## SARI

Formulasi optimum sistem campuran surfaktan, air, dan minyak harus dirancang untuk mendapatkan proses peningkatan perolehan minyak yang efektif pada injeksi surfaktan sebelum dilaksanakan di lapangan. Uji laboratorium dapat menentukan formula campuran surfaktan yang membentuk mikroemulsi fase-tengah apabila dicampur dengan minyak dan air. Pada kondisi campuran optimum mempunyai harga tegangan antarmuka yang sangat rendah dan mempunyai potensi dan efektivitas untuk peningkatan perolehan minyak dengan proses pendesakan terbaaur.

## ABSTRACT

Optimum formulation of surfactant/water/oil systems should be precisely designed to get effective oil recovery processes by surfactant injection prior to be implemented in the fields. Laboratory tests used to identify the surfactant systems which yield middle-phase microemulsions when mixed with oil and brine. At these optimum mixtures conditions could create ultra-low interfacial tension and potentially effective for enhanced oil recovery by miscible displacement processes.

## I. PENDAHULUAN

Penentuan kelakuan fasa campuran surfaktan, air, dan minyak merupakan faktor penting dalam memperkirakan kinerja peningkatan perolehan minyak dengan proses injeksi mikroemulsi. Proses emulsifikasi dapat menurunkan tegangan antarmuka antara fluida pendorong dan minyak. Pada dasarnya campuran surfaktan, air, dan minyak dapat membentuk beberapa macam jenis emulsi yang dapat menurunkan harga tegangan antar muka ke tingkat yang sangat rendah, yaitu dengan orde  $10^{-2}$  sampai dengan  $10^{-4}$  dyne/cm, yang dapat digunakan dalam injeksi kimia.

Tegangan antarmuka merupakan parameter utama pada proses pendesakan dengan injeksi kimia. Tegangan antarmuka yang sangat rendah dapat menciptakan mekanisme

pendesakan terbaaur (*miscible displacement*). Pada proses ini akan diperoleh peningkatan perolehan minyak yang paling optimal. Namun demikian, untuk mendapatkan kondisi tersebut diperlukan syarat-syarat yang seringkali sangat sulit. Oleh karena itu untuk mengurangi biaya operasi yang besar, dapat digunakan rancangan fluida injeksi tak terbaaur (*immiscible displacement*). Pada lapangan minyak yang telah mendapat perlakuan injeksi air, dan produksi airnya (*water cut*) telah meningkat tinggi, lebih dari 90%, penambahan sedikit surfaktan pada air injeksi dapat memperbaiki efisiensi pendesakan.

## II. PENGERTIAN EMULSI

Emulsi terjadi apabila dua fluida atau lebih tercampur, dan salah satu fluida terdispersi ke dalam fluida yang lainnya. Ada beberapa kategori yang umum dijumpai, yaitu: mikroemulsi,

miselar, dan beberapa jenis emulsi yang disebut sebagai makroemulsi. Makroemulsi pada umumnya berwarna putih susu, dan kedua fluida kelihatan terpisah dengan jelas. Sedangkan mikroemulsi dan miselar mempunyai kenampakan translusen atau transparan, dan batas kedua fluida tidak nampak. Beda antara keduanya adalah bahwa mikroemulsi mempunyai butiran terdispersi dengan diameter antara 2000 Å (0,2 m $\mu$ m) dan 100 Å (0,01 m $\mu$ m), sedangkan larutan miselar mempunyai butiran berdiameter kurang dari 100 Å. Emulsi pada umumnya merupakan sistem yang mempunyai butiran berdiameter heterogen, tidak stabil, dan lebih besar dari pada 1000 Å. Tabel 1 diperlihatkan secara rinci jenis-jenis emulsi menurut L.M. Prince dkk. (1977).

Untuk mengetahui tipe mik-



roemulsi dapat digunakan beberapa peralatan di antaranya: *light scattering, optical birefringence, spectrophotometry, sedimentation, centrifugation, rheology, conductivity*, dan yang paling baru *nuclear magnetic resonance*. Setiap peralatan atau kombinasi beberapa peralatan dapat membantu untuk menentukan sistem yang ada dalam campuran fluida.

Yang paling sederhana dan langsung dapat untuk mengidentifikasi jenis sistem yang terjadi adalah *light scattering*. Dengan peralatan ini sistem yang terjadi dapat diidentifikasi oleh mata telanjang, karena adanya *Tyndall effect*. Sebagian sinar yang dipancarkan akan terpolarisasikan. Kemudian, mikroemulsi akan berwarna biru yang dapat merefleksikan sinar dan merah-oranye

melewatkan sinar. Sedangkan sistem yang lain berwarna putih susu (*opalescence*).

### III. KELAKUAN FASE

Dalam teknologi perminyakan untuk kepentingan *enhanced oil recovery (EOR)*, para ahli telah melakukan penelitian yang sangat maju. Untuk mendapatkan suatu emulsi yang stabil biasanya digunakan surfaktan/ko-surfaktan pada fluida air. Surfaktan merupakan zat aktif permukaan yang mampu menurunkan tegangan antarmuka minyak-air ke tingkat yang lebih rendah. Ada jenis surfaktan yang dapat larut dalam minyak, ada yang larut dalam air, dan ada juga yang larut ke dalam keduanya. Hal ini dipengaruhi oleh sifat surfaktan sendiri, yaitu: *lipophilic* atau *hydro-*

*philic*, yang ditentukan oleh harga *hydrophylic-lipophylic balance*.

Pada kondisi mikroemulsi, salah satu fase menjadi fase kontinu (fase external) dan yang lain membentuk butiran (fase diskontinu). Dua sifat mikroemulsi yang penting akan dibahas di bawah ini.

#### A. Keseimbangan Fase dan Proses Kelarutan

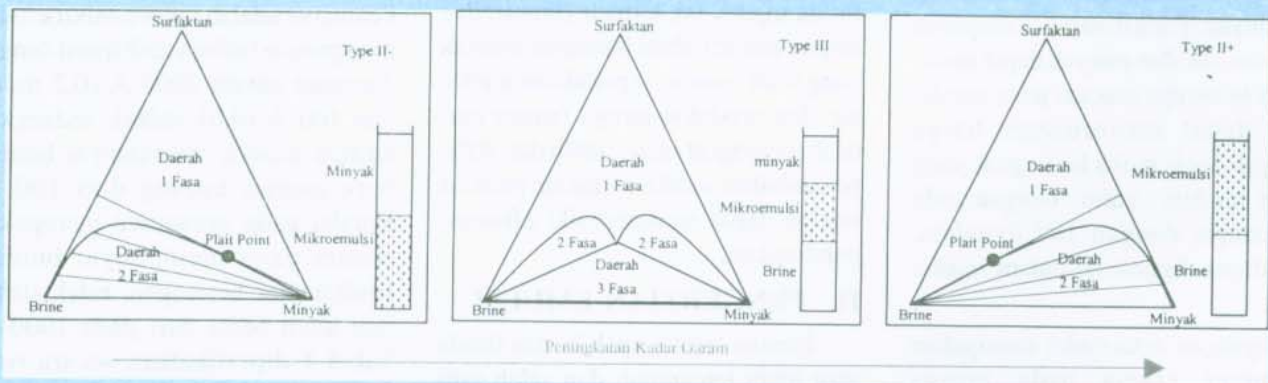
Keseimbangan fase dan proses kelarutan dapat digambarkan dalam Diagram Terner yang terdiri atas tiga komponen yaitu: minyak, surfaktan dan air. Sebagai contoh, diagram terner yang sederhana terdiri dari sistem tiga komponen (*pseudoternary diagram*): surfaktan-minyak-air (Gambar 1). Bentuk umum diagram terner tersebut (Salanger dkk. 1979) dapat diklasifikasikan sebagai: tipe II (-), yaitu emulsi fase bawah dan kelebihan fase minyak; tipe II (+), yaitu emulsi fase atas dengan kelebihan fase air; dan tipe III, yaitu mikroemulsi fase tengah. Dalam proses EOR, bagian penting Diagram Terner adalah daerah tiga fase.

#### B. Tegangan Antarmuka

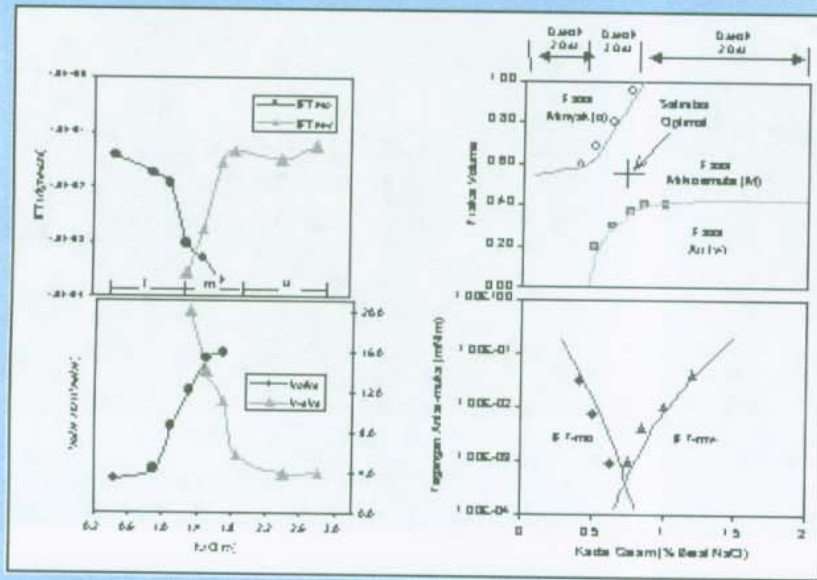
Tegangan antarmuka minyak-mikroemulsi merupakan salah satu parameter utama dalam EOR. Tegangan antarmuka tersebut harus dikontrol dan ditentukan sebelum *slug* mikroemulsi digunakan untuk proses

Tabel 1

Struktur	Diameter (Å)	Kenampakan
Molekul air	2.7	Transparan
Micele sabun	35 - 75	Transparan
Larutan miselar	50 - 150	Transparan dan translusen
Unit larutan mikroskopik	1000 - 2000	Jika terdispersi translusen
Makroemulsi	2000 - 100.000	opaque, putih susu
Unit larutan kasat mata	500	Butiran yang nyata



Gambar-1  
Diagram Pseudoterner Brine-Surfaktan-Minyak



Gambar 2  
Hubungan kadar garam dan tegangan antarmuka

EOR. Healy dan Reed (1974) mempelajari pengaruh konsentrasi garam NaCl terhadap tegangan antarmuka  $g\delta_{mo}$  (mikroemulsi-minyak) dan  $g\delta_{mw}$  (mikroemulsi-air), serta pengaruh terhadap parameter kelarutan (*solubilization parameter*)  $V_o/V_s$  dan  $V_w/V_s$ .  $V_s$  adalah volume surfaktan dalam mikroemulsi, sedangkan  $V_o$  dan  $V_w$  masing-masing adalah volume minyak dan volume air dalam fase mikro-emulsi. Gambar 2 menunjukkan pengaruh konsentrasi garam dalam air terhadap tegangan antarmuka dan proses kelarutan dalam sistem minyak-air surfaktan/kosurfaktan. Pada gambar tersebut terdapat hubungan antara konsentrasi larutan NaCl terhadap IFT. Pada sumbu mendatar terdapat tiga bagian yang terdiri atas l, m dan u. Bagian "l" menunjukkan kondisi emulsi fase bawah, bagian "m" kondisi emulsi fase tengah dan bagian "u" kondisi emulsi fase atas.

#### IV. FORMULASI OPTIMUM

Agar diperoleh suatu campuran yang membentuk mikromulsi fase tengah (tipe III), maka diperlukan

beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, namun pada umumnya persyaratan tersebut hanya dapat ditentukan pada percobaan dengan bervariasi jumlah fluida dan konsentrasi/jenis surfaktan yang digunakan dalam campuran.

Terjadinya tipe mikroemulsi dan perubahannya dari tipe II(-), ke tipe III, dan seterusnya menjadi tipe II(+) ditentukan oleh beberapa parameter utama, yaitu:

- Meningkatnya berat molekul atau konsentrasi surfaktan
- Meningkatnya berat molekul atau konsentrasi alkohol
- Berkurangnya panjang rantai minyak ( $ACN = \text{Alkane carbon number}$ )
- Penurunan suhu
- Bertambahnya salinitas air
- Meningkatnya nisbah volume air dan minyak
- Bertambahnya nisbah volume surfaktan dan minyak

#### V. UJI TABUNG

Untuk menentukan formulasi optimum telah dilakukan uji tabung,

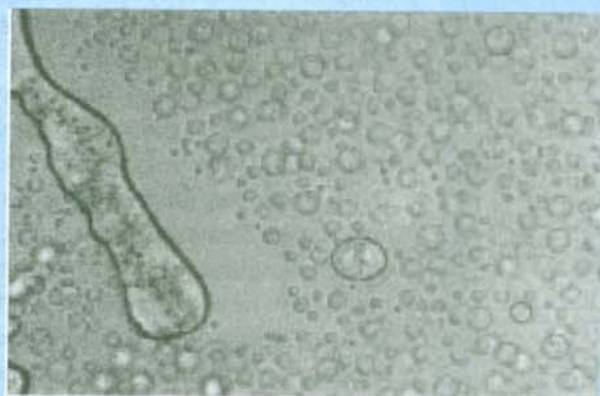
dengan mencampur beberapa percontoh minyak yang diambil dari reservoir yang berbeda, dan air formasi/injeksi yang mempunyai variasi kadar garam. Minyak mempunyai gravitasi sekitar 43,8 °API, dan tegangan antarmuka terhadap air formasi adalah 6,64 dyne/cm. Sedangkan air formasi/injeksi mempunyai kadar garam bervariasi antara 2000 ppm s.d 30.000 ppm dengan kandungan garam, terutama ion divalen  $Ca^{2+}$  dan  $Mg^{2+}$  juga bervariasi.

#### A. Material Surfaktan

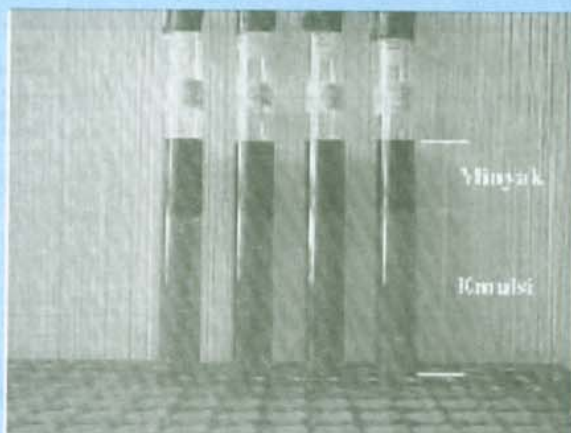
Surfaktan yang dipakai adalah: *Alkyl Benzene Sulfonate* (ABS), RSPO10, Emulgen, FAEL (*Fatty Alcohol Ethoxylated*), *Fatty Alcohol*, *Polyethylene Glycol*, dan SLS (*Sodium Ligno Sulfonate, non petroleum based*), V-surfaktan, H-surfaktan, dan PG12-surfaktan. Sedangkan kosurfaktan yang digunakan adalah IPA (isopropil alkohol), IBA (isobutil alkohol) dan IAA (isoamil alkohol), untuk memudahkan surfaktan membentuk mikroemulsi dalam konsentrasi yang relatif kecil.

#### B. Pengamatan Kelakuan Fase

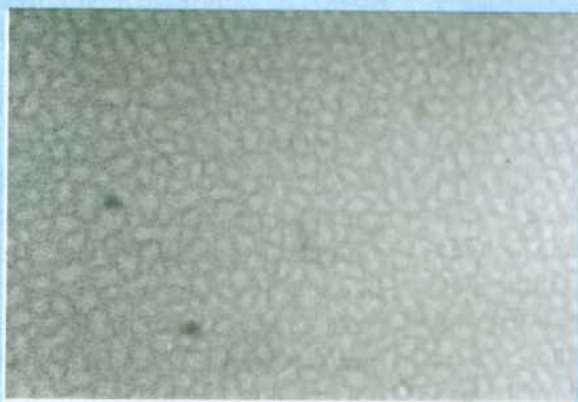
Pengamatan kelakuan fasa fluida campuran surfaktan/kosurfaktan, air formasi/injeksi dan minyak dilakukan dengan cara uji tabung, yaitu mencampurkan masing-masing fluida tersebut ke dalam tabung reaksi dengan perbandingan volume dan konsentrasi tertentu. Campuran yang terbentuk tersebut dikocok dan kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu reservoir. Ketika fase sudah stabil, kemudian diamati jenis fasanya, dan diukur volume masing-masing jenis fase. Secara umum fase campuran yang terbentuk dapat diklasifikasikan dalam empat kategori. **Emulsi fase bawah:** emulsi yang terbentuk dalam fasa air, dalam kondisi dua fasa, berwarna translusen (jernih tembus cahaya) pada umumnya



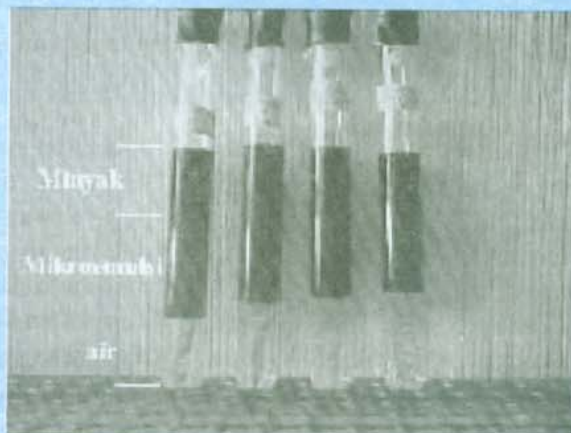
**Gambar 3**  
Foto emulsi fase bawah  
campuran brine 20.000 ppm/ABS-  
1,5%/IAA-0,75%/minyak (400x)



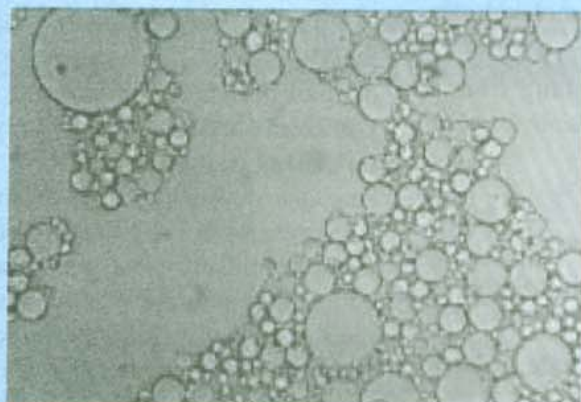
**Gambar 4**  
Uji tabung emulsi fase bawah



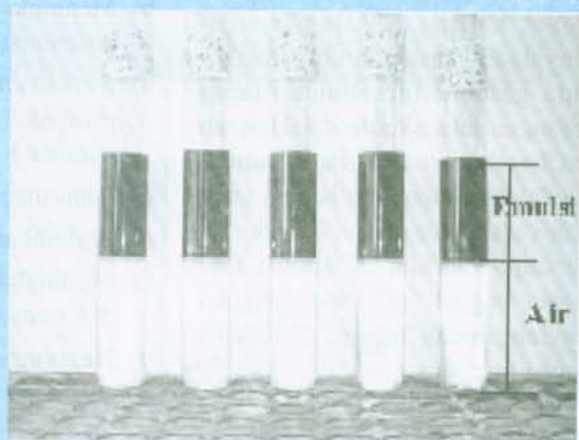
**Gambar 5**  
Foto emulsi fase tengah  
campuran brine 27.500 ppm/ABS-  
7,5%/IBA-3,0%/minyak (400x)



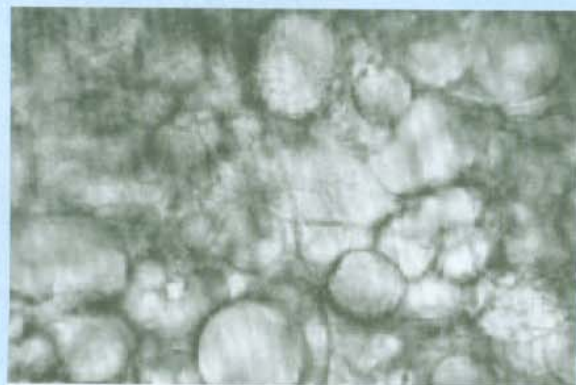
**Gambar 6**  
Uji tabung emulsi fase tengah



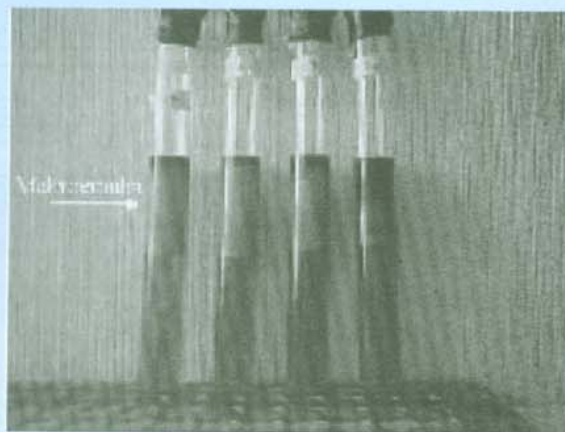
**Gambar 7**  
Foto emulsi fase atas  
campuran brine 30.000 ppm/ABS-  
5,06%/IBA-2,25%/Minyak (400x)



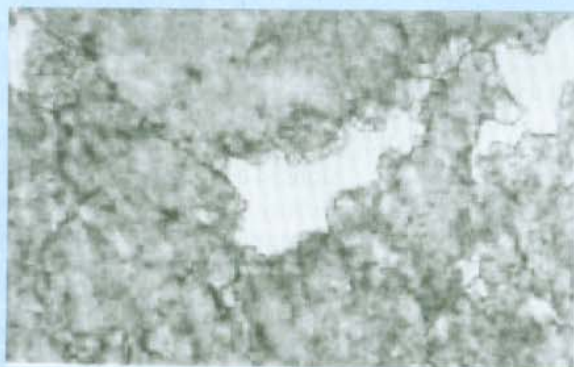
**Gambar 8**  
Uji tabung emulsi fase atas



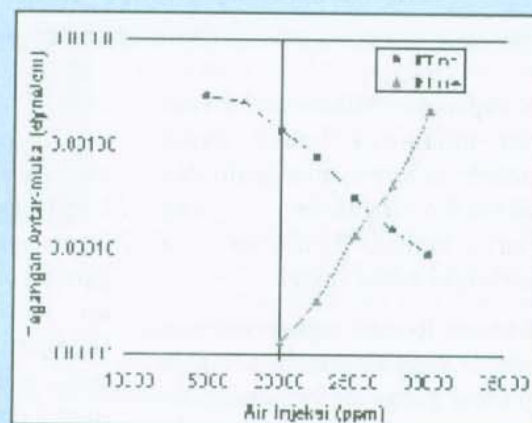
**Gambar 9**  
Foto makroemulsi  
campuran brine 30.000 ppm/ABS-  
7,5%/IBA-3,0%/minyak (400x)



**Gambar 10**  
Uji tabung makroemulsi



**Gambar 11**  
Foto endapan campuran  
brine 27.000 ppm/ABS-1,125%IBA-0,3750%/  
minyak (400x)



**Gambar 12**  
Hubungan tegangan antarmuka dan kadar  
garam air injeksi (ABS 2,25%-IAA-0,75%)

terbentuk pada kadar salinitas rendah, dan  $V_w/V_s > V_o/V_s$ . Contoh hasil percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 3, dan foto pembesaran emulsi terdapat pada Gambar 4. **Mikroemulsi** atau **emulsi fase tengah**: emulsi terbentuk di fase tengah, terdapat tiga fase (air-mikroemulsi-minyak), berwarna translusen, terjadi pada kadar salinitas optimum,  $V_w/V_s = V_o/V_s$ . Contoh hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5, dan fotonya disajikan Gambar-6. **Emulsi fase atas**: emulsi yang terbentuk di fase minyak, dalam kondisi dua fase, berwarna jernih, terjadi pada kadar salinitas tinggi,  $V_w/V_s < V_o/V_s$ . Hasil uji tabung dapat dicontohkan pada Gambar 7, dan bentuk emulsi dapat dilihat pada Gambar 8. **Makroemulsi**: emulsi yang terbentuk kental, berwarna putih susu (*milky*). Uji tabung dan fotonya dapat dilihat pada Gambar 9 dan 10. **Endapan**: tidak berbentuk emulsi, tetapi terjadi padatan yang sangat lunak. Bentuk endapan dapat dilihat pada Gambar 11.

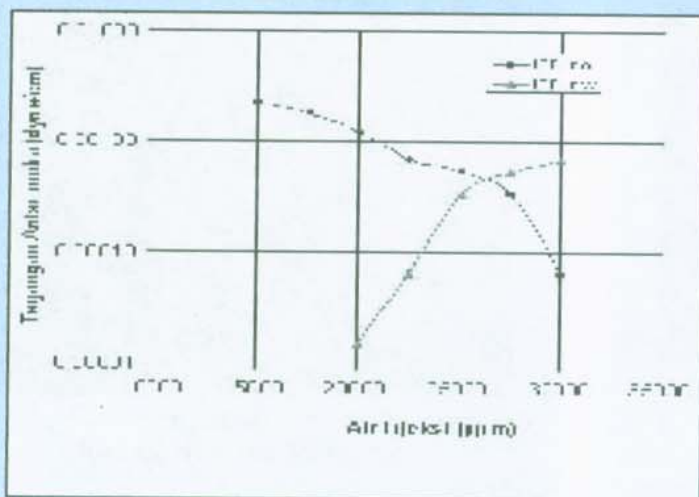
**C. Pengamatan Tegangan Antarmuka**

Tegangan antarmuka antara fasa mikroemulsi minyak dan mikroemulsi air diukur dengan menggunakan alat

*Spining Drop Interfacial Tensiometer*. Hasil yang diperoleh dapat dicontohkan pada Gambar 12 untuk campuran air injeksi/ABS-2,25%/IAA-0,75%/minyak. Gambar 13 menunjukkan hal yang sama untuk campuran air injeksi/ABS-1,875%/IAA-0,75%/minyak.

#### IV. IMPLEMENTASI LAPANGAN

Untuk mendapatkan rancangan fluida injeksi dengan proses injeksi terbaaur, maka harus disiapkan formulasi surfaktan/co-surfaktan yang menghasilkan mikroemulsi fase tengah. Hal ini sering kali sulit diperoleh, beberapa persyaratan dasar



**Gambar-13**  
Hubungan tegangan antarmuka dan kadar garam air injeksi (ABS 1,87525%-IAA-0.75%)

harus dipenuhi. Mikroemulsi fase tengah umumnya hanya dapat diperoleh dengan menggunakan surfaktan/ko-surfaktan yang harganya mahal, demikian juga konsentrasinya relatif tinggi.

Jenis air formasi juga merupakan parameter yang dominan, semakin tinggi kadar garam air formasi/injeksi semakin sulit terbentuk mikroemulsi fase tengah, dan diperlukan surfaktan dengan harga mahal. Pada injeksi yang menggunakan air laut dengan kadar garam antara 18.000 ppm s.d 30.000 ppm, maka rancangan fluida injeksi dengan emulsi fase bawah lebih disarankan. Dengan menggunakan surfaktan dengan konsentrasi kecil, misalnya 0,1% surfaktan V-S mampu menurunkan tegangan antarmuka pada

orde  $10^{-3}$  sampai  $10^{-4}$  dyne/cm, namun pendesakan yang terjadi merupakan pendesakan tak terbaur. Untuk lapangan-lapangan yang dapat dipersiapkan air injeksi dengan kadar garam kurang dari 8.000 ppm (*make up water*), dan tetap cocok (kompatibel) dengan formasinya, maka lebih mudah dipersiapkan fluida injeksi dengan tipe mikroemulsi fasa tengah.

## VII. KESIMPULAN

Formulasi optimum sistem surfaktan, minyak, dan air dapat ditentukan dengan mengamati harga tegangan antarmuka sistem tersebut, dan kelakuan fase. Hasil uji tabung menghasilkan sistem emulsi yang dapat diklasifikasikan menjadi lima

kategori utama, yaitu: emulsi fase bawah, emulsi fase tengah (mikroemulsi), emulsi fase atas, makroemulsi, dan endapan. Emulsi fase bawah dan mikroemulsi fase tengah dapat dipakai dalam merancang fluida injeksi. Emulsi fase bawah dapat digunakan dalam injeksi dengan proses pendesakan tak terbaur, sedangkan mikroemulsi fase tengah merupakan proses pendesakan dengan injeksi terbaur. Formulasi optimum yang dibuat sebaiknya dapat membentuk mikroemulsi fase tengah. Sedangkan sistem dengan emulsi fase atas, makroemulsi, dan endapan sebaiknya tidak digunakan dalam rancangan fluida injeksi.

## KEPUSTAKAAN

1. Healy, R.H, Reed, R.L.,(1974) Immiscible Microemulsion Flooding. SPE 5817, pp 129-139.
2. Prince, L.M. (1977) "Microemulsions—Theory and Practice", *Consulting Surface Chemist*, West Field, New Jersey, pp 148-167
3. Robbin, Max.L., (1977) Theory for The Phase Behavior of Microemulsions, SPE 5839, pp 539-551
4. Salager, J.L., Morgan, J.C., Schechter, R.S., Wade, W.H and Vasquez, E. (1979) Optimum Formulation of Surfactant/Water/Oil Systems for Minimum Interfacial Tention or Phase Behavior. SPE Journal, pp107-115.
5. Wellington, Scott L. and Richardson, Edwin. A (1997) Low Surfactant Concentration Enhanced Waterflooding. SPE Journal, Volume 2, pp 389-405. •