

ANALISIS PERBANDINGAN SURFAKTAN TUNGGAL DAN SURFAKTAN-POLIMER (SP) TERHADAP PENURUNAN IFT

Esther Ruth Sopacua¹, Hestuti Eni², Gerry Sasanti Nirmala^{3*}

¹Teknik Produksi Minyak dan Gas, Politeknik Negeri Ambon, Jl. Ir. M. Putuhena, Wailela, Rumahtiga, Kec. Teluk Ambon, Ambon, Maluku, 97234

² Laboratorium Enhanced Oil Recovery , Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS, Jalan Ciledug Raya, Kavling 109 Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, Jakarta, 12230

³Teknik Produksi Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada 38, Cepu, Jawa Tengah, 58315

*E-mail: gerry.nirmala@esdm.go.id

ABSTRAK

Enhanced Oil Recovery (EOR) merupakan metode tahap tersier yang terbukti efektif dalam meningkatkan perolehan minyak dari lapangan tua, dengan potensi produksi mencapai sekitar 70% dari *Original Oil in Place* (OOIP). Salah satu metode EOR, yaitu *chemical injection* menggunakan surfaktan tunggal dan kombinasi surfaktan-polimer (SP) untuk menurunkan tegangan antarmuka (*Interfacial Tension*/IFT) minyak dan air. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian IFT terhadap sampel minyak dari lapangan Y dengan menggunakan dua jenis surfaktan anionik, yaitu Surfaktan ES 23 dan Surfaktan NR 06, pada variasi konsentrasi 0,1%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Selain itu, dilakukan pula pengujian kombinasi surfaktan-polimer (SP) menggunakan polimer MF yang tergolong dalam jenis *Hydrolyzed Polyacrylamide* (HPAM) dengan konsentrasi 1000 ppm, dikombinasikan dengan kedua jenis surfaktan tersebut dan pengujian dilakukan dengan *Spinning Drop*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil bahwa kombinasi SP memberikan efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan surfaktan tunggal, dimana kombinasi NR 06 + MF menghasilkan penurunan IFT yang lebih signifikan mencapai 0,0000326 dyne/cm (10^{-5} /ultra-low). Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan polimer MF (HPAM) terbukti mampu meningkatkan stabilitas kelarutan surfaktan dalam air, sehingga dapat menurunkan tingkat adsorpsi surfaktan pada batuan serta memperkuat lapisan antarmuka minyak-air, yang pada akhirnya meningkatkan efektivitas penurunan nilai IFT.

Kata kunci: *Enhanced Oil Recovery, Interfacial Tension, Surfaktan-Polimer, Spinning Drop*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi minyak dan gas bumi di Indonesia, pemerintah diharapkan untuk segera mengambil langkah strategis guna menjaga ketahanan produksi dalam negeri, mengingat banyaknya lapangan tua di Indonesia yang menjadi salah satu faktor penurunan produksi. Salah satu langkah yang dapat diambil adalah melalui peningkatan efisiensi produksi dengan menerapkan teknologi *Enhanced Oil Recovery* (EOR). EOR yang merupakan metode peningkatan produksi minyak bumi dengan menginjeksikan sumber energi eksternal dan/atau material untuk memperoleh minyak yang tidak dapat diproduksi secara ekonomis menggunakan *primary recovery* dan *secondary recovery* [1]. Metode EOR terbukti efektif dalam meningkatkan perolehan minyak dari lapangan tua, dengan potensi produksi mencapai sekitar 70% dari *Original Oil in Place* (OOIP) dibandingkan dengan metode konvensional yang meliputi tahap primer dan sekunder umumnya hanya mampu menghasilkan 20–40% dari OOIP [2]. *Chemical injection* adalah salah satu metode EOR dimana dilakukan penginjeksian bahan kimia tertentu ke dalam reservoir minyak untuk menaikkan perolehan minyak sehingga akan meningkatkan efisiensi penyapuan dan

menurunkan saturasi minyak dalam reservoir. *Chemical injection* sendiri terdiri dari Polimer, Surfaktan, dan Alkali.

Tegangan antarmuka (*Interfacial Tension/IFT*) merupakan salah satu parameter utama dalam penggunaan chemical injection, khususnya pada penginjeksian surfaktan. Penurunan IFT bertujuan untuk mengatasi gaya kapiler yang menahan minyak dalam pori batuan, meningkatkan *capillary number*, serta mempermudah mobilisasi dan perpindahan minyak menuju sumur produksi. Nilai IFT diharapkan dapat turun hingga 10^{-2} - 10^{-3} (*ultra-low*) [3].

Surfaktan (*surface active agent*) merupakan senyawa aktif yang memiliki sifat amfifilik, yaitu mengandung bagian hidrofilik (suka air) dan bagian lipofilik (suka minyak). Struktur ganda ini memungkinkan surfaktan untuk menurunkan IFT. Surfaktan anionik merupakan jenis surfaktan yang paling sering digunakan pada proses perolehan minyak tahap lanjut karena memiliki beberapa keunggulan, antara lain stabil pada suhu tinggi, tingkat adsorpsi yang rendah pada permukaan batu pasir, biaya yang lebih ekonomis, serta kemampuan aktivitas antarmuka yang tinggi [4]. Hingga saat ini, berbagai penelitian telah melaporkan efektivitas surfaktan anionik dalam metode EOR.

Meskipun surfaktan sendiri mampu menurunkan IFT secara signifikan, kinerjanya sering menurun pada kondisi salinitas tinggi dan suhu reservoir yang ekstrem. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat dilakukan pengujian IFT dengan kombinasi antara surfaktan dan polimer. Penambahan polimer (dalam hal ini sebagai fluida pendesak) ini bertujuan untuk menaikkan viskositas polimer dan menurunkan perbandingan mobilitas (permeabilitas/viskositas) antara fluida pendesak dan fluida yang didesak (minyak). Selain itu, penambahan polimer dalam surfaktan akan mempengaruhi keekonomian proyek secara langsung dimana biaya surfaktan yang cukup tinggi bisa dikurangi [5].

Polimer *Hidrolized polyacrylamide* (HPAM) saat ini banyak dimanfaatkan dalam proses EOR di berbagai lapangan minyak dalam negeri. Keunggulan dari HPAM adalah mudah larut dalam air dan memberikan kontrol mobilitas yang baik untuk efisiensi penyapuan (*sweep efficiency*), dan memperbaiki efisiensi penyapuan secara volumetrik [6,7].

Hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan bahwa perilaku tegangan antarmuka larutan surfaktan dan minyak reservoir memiliki karakteristik yang sangat unik seiring dengan meningkatnya tekanan dan suhu, dimana peningkatan tekanan menyebabkan perubahan relatif minor pada IFT, sedangkan kenaikan suhu cenderung meningkatkan IFT jauh lebih signifikan [3]. Penelitian lain melaporkan bahwa keberadaan polimer dapat meningkatkan stabilitas misel surfaktan, sehingga efek penurunan IFT lebih tahan terhadap pengaruh salinitas dan suhu tinggi [8,6].

Pada penelitian ini akan dilakukan pengujian IFT terhadap sampel minyak dari Lapangan Y dengan menggunakan dua jenis surfaktan anionik, yaitu Surfaktan ES dan Surfaktan NR, pada berbagai variasi konsentrasi. Selain itu, dilakukan pula pengujian kombinasi surfaktan-polimer (SP) dengan menambahkan polimer MF yang merupakan jenis *Hidrolized Polyacrylamide* (HPAM) pada kedua surfaktan tersebut. Pengujian dilakukan menggunakan metode *Spinning Drop*, yaitu alat uji IFT yang dapat mengukur tegangan antar muka hingga 10^{-6} mN/m [10]. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membandingkan efektivitas penurunan nilai IFT antara surfaktan tunggal dan kombinasi surfaktan-polimer, serta untuk menentukan formulasi kimia yang paling optimal dan stabil dalam penerapan *Enhanced Oil Recovery* (EOR).

2. METODE

Pengujian dilakukan di Laboratorium *Chemical Flooding* Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas (LEMIGAS). Alur pengujian yang dilakukan sebagai berikut :

A. Pembuatan Larutan Surfaktan dan SP

Larutan surfaktan ES 23 dsn NR 06 masing-masing dibuat dalam 5 konsentrasi (0.1%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%) dengan salinitas Nacl 15000 ppm dan volume larutan 80 gram, menggunakan rumus berikut :

$$\text{Jumlah surfaktan (g)} = \frac{\text{Konsentrasi surf (\%)}}{100\%} \times \text{vol larutan (g)} \quad (1)$$

$$\text{Jumlah brine Nacl} = \text{volume larutan} - \text{jumlah surfaktan} \quad (2)$$

Pembuatan larutan SP Surf ES 23 + Polimer MF dan Surf NR 06 + Polimer MF masing-masing dibuat dalam 5 (lima) konsentrasi (0.1%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%) dengan salinitas Nacl 15000 ppm dan volume larutan 80 gram. Kenaikan konsentrasi bahan kimia ini diuji untuk melihat korelasi antara kenaikan konsentrasi dengan penurunan IFT. Banyak penelitian sebelumnya telah menemukan bahwa makin tinggi konsentrasi surfaktan maka makin rendah nilai IFT yang diharapkan dapat meningkatkan perolehan minyak [10-12]. Konsentrasi biang polimer MF yang digunakan 5000 ppm dan konsentrasi pengenceran polimer 1000 ppm serta konsentrasi pengenceran surfaktan 5%, dengan rumus sebagai berikut,

$$\text{Polimer} = \frac{\text{konsentrasi biang pol (\%)}}{\text{jumlah konsentrasi}} \times \text{volume larutan} \quad (3)$$

$$\text{Surfaktan} = \frac{\text{konsentrasi surf (\%)}}{\text{konsentrasi biang surf (\%)}} \times \text{volumer larutan} \quad (4)$$

Berdasarkan Pers. (1) – (4) maka ditentukan konsentrasi polimer dan surfaktant dengan hasil sebagaimana dipaparkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi konsentrasi polimer dan surfaktan

Chemical	konsentrasi S (%)				
	0.1	0.5	1	1.5	2
Polimer MF (1000 ppm)	8	8	8	8	8
Surfaktan ES 23	0.8	4	8	12	16
Surfaktan NR 06	0.8	4	8	12	16
brine (15000 ppm)	31.2	28	24	20	16

B. Spinning Drop

Pengujian ini menggunakan *spinning drop* dengan tipe TX500-D yang terhubung dengan *software*. Pengujian dilakukan dengan tabung horizontal yang berputar dan berisi suatu cairan. Di dalam cairan tersebut dimasukkan setetes fluida (minyak). Ketika tabung berotasi, timbul gaya sentrifugal yang mendorong tetesan menuju dinding tabung sehingga bentuk tetesan menjadi memanjang. Pemanjangan ini akan berhenti ketika terjadi keseimbangan antara gaya sentrifugal dan gaya tegangan antarmuka. Kondisi setimbang tersebut kemudian digunakan

untuk menghitung nilai tegangan antarmuka dengan menghitung selisih antara densitas minyak dan densitas larutan *chemical* (surfaktan dan SP) [13].

Persamaan *Vonnegut* adalah persamaan dasar yang digunakan dalam *spinning drop* untuk menghitung tegangan antarmuka (IFT) antara dua fluida, dengan persamaan sebagai berikut [9]:

$$\sigma = \frac{\Delta\rho\omega^2}{4}R^3 \quad (5)$$

Prinsip metode dan persamaan ini didasarkan pada keseimbangan antara gaya sentrifugal (cenderung menarik fluida keluar dan memperbesar tetesan) dan tegangan antarmuka ketika tabung berisi dua fluida diputar secara horizontal dengan kecepatan tinggi. Fluida dengan densitas lebih rendah akan membentuk tetesan memanjang di dalam fluida dengan densitas lebih tinggi.

- Jika IFT besar, maka tetesan tidak mudah memanjang → nilai R kecil.
- Jika IFT kecil (*ultra-low*), maka tetesan sangat memanjang → nilai R besar.

C. Uji IFT Surfaktan dan SP

Pengujian IFT surfaktan ES 23 dan NR 06 serta SP diukur secara bertahap pada temperature 60° sesuai dengan temperature reservoir lapangan Y. Larutan disuntikkan kedalam tabung dan diikuti dengan penyuntikkan sample minyak lapangan Y. Selanjutnya, tabung dimasukkan ke dalam alat TX500-D dan dikencangkan, kemudian klik *ON* pada *software* untuk memulai putaran dan klik *Starting Camera* untuk mengambil gambar setiap 1 (satu) menit. Tetesan sample minyak akan memanjang seiring waktu hingga mencapai keseimbangan gaya sentrifugal (Gambar 1) dan dapat dihitung sebagai nilai IFT.



Gambar 1. Keseimbangan Gaya Sentrifugal

3. PEMBAHASAN

A. Hasil Uji IFT Surfaktan dan Polimer

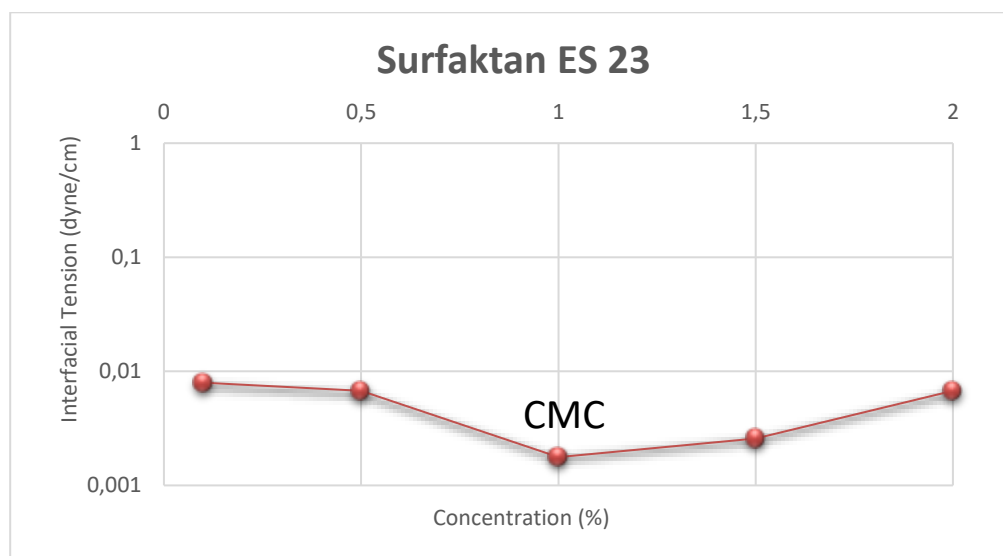
Pada Tabel 2 dan Gambar 2, dapat terlihat surfaktan ES 23 dengan salinitas NaCl 150000 ppm mengalami penurunan nilai IFT dari konsentrasi 0.1% sampai 1%, kemudian naik lagi pada konsentrasi 1.5% sampai 2%. Sehingga didapatkan hasil konsentrasi 1% merupakan konsentrasi surfaktan ES 23 dengan nilai IFT terendah, yaitu 0.00177 dyne/cm. Dari grafik

tersebut juga dapat ditentukan nilai *Critical Micelle Concentration* (CMC) untuk IFT Surfaktan ES 23 berada pada konsentrasi 1% dengan nilai IFT sebesar 10^{-3} dyne/cm.

Sedangkan untuk surfaktan NR 06 dengan salinitas NaCl 150000 ppm mengalami penurunan nilai IFT dari konsentrasi 0.1% sampai 1%, kemudian naik lagi pada konsentrasi 1.5%. Sehingga didapatkan hasil konsentrasi 1% merupakan konsentrasi surfaktan NR 06 dengan nilai IFT terendah, yaitu 0.000391 dyne/cm, dimana nilai ini lebih rendah dibandingkan nilai IFT ES 23.

Tabel 2. Hasil Uji IFT Surfaktan dan Polimer

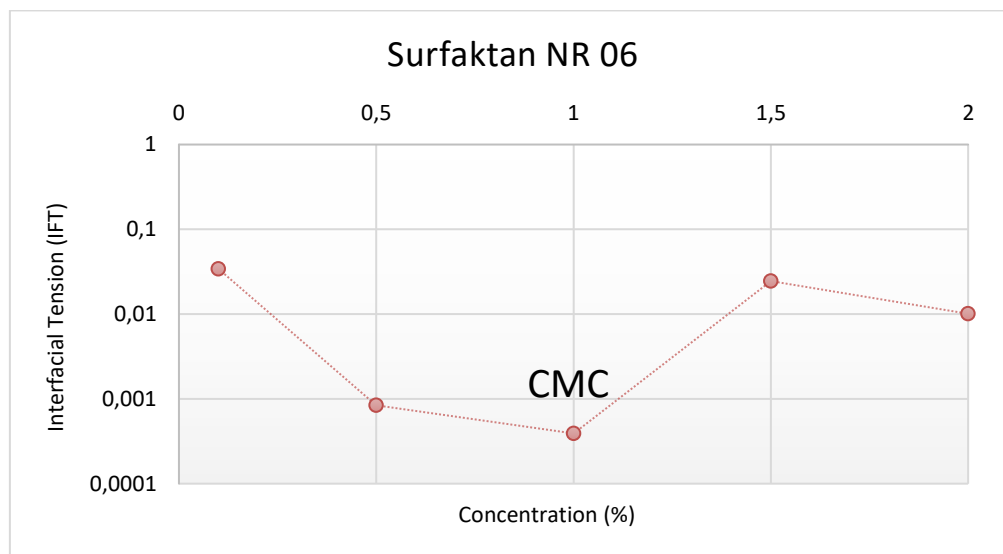
Brine	Konsentrasi Surfaktan	IFT (dyne/cm)			
Salinitas (ppm)	(%)	ES 23	NR 06	ES 23+MF	NR 06+MF
15000	0.1	0.007952	0.034193	0.0294692	0.473903
	0.5	0.00674	0.000843	0.0067678	0.028936
	1	0.00177	0.000391	0.0042898	0.001777
	1.5	0.002585	0.024417	0.00222	0.0001395
	2	0.006764	0.010116	0.0011672	0.0000326



Gambar 2. Grafik IFT Surfaktan ES 23

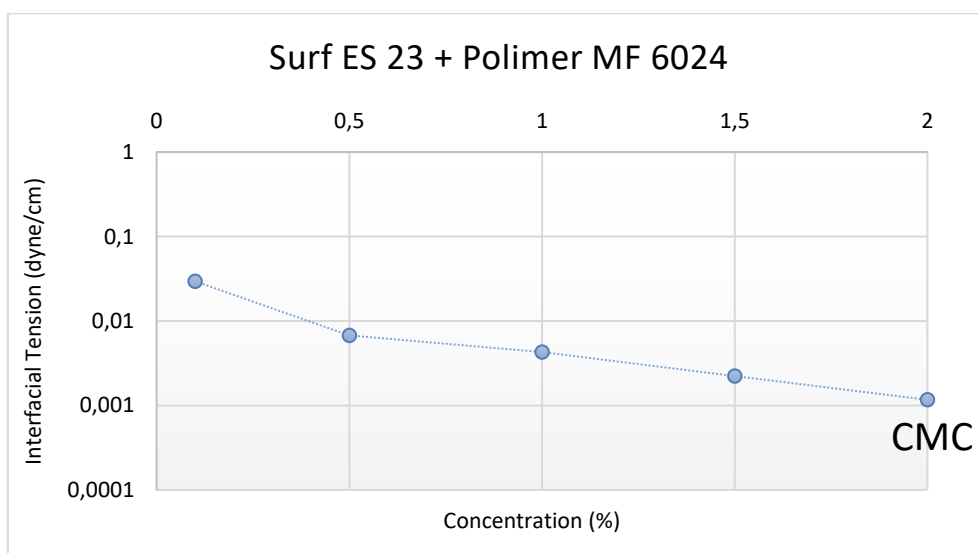
Pada Gambar 3 dapat ditentukan bahwa CMC untuk Surfaktan NR 06 berada pada konsentrasi 1% dengan nilai IFT sebesar 10^{-4} dyne/cm. Berdasarkan hasil pengujian IFT surfaktan tunggal pada salinitas NaCl 150 000 ppm, kedua jenis surfaktan menunjukkan pola yang serupa, yaitu penurunan nilai IFT seiring peningkatan konsentrasi hingga mencapai titik minimum pada konsentrasi 1%, kemudian nilai IFT meningkat kembali pada konsentrasi yang lebih tinggi. Namun, nilai IFT minimum yang dihasilkan berbeda dimana pada surfaktan NR 06 menghasilkan nilai IFT terendah sebesar 0.000391 dyne/cm, sedangkan surfaktan ES 23 menunjukkan nilai IFT terendah sebesar 0.00177 dyne/cm. Hal ini menunjukkan bahwa surfaktan NR 06 memiliki kemampuan menurunkan IFT minyak–air lebih efektif dibandingkan

surfaktan ES 23 pada kondisi salinitas yang sama, sehingga NR 06 lebih potensial digunakan sebagai agen kimia pada proses EOR karena mampu menghasilkan IFT pada tingkat *ultra-low*.



Gambar 3. Grafik IFT Surfaktan NR

Dari hasil Tabel 2 dan Gambar 4, dapat terlihat SP kombinasi surfaktan ES 23 dan polimer MF mengalami penurunan nilai IFT dari konsentrasi 0.1% sampai 2% tanpa ada kenaikan nilai dengan nilai IFT terendah, yaitu 0.0011672 dyne/cm sehingga didapatkan hasil konsentrasi 2% merupakan konsentrasi SP (Surf ES 23 + Polimer MF) terendah pada nilai 0.0011672 dyne/cm. Dari grafik Surf ES 23 + Polimer MF dapat ditentukan bahwa CMC berada pada 10^{-3} dyne/cm pada konsentrasi 2%.

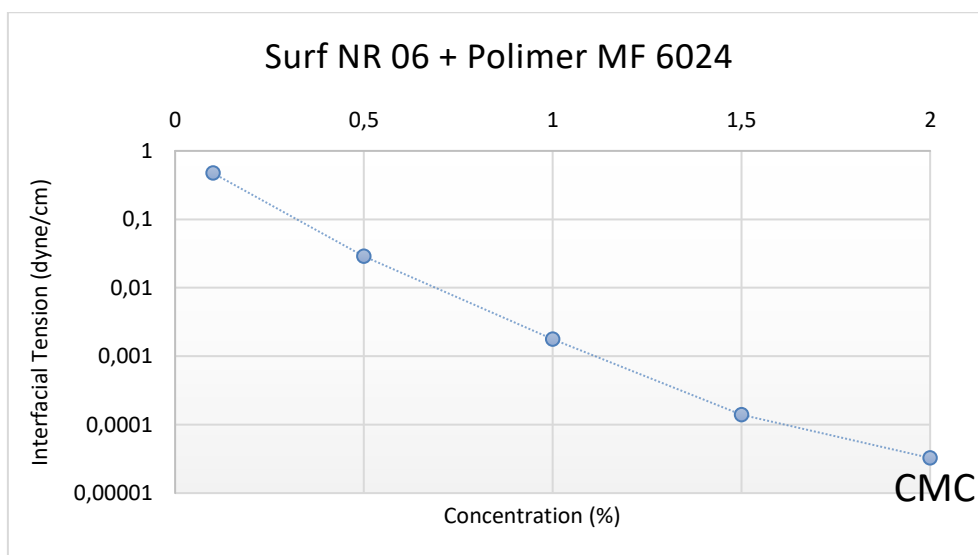


Gambar 3. Grafik IFT SP (Surf ES 23 + Polimer MF)

Pada kombinasi surfaktan NR 06 dan polimer MF dengan salinitas NaCl 150000 ppm terjadi penurunan nilai IFT yang sangat signifikan dari konsentrasi 0.1% sampai 2% tanpa ada

kenaikan nilai, sehingga didapatkan hasil konsentrasi 2% merupakan konsentrasi SP (Surfaktan NR 06 + Polimer MF) dengan nilai IFT terendah, yaitu 0.0000326 dyne/cm.

Pada Gambar 4 tampak bahwa Surfaktan NR 06 + Polimer MF dapat ditentukan bahwa CMC berada pada 10^{-5} dyne/cm di konsentrasi 2%. Formula Surf ES 23 + Polimer MF dan Surf NR 06 + Polimer MF menunjukkan penurunan nilai IFT seiring peningkatan konsentrasi surfaktan. Namun, efektivitas penurunan IFT berbeda antara kedua formula. Kombinasi surfaktan NR 06 + polimer MF menghasilkan nilai IFT yang jauh lebih rendah, yaitu mencapai 0.0000326 dyne/cm pada konsentrasi 2%, dibandingkan dengan kombinasi surfaktan ES 23 + polimer MF yang hanya mencapai 0.001672 dyne/cm pada konsentrasi yang sama.



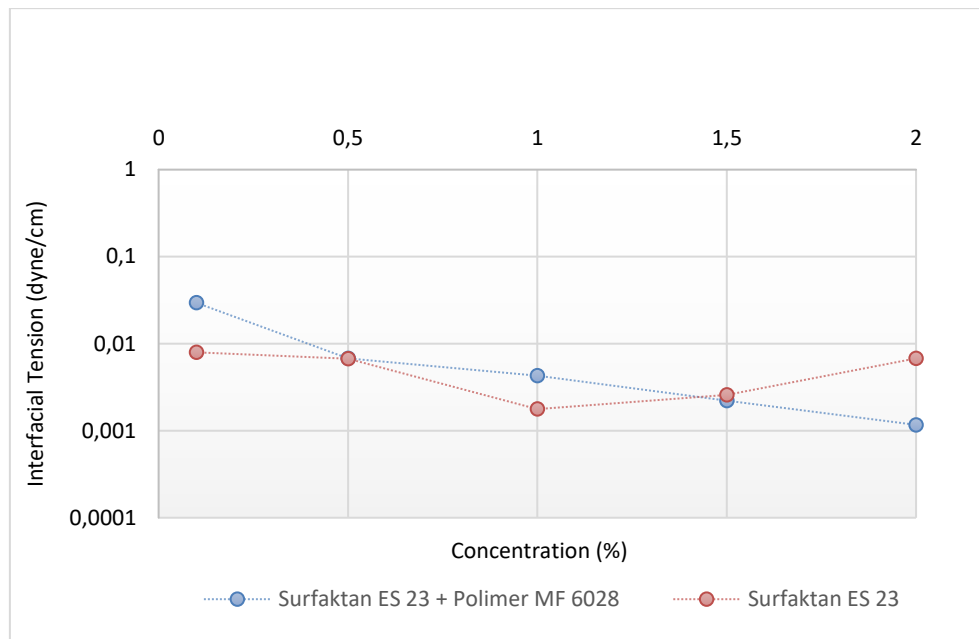
Gambar 4. Grafik IFT SP (Surf NR 06 + Polimer MF)

B. Perbandingan IFT Surfaktan Tunggal dan Kombinasi

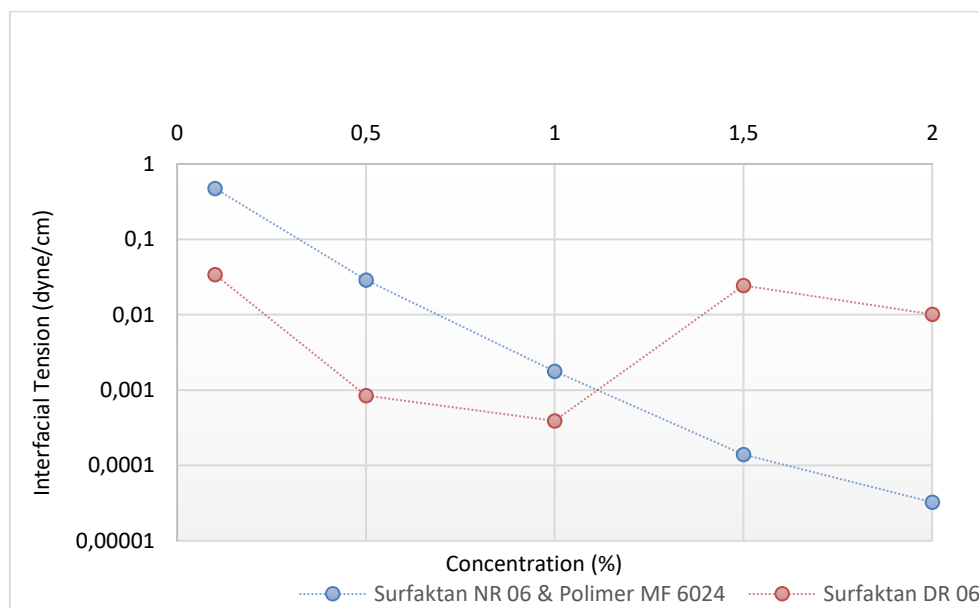
Berdasarkan Gambar 5 dapat terlihat perbandingan antara nilai IFT surfaktan ES 23 dengan kombinasi Polimer MF, bahwa formula SP (Surf ES 23 + Polimer MF) memiliki penurunan nilai IFT yang lebih rendah dibandingkan nilai IFT surfaktan ES 23 meski sangat tipis, dimana dengan uji 5 (lima) konsentrasi yang sama formula SP mencapai 0.0011672 dyne/cm dengan Critical Micelle Concentration (CMC) berada pada konsentrasi 2%, sedangkan formula surfaktan ES 23 mencapai 0.00177 dyne/cm pada konsentrasi 1%.

Sedangkan pada Gambar 6 surfaktan NR 06 vs SP (Surf NR 06 + Polimer MF) dapat terlihat perbandingannya, bahwa formula SP (Surf NR 06 + Polimer MF) memiliki penurunan nilai IFT yang jauh lebih rendah dibandingkan nilai IFT surfaktan NR 06, dimana dengan uji 5 (lima) konsentrasi yang sama formula SP mampu mencapai 0.0000326 dyne/cm dengan CMC berada pada konsentrasi 2%, sedangkan formula surfaktan NR 06 hanya mencapai 0.000391 dyne/cm.

Hasil yang diperoleh secara umum konsisten dengan penelitian sebelumnya dan terbukti bahwa penambahan polimer pada surfaktan lebih efektif menurunkan tegangan antarmuka [1]. Penurunan IFT diharapkan akan meningkatkan perolehan minyak, namun tentunya hal tersebut bukan satu-satunya faktor peningkatan produksi. Karakteristik minyak dan reservoir, termasuk sifat kebasahan antara minyak dan batuan reservoir juga memegang peranan penting.



Gambar 5. Grafik IFT Surfaktan ES 23 vs SP (Surf ES 23 + Polimer MF)



Gambar 6. Grafik IFT Surfaktan NR 06 vs SP (Surf NR 06 + Polimer MF)

4. SIMPULAN

Kedua surfaktan anionik (ES 23 dan NR 06) yang diuji menunjukkan tren yang sama, yaitu penurunan nilai IFT hingga mencapai *Critical Micelle Concentration (CMC)* pada konsentrasi 1%, kemudian meningkat kembali pada konsentrasi yang lebih tinggi, dimana surfaktan NR 06 menurunkan IFT hingga 0.000391 dyne/cm dan ES 23 mencapai 0.00177 dyne/cm. Kombinasi surfaktan-polimer (SP) terbukti lebih efektif dibanding surfaktan tunggal, dimana formula ES

23 + MF mencapai IFT minimum 0.001167 dyne/cm, sedangkan NR 06 + MF mampu menurunkan IFT hingga 0.0000326 dyne/cm (10^{-5} /ultra-low).

Berdasarkan hasil perbandingan, formulasi SP dengan surfaktan NR 06 dan polimer MF merupakan kombinasi paling optimal untuk diterapkan pada proses chemical EOR di kondisi salinitas sedang (15 000 ppm). Penambahan polimer MF (HPAM) terbukti dapat meningkatkan kestabilan kelarutan surfaktan dalam air sehingga mengurangi adsorpsi surfaktan serta memperkuat lapisan antarmuka minyak–air untuk meningkatkan efektivitas penurunan IFT. Diperlukan uji kebasahan batuan dan *recovery factor* (RF) untuk penelitian yang lebih komprehensif.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Putra dan B. F. T. Kiono, “Mengenal Enhanced Oil Recovery (EOR) Sebagai Solusi Meningkatkan Produksi Minyak Indonesia,” Jurnal Energi Baru & Terbarukan, vol. 2, no. 2, pp. (tidak tercantum halaman pada sumber), 2021.
- [2] B. V. Malozyomov, N. V. Martyushev, V. V. Kukartsev, V. S. Tynchenko, V. V. Bukhtoyarov, X. Wu, Y. A. Tynchenko, dan V. A. Kukartsev, “Overview of Methods for Enhanced Oil Recovery from Conventional and Unconventional Reservoirs,” Energies, vol. 16, no. 13, pp. 4907, Juli 2023
- [3] Sugihardjo Sugihardjo, “Interfacial Tension Between Injecting Fluid And Reservoir Oil At Elevated Pressure And Temperature,” Scientific Contributions Oil and Gas, vol. 30, no. 1, pp. 1-6, March 2007.
- [4] L. Ma, P. Xu, L. Wang, K. Xia, H. Du, R. Gao, dan Z. Chen, “Study on anionic–nonionic mixed surfactant for enhanced oil recovery in a hypersaline reservoir,” RSC Advances, vol. 14, no. 1, hlm. 552–559, Januari 2024.
- [5] Edward ML Tobing, “UJI SENSITIVITAS KONSENTRASI SURFAKTAN POLIMER DAN VOLUME SLUG TERHADAP PEROLEHAN MINYAK MELALUI MODEL SIMULASI POLA SUMUR INJEKSI PRODUKSI EOR”, Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi Vol. 52 No. 1, April 2018: 1 – 13, 2018.
- [6] A. Rostami, M. Kalantari-Meybodi, M. Karimi, A. Tatar, and A.H. Mohammadi, “Efficient estimation of hydrolyzed polyacrylamide (HPAM) solution viscosity for enhanced oil recovery process by polymer flooding”, published by IFP Energies nouvelles, <https://doi.org/10.2516/ogst/2018006>, 2018.
- [7] Olaire A.A., “Review of ASP EOR (Alkaline Surfactant Polymer Enhanced Oil Recovery) Technology in The Petroleum Industry: Prospects and Challenges”, Energy, 77. 963-982, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.09.005>, 2014.
- [8] Abidin, A. Z., Puspasari, T., & Nugroho, W. A., “Polymers for enhanced oil recovery technology”, Procedia Chemistry, 4, 11–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proche.2012.06.002>, 2012.
- [9] H.M. Princen, I.Y.Z Zia, and S.G. Mason. “Measurement of interfacial tension from the shape of a rotating drop”, Journal of Colloid and Interface Science, 23(1):99–107, 1967.
- [10] Xiang-Long Cui, Yi Pan, Fu-Tang Hu, Lu Han, Xiu-Yu Zhu, Lei Zhang, Zhao-Hui Zhou, Gen Li, Gui-Yang Ma, Lu Zhang, “Dynamic Interfacial Tensions of Surfactant and Polymer Solutions Related to High-Temperature and High-Salinity Reservoir,” Molecules, vol. 28, no. 3, 1279, Jan 2023.
- [11] Mustamina Maulani & Rini Setiati, “Korelasi Konsentrasi Surfaktan NaLS Ampas Tebu Pada Beberapa Salinitas Terhadap Pengukuran IFT”, Petro : Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan, 6(2), 54-58. <https://doi.org/10.25105/petro.v6i2.3105>, 2018.
- [12] Annasit Annasit, Ahmad Murtafi'in, dan Agus Setiyono, “Potensi Chemical Surfaktan untuk Meningkatkan Perolehan Minyak Bumi dengan Metode Enhanced Oil Recovery pada Sumur Minyak,” Jurnal Pendidikan Kimia Universitas Riau, vol. 9, no. 1, pp. 78–87, Januari 2024.
- [13] Battistutta, E., Zitha, P.L.J., “Alkaline Surfactant Polymer (ASP) Flooding of Crude Oil at Under Optimum Salinity Conditions. SPE Enhanced Oil Recovery Conference in Kuala Lumpur, Malaysia, SPE-174666-MS, 2015.

- [14] Bastian E. Rapp, “Chapter 22 - Measuring Surface Tension and Free Surface Energy, In Micro and Nano Technologies, Microfluidics: Modelling, Mechanics and Mathematics”, Elsevier, Pages 453-465, ISBN 9781455731411, <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3141-1.50022-8>, 2017.

Daftar Simbol

σ	=	tegangan antarmuka (IFT), dyne/cm
$\Delta\rho$	=	selisih densitas surfaktan dan minyak, g/ [cm] ³
ω	=	Putaran per menit, rpm
R	=	Jari jari drop, cm