



# Pengaruh Penambahan Silica Nanopartikel dan Surfaktan SLS (Sodium Lignosulfonat) terhadap Proses Adsorpsi pada Enhanced Oil Recovery (EOR)

Destias Selly Handayani<sup>1\*</sup>, Ahmad Tawfiequrrahman Y<sup>1</sup>, and Suryo Purwono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, University Gadjah Mada, Jalan Grafika 2, Yogyakarta, 55281, Indonesia

\*E-mail: destiassellyhandayani@mail.ugm.ac.id

## Abstract

Surfactant flooding is a chemically enhanced oil recovery (EOR) technique that removes trapped residual oil by lowering the oil-water interfacial tension. The success of surfactant flooding is strongly affected by surfactant loss through its adsorption process on reservoir mineral rocks. Surfactant adsorption is a test method to determine whether surfactant is adsorbed in the reservoir rocks. In the surfactant adsorption test, only static adsorption was carried out. The mixed-surfactant formulation used 70% surfactant SLS, 22% PFAD, and 8% 1-octanol (w/v). Mixed-surfactant concentration variations are 0.25, 0.5, 0.75, and 1% (w/v). The IFT test results showed that the smallest IFT value at a concentration of 1% is  $3.15 \times 10^{-3}$  mN/M. In this research, adding silica nanoparticles (SNPs) to the mixed-surfactant solution is expected to reduce the interfacial tension (IFT) value and the amount of surfactant adsorbed in the reservoir rocks. Variations of SNPs concentration used are 0.05, 0.09, 0.15, and 0.3% (w/v). The lowest IFT test result by adding concentration SNPs of 0.09% is  $2.07 \times 10^{-4}$  mN/M. The adsorption test result showed that by adding SNPs with concentration 0.09% with adsorption time of 24h is effective to used for adsorption.

**Keywords:** EOR; Silica Nanoparticles; Adsorption; Surfactant SLS

## Pendahuluan

Minyak bumi merupakan sumber energi utama di Indonesia dengan tingkat konsumsi sebesar 1,2 juta kilo liter per hari, meskipun Indonesia merupakan negara yang mempunyai cadangan minyak yang besar akan tetapi produksi minyak bumi di Indonesia terus mengalami penurunan dari tahun ke tahun (Partowidagdo, 2016). Berbagai usaha untuk meningkatkan produksi sumur-sumur tua yang ada di Indonesia perlu dilakukan untuk memberikan tenaga dorong dari *reservoir* agar fluida (minyak) naik ke permukaan. Selain itu, menginjeksikan bahan kimia dari luar juga dapat meningkatkan produktivitas minyak hingga mencapai 50% dari cadangan minyak yang tersisa didalam *reservoir*. Teknologi ini dikenal dengan *Enhanced Oil Recovery* (EOR) (Nur fatwa, 2011).

Metode *Enhanced Oil Recovery* (EOR) dapat melibatkan proses injeksi material yang dapat menyebabkan perubahan dalam *reservoir*. Metode *chemical EOR* memanfaatkan bahan kimia. Injeksi bahan kimia (*chemical flooding*) adalah salah satu teknologi EOR yang sangat menguntungkan terutama pada *reservoir* dangkal yang tidak mungkin bisa dilakukan injeksi CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub> karena tekanan yang rendah (Sugihardjo et al, 2014). Mekanisme *chemical-EOR* bergantung pada penurunan nilai IFT, peningkatan rasio mobilitas, perubahan wettability dan emulsifikasi. Injeksi kimia dilakukan dengan menggunakan bahan kimia seperti surfaktan dan polimer. Surfaktan yang diterapkan biasanya surfaktan komersil berbasis petroleum dan dapat juga menggunakan surfaktan yang berbasis sodium lignosulfonat (SLS) yang bahan bakunya dapat diperoleh dari produk samping biomassa.

Abidin et al (2012) dan Zhang et al (2006) melaporkan bahwa pengembangan EOR baru dan efisien diperlukan untuk memenuhi kebutuhan energi. Salah satu pengembangan dalam bidang EOR menggunakan nanoteknologi. Teknologi ini mampu menurunkan nilai IFT, mengurangi surfaktan terjerap di batuan pada proses adsorpsi, thermal stability, wettability dan injeksi fluida (Bera dan Belhaj, 2016). Saat ini, peneliti difokuskan untuk mengevaluasi nanotechnology/nanofluid untuk meningkatkan produktivitas minyak pada metode C-EOR (Alomair et al, 2015). Pada penelitian Liu Z et al (2021) menyatakan bahwa penambahan SNP pada proses adsorpsi dapat mengurangi area adsorpsi ke permukaan batuan sehingga kontak antara surfaktan dan permukaan batuan. Konsentrasi SNP optimal sebesar 0.01-0.1 wt%. Menurut Gbadamosi et al (2018a) nilai IFT dengan menggunakan nanofluid secara signifikan



lebih rendah dibandingkan menggunakan polimer. Nanopartikel dapat menyerap pada interface minyak-air sehingga penambahan nanopartikel dapat membantu mengurangi IFT antara minyak-air. Massarweh Osama dan Abushaika Ahmad. S (2020) menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi nanopartikel, maka semakin rendah tegangan antarmuka antara brine-crude oil dari 22.49 mN/m menjadi 14.47 mN/M.

Pada penelitian ini dilakukan menggunakan mixed-surfaktan dengan perbandingan 70% surfaktan SLS (*Sodium Lignosulfonate*):20% PFAD:8% 1-Oktanol (99%). Larutan mixed-surfaktan akan dilakukan proses adsorpsi kedalam batuan sehingga dapat mengetahui seberapa banyak jumlah surfaktan yang teradsorp/terjerap pada batuan reservoir berdasarkan konsentrasi mixed-surfaktan yang paling efektif dan dilakukan penambahan *silica nano particle* (SNP) dengan berbagai konsentrasi yang diharapkan dapat menurunkan nilai *interfacial tension* (IFT) dan mengurangi jumlah surfaktan yang terjerap dalam batuan reservoir. Batuan yang digunakan yaitu jenis batuan *Berea sandstone*. Menurut Amirmoshiri et al (2020) batuan yang digunakan untuk EOR adalah batuan *sandstone* karena lebih efektif digunakan dan mampu mengurangi surfaktan yang teradsorpsi pada proses adsorpsi surfaktan dibandingkan batuan *limestone*.

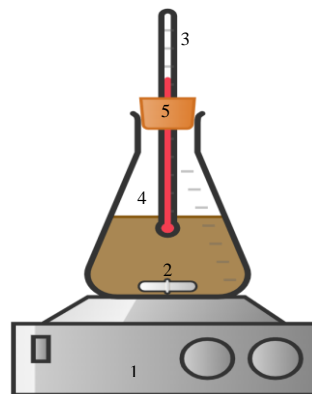
## Metode Penelitian

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah Surfaktan SLS (*Sodium Lignosulfonate*), Silika Nanopartikel, PFAD dari Lab. Teknologi Minyak Bumi, Gas dan Batubara Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada., Natrium Hidroksida (NaOH) dari PT. Wahana Hi-Lab, 1-Oktanol (99%) dari PT. Wahana Hi-Lab, Air formasi/injeksi Tempino, dan Batuan *Berea Sandstone*.

### Alat

Rangkaian alat pembuatan larutan mixed-surfaktan dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun beberapa alat lain yang digunakan antara lain gelas ukur 100ml, *waterbath shaker* untuk proses adsorpsi antara larutan mixed-surfaktan dan batuan, Uv-Visible Spectrofotometer, dan Spinning Drop Tensiometer (TX-500D) untuk mengukur nilai IFT.



Keterangan :

1. Hot Plate
2. Magnetic Stirrer
3. Termometer
4. Labu Erlenmeyer 100ml
5. Stopper

Gambar 1. Rangkaian Alat Pembuatan Larutan Mixed-Surfaktan

### Pembuatan Mixed-surfaktan

Surfaktan SLS ditambahkan sabun dan 1-Oktanol (99%) dengan perbandingan 70:22:8 dan dilarutkan dengan menggunakan air formasi. Diaduk dan dipanaskan pada suhu 70°C selama 15 menit.

### Pre-treatment Adsorben

Batuan *Berea sandstone* digerus dan diayak hingga 100 mesh, kemudian dicuci menggunakan air formasi dan disaring. Selanjutnya di oven dengan suhu 80°C.

### Pembuatan Larutan Silica Nano Particle (SNP)

*Silica Nano Particle* dengan berbagai konsentrasi dilarutkan dengan menggunakan air formasi. Kemudian dilakukan sonifikasi dengan alat sonikator selama 20 menit hingga homogen.

### Karakterisasi Campuran Larutan Mixed-surfaktan dan Silica Nano Particle (SNP)

Mixed-surfaktan yang sudah dibuat dicampur dengan *silica nano particle* (SNP). Kemudian dilakukan dikarakterisasi dengan berbagai macam metode, antara lain:

1. Pengujian *Interfacial Tension* (IFT)

Pengujian ini dilakukan untuk menghitung nilai tegangan antarmuka minyak dan air yang telah diinjeksikan oleh mixed-surfaktan dengan/tanpa penambahan SNP. *Interfacial Tension* (IFT) dengan berbagai konsentrasi diukur dengan menggunakan TX-500 *Spinning Drop Tensiometer* di Laboratorium Teknologi Minyak Bumi, Gas dan Batubara, Departemen Teknik Kimia, UGM.

## 2. Pengujian Adsorpsi

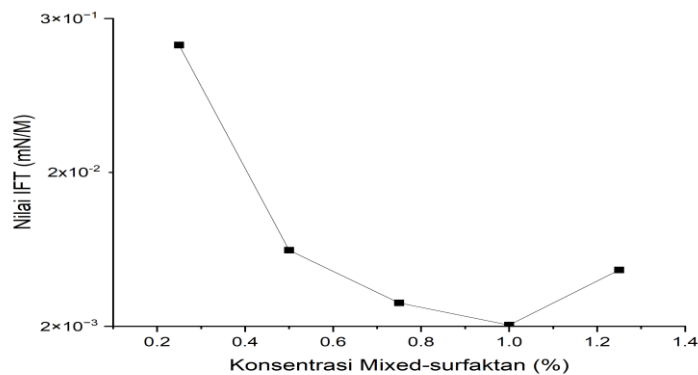
Larutan mixed-surfaktan dengan/tanpa penambahan SNP dengan berbagai konsentrasi dengan volume 10ml dicampurkan dengan batuan yang telah dihaluskan sebanyak 1g. Kemudian di diamkan didalam *waterbath shaker* selama 24, 48, dan 72 jam pada suhu 60°C. Setelah itu, larutan dan batuan dipisahkan dengan cara sentrifugasi, kemudian dilakukan pengujian dengan menggunakan Uv-Visible Spectrofotometer. Perhitungan adsorpsi yang digunakan untuk mengetahui besarnya jumlah surfaktan yang terjerap dalam batuan. Jumlah surfaktan yang teradsorpsi pada kesetimbangan  $q_e$  (mg/g) dihitung menggunakan persamaan (1):

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} V \quad (1)$$

## Hasil dan Pembahasan

### Pengaruh Konsentrasi Mixed-surfaktan terhadap Nilai *Interfacial Tension* (IFT)

Sebelum dilakukan pengujian adsorpsi, variasi larutan mixed-surfaktan dalam berbagai konsentrasi 0.25, 0.50, 0.75, 1, dan 1.25% (w/v). Formulasi mixed-surfaktan yang dibuat dengan komposisi perbandingan surfaktan SLS:PFAD:1-Oktanol = 70:22:8 karena pada formulasi mixed-surfaktan tersebut dapat diperoleh nilai IFT yang paling rendah (Azis et al, 2021).



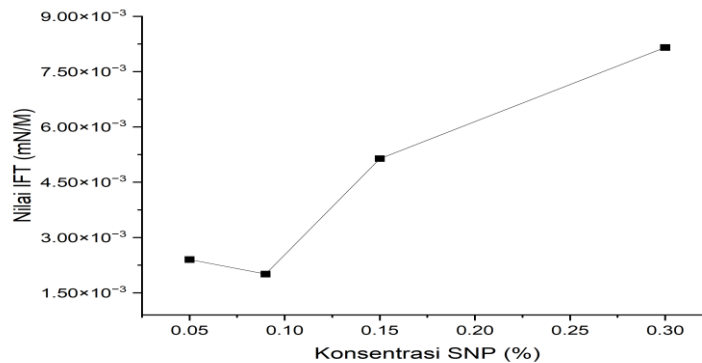
**Gambar 2.** Pengaruh Berbagai Konsentrasi Larutan Mixed-surfaktan terhadap Nilai IFT

Berdasarkan Gambar 2 dapat disimpulkan bahwa larutan mixed-surfaktan dengan konsentrasi 1% (w/v) memiliki nilai IFT yang paling rendah diantara konsentrasi larutan mixed-surfaktan lainnya yaitu  $3.15 \times 10^{-3}$  mN/M. Azis et al (2021) melaporkan bahwa formulasi mixed-surfaktan dengan konsentrasi 1% menghasilkan nilai IFT yang paling rendah. Formulasi tersebut cenderung optimal karena nilai afinitas *amphiphile* ( $s$ ) pada antarmuka sama untuk fase minyak dan air. Sesuai dengan penelitian Broto (2010) menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan konsentrasi surfaktan yang semakin tinggi menyebabkan tegangan antarmuka makin rendah hingga mencapai suatu konsentrasi surfaktan pada tegangan antarmukanya menjadi konstan.

Dapat dilihat pada Gambar 2, terjadi kenaikan nilai IFT pada konsentrasi mixed-surfaktan 1.25% (w/v) menjadi  $5.65 \times 10^{-2}$  mN/M. Hal ini dikarenakan semakin tinggi penambahan konsentrasi mixed-surfaktan menyebabkan adanya kejenuhan konsentrasi larutan mixed-surfaktan menuju nilai *critical micelle concentration* (CMC). CMC menunjukkan batas konsentrasi kritis surfaktan dalam suatu larutan. Penambahan konsentrasi mixed-surfaktan yang melebihi batas maksimal CMC menyebabkan terjadinya emulsi balik yang dapat berpengaruh pada nilai tegangan antarmuka (Broto, 2010). Berdasarkan teori tersebut, konsentrasi larutan mixed-surfaktan 1% (w/v) merupakan batas maksimum CMC sehingga jika adanya penambahan konsentrasi larutan mixed-surfaktan dapat menyebabkan terjadinya peningkatan nilai tegangan antarmuka.

### Pengaruh Penambahan Konsentrasi SNP terhadap Nilai *Interfacial Tension* (IFT)

Variasi penambahan SNP dengan berbagai konsentrasi 0.05, 0.09, 0.15, dan 0.3% (w/v) dengan mencampurkan ke dalam larutan mixed-surfaktan 1%. Nilai rentang konsentrasi SNP berkisar antara 0.01% - 0.1% yang merupakan konsentrasi dengan nilai efisiensi *displacement* paling besar (Hendraningrat, Li, dan Torsæter, 2013).



**Gambar 3.** Pengaruh Penambahan berbagai Konsentrasi SNP (%) terhadap Nilai IFT

Berdasarkan hasil Gambar 3 diatas didapatkan pada semua variasi konsentrasi SNP telah mencapai nilai  $10^{-3}$  mN/m akan tetapi pada penambahan SNP diharapkan nilai IFT dapat lebih kecil jika dibandingkan dengan tanpa penambahan SNP. Pada Gambar 2, konsentrasi mixed-surfaktan 1% mencapai nilai IFT sebesar  $3.15 \times 10^{-3}$  mN/M. Adanya penambahan SNP dengan konsentrasi 0.05% dan 0.09% (w/v) terjadi penurunan nilai IFT yang tidak terlalu signifikan sebesar  $2.40 \times 10^{-3}$  mN/M dan  $2.07 \times 10^{-3}$  mN/M. Dan jika diamati pada konsentrasi SNP 0.1% dan 0.3% (w/v) terjadi peningkatan nilai IFT dikarenakan penambahan silika nanopartikel (SNP) mempengaruhi susunan monomer surfaktan pada antarmuka minyak-air sehingga akan berdampak pada kesetimbangan tegangan antarmuka. Tegangan antarmuka dipengaruhi oleh jumlah molekul aktif permukaan pada antarmuka minyak-air dan peningkatan nilai IFT ini menunjukkan adanya pengurangan jumlah molekul aktif pada antarmuka minyak-air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan SNP pada konsentrasi tertentu akan menyebabkan berkurangnya monomer surfaktan pada antarmuka minyak-air dan membentuk *surfactant-coated particle* pada tegangan permukaan (Jiang et al, 2016).

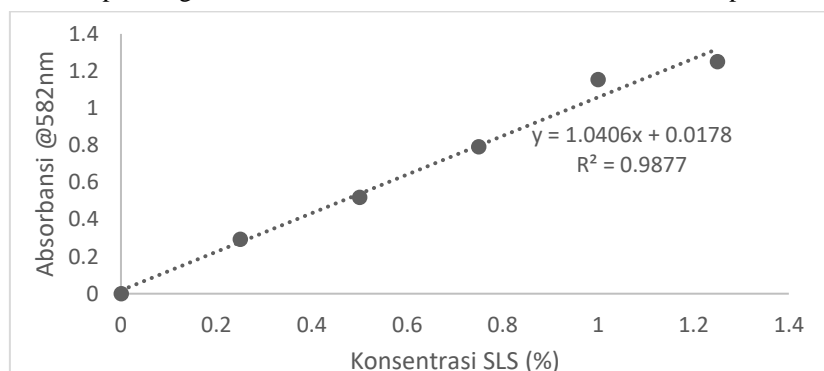
### Pengujian Adsorpsi

#### Kurva Standar Surfaktan SLS

Pembuatan kurva standar dimaksudkan untuk mencari hubungan antara adsorbansi (y) dan konsentrasi surfaktan SLS (x). Kurva standar surfaktan SLS dibuat dengan cara mengukur larutan standar surfaktan SLS dengan konsentrasi 0.25, 0.5, 0.75, 1 dan 1.25% (w/v) dengan menggunakan Spektrofotometer Uv-Visible pada Panjang gelombang 582 nm. Persamaan regresi linier kurva standar surfaktan SLS ditunjukkan pada persamaan (2) :

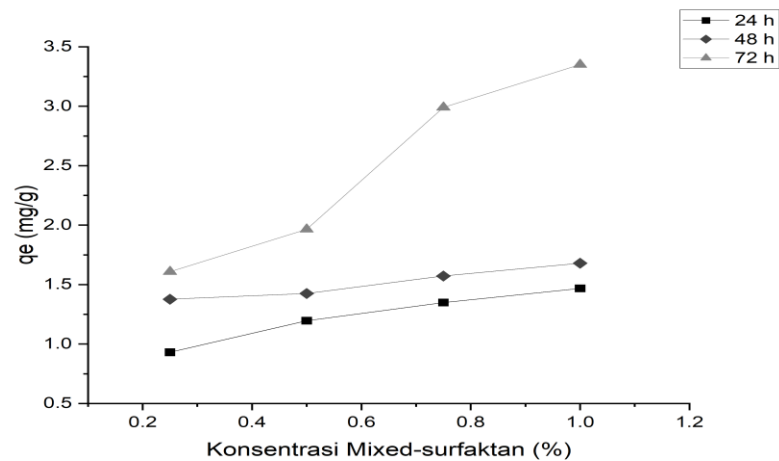
$$y = 1.0406x + 0.0178 \quad (2)$$

Dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) sebesar 0.9877. Persamaan (2) digunakan untuk menentukan konsentrasi surfaktan SLS setelah dilakukan adsorpsi dengan batuan. Kurva standar larutan surfaktan SLS dapat dilihat pada Gambar 4.

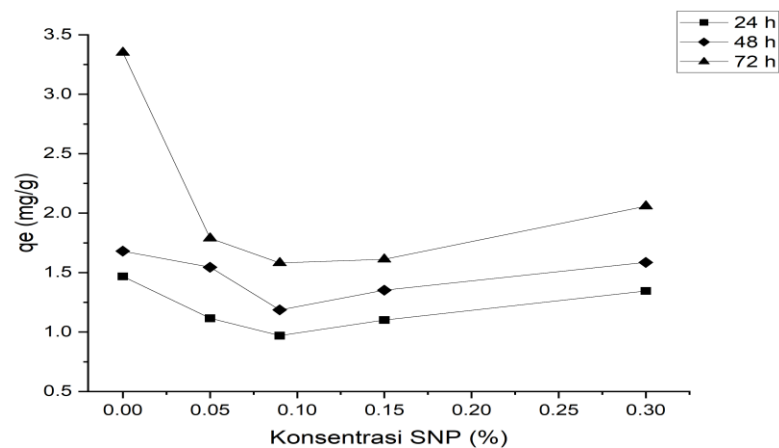


**Gambar 4.** Kurva Standar Larutan Surfaktan SLS

#### Pengaruh Konsentrasi Larutan Mixed-surfaktan Tanpa/Adanya Penambahan SNP terhadap Jumlah Larutan Mixed-surfaktan yang terjerap pada Waktu Adsorpsi (24, 48, dan 72 jam)



(a)



(b)

**Gambar 5.** Jumlah Larutan Mixed-surfaktan yang terjerap (a). Tanpa penambahan SNP, (b). Adanya penambahan SNP

Berdasarkan Gambar 5(a), hasil pengaruh konsentrasi larutan mixed-surfaktan tanpa ada penambahan SNP dengan waktu adsorpsi (24, 48, dan 72 jam) menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan mixed-surfaktan maka semakin banyak larutan mixed-surfaktan yang terjerap didalam batuan seiring dengan lamanya waktu adsorpsi. Pada konsentrasi larutan mixed-surfaktan 1% dan waktu adsorpsi 72 jam terlihat bahwa larutan mixed-surfaktan yang paling banyak teradsorp. Hal ini terkait dengan interaksi antara molekul surfaktan dan muatan partikel individu yang sejenis. Adsorpsi surfaktan sangat sensitif terhadap gugus muatan dari permukaan batuan. Sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wu et al (2017) menunjukkan bahwa jumlah surfaktan yang terjerap masih akan terus bertambah dikarenakan belum mencapai kondisi setimbang karena adsorpsi belum mencapai titik jenuhnya.

Serta, pada Gambar 5(b) menunjukkan bahwa adanya penambahan SNP pada larutan mixed-surfaktan dapat mengurangi banyaknya jumlah larutan mixed-surfaktan yang terjerap. Pada konsentrasi SNP 0% (hanya konsentrasi larutan mixed-surfaktan 1% tanpa penambahan SNP) jumlah surfaktan yang terjerap sebesar 1.4677 mg/g sedangkan pada penambahan konsentrasi SNP 0.09% menunjukkan penurunan jumlah mixed-surfaktan yang terjerap sebesar 0.9693 mg/g dengan waktu adsorpsi 24 jam. Hal ini dikarenakan adanya penurunan adsorpsi di area permukaan batuan dan kontak antara surfaktan dan permukaan batuan berkurang, sehingga menyebabkan berkurangnya molekul surfaktan yang teradsorpsi (Sharma, Iglauer dan Sangwai, 2016). Namun, pada konsentrasi SNP 0.15% dan 0.3% terjadi penambahan jumlah mixed-surfaktan yang terjerap sebesar 1.1001 mg/g dan 1.346 mg/g. Hal ini memperlihatkan konsentrasi SNP 0.09% dengan waktu adsorpsi 24 jam paling efektif digunakan dalam proses



adsorpsi. Sedangkan jika ditinjau dari lamanya waktu adsorpsi, semakin lama waktu adsorpsi maka akan semakin banyak jumlah mixed-surfaktan yang akan terjerap terlihat pada Gambar 5(a) dan 5(b).

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin bertambahnya konsentrasi mixed-surfaktan, maka nilai IFT akan semakin kecil tetapi akan konstan pada konsentrasi tertentu. Nilai IFT terkecil tanpa penambahan SNP terdapat pada konsentrasi mixed-surfaktan 1% (w/v) sebesar  $3.15 \times 10^{-3}$  mN/M. Dengan adanya penambahan konsentrasi SNP 0.09% pada larutan mixed-surfaktan 1% diperoleh nilai IFT yang paling rendah sebesar  $2.07 \times 10^{-3}$  mN/M.
2. Berdasarkan hasil adsorpsi statik menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi SNP dan lamanya waktu adsorpsi mempengaruhi jumlah larutan mixed-surfaktan yang terjerap pada batuan. Konsentrasi SNP 0.09% dengan waktu adsorpsi 24 jam paling efektif digunakan pada proses adsorpsi.

### Daftar Notasi

$q_e$  = Jumlah surfaktan yang teradsorpsi pada kesetimbangan [mg/g]

$C_o$  = Konsentrasi mula-mula [mg/L]

$C_e$  = Konsentrasi akhir/kesetimbangan [mg/L]

$m$  = Massa Adsorben [g]

$V$  = Volume larutan [L]

### Daftar Pustaka

- Alomair O.A et al. Experimental study of enhanced-heavy-oil-recovery in Berea sandstone core by using nanofluids applications. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering* 2015;18:387-399.
- Amirmoshiri M, Zhang L, Puerto M et al. Role of wettability on the adsorption of an anionic surfactant on sandstone cores. *Langmuir* 2020; 36(36): 10725-10738.
- Ardelina D, Purwono S, Azis M. Pengaruh penambahan silika nanopartikel (SNP) pada proses adsorpsi surfaktan sodium lignosulfonat (SLS). Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2021.
- Broto, Wisnu. Produksi surfaktan glukosa ester dari beras dan berbagai asam lemak: kajian rantai Panjang karbon terhadap kestabilan emulsi. Universitas Diponegoro, Semarang. 2010.
- Hendraningrat L, Li S, Torsæter O. A core investigation of nanofluid enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 2013; 111: 128-138.
- Jiang L, Li S, Yu W et al. Interfacial study on the interaction between hydrophobic nanoparticles and ionic surfactant. *Colloids and Surfaces A* 2016; 488: 20-27.
- Juita R, Arnelli, Yusniati. Telaah surfaktan untuk proses enhanced oil recovery (eor) dan profil adsorpsi surfaktan A-Olefin Sulfonates (AOS). *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 2016; 19(1): 27-31.
- Nur fatwa, Deny. Pembuatan sodium lignosulfonat (SLS) dari isolat lignin tandan kosong kelapa sawit (TKS) dengan katalis NaOH pada proses sulfonasi. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.2014.
- Sharma T, Iglauer S, dan Sangwai J. Silica nanofluids in an oilfield polymer polyacrylamide: interfacial properties, wettability alteration, and application for chemical enhanced oil recovery. *Industrial and Engineering Chemist Research* 2016; 55(48): 12387-12397.
- Sugihardjo, Eni H. Substitution of petroleum base with MES base surfactant for EOR: laboratory screening. *Scientific Contribution Oil & Gas* 2014; 37(01): 35-44.
- Wu Y, Chen W, Dai C et al. Reducing surfactant adsoption on rock by silica nanoparticles for enhanced oil recovery. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 2017; 153: 283-287.
- Yuan C, Pu W, Wang X et al. Effect of interfacial tension emulsification, and surfactant concentration on oil recovery in surfactant flooding process for high temperature and high salinity reservoirs. *Energy Fuel* 2015; 29(10): 6165-6176.

