

Modifikasi Sodium Lignosulfonat Melalui Epoksidasi Minyak Biji Kapuk dan Penambahan Kosurfaktan

Muhammad Khoirul Anam¹, Suryo Purwono¹, dan Supranto¹

¹Departemen Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
JI Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55283

*Alamat korespondensi: khoirulanam14@gmail.com

ABSTRACT

The objective of this research is to reduce the interfacial tension of sodium lignosulfonate (SLS). SLS formulation (1%) showed the interfacial tension of 2.34 mN/m. This value is still relatively large when compared to interfacial tension of required surfactant for enhanced oil recovery (EOR). The terms of surfactants that can be used in EOR must have $\leq 10^{-3}$ mN/m interfacial tension. The weakness of SLS was expected to be improved by adding the epoxide compound and co-surfactants (1-octanol). Epoxide compound was made by reacting kapok oil with acetic acid and hydrogen peroxide with in-situ method. The epoxidation reaction was varied i.e. 60°C, 70°C and 80°C, while the time of reaction time was varied from 15 to 90 minutes. The evaluation showed that the reaction rate coefficient for the epoxide was $k = 124,82 \exp\left(\frac{-24,14}{RT}\right)$. The addition of the epoxide compound 0.5% w/w of the formulation SLS was able to reduce the interfacial tension value up to 9.95×10^{-2} mN/m. The addition of co-surfactant (1-oktanol) was varied between 0.1 and 0.4% of the total mass (SLS + epoxide + water formation). The lowest interfacial tension (2.43×10^{-3} mN/m) was obtained by co-surfactants addition of 0.2% w/w.

Keywords: Sodium lignosulfonat, epoxidation kapok oil, co-surfactant, interfacial tension, enhanced oil recovery

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan tegangan antarmuka dari sodium lignosulfonat (SLS). Pengukuran tegangan antarmuka yang telah dilakukan pada formulasi sodium lignosulfonat atau SLS (1%) memiliki nilai tegangan antarmuka 2,34 mN/m. Nilai tegangan antarmuka dari SLS masih relatif besar jika dibandingkan dengan syarat surfaktan untuk perolehan kembali minyak bumi atau *enhanced oil recovery* (EOR). Syarat surfaktan sebagai agen EOR adalah memiliki nilai tegangan antarmuka $\leq 10^{-3}$ mN/m. Kekurangan dari SLS diharapkan dapat diperbaiki dengan penambahan senyawa epoksida dan kosurfaktan (1-oktanol). Senyawa epoksida dibuat dengan mereaksikan sabun minyak biji kapuk dengan asam asetat dan hidrogen peroksida secara *insitu*. Reaksi epoksidasi divariasikan pada suhu 60°C, 70°C, dan 80°C, sedangkan waktu reaksi divariasikan pada 15 menit, 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Konstanta laju reaksi untuk epoksidasi diperoleh sebesar $k = 124,82 \exp\left(\frac{-24,14}{RT}\right)$. Penambahan senyawa epoksida 0,5% w/w pada formulasi SLS mampu menurunkan nilai Tegangan antarmuka hingga $9,95 \times 10^{-2}$ mN/m. Penambahan kosurfaktan 1-oktanol divariasikan antara 0,1–0,4% dari massa total formulasi utama (SLS+Epoksida+Air Formasi).

Nilai tegangan antarmuka terkecil diperoleh pada penambahan kosurfaktan sebanyak 0,2% w/w, yaitu sebesar $2,43 \times 10^{-3}$ mN/m.

Kata kunci: Sodium lignosulfonat, epoksidasi, minyak biji kapuk, kosurfaktan, tegangan antarmuka, *enhanced oil recovery*

1. Pendahuluan

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dapat digunakan sebagai bahan baku industri kertas. Pengolahan pada industri kertas akan menghasilkan limbah berupa lindi hitam (*black liquor*), sedangkan limbah berupa lindi hitam tidak boleh dibuang ke lingkungan secara langsung. Lindi hitam mengandung lignin hingga sekitar 20% berat kering TKKS. Oleh karena itu, lindi hitam sangat berpotensi untuk diolah lebih lanjut, misalnya menjadi sodium lignosulfonat (SLS).

Sodium lignosulfonat memiliki karakter sebagai surfaktan anionik, sehingga berpotensi untuk diaplikasikan pada *enhanced oil recovery* (EOR). *Enhanced oil recovery* merupakan penanganan perolehan lanjutan pada produksi minyak bumi. Produksi minyak bumi Indonesia mengalami penurunan sejak tahun 1999 (Mira dkk., 2011). Penurunan produksi dikarenakan kebanyakan sumur minyak Indonesia merupakan sumur-sumur tua (*mature fields*) sehingga kurang efektif jika dilakukan pengambilan melalui tahapan sekunder. Padahal residu minyak bumi yang terdapat pada sumur yang telah diproduksi masih berkisar 30–50% dari jumlah minyak bumi semula (Karnanda dkk., 2012). Maka metode EOR melalui mekanisme penurunan tegangan antar muka (*interfacial tension* atau IFT) dengan suatu surfaktan dapat diaplikasikan. Metode EOR ini lebih dikenal sebagai *surfactant flooding*. Syarat surfaktan dapat digunakan sebagai *surfactant flooding* adalah memiliki nilai IFT $\leq 10^{-3}$ mN/m. Sedangkan formulasi dengan SLS masih memiliki nilai IFT sebesar 4,406 mN/m (Teke, 2014).

Peningkatan kemampuan SLS dalam menurunkan tegangan antar muka dapat dibantu menggunakan senyawa epoksida dan 1-oktanol. Senyawa epoksida dapat dibuat dari asam lemak minyak biji kapuk. Biji kapuk memiliki asam

lemak tak jenuh (*double bond*) hingga 57%, sehingga berpotensi sebagai senyawa epoksida. Sifat reaktif dari cincin epoksida adalah alasan dipilihnya senyawa epoksida. Reaktivitas cincin oksiran dapat membuat senyawa epoksida untuk berikatan dengan senyawa yang memiliki muatan. Penambahan senyawa epoksida ke dalam formulasi diharapkan dapat berikatan dengan senyawa SLS. Ikatan SLS dan epoksida terjadi akibat terbukanya cincin oksiran yang ada pada senyawa epoksida (Ariska, 2011). Lebih lanjut, penambahan 1-oktanol dapat mengisi ruang kosong antar surfaktan dan mengurangi efek tolak menolak antar surfaktan (Teke, 2014). Oleh karena itu, kombinasi senyawa epoksida dan 1-oktanol dalam formulasi SLS diharapkan mampu memenuhi syarat sebagai surfaktan untuk EOR.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan Baku

Sodium Lignosulfonat (SLS) diperoleh dari Weifang Longstar Chemical Inc. Shandong, China. Minyak biji kapuk diperoleh dari PT. Subali Makmur, Semarang. Kosurfaktan: 1-oktanol (kemurnian 99%) diperoleh dari Sigma-Aldrich Co. LLC. Larutan NaOH 5M dan etanol 96% digunakan sebagai bahan saponifikasi. Bahan epoksida yang digunakan berupa hidrogen peroksida 50% dan asam asetat glasial. Asam sulfat 98% digunakan sebagai katalis pada reaksi epoksida. Air injeksi untuk formulasi diambil dari Lapangan Tempino PT Pertamina (Persero).

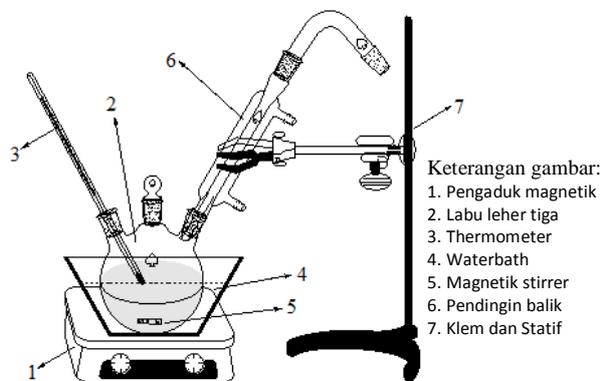
2.2 Tahap Saponifikasi

Saponifikasi minyak biji kapuk bertujuan untuk merubah sifat minyak yang hidrofobik menjadi semi hidrofobik (sabun). Proses saponifikasi dilakukan pada suhu 85°C (Campbell dkk., 2009). Larutan NaOH

direaksikan dengan etanol, selanjutnya direaksikan dengan minyak yang telah dipanaskan. Produk yang dihasilkan berupa sabun dan gliserol. Pemisahan kedua produk dilakukan dengan penambahan larutan NaCl jenuh. Penambahan larutan NaCl jenuh dapat menggumpalkan sabun yang masih tercampur dengan gliserol (Gebelein, 2005).

2.3 Tahap Epoksidasi

Proses epoksidasi bertujuan untuk menjadikan ikatan rangkap dua (*double bond*) menjadi cincin oksiran. Proses epoksidasi menggunakan metode *in situ*, reaktan direaksikan secara bersamaan. Prosedur reaksi oksidasi mengikuti Ariska (2011) dan Groud, dkk. (2006). Hidrogen peroksida dan asam asetat dengan perbandingan sebesar 1:1,4 dicampurkan dalam labu leher tiga (Gambar 1). Kemudian sabun ditambahkan ke dalam campuran (5 gram). Asam sulfat sebanyak 2% dari total reaktan ditambahkan dalam larutan yang telah homogen. Suhu dan waktu operasi menjadi variabel. Kecepatan pengadukan pada *hot plate* dilakukan pada skala tetap.



Gambar 1. Rangkaian alat epoksidasi

2.4 Tahap Analisis

Konsentrasi tiap waktu dari asam lemak tidak jenuh dievaluasi dengan bilangan iodin. Asam lemak tidak jenuh dalam minyak mampu bereaksi dengan iodin dan membentuk senyawa yang jenuh. Besarnya jumlah iodin yang bereaksi menunjukkan banyaknya ikatan rangkap yang terkandung dalam asam lemak. Pengukuran bilangan iodin dilakukan dengan metode Wijs. Konsentrasi ikatan rangkap dua dapat didekati

dengan bilangan iodin menggunakan Persamaan 1 (Siggia dan Hanna, 1979).

$$[DB] = \frac{(B-S) \cdot \bar{N} \cdot 12,69}{w} \quad (1)$$

Di mana:

[DB] = konsentrasi ikatan rangkap dua (mol/ml)

B = volume titrasi blangko (ml)

S = volume titrasi bahan uji (ml)

\bar{N} = normalitas Na₂S₂O₃

12,69 = massa bahan uji (gram)

Konversi asam lemak minyak biji kapuk dihitung mengikuti metode Sinadinović-Fišer dkk., (2001) seperti ditunjukkan dalam Persamaan 2.

$$\bar{x} = \frac{[DB]_0 - [DB]_t}{[DB]_0} \quad (2)$$

Dimana:

\bar{x} = konversi

[DB]₀ = konsentrasi mula-mula

[DB]_t = konsentrasi saat t waktu

Konsentrasi epoksida dikorelasikan dengan jumlah oksigen oksiran yang terbentuk selama proses epoksidasi. Konsentrasi epoksida yang terbentuk dapat dihitung dari oksigen oksiran eksperimen melalui metode dari *Association of Official Analytical Chemists* (AOCS Cd 9-57, 1989).

$$[OO]_e = \frac{1,6 \cdot V \cdot \bar{N}}{w} \quad (3)$$

dimana:

[OO]_e = Oksigen Oksiran experiment (mol/ml)

V = Larutan HBr yang digunakan untuk titrasi pada bahan percobaan (ml)

\bar{N} = Normalitas HBr (N)

w = Massa bahan percobaan yang digunakan (gram)

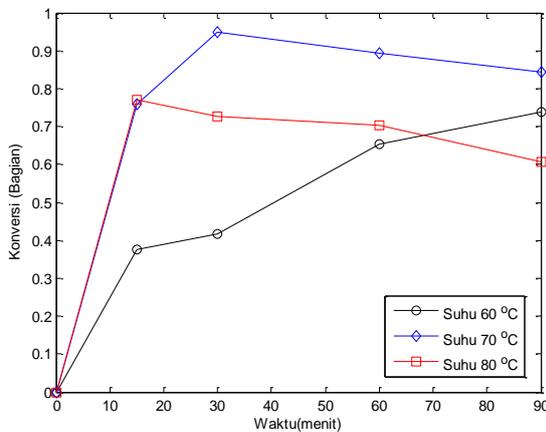
2.5 Tahap Formulasi

Bahan baku untuk membuat formula adalah sodium lignosulfonat (SLS), epoksida, kosurfaktan, dan air injeksi sebagai pelarut. Epoksida yang digunakan adalah hasil proses epoksidasi dengan konversi tertinggi. Proses formulasi dilakukan pada suhu 70°C selama 3 jam.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh suhu dan waktu reaksi epoksidasi

Reaksi epoksidasi diamati dengan membandingkan hasil konversi ikatan rangkap mula-mula dan ikatan rangkap setelah akhir epoksidasi. Konsentrasi ikatan rangkap dianalisis melalui bilangan iodine dengan metode Wijs. Perbandingan antara berbagai suhu pada penelitian dengan nilai konversi dilakukan untuk memperlihatkan adanya perbedaan pengaruh pada hasil konversi. Perbandingan penelitian pada berbagai suhu dan waktu terhadap nilai konversi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



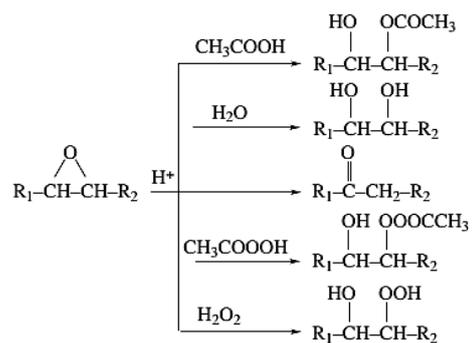
Gambar 2. Grafik nilai konversi pada berbagai kondisi operasi penelitian

Grafik nilai konversi pada suhu 60°C memperlihatkan kenaikan konversi dari waktu ke waktu. Kenaikan konversi mengindikasikan bahwa reaksi epoksidasi berjalan ke arah produk. Hal ini dibuktikan dengan menurunnya konsumsi titran dalam analisis. Waktu reaksi yang semakin meningkat akan meningkatkan nilai konversi dari ikatan rangkap dua menjadi senyawa epoksida, namun kenaikan waktu reaksi yang semakin lama juga akan mengakibatkan degradasi dari cincin oksiran (Mungroo, 2008).

Grafik nilai konversi pada suhu 70°C memperlihatkan kenaikan nilai konversi terjadi di waktu awal proses. Konversi mencapai nilai maksimum pada saat reaksi berjalan selama 30 menit, dan setelah itu konversi kembali turun perlahan. Jika didasarkan pada analisis *Association of Official Analytical Chemists*

(AOCS), maka penurunan nilai konversi berhubungan dengan berkurangnya jumlah titran $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang dibutuhkan dalam menetralkan iodine. Berkurangnya jumlah titran juga mengindikasikan meningkatnya jumlah ikatan hidrokarbon-iodida yang terbentuk akibat reaksi hidrokarbon ikatan rangkap dengan senyawa iodine. Sedangkan bila berdasarkan pada analisis bilangan epoksida nilai konsentrasi dari bilangan epoksida masih terjadi kenaikan pada suhu 70°C, sehingga ada kemungkinan terbentuknya hasil samping dari reaksi epoksidasi. Pada suhu di atas 65°C, kerusakan terjadi pada senyawa epoksida akibat terbukanya cincin oksiran. Terbukanya cincin oksiran akan membentuk senyawa glikol (produk samping yang tidak diinginkan). Suhu tinggi pada proses epoksidasi juga tidak dipilih. Hal tersebut dikarenakan reaksi yang melibatkan hidrogen peroksida termasuk reaksi eksotermis. Suhu yang tinggi juga dapat menghasilkan panas yang berlebihan dan dapat memicu terjadinya ledakan (Mungroo, 2008).

Reaksi pada suhu 80°C juga menunjukkan penurunan nilai konversi seiring bertambahnya waktu reaksi. Keadaan ini dapat dikarenakan adanya reaksi samping selama proses epoksidasi. Reaksi samping dari terbukanya cincin oksiran dengan katalis asam akan membentuk senyawa-senyawa turunan lainnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

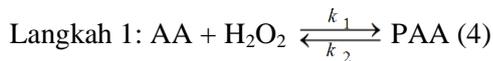


Gambar 3. Reaksi samping terbukanya cincin oksiran (Sinadinović-Fišer dkk., 2001)

3.2 Kinetika reaksi epoksidasi

Reaksi epoksidasi merupakan reaksi pembentukan gugus cincin oksiran dari ikatan rangkap. Terdapat dua reaksi utama dalam reaksi epoksidasi. Pertama, pembentukan asam peroksiasetat. Kedua, reaksi epoksidasi itu

sendiri. Penulisan persamaan dapat dilihat pada Persamaan 4 dan 5.



dimana,

AA = Acetic Acid

PAA = Peroacetic Acid

DB = Double Bonds

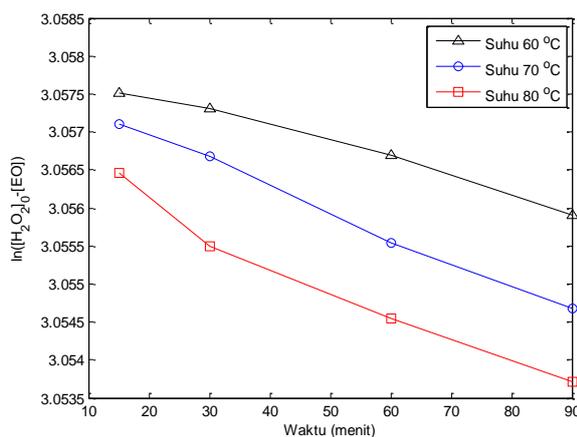
EO = Epoxidized Oil

k_1, k_2, k_3 = Reaction Rate Constant

Pendekatan reaksi epokidasi yang digunakan adalah bahwa reaksi mengikuti model *pseudo-first order* terhadap konsentrasi asam asetat. Hal ini adalah karena jumlah hidrogen peroksida dan asam asetat yang digunakan dibuat melebihi kebutuhan reaksi, sehingga dianggap konstan selama reaksi berlangsung. Selain itu, reaksi balik diabaikan. Maka laju reaksi pada Persamaan 4 dan 5 sebelumnya dapat ditulis sebagai Persamaan 6.

$$\ln \{[\text{H}_2\text{O}_2]_0 - [\text{EO}]\} = -k [\text{AA}]_0 t + \ln[\text{H}_2\text{O}_2]_0 \quad (6)$$

Berdasarkan Persamaan 6, maka grafik hubungan $\ln \{[\text{H}_2\text{O}_2]_0 - [\text{EO}]\}$ dan waktu reaksi untuk tiap suhu reaksi dapat diplotkan. Gambar 4 menunjukkan hasil evaluasi data percobaan pada suhu 60, 70, dan 80°C.



Gambar 4. Grafik hubungan waktu dan $\ln([\text{H}_2\text{O}_2]_0 - [\text{EO}])$ pada berbagai suhu

Berdasarkan pada Gambar 4, terlihat bahwa pembentukan senyawa epoksida [EO] bertambah seiring berjalannya waktu. Laju pembentukan

konentrasi epoksida berbeda pada tiap suhu reaksi, dengan suhu reaksi yang lebih tinggi (70°C dan 80°C) memberikan kecepatan pembentukan yang lebih cepat dibanding suhu reaksi 60°C. Percobaan dari tiap suhu dilinearisasi untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara data dan model persamaan. Kesesuaian tersebut diukur dengan nilai *R Square* (R^2). Berdasarkan pada Gambar 4, hasil linearisasi percobaan pada suhu 60°C, 70°C, dan 80°C dengan nilai *R Square* (R^2) ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1. Persamaan linear dan nilai R^2 pada berbagai suhu

Suhu (°C)	Persamaan Linear	R^2
60	$y = -2,155 \cdot 10^{-5} t + 3,058$	0,988
70	$y = -3,314 \cdot 10^{-5} t + 3,058$	0,996
80	$y = -3,518 \cdot 10^{-5} t + 3,057$	0,972

Tabel 2. Nilai konstanta kecepatan reaksi pada berbagai suhu

Suhu (°C)	Nilai $k \cdot 10^{-6}$ ($\text{L mol}^{-1} \text{menit}^{-1}$)
60	1,243
70	1,912
80	2,030

Persamaan linear yang didapat digunakan untuk memperoleh nilai konstanta kecepatan reaksi (k). Tabel 2 menunjukkan nilai konstanta kecepatan reaksi pada berbagai suhu. Hasil evaluasi menunjukkan nilai konstanta reaksi meningkat di rentang $1.2-2.1 \times 10^6 \text{ L mol}^{-1} \text{menit}^{-1}$ ketika suhu dinaikkan dari 60 ke 80°C.

Nilai konstanta kecepatan reaksi pada tiap suhu percobaan digunakan untuk mengevaluasi energi aktivasi (E_a) dan faktor tumbukan (A_r). Persamaan 7 digunakan untuk menentukan nilai dari E_a dan A_r .

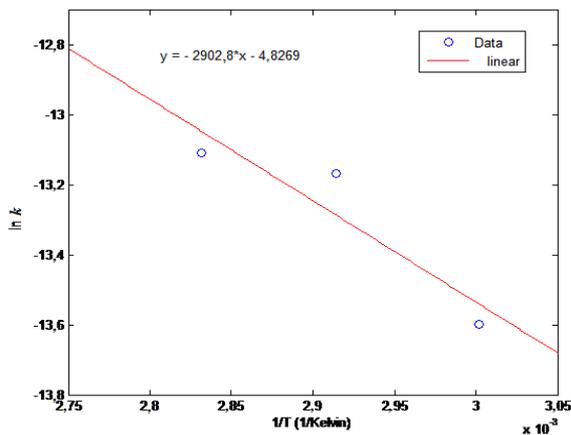
$$\ln k = \ln A_r - \frac{E_a}{R \cdot T} \quad (7)$$

Plot antara $\frac{1}{T}$ dan $\ln k$ akan menghasilkan

grafik hubungan suhu dan konstanta kecepatan reaksi, yang mana dapat dilihat pada Gambar 5.

Nilai faktor tumbukan (A_r) merupakan *intercept* dan energi aktivasi (E_a) merupakan *gradient* dari grafik pada Gambar 5. Nilai dari energi aktivasi pada epoksidasi sebesar 24,14 kJ/mol dan faktor tumbukan sebesar 124,82.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian dari Naidir dkk., (2012) yang memperoleh nilai energi aktivasi sebesar 69,4 kJ/mol pada zona suhu rendah dan nilai energi aktivasi sebesar 53,3 kJ/mol pada zona suhu tinggi. Selain itu, berbagai penelitian yang menggunakan bahan material lain menunjukkan kecenderungan yang sama. Dinda dkk. (2008) yang melakukan epoksidasi menggunakan minyak biji kapas memperoleh nilai energi aktivasi sebesar 48,67 kJ/mol. Okieimen dkk. (2002) melakukan epoksidasi dengan minyak biji karet, memperoleh nilai energi aktivasi sebesar 65,31 kJ/mol. Lebih lanjut, Cai dkk. (2008) membandingkan nilai energi aktivasi pada epoksidasi minyak kedelai 43,11 kJ/mol; minyak jagung 74,22 kJ/mol; dan minyak bunga matahari 85,21 kJ/mol.



Gambar 5. Grafik hubungan suhu dan konstanta kecepatan reaksi

Berdasarkan persamaan Arrhenius (Persamaan 7), maka persamaan konstanta kecepatan reaksi ikatan rangkap dua minyak biji kapuk menjadi cincin oksiran dapat dirumuskan menjadi Persamaan 8.

$$k = 124,82 \exp \left(- \frac{24,14 \text{ kJ/mol}}{R.T} \right) \quad (8)$$

3.3 Pengaruh penambahan epoksida dan kosurfaktan dalam menurunkan IFT

Penambahan senyawa epoksida dan kosurfaktan pada SLS diharapkan mampu menurunkan nilai IFT dari formulasi SLS. Hasil pengukuran nilai IFT dari formulasi SLS disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai IFT formula surfaktan

Jenis Formula	Komposisi				Nilai IFT (mN/m)
	SLS (g)	Epoksida (g)	Kosurfaktan: 1-oktanol (g)	Air Formasi (g)	
Formula A	0,15	-	-	29,7	2,34
Formula B	0,15	0,15	-	29,7	9,95 x 10 ⁻²
Formula C	0,15	0,15	0,03	29,7	6,08 x 10 ⁻³
Formula D	0,15	0,15	0,06	29,7	2,43 x 10 ⁻³
Formula E	0,15	0,15	0,09	29,7	2,53 x 10 ⁻³
Formula F	0,15	0,15	0,12	29,7	2,53 x 10 ⁻³

Tabel 3 menunjukkan jenis formula dengan memodifikasi SLS dan mendapatkan nilai IFT yang berbeda. Perbedaan formula A dan formula B terletak pada penambahan epoksida pada SLS. Penambahan tersebut mampu menurunkan nilai IFT dari 2,34 mN/m menjadi 0,1 mN/m. Formula C merupakan modifikasi dari Formula B dengan penambahan Kosurfaktan 0,1%. Penambahan kosurfaktan 0,1% mampu menurunkan nilai IFT Formula menjadi 6,08x10⁻³ mN/m. Guna mempelajari pengaruh penambahan kosurfaktan terhadap penurunan nilai IFT, maka pada Formula D jumlah kosurfaktan ditingkatkan menjadi 0,2%. Penambahan kosurfaktan sebanyak 0,2% mampu menurunkan nilai IFT mencapai 2.43x10⁻³ mN/m. Peningkatan penambahan kosurfaktan pada Formula E dan Formula F sebanyak 0,3% dan 0,4% tidak memberikan penurunan nilai IFT. Hal ini dapat dikarenakan adanya kelebihan kebutuhan jumlah kosurfaktan dalam formulasi yang memicu terbentuknya misel. Dari percobaan diatas dapat ditarik kesimpulan empiris bahwa Formula modifikasi SLS terbaik diperoleh dengan komposisi SLS, epoksida, dan kosurfaktan 1-oktanol 0,2%. Hal ini sesuai dengan pernyataan Green dan Paul (1998) yang menyebutkan bahwa penambahan kosurfaktan biasanya berkisar antara 0,1–0,2% dari formulasi dan dapat sedikit berbeda pada tiap kosurfaktan yang digunakan.

Penurunan nilai IFT dari tiap formula dapat dilihat dengan membandingkan semua pengukuran. Penurunan diameter minyak menunjukkan penurunan nilai IFT Formulasi. Gambar 6 menunjukkan perbedaan diameter dari crude oil Lapangan Tempino pada setiap formulasi.

Gambar 6 menunjukkan hasil foto dari tiap formulasi terhadap waktu untuk mencapai nilai

IFT yang konstan. Perbedaan nilai IFT terlihat dari diameter pada foto pengukuran Formulasi. Penurunan nilai IFT antara Formulasi A dan Formulasi B dikarenakan pengaruh penambahan epoksida dengan perbandingan SLS: epoksida adalah 1:1. Penurunan nilai IFT dari Formulasi B terhadap Formulasi C, D, E, dan F adalah pengaruh penambahan kosurfaktan. Formulasi D dengan penambahan kosurfaktan 0,2% memiliki nilai IFT yang lebih kecil bila dibandingkan dengan formulasi C yang ditambah kosurfaktan 0,1%. Pengaruh penambahan kosurfaktan lebih dari 0,2% pada formulasi E dan F tidak memberikan efek penurunan nilai IFT.

4. Kesimpulan

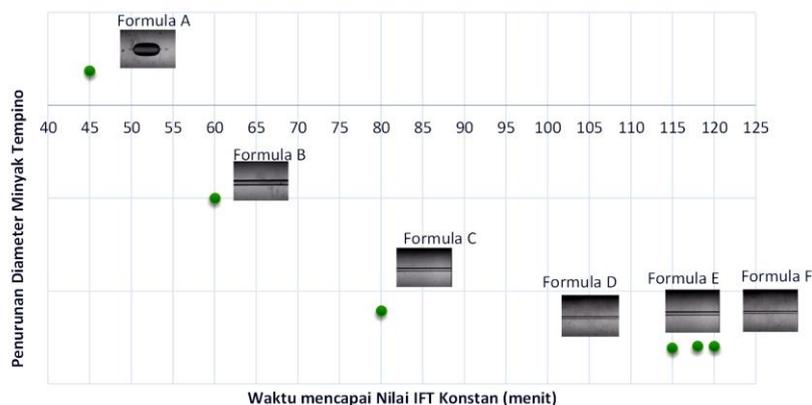
Modifikasi SLS dengan senyawa epoksida minyak biji kapuk dan kosurfaktan berhasil dilakukan. Pada proses epoksidasi, kenaikan suhu reaksi hingga 70°C dapat meningkatkan nilai konversi minyak biji kapuk ke senyawa epoksida. Suhu di atas 70°C akan mengakibatkan turunnya nilai konversi yang diakibatkan oleh reaksi samping. Senyawa epoksida dan kosurfaktan yang ditambahkan pada formulasi dapat menurunkan nilai IFT. Hasil optimum penambahan kosurfaktan didapat pada jumlah penambahan 0,2%. Penambahan kosurfaktan di atas 0,2% tidak memberikan penurunan terhadap nilai IFT.

5. Daftar Notasi

- [...] = Konsentrasi (mol/mL)
 A_r = Konstanta frekuensi tumbukan (faktor frekuensi)
 B = Volume titrasi blanko pada analisis bilangan iodin (mL)
 E_a = Energi aktivasi (kJ/ mol)
 k = Konstanta kecepatan reaksi (detik⁻¹)
 \bar{N} = Normalitas larutan Titrasi (N)
 R = Konstanta gas ideal (8,314 J·K⁻¹·mol⁻¹ atau 0,082 L·atm·K⁻¹·mol⁻¹)
 S = Volume titrasi bahan uji pada analisis bilangan iodin (milli liter)
 T = Suhu (Kelvin)
 t = Waktu (menit)
 v = Volume larutan HBr yang digunakan untuk titrasi oksigen oksiran (mL)
 w = Massa bahan percobaan (gram)
 \bar{x} = Konversi (bagian)
 y = $\ln ([H_2O_2]_0 - [EO])$

6. Daftar Singkatan

- °C = Derajat Celcius
 AA = Asam Asetat
 DB = Double Bond
 EO = Epoxidized Oil
 EOR = Enhanced Oil Recovery
 IFT = Interfacial Tension
 PAA = Pero Acetic Acid
 SLS = Sodium Ligno Sulfonate
 TKKS = Tandan Kosong Kelapa Sawit
 AOCS = Association of Official Analytical Chemists Society



Gambar 6. Grafik dari foto pengukuran nilai IFT dari formulasi

Daftar Pustaka

- Ariska, C.R., 2011, "Pembuatan Senyawa Epoksidasi dari Asam Oleat untuk Modifikasi Sodium Ligno Sulfonat (SLS)" (Tinjauan: Kinetika Reaksi Epoksidasi): Tesis, Fakultas Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Cai, C., Dai, H., Chen, R., and Su, C., 2008, "Studies on the kinetics of in situ epoxidation of vegetable oils", *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 110, 341–346.
- Campbell, N., Daniel, H., Robert, C., and Adam, J.K., 2009, "Calometric Measurement of Saponification Reaction of Sunflower Seed Oil" Syrris Ltd.
- Dinda, S., Patwardhan, A. V., Goud, V. V., and Pradhan, N. C., 2008, "Epoxidation of cottonseed oil by aqueous hydrogen peroxide catalysed by liquid inorganic acids", *Bioresource Technol.* 99, 3737–3744.
- Gebelein, C.G., 2005, *Chemistry and our world*, Brown Publishers, USA.
- Goud, V.V., Narayan, C.P., and Anand, V.P., 2006, "Epoxidation of Karanja (*Pongamia glabra*) Oil by H₂O₂", *JAACS*, Vol. 83, no. 7, AOCS Press.
- Green, D.W. and Paul, W., 1998, "Enhanced Oil Recovery", Society of Petroleum Engineers Inc., Texas: USA.
- Karnanda, W., Benzagouta M.S., Abdulrahman, A., and Amro, M.M., 2012, "Effect of temperature, pressure, salinity, and surfactant concentration on IFT for surfactant flooding optimization", *Saudi Society for Geosciences*.
- Mira, R., Irawadi, T., Ani, S., dan Dwi, S., 2011, "Penentuan Kondisi Proses Produksi Surfaktan MES Untuk Aplikasi EOR Pada Batuan Karbonat" *Agrointek* Volume 1, No. 1.
- Mungroo, R., Narayan, C.P., Vaibhav, V.G., and Ajay, K.D., 2008, "Epoxidation of Canola Oil with Hydrogen Peroxide Catalyzed by Acidic Ion Exchange Resin", *J Am Oil Chem Soc* (2008) 85:887–896.
- Naidir, F., Robiah, Y., Umer, R., Hassan, M., Tinia, I., M., Ghazi and Irmawati R., 2012, "The Kinetics of Epoxidation of Trimethylolpropane Ester", *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 2012,114, 816–822.
- Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society (AOCS), edited by David Firestone, 4th edition, American Oil Chemists' Society, Champaign, 1989, Method Cd 9-57.
- Okieimen, F.E., Bakare, O.I. and Okieimen, C.O., 2002, "Studies on the epoxidation of rubber seed oil", *Ind. Crops Prod.* 15,139–144.
- Siggia S, and Hanna JG. 1979. "Quantitative Organic Analysis via Functional Groups", Wiley Interscience, New York.
- Sinadinović-Fišer, S., Milovan, J., and Zoran, S.P., 2001, "Kinetics of in situ Epoxidation of Soybean Oil in Bulk Catalyzed by Ion Exchange Resin", *JAACS*, Vol. 78, no. 7, AOCS Press.
- Teke, J., 2014, "Pengaruh Penambahan Epoksidasi Asam Risinoleat Minyak Jarak (Castor Oil) dan Kosurfaktan terhadap Kinerja Sodium Lignosulfonat (SLS) dalam Menurunkan *Interfacial Tension* (IFT) Pada Proses Enhanced Oil Recovery (EOR)" Tesis, Pascasarjana Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.