

PENGARUH VARIASI SUHU, RASIO MOL REAKTAN DAN PERSEN KATALIS TERHADAP METIL ESTER SULFONAT MENGGUNAKAN REAKTOR SULFONASI

EFFECT OF TEMPERATURE VARIATION, REACTANT MOL RATIO AND CATALYST PERCENT ON METHYL ESTER SULFONATE USING SULFONATION REACTOR

Jaksen¹, Agus Manggala¹, Aisyah Suci Ningsih¹, Jenni Hilmasari^{1,*}, Sintiya Nur Aliza^{1,*}, Willy Al Kusari^{1,*}

¹Program Studi Teknik Energi/Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar, Palembang, +62711353414/+62711355918

email : ^{*}jennihilmasari08@gmail.com, s.nuraliza26@gmail.com, willyalkusari7@gmail.com

ABSTRACT

Surfactants are generally produced from petroleum and natural gas derivatives while petroleum reserves are depleting and cannot be renewed. This has the potential to cause an energy crisis on a global scale in the future. To solve this problem, alternative renewable raw materials are needed that can help make surfactants that are environmentally friendly, namely raw materials sourced from vegetable oil. One of the anionic surfactants that can be made from plant materials and is renewable is Methyl ester sulfonate. The purpose of this study was to determine the effect of the mole ratio, temperature and percent of the catalyst and the duration of the sulfonation reaction using NaHSO₃ reactants on the resulting MES. The production process of the MES surfactant is carried out by reacting the methyl ester with the sulfonation reagent in the form of NaHSO₃ and CaO catalyst in the sulfonation reactor. The results showed that MES had the best characteristics with an optimum state in the ratio of 1: 1.5 mole ratio with 1% CaO catalyst and a temperature of 110°C which resulted in several test parameters, namely the pH value, density, acid number and surface tension.

Keywords : Surfactants, Methyl Ester, Methyl Ester Sulfonate, Sulfonation.

1. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk salah satu Negara yang memiliki area perkebunan kelapa sawit yang sangat luas. Berdasarkan data Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian, Indonesia merupakan negara penghasil kelapa sawit terbesar dunia dengan produksi mencapai 51,8 juta ton pada 2019. Jumlah tersebut terdiri atas 47,18 juta ton minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil/CPO*) dan 4,6 juta ton minyak inti sawit (*Palm Kernel Oil/PKO*) (Badan Statistik Perkebunan, 2019).

Di Indonesia sendiri kelapa sawit dibandrol dengan nilai produk yang cukup rendah. Sehingga dilakukan suatu perubahan agar menaikkan nilai produk dari kelapa sawit dengan cara mengkonversikan minyak kelapa sawit menjadi surfaktan yang merupakan pengembangan produk ke arah hilir. Surfaktan memiliki nilai tambah hampir delapan kali lipat bila dibandingkan dengan minyak kelapa sawit mentah CPO dan PKO (Hambali dkk., 2004).

Surfaktan umumnya diproduksi dari turunan minyak bumi dan gas alam sementara cadangan

minyak bumi terus menipis dan tidak dapat diperbaharui. Hal ini sangat berpotensi menimbulkan krisis energi pada skala global di masa yang akan datang. Permasalahan lain yang juga harus dihadapi adalah surfaktan ini tidak ramah lingkungan (Arbianti dan Utami, 2008). Contohnya adalah Surfaktan ABS yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan karena sulit terdegradasi secara alami oleh mikroorganisme (Utomo, 2010). Untuk mengatasi persoalan tersebut, diperlukan alternatif bahan baku terbarukan yang dapat membantu pembuatan surfaktan yang bersifat ramah lingkungan, yakni bahan baku yang bersumber dari minyak nabati. Salah satu surfaktan anionik yang dapat dibuat dari bahan nabati dan bersifat terbarukan adalah Metil ester sulfonat.

Surfaktan atau *surfactant* berasal dari akronim *surface active agent* merupakan suatu molekul amphipatic atau amphiphilic yang mengandung gugus hidrofilik dan lipofilik dalam satu molekul yang sama atau suatu zat aktif permukaan (*surface active agent*) yang dapat menurunkan tegangan permukaan suatu media,

karena mempunyai kemampuan untuk menggabungkan bagian antar fasa yang berbeda seperti udara dan air ataupun fasa yang mempunyai kepolaran yang berbeda seperti minyak dan air.

Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES) adalah surfaktan anionik dengan struktur umum $RCH(CO_2ME)SO_3Na$. Surfaktan ini diperoleh melalui dua tahap utama yaitu esterifikasi-transesterifikasi bahan baku menghasilkan metil ester yang dilanjutkan dengan proses sulfonasi metil ester untuk menghasilkan MES (Watkins, 2001). Peranan surfaktan salah satunya sebagai bahan baku yang sangat penting pada proses eksploitasi minyak bumi. Surfaktan disemprotkan bersama air ke dalam bumi dan digunakan untuk meluluhkan minyak bumi yang terperangkap di dinding-dinding gua pada saat pengeboran untuk *Oil Recovery*, menyerupai sabun yang melarutkan minyak bersama air.

Proses produksi surfaktan MES dilakukan dengan mereaksikan metil ester dengan pereaksi sulfonasi. Menurut Bernardini (1983), pereaksi yang dapat dipakai pada proses sulfonasi antara lain asam sulfat (H_2SO_4), oleum (larutan SO_3 di dalam H_2SO_4), sulfur trioksida (SO_3), NH_2SO_3H , $NaHSO_3$ dan $ClSO_3H$. Untuk menghasilkan kualitas produk terbaik, beberapa perlakuan penting yang harus dipertimbangkan adalah rasio mol, suhu reaksi, konsentrasi grup sulfat yang ditambahkan, waktu netralisasi, jenis dan konsentrasi katalis, pH dan suhu netralisasi (Foster, 1996).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio mol, suhu dan persen katalis dan lama reaksi sulfonasi dengan menggunakan reaktan $NaHSO_3$ terhadap MES yang dihasilkan. Manfaat penelitian yaitu diperolehnya surfaktan yang ramah lingkungan pengganti surfaktan berbasis petroleum.

2. METODE

Peralatan dalam proses pembuatan Metil Ester Sulfonat adalah reaktor sulfonasi, hotplate stirrer dan alat timbang. Bahan yang digunakan untuk penelitian adalah fatty acid methyl ester, $NaHSO_3$ teknis, CaO teknis, etanol teknis, $NaOH$ teknis dan bahan kimia untuk analisis. Peralatan untuk analisis sampel adalah piknometer (PYREX), seperangkat alat titrasi (PYREX), peralatan gelas (PYREX) pipa kapiler dan kertas Ph (MERCK).

Bahan baku pembuatan MES berupa FAME, agen sulfonasi dan katalis di homogenkan dengan *stirrer* selama 300 menit. yang selanjutnya proses lanjutan berupa pemurnian MES hasil sulfonasi dengan bantuan etanol teknis. Setelah itu, produk dipisahkan dan didiamkan selama 2 jam sehingga membentuk dua lapisan, lapisan atas merupakan *metil ester sulfonat acid* dan lapisan bawah merupakan air, katalis sisa dan etanol selanjutnya proses penetralan menggunakan $NaOH$ teknis hingga pH netral. MES dibuat dengan

menggunakan variasi rasio mol metil ester dan reaktan $NaHSO_3$ (teknis) sebesar (1:1, 1:1,5, 1:2), dan variasi suhu reaksi (100 °C, 110 °C, 120 °C) dan variasi katalis (1%, 1,5% dan 2%). Untuk memurnikan dilakukan penambahan etanol (teknis) sebanyak 35% (v/v) pada suhu 55 °C dan direaksikan selama 1 jam. Proses selanjutnya adalah penetralan menggunakan $NaOH$ (teknis) 20 % dengan menggunakan suhu 55 °C selama 30 menit.

Pengujian Analisa Produk MES

Analisis yang dilakukan terhadap produk yang dihasilkan meliputi nilai Densitas (AOAC, 1995), Bilangan Asam (AOAC, 1995), Tegangan Permukaan (Metode Kapiler), Nilai pH .

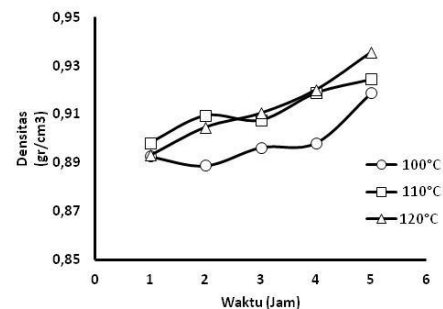
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pembuatan metil ester sulfonat ini menggunakan variabel tak tetap berupa suhu, rasio mol reaktan dan persen katalis. Sedangkan variabel tetap berupa jenis reaktan, jenis katalis dan pengambilan data dilakukan setiap 1 jam sekali selama 5 jam.

3.1 Pengaruh Suhu Terhadap Metil Ester Sulfonate (MES) yang dihasilkan

a. Pengaruh Suhu Terhadap Densitas MES

Densitas merupakan pengukuran massa setiap satuan volume benda. Ditinjau dari variasi suhu yang digunakan yaitu (100°C, 110°C dan 120°C) yang dilakukan pada proses sulfonasi. Pengaruh variasi suhu terhadap nilai densitas dapat dilihat pada Gambar 1.



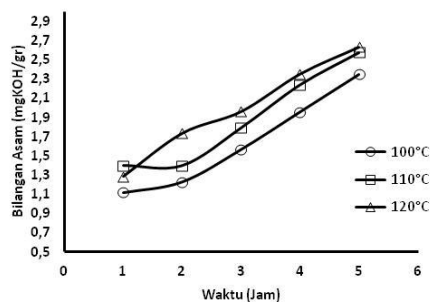
Gambar 1. Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Densitas MES

Suhu dan waktu berpengaruh pada nilai densitas cairan karena cairan akan meregang mengikuti perubahan peningkatan suhu. Nilai densitas MES yang dihasilkan pada penelitian mengalami peningkatan dari nilai densitas bahan baku FAME, yaitu dari $0,8697 \text{ g/cm}^3$ menjadi $0,8888$ sampai $0,9356 \text{ g/cm}^3$. Bertambahnya nilai densitas merupakan indikator bahwa selama proses sulfonasi terjadi konversi FAME menjadi surfaktan MES. Meningkatnya nilai densitas dipengaruhi oleh ukuran molekul dan gaya antarmolekul. Terikatnya gugus sulfonat SO_3 yang berasal dari Natrium Bisulfit pada struktur metil ester

menjadikan MES cenderung memiliki ukuran molekul yang lebih besar sehingga memiliki densitas yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakunya. Secara umum densitas yang dihasilkan menunjukkan tingkat kelarutan MES yang baik terhadap pelarutnya dikarenakan densitas MES yang dihasilkan mendekati densitas air 1 g/cm³ (Bantacut dan Darmanto, 2014)

b. Pengaruh Suhu Terhadap Bilangan Asam MES

Analisis bilangan asam metil ester sulfonat dinyatakan dalam mg KOH yang diperlukan untuk menetralisasi 1 g MES. Analisa bilangan asam dilakukan untuk mengukur tingkat konversi metil ester. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada variasi suhu, didapatkan bahwa semakin lama reaksi maka nilai bilangan asam semakin tinggi. Hal ini terlihat pada Gambar 2.

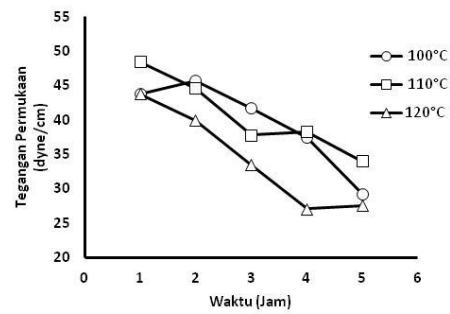


Gambar 2. Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Bilangan Asam MES

Hasil pengujian bilangan asam, seperti terlihat pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai bilangan asam terus meningkat dengan bertambahnya suhu dan waktu reaksi. Nilai bilangan asam MES yang dihasilkan pada penelitian mengalami peningkatan dari nilai bilangan asam bahan baku FAME, yaitu dari 0,5678 mgKOH/gr menjadi 1,1198 sampai 2,6314 mgKOH/gr. Hasil penelitian (Rivai dan Hidayati, 2004) dan (Edison, 2009) menunjukkan pola yang sama yaitu semakin lama proses sulfonasi akan meningkatkan bilangan asam. Peningkatan suhu dan lama reaksi akan menyebabkan peningkatan pembentukan sulfon dan reaksi samping seperti asam-asam berantai pendek seperti aldehid dan keton, pada degradasi yang lebih lanjut akan menghasilkan pembentukan asam sulfur yang menyebabkan peningkatan bilangan asam (Moreno dkk., 1988).

c. Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Permukaan MES

Tegangan permukaan (γ) adalah besar gaya (F dalam Newton) yang dialami permukaan zat cair persatuan panjang (L dalam meter). Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu dan lama pemanasan MES mampu menurunkan nilai tegangan permukaan dari air Gambar 3.

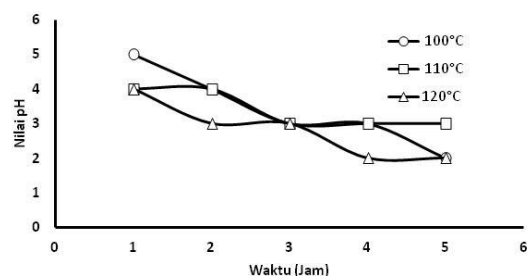


Gambar 3. Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Tegangan Permukaan MES

Surfaktan MES yang dihasilkan pada penelitian ini mampu menurunkan tegangan permukaan air dari 73,18 dyne/cm menjadi 27,51 – 48,41 dyne/cm. Dari Gambar 3.3 diatas lama reaksi sulfonasi akan menyebabkan penurunan tegangan permukaan MES. Suhu dan waktu pemanasan yang tinggi menyebabkan laju reaksi berlebihan yang menyebabkan degradasi MES yang menghasilkan garam disalt yang akan mengurangi kemampuan kinerja MES (Foster, 1996). Pada suhu tinggi, memungkinkan terjadinya oksidasi yang akan menyebabkan surfaktan bersifat asam yang akan mempengaruhi kinerja dari surfaktan MES. Suhu dapat mempercepat terjadinya reaksi dengan memperluas distribusi energi dan memperbanyak jumlah molekul yang mempunyai energi kinetik lebih tinggi daripada energi aktivasi sehingga memungkinkan semakin besarnya peluang untuk terjadinya tumbukan dan akan mempercepat terjadinya reaksi penguraian MES. Salah satu dari karakteristik MES adalah memiliki nilai tegangan permukaan sekitar 39–40,2 mN/m (dyne/cm) (Syamsu dkk., 2004).

d. Pengaruh Suhu Terhadap Nilai pH MES

Nilai pH juga sangat dipengaruhi oleh suhu, makin lama waktu reaksi pada berbagai variasi suhu, nilai pH cenderung menurun. Pengaruh suhu proses terhadap nilai pH yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.



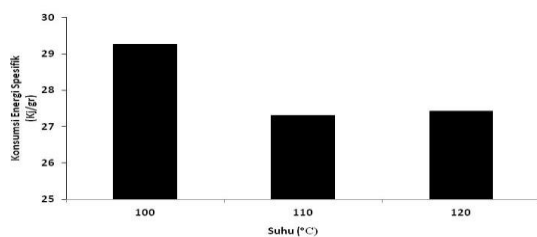
Gambar 4. Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Nilai pH MES

Grafik hubungan antara variasi suhu dan waktu reaksi terhadap nilai pH dapat dilihat pada Gambar 4. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur reaksi maka semakin besar pula

kemungkinan terbentuknya gugus sulfonat pada metil ester sehingga derajat keasaman pun semakin tinggi yang ditunjukkan dengan semakin rendahnya nilai pH MES. Keberadaan gugus sulfonat yang bersifat asam inilah yang menyebabkan derajat keasaman semakin tinggi. Produk MES yang dihasilkan bersifat asam, hal ini dibuktikan dengan nilai yang cukup rendah yaitu 5 - 2. Sifat asam ini disebabkan oleh ion H^+ yang terdapat pada gugus SO_3H .

e. Pengaruh Suhu Terhadap Nilai Konsumsi Energi Spesifik

Nilai konsumsi energi spesifik pada reaktor sulfonasi, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Konsumsi Energi Spesifik

Gambar 5 menunjukkan pengaruh temperatur reaksi terhadap Konsumsi Energi Spesifik (KES). KES didapatkan dari besarnya pemakaian energi yang diperlukan untuk memproduksi produk atau KES merupakan perbandingan total energi yang dikeluarkan alat pembuatan MES dengan persen yield yang dihasilkan.

KES tertinggi sebesar dicapai pada temperatur 100°C. Hal tersebut mengartikan bahwa temperatur berpengaruh terhadap konsumsi energi spesifik hal ini disebabkan jumlah produksi yang dihasilkan berbeda pada setiap suhu namun umpan bahan baku reaktor sama sehingga konversi bahan baku menjadi MES yang dihasilkan juga berbeda dihubungkan dengan persen yield yang dihasilkan pada proses ini bahwa semakin tinggi temperatur maka persen yield yang dihasilkan semakin tinggi hal inilah yang menyebabkan konsumsi energi spesifik tinggi pada temperatur 100 °C hal ini disebabkan % yield pada 100°C menghasilkan nilai yang paling kecil dibandingkan dengan % yield pada 110-120°C yang berbeda hanya sedikit. Kenaikan suhu reaksi menyebabkan energi kinetik reaktan lebih besar dibandingkan energi aktivasi reaksi sehingga laju reaksi pada suhu tersebut lebih besar dibandingkan laju reaksi pada suhu 100°C (Chalim dkk., 2017).

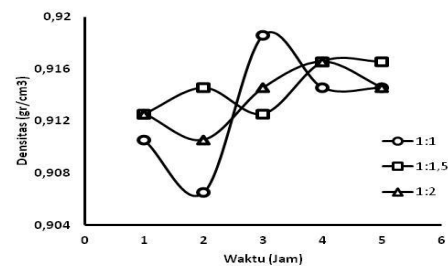
Besar kecilnya konsumsi energi spesifik yang didapat tergantung dengan konsumsi energi yang digunakan dan metil ester sulfonat yang didapatkan. Semakin rendah KES yang didapat maka energi yang digunakan maka energi yang digunakan untuk menghasilkan minyak semakin

bagus dan sebaliknya semakin tinggi KES yang didapat maka energi yang digunakan tidak termanfaatkan secara sempurna untuk menghasilkan metil ester sulfonat. Sehingga penggunaan suhu 110°C lebih efektif.

3.2 Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Metil Ester Sulfonate (MES) yang dihasilkan

a. Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Densitas MES

Grafik hubungan antara variasi konsentrasi mol reaktan dengan densitas dapat dilihat pada Gambar 6.



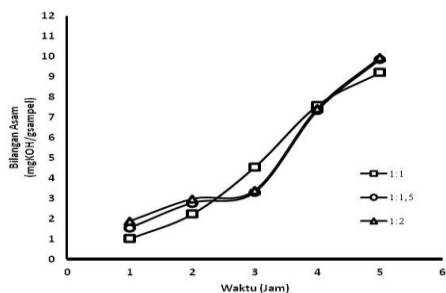
Gambar 6. Grafik Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Densitas MES

Densitas termasuk salah satu sifat dasar fluida, ialah pengukuran berat dari suatu volume sampel di suhu 25°C. efek suhu terhadap densitas suatu zat cair tak bisa diabaikan sebab dengan kenaikan suhu, cairan akan meregang mengikuti perubahan suhu. Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa terjadi penurunan densitas di lama operasi 2 jam dan kenaikan densitas di lama operasi 3 jam dengan rasio mol reaktan 1 banding 1. Hal ini disebabkan kesalahan dalam pengujian densitas dengan menggunakan piknometer yang sama dan kemungkinan dalam tahap pencucian alat piknometer yang kurang efisien.

Rata-rata densitas MES semakin tinggi dengan seiring bertambahnya lama waktu proses. Peningkatan densitas terjadi dikarenakan semakin lamanya waktu proses sulfonasi maka kesempatan gugus SO_3 untuk terikat pada ME semakin besar, sehingga meningkatkan pembentukan MES. Berdasarkan Sheats & Macarthur (2008), mekanisme reaksi bertahap pembentukan MES pada reaktor sulfonasi akan berdampak pada penambahan gugus SO_3H yang terbentuk, sebagai akibatnya menambah berat molekul senyawa serta menaikkan densitas.

b. Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Bilangan Asam MES

Grafik hubungan antara variasi konsentrasi mol reaktan dengan bilangan asam dapat dilihat pada Gambar 7.

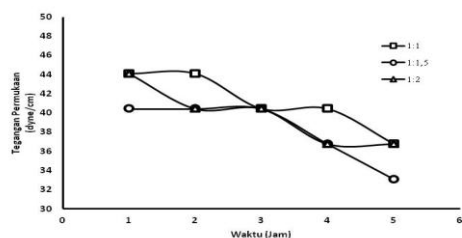


Gambar 7. Grafik Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Bilangan Asam MES

Bilangan asam adalah jumlah miligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam lemak bebas pada satu gram bahan. Produk MES bersifat asam sebab selama proses sulfonasi, SO_3 yang bersifat asam terikat di rantai karbon ME. Analisis bilangan asam MES yang diperoleh bervariasi yaitu menggunakan nilai rata-rata 1,020 mg KOH/g hingga menggunakan 9,960 mg KOH/g. Hasil penelitian menunjukkan bilangan asam MES berkorelasi positif dengan densitas yang semakin tinggi tetapi berkorelasi negatif dengan pH. Nilai pH dan bilangan asam berhubungan dengan terikatnya SO_3 yang bersifat asam pada struktur molekul produk yang tersulfonasi. Bilangan asam MES meningkat dengan bertambahnya lama proses sulfonasi. Meningkatnya bilangan asam menandakan bahwa meningkatnya jumlah SO_3 yang berikatan pada molekul produk tersulfonasi. Hasil penelitian (Hidayati dkk., 2016) menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio mol dan lama sulfonasi dapat meningkatkan bilangan asam. Hal ini disebabkan terjadi pembentukan asam-asam oleh sulfat yang bersifat oksidator.

c. Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Tegangan Permukaan MES

Grafik hubungan antara variasi konsentrasi mol reaktan dengan tegangan permukaan dapat dilihat pada Gambar 8.



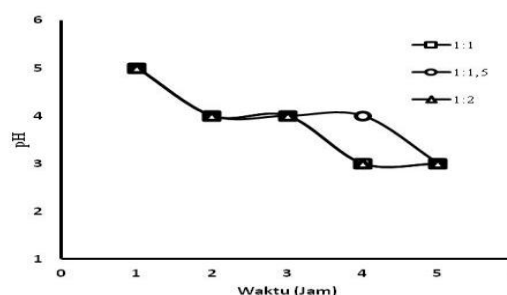
Gambar 8. Grafik Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Tegangan Permukaan MES

Tegangan permukaan adalah fenomena dampak adanya ketidakseimbangan antara gaya-gaya yang dialami oleh molekul-molekul yang berada di bagian atas antara molekul-molekul cairan dengan udara akibat gaya tarik menarik antara molekul-molekul cairan lebih besar dibanding pada gas. Hasil analisis tegangan

permukaan beberapa konsentrasi surfaktan MES pada berbagai kondisi proses bervariasi antara 33,08 dyne/cm sampai dengan 44,10 dyne/cm. Peningkatan rasio mol reaktan dan lama sulfonasi dapat menurunkan nilai tegangan permukaan. Hal ini disebabkan semakin besar rasio mol dan lama sulfonasi akan mengakibatkan proses oksidasi yang menghasilkan produk samping (*disalt*). Disalt dapat mengganggu bahkan menurunkan kinerja MES karena memiliki sifat yang tidak diinginkan yaitu tidak larut dalam air (Adiandri, 2006).

d. Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Nilai pH MES

Grafik hubungan antara variasi konsentrasi mol reaktan dengan nilai pH dapat dilihat pada Gambar 9.

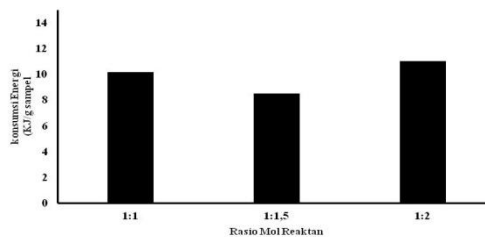


Gambar 9. Grafik Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Nilai pH MES

Pengukuran derajat keasaman (pH) digunakan untuk taraf keasaman MES. Gugus SO_3 berasal NaHSO_3 sebagai reaktan di proses sulfonasi bersifat asam kuat sebagai akibatnya produk MES yang didapatkan bersifat asam. Analisis pH MES bervariasi yaitu dengan nilai rata-rata pH 3 sampai dengan 5. Nilai pH MES berkaitan berhubungan erat dengan terikatnya gas SO_3 sebagai reaktan di proses sulfonasi yang bersifat asam kuat, semakin lama periode proses maka terikatnya SO_3 akan semakin besar sehingga produk MES yang didapatkan bersifat asam serta akan menurunkan nilai pH

e. Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Nilai Konsumsi Energi Spesifik MES

Grafik hubungan antara variasi konsentrasi mol reaktan dengan nilai konsumsi energi dapat dilihat pada Gambar 10.



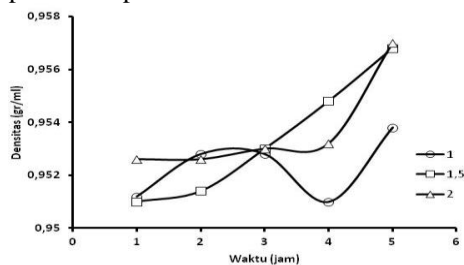
Gambar 10. Grafik Pengaruh Rasio Mol Reaktan Terhadap Nilai Konsumsi Energi Spesifik MES

Indeks energi atau Konsumsi Energi Spesifik (KES) merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya pemakaian energi yang diperlukan untuk memproduksi produk. Rasio mol reaktan 1:1,5 memiliki jumlah kebutuhan energi yang terkecil dan sangat efisien dibandingkan dengan rasio mol reaktan 1:2, hal ini diakibatkan jumlah reaktan lebih banyak sehingga dibutuhkan lebih banyak energi untuk mengkonversi reaktan tersebut namun kondisi operasi yang digunakan tetap sama sehingga menyebabkan rasio 1:2 menghasilkan persen yield yang kecil yang menyebabkan konsumsi energi meningkat.

3.3 Pengaruh Persen Katalis Terhadap Metil Ester Sulfonate (MES) yang dihasilkan

a. Pengaruh Persen Katalis Terhadap Densitas MES

Hasil penelitian densitas yang dihasilkan oleh proses sulfonasi pada variasi persen katalis dapat dilihat pada Gambar 11.

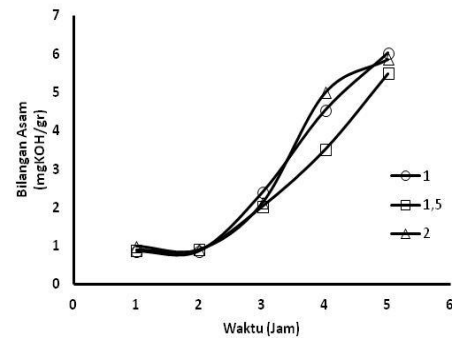


Gambar 11. Grafik Pengaruh Persen Katalis Terhadap Densitas

Dari Gambar 11 Rata-rata densitas MES meningkat dengan bertambahnya lama sulfonasi dan variasi katalisnya. Peningkatan densitas terjadi dikarenakan gugus SO_3 untuk terikat pada ME semakin besar, sebagai akibatnya menambah berat molekul senyawa serta menaikkan densitas. Densitas terbaik didapatkan pada lama sulfonasi 5 jam dengan katalis 2% yaitu 0,9570 gr/ml menunjukkan tingkat kelarutan MES yang baik pada pelarutnya karena massa jenis MES mendekati massa jenis air yaitu 1 g/cm³. Merujuk pada penelitian Sheats dan Macarthur (2008) densitas mes dihasilkan 0,92 g/cm³. Pada penambahan katalis CaO 1% dengan waktu 4 jam mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan penambahan CaO belum terkonversi sempurna dan menyebabkan berat molekul tidak bertambah. (Reddy dkk., 2006) Dalam suatu reaksi sebenarnya katalis ikut terlibat, tetapi pada akhir reaksi terbentuk kembali seperti semula. Dengan demikian, katalis tidak memberikan tambahan energi pada sistem dan secara termodinamika tidak dapat mempengaruhi keseimbangan.

b. Pengaruh Persen Katalis Terhadap Bilangan Asam MES

Hasil penelitian bilangan asam yang dihasilkan oleh proses sulfonasi pada variasi persen katalis dapat dilihat pada Gambar 12.

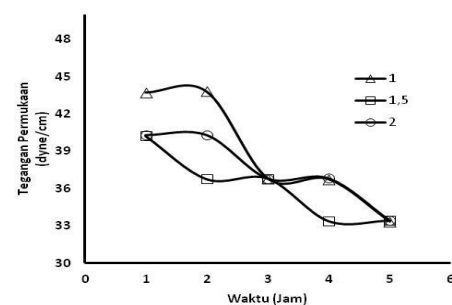


Gambar 12. Grafik Pengaruh Persen Katalis Terhadap Bilangan Asam

Dari Gambar 12 rata-rata bilangan asam MES meningkat dengan bertambahnya lama sulfonasi dan variasi katalisnya. Nilai bilangan asam terbaik didapatkan pada katalis 1% yaitu 6,0255 mgKOH/gr lebih tinggi dibandingkan dengan SNI bilangan asam metil ester sebesar 0,5 mgKOH/g. Karena gugus sulfonat yang terbentuk dari proses sulfonasi semakin banyak sehingga derajat keasamannya semakin meningkat. Hal ini mengakibatkan meningkatnya nilai bilangan asam produk MES yang dihasilkan sebesar 7,47 mg KOH/g merujuk pada hasil penelitian dari Bantacut dan Darmanto (2014).

c. Pengaruh Persen Katalis Terhadap Tegangan Permukaan MES

Hasil penelitian tegangan permukaan yang dihasilkan oleh proses sulfonasi pada variasi persen katalis dapat dilihat pada Gambar 13.



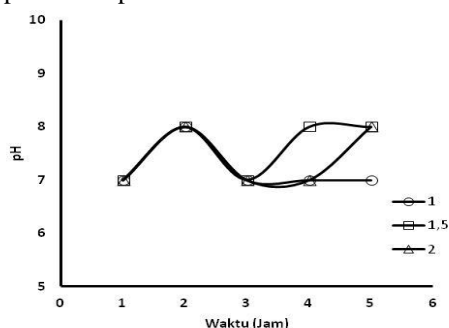
Gambar 13. Grafik Pengaruh Persen Katalis Terhadap Tegangan Permukaan

Surfaktan MES yang dihasilkan pada penelitian ini mampu menurunkan tegangan permukaan air dari 73,43 dyne/cm menjadi 28,14 dyne/cm. Rata-rata tegangan permukaan MES menurun dengan bertambahnya lama sulfonasi dan variasi katalisnya. Hal ini sesuai dengan kajian teori yang menyatakan surfaktan merupakan zat aktif permukaan (*surface active agent*) yang dapat

menurunkan tegangan permukaan suatu media, karena mempunyai kemampuan untuk menggabungkan bagian antar fase yang berbeda seperti udara dan air ataupun fase yang mempunyai kepolaran yang berbeda seperti minyak dan air (Chasani dkk., 2014). Turunnya tegangan permukaan terjadi karena masuknya surfaktan ke dalam fase air dan fase minyak. Surfaktan memiliki bagian kepala yang bersifat menyukai air atau hidrofilik sehingga bagian kepala tersebut masuk ke fase air, surfaktan juga memiliki bagian ekor yang bersifat tidak menyukai air atau hidrofobik sehingga bagian ekor tersebut masuk ke fase minyak. Interaksi kepala dan ekor surfaktan dengan dua fase tersebut menyebabkan penurunan tegangan permukaan antar fase. Ketika bagian-bagian dari surfaktan masuk ke dalam fase air dan fase minyak sesuai ketertarikannya maka molekul surfaktan akan diserap atau diadsorpsi lebih kuat oleh air dibandingkan dengan minyak apabila bagian kepala yang lebih menyukai fase air lebih dominan. Hal ini menyebabkan tegangan permukaan air menjadi lebih rendah sehingga dapat menyebar dengan lebih mudah. Sebaliknya, jika bagian ekor yang lebih menyukai fase minyak lebih dominan maka molekul-molekul surfaktan akan diadsorpsi lebih kuat oleh minyak dibandingkan dengan air dan menyebabkan tegangan permukaan minyak menjadi lebih rendah sehingga mudah menyebar (Sekhon dan Singh, 2013). Tegangan permukaan yang terendah didapatkan pada lama sulfonasi 5 jam dengan katalis 1% yaitu 28,04 dyne/cm.

d. Pengaruh Porsen Katalis Terhadap Nilai pH MES

Hasil penelitian nilai Ph yang dihasilkan oleh proses sulfonasi pada variasi porsen katalis dapat dilihat pada Gambar 14.



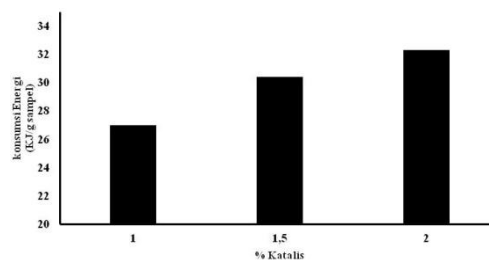
Gambar 14. Grafik Pengaruh Porsen Katalis Terhadap Nilai pH

Gambar 14 nilai pH MES mengalami kenaikan dan penurunan seiring dengan semakin besarnya variasi katalis CaO ditambahkan dengan lama waktu sulfonasi. Penurunan nilai pH ini karena semakin banyak gugus SO_3^- yang diikat oleh FAME pada proses MES dan melepaskan atom H sehingga menyebabkan produk MES bersifat asam.

Semakin lama proses sulfonasi semakin asam produk MES yang didapat dan nilai pH semakin rendah. Namun setelah proses netralisasi dengan menambahkan NaOH mes bersifat netral dan pH yang dihasilkan menjadi netral. Hal ini dikarenakan mes yang netral dapat diaplikasikan pada teknologi air injeksi sumur kering minyak bumi (*Enhanced Oil Recovery*) sesuai dengan penelitian dari Bantacut dan Darmanto (2014) pH yang dihasilkan sebesar 7,84.

e. Pengaruh Porsen Katalis Terhadap Nilai Konsumsi Energi MES

Nilai konsumsi energi spesifik pada reaktor sulfonasi, dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Pengaruh Porsen Katalis Terhadap Nilai pH

Hasil analisis kebutuhan energi spesifik diberbagai keadaan konsentrasi katalis bervariasi antara 26985,2 J/gr hingga 32341,7 J/gr. Gambar 4.6 diatas dapat analisis bahwa katalis CaO berpengaruh pada jumlah kebutuhan energi untuk 1 gram mes dengan menggunakan reaktor sulfonasi. Katalis CaO 1% memiliki jumlah kebutuhan energi yang terkecil dan sangat efisien dibandingkan dengan katalis CaO 1,5% dan 2%. Karena jumlah produk yang dihasilkan pada penggunaan katalis CaO 1,5% dan 2% lebih banyak dibandingkan katalis 1% yang relatif rendah. Hal inilah yang menyebabkan konsumsi energi spesifik lebih besar dikarenakan konsumsi energi adalah energi yang digunakan untuk menghasilkan produk sehingga semakin banyak produk yang dihasilkan maka semakin tinggi energi yang dibutuhkan sesuai dengan teori yang dinyatakan oleh Suheta dan Huda (2017).

4. PERBANDINGAN HASIL PRODUKSI METIL ESTER SULFONAT PADA PENELITIAN TERDAHULU

Metil Ester Sulfonate (MES) dari metil ester CPO melalui proses sulfonasi menggunakan katalis CaO di dalam sebuah reaktor. Kualitas dari MES dapat ditentukan dengan mengetahui karakteristik fisik seperti bilangan asam, tegangan permukaan dan densitas. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 dan juga perbandingan dengan penelitian sebelumnya.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Produksi MES Dengan Penelitian Terdahulu

Bahan Baku	Agen Sulfonasi	Bilangan Asam (mgKOH/gram)	Tegangan Permukaan (dyne/cm)	Densitas (gr/ml)	Referensi
Minyak Jelantah	H ₂ SO ₄	1,61 - 4,22	27,35 - 35		Hidayati, dkk., 2012
Minyak Sawit (CPO)	Gas SO ₃		31,6 - 50		Mansur, dkk., 2007
Minyak Sawit (PKO)	NaHSO ₃	16,32	32,8		Hidayati, dkk., 2015
Metil Laurat	NaHSO ₃	1 - 1,3	39,3 - 46,0		Iman, dkk., 2016
Minyak Sawit (CPO)	Na ₂ S ₂ O ₅		23,4 - 25,1	0,8731 - 0,8749	Suhendri, dkk., 2016
Minyak Sawit (CPO)	NaHSO ₃	1,11 - 2,63	36,59 - 53,67	0,8888 - 0,9356	Penelitian Saat Ini

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa konversi metil ester berbasis CPO dengan agen pensulfonasi NaHSO₃ menjadi metil ester sulfonate menghasilkan nilai densitas yang tinggi dan tegangan permukaan yang tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Namun memiliki nilai bilangan asam yang rendah. Semakin kuat acid agen sulfonasi yang digunakan semakin tinggi nilai bilangan asam yang mengartikan semakin terkonversi sempurna.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada data penelitian dan pembahasan yang telah diperoleh pada penelitian. Variasi suhu, rasio mol reaktan dan persen katalis memberikan pengaruh terhadap MES yang dihasilkan. Pada variasi suhu menghasilkan suhu optimum 110°C dengan nilai densitas dan bilangan asam yang meningkat sedangkan tegangan permukaan dan nilai pH menurun terhadap lama waktu sulfonasi dan menghasilkan nilai konsumsi energi terkecil yang berarti nilai persen yield tinggi. Pada variasi rasio mol reaktan didapatkan pada rasio mol 1 : 1,5 dengan nilai pH dan tegangan permukaan menurun berbanding terbalik dengan bilangan asam dan densitas yang meningkat serta nilai konsumsi energi terkecil sedangkan untuk variasi persen katalis CaO didapatkan pada katalis CaO 1% dengan nilai pH, dan tegangan permukaan menurun dengan nilai konsumsi energi terkecil serta densitas dan bilangan asam meningkat sehingga didapatkan kondisi optimal proses sulfonasi pada suhu 110°C, rasio mol 1 : 1,5 dan persen katalis CaO 1%. Kondisi terbaik pada suhu 110°C, katalis 1% dan rasio mol 1:1,5 menghasilkan karakteristik MES yang dihasilkan yaitu densitas 0,8888-0,9356 gr/cm³, bilangan asam 1,1198-2,6314 mgKOH/gr, dan tegangan permukaan 36,59 – 53,67 dyne/cm.

DAFTAR PUSTAKA

Adiandri, R.S., 2006, Kajian Pengaruh Konsentrasi Metanol dan Lama Reaksi pada Proses Pemurnian Metil Ester Sulfonat terhadap Karakteristik Detergen Bubuk, Tesis, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor.

AOAC. 1995. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. AOAC, Washington. <http://www.chemithon.com> [01 Juli 2020].

Arbianti, R., dan Utami, T. S.(2008). Isolasi Metil Laurat Dari Minyak Kelapa Sebagai Bahan Baku Surfaktan Fatty Alcohol Sulfate (FAS). *MAKARA*, 12(2), 61-64.

Badan Pusat Statistik. 2019. Pembakuan Statistik Perkebunan. Jakarta.

Bantacut, T., dan Darmanto, W. (2014). Zat Yang Mampu Meningkatkan Laju Suatu Reaksi Kimia Agar Reaksi Tersebut Dapat Berjalan Lebih Cepat. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 24 (2)(Agustus), 105–113.

Bernardini E. 1983. Vegetable Oils and Fats Processing. Volume II. Interstampa, Rome.

Chalim, A., Wibowo, A. A., Suryandari, A. S., Syarifuddin, M., dan Tohir, M. (2017). Studi Kinetika Reaksi Metanolisis Pembuatan Metil Ester Sulfonat (MES) Menggunakan Reaktor Batch Berpengaduk. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1(October), 28–34.

Chasani, M., Nursalim, V. ., Widyaningsih, S., Budiasih, I. N., dan Kurniawan, W. A. (2014). Sintesis, Pemurnian Dan Karakterisasi Metil Ester Sulfonat (Mes) Sebagai Bahan Inti Deterjen Dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L). *Jurnal Molekul*, 9 (1)(Mei), 63–72

Edison, R. and Hidayati, S., (2009), Production Surfactant Methyl Ester Sulfonate (MES) of Jatropha Oil (*Jatropha Curcas* L.) with Temperature and Time Sulfonation, Temperature Purification, and Concentration Methanol Settings, Proceeding International Seminar on Sustainable Biomass Production and Utilization Challenges and Opportunities (ISOMASS) August, pp 250-263.

Foster, N.C. 1996. Sulfonation and Sulfation Processes. In : Soap and Detergents : A Theoretical and Practical Review. Spitz, L. (Ed). AOCS Press, Champaign, Illinois.

- Hambali, E., Mujdalifah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., & Hendroko, R. (2007). *Teknologi bioenergi*. AgroMedia.
- Hidayati, S., Gultom, N., dan Eni, H. (2012). Optimasi Produksi Metil Ester Sulfonat Dari Metil Ester Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Indonesia*. 14(2), 165-172.
- Hidayati, S., Suryani, A., Pernadi, P., Hambali, E., Syamsu, K., dan Sukardi (2015). Optimasi Proses Pembuatan Metil Ester Sulfonat Dari Minyak Inti Sawit. *Jurnal Teknik Indonesia*. 15(3), 96-100.
- Hidayati, S., Pernadi, P., dan Eni, H. (2016). Pengaruh Rasio Mol Reaktan Dan Lama Sulfonasi Terhadap Karakteristik Methyl Ester Sulfonic (MES) Dari Metil Ester Minyak Sawit. *AGRITECH*, 36(1), 39-47.
- Iman, N., Rahman, A., dan Nurhaeni. (2016) Sintesis Surfaktan Metil Ester Sulfonic (MES) From Methyl Laurate. *KOVALEN*, 2(2), 54-66.
- Matheson, K.L. (1996). *Surfactant Raw Materials: Classification, Synthesis, And Uses.*: Spitz, L. (Ed). *Soap and Detergents: A Theoretical and Practical Review*. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- Moreno, J.B, Bravo, J., and Berna, J.L., (1988), Influence of sulfonated material and its sulfone content on the physical of linier alkyl benzene sulfonates. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 65 (6), pp. 1000-1006.
- Pore J. 1976. *Oil and Fats Manual*. Intercept Ltd, Andover, New York
- Rivai, M., (2004), *Kajian Pengaruh Nisbah Reaktan H₂SO₄ dan Lama Reaksi Sulfonasi terhadap Kinerja Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES) yang dihasilkan*, Master Thesis. Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.
- Reddy, V. Reddy, R. Oshel and J. G. Verkade. 2006. Room- temperature Conversion of Soybean Oil and Poultry Fat to Biodiesel Catalyzed by Nanocrystalline Calcium, *Energy and Fuels*. 20. 2006. 1310-1314.
- Sekhon, Bhupinder Singh. 2013. *Surfactants: Pharmaceutical and Medicinal Aspects*. *Journal of Pharmaceutical Technology, Research and Management*, 1: 11-36.
- Sheats, W.B., dan Macarthur, B.W. (2008). *Methyl Ester Sulfonate Products*. New York.
- Suhendri, Nirwana, dan Irdoni. (2016). Sintesa Surfaktan Ramah Lingkungan Metil Ester Sulfonat Dari *Palm Oil Methyl Ester* Menggunakan Natrium Metabisulfit Dan Katalis Aluminium Oksida. *Jurnal FTEKNIK*, 3 (1)(Februari), 1-8.
- Suheta, T., dan Huda, M. F. (2017). Audit Penggunaan Energi Listrik Pada Apartment Metropolitan Surabaya. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan V*, (10), 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2013.09.009>
- Syamsu K., Suryani A, Nunung DP. 2004. Kajian Pengaruh Konsentrasi H₂SO₄ dan Suhu Reaksi pada Proses Produksi Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES) dengan Metode Sulfonasi. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 14(2): 67-73.
- Utomo, R. N. (2010). *Potensi Bakteri Pembentuk Biofilm dalam Mendegradasi Linier Alkilbenzene Sulfonat pada berbagai Ukuran Batu*, Skripsi. FMIPA Universitas Brawijaya: Malang.
- Watkins, C. 2001. *Laundry Detergent Tablets*. *INFORM 10 (11) : 1008- 1013*.