



## Sintesis Metil Ester Sulfonat dari Minyak Mahoni (*Swietenia mahagoni* Linn) Menggunakan Reagen Natrium Bisulfit

Laily Nurliana<sup>1\*</sup>, Fitria Kasman.<sup>1</sup>, Halimatussadiyah Ritonga<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Kimia FMIPA Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

\*e-mail : [laylinurliana@gmail.com](mailto:laylinurliana@gmail.com)

### Abstract

*Sintesis metil ester sulfonat (MES) dari minyak biji mahoni (*Swietenia macrophylla* K.) menggunakan reagen natrium bisulfit ( $\text{NaHSO}_3$ ) telah berhasil dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase hasil MES, karakteristik MES, hasil identifikasi MES menggunakan spektrofotometer FTIR. Penelitian ini menggunakan metode sokletasi untuk mengekstrak minyak. Minyak mahoni murni diesterifikasi menggunakan metanol dengan perbandingan mol minyak:metanol (1:6). Langkah selanjutnya yaitu transesterifikasi menggunakan metanol dengan perbandingan mol (1:15) memberikan persen hasil sebesar 57,89%. Metil ester disulfonasi dengan  $\text{NaHSO}_3$  PA dengan rasio mol 1:1,5 selama 4,5 jam. Hasil penelitian menunjukkan persen hasil MES sebesar 52,27%, stabilitas emulsi sebesar 77,5% dan densitas rata-rata sebesar 1,1g/mL. Karakterisasi MES menggunakan spektrofotometer FTIR menunjukkan adanya gugus O-H, S=O dan gugus S-O pada bilangan gelombang  $3464,15\text{cm}^{-1}$ ;  $1172,72\text{cm}^{-1}$ ;  $840,96\text{cm}^{-1}$  dan  $725,23\text{cm}^{-1}$ .*

**Keywords:** : Metil Ester Sulfonat, Mahoni, Transesterifikasi, Sulfonasi

### PENDAHULUAN

Detergen sebagai bahan pembersih sintesis sangat efektif dalam mengangkat kotoran sehingga digunakan dalam proses pencucian. Produk detergen termasuk dalam produk yang menghasilkan limbah yang dapat mempengaruhi sumber daya alam dan lingkungan, misalnya pencemaran air dan tanah. Limbah yang dihasilkan oleh deterjen mengandung bahan-bahan aktif seperti surfaktan Alkil Benzena Sulfonat (ABS) dan Linear Alkil Sulfonat (LAS) yang dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan makhluk hidup karena sulit diuraikan oleh mikroorganisme dan dapat mencemari lingkungan (Radiansyah, 2011). Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan detergen yang mudah terurai sehingga dapat mencegah dampak pencemaran yang dapat ditimbulkan terhadap lingkungan (Widayati, dkk 2018).

Kandungan detergen yang utama adalah surfaktan. 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. Sifat ini disebabkan struktur ampifilik surfaktan yang memiliki gugus hidrofilik (polar) dan gugus hidrofobik (non polar) (Chasani, dkk 2014).

Sebagian besar surfaktan diproduksi dari minyak bumi atau fosil yang ketersediaannya semakin menurun karena tidak dapat diperbaharui. Surfaktan berbasis minyak nabati memberikan beberapa keunggulan diantaranya bahan baku yang dapat diperbaharui, mudah terdegradasi dan bebas dari hidrokarbon aromatik sehingga lebih ramah lingkungan. Minyak nabati seperti minyak kelapa sawit, inti sawit dan kedelai dapat dikonversi menjadi fatty acid methyl ester (FAME) yang kemudian menjadi bahan baku surfaktan berbasis minyak nabati (Chalim, dkk 2017). Salah satu bahan baku alternatif lain yang memiliki potensi besar adalah minyak biji mahoni (*Swietenia macrophylla* K.).

Kandungan minyak biji mahoni lebih besar dari kandungan minyak biji jarak pagar yang sekitar 30-50%. Komposisi asam lemak pada minyak biji mahoni adalah asam stearat (10,41%), asam palmitat

(21,39%), asam oleat (64,62%) dan asam-asam lain (3,58%) (Daryono, dkk 2014). Panjang rantai karbon pada asam lemak memberikan peran yang berbeda tergantung dari panjang rantai karbon tersebut. Asam lemak dengan rantai karbon C12–C14 memiliki kemampuan pembusaan, sedangkan asam lemak dengan rantai C16-C18 mempengaruhi tingkat kekerasan dan kemampuan detergensi (Chalim, dkk 2017). Secara umum proses pembuatan MES dilakukan dalam beberapa tahap yaitu sulfonasi, netralisasi, dan drying. Sulfonasi metil ester (ME) direaksikan dengan  $\text{SO}_3$  sehingga menghasilkan Methyl Ester Sulfonic Acid (MESA), selanjutnya tahap netralisasi dengan tujuan dapat menghasilkan MES berbentuk pasta, dan tahap terakhir adalah drying agar memperoleh MES berbentuk granular.

Penelitian tentang minyak mahoni telah dilakukan antara lain Mursiti dkk (2013) melakukan isolasi dan karakterisasi minyak dari biji mahoni. Damayanti dkk (2012) dan Mohan dkk (2013) dengan sintesis metil ester (ME). Setelah itu, dilanjutkan lagi menjadi metil ester sulfonat (MES) seperti yang dilakukan oleh Chasani dkk (2014) dengan bahan baku minyak biji nyamplung dan Rahman dkk (2013) dengan bahan baku minyak goreng bekas. Berdasarkan uraian di atas belum ada yang melakukan penelitian tentang sintesis metil ester sulfonat (MES) dari minyak biji mahoni menggunakan reagen natrium bisulfit ( $\text{NaHSO}_3$ ).

## **METODE**

### **Bahan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah buah mahoni, metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) 99,8%, n-heksana PA, kalium hidroksida (KOH) 1%, asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) PA, natrium bisulfit ( $\text{NaHSO}_3$ ) PA, natrium hidroksida (NaOH) 20%, kertas saring Whatman, aluminium foil, tisu dan plastik wrap.

### **Alat**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah cutter, blender kering, pipet tetes, soklet, gelas ukur 250 mL, labu alas bulat (50 mL, 100 mL dan 500 mL), kondensor, erlenmeyer 500 mL, corong pisah, batang pengaduk, piknometer, termometer, botol gelap, botol vial, botol semprot, statif, klem, electro mantel, hot plate, sentrifus, evaporator, timbangan analitik, GC-MS QP2010S Shimadzu, spektrofotometer FTIR merk IR Buck M500 Scientific dan vortex (Barnstead Thermolyne).

## **Prosedur Penelitian**

### **Preparasi Biji Mahoni**

Sampel biji mahoni yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Kelurahan Anduonohu, Kecamatan Poasia, Kota Kendari, Sulawesi Tenggara. Buah mahoni yang diperoleh dipisahkan antara biji dan tempurung buah mahoni. Biji mahoni kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari. Biji buah yang telah kering, dikupas dan diangin-anginkan pada suhu ruang selama 4 hari, selanjutnya diblender menggunakan blender kering dan disimpan pada wadah tertutup.

### **Ekstraksi Soklet dan Penentuan Densitas Minyak Mahoni**

Proses sokletasi dilakukan dengan membuat selongsong dengan berat sampel 125 g dan mengukur larutan n-heksana menggunakan gelas ukur 250 mL dengan perbandingan 4:1 dari berat sampel. Larutan n-heksana dimasukkan ke dalam labu alas bulat 500 mL. Larutan dipanaskan pada suhu 60-80°C selama 8 jam, didinginkan, lalu disaring dengan kertas saring. Hasil sokletasi kemudian dievaporasi hingga diperoleh minyak murni dan pelarut. Minyak mahoni murni yang diperoleh ditentukan massa jenisnya menggunakan piknometer. Piknometer kosong ditimbang, setelah itu sampel dimasukkan ke dalam piknometer dan ditimbang kembali. Perlakuan yang sama dilakukan sebanyak tiga kali (Saputra, dkk 2017).

### Esterifikasi

Proses esterifikasi dilakukan dengan mereaksikan 50 mL minyak biji mahoni dan 33,5 metanol dengan menggunakan katalis asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 1%. Minyak hasil sokletasi dimasukkan ke dalam labu leher dua yang telah dilengkapi kondensor, termometer dan hot plate. Sampel dipanaskan pada suhu 65°C, kemudian ditambahkan perlahan metanol dan katalis asam. Larutan diaduk terus-menerus menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam, setelah itu larutan dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan selama 24 jam hingga terbentuk dua fasa. Fasa atas merupakan asam lemak bebas dan fasa bawah adalah asam lemak (Mohan, dkk 2016).

### Transesterifikasi

Proses transesterifikasi dilakukan dengan mereaksikan minyak hasil esterifikasi dan metanol dengan perbandingan molar 1:6 dari bobot minyak menggunakan katalis KOH 1% (b/v) (Damayanti dan siti, 2012). Minyak hasil esterifikasi dimasukkan dalam labu leher dua yang telah dilengkapi dengan kondensor, termometer dan pemanas. Sampel kemudian dipanaskan hingga suhu 60°C dan ditambahkan metanol dengan katalis KOH. Larutan diaduk terus-menerus menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam, setelah itu larutan dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan selama 24 jam hingga membentuk dua fasa. Fasa atas berupa metil ester dan fasa bawah berupa gliserol. Fasa atas diambil kemudian dicuci dengan akuades hangat hingga pHnya mendekati netral, setelah dicuci kemudian dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 105-110°C untuk menghilangkan sisa air yang masih tercampur dalam metil ester (Halim, dkk 2017).

### Sulfonasi

Sulfonasi dilakukan pada suhu 100°C selama 4,5 jam dengan perbandingan mol metil ester dan NaHSO<sub>3</sub> adalah 1:1,5. Langkah selanjutnya yaitu disentrifugasi pada 1500 rpm selama 30 menit untuk memisahkan sisa NaHSO<sub>3</sub>. Metil ester yang diperoleh dimurnikan menggunakan metanol 30% (v/v MESA) pada suhu 50°C selama 1,5 jam, untuk menghilangkan kelebihan metanol dilakukan penguapan. Proses netralisasi menggunakan larutan NaOH 20% pada 55°C selama 30 menit (Permadani, dkk 2018).

### Karakteristik MES Minyak Biji Mahoni

#### a. Densitas

Densitas minyak yang diperoleh ditentukan dengan menggunakan piknometer. Piknometer kosong ditimbang, kemudian dimasukkan sampel dan ditimbang kembali. Perlakuan ini dilakukan sebanyak tiga kali (Saputra, dkk 2017).

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{v\rho} \quad .1$$

Keterangan;

m<sub>1</sub> = massa piknometer dengan sampel

m<sub>2</sub> = massa piknometer

vρ = volume piknometer

ρ = massa jenis/densitas

#### b. Persentase (%) Hasil

Minyak hasil sokletasi ditimbang kemudian menghitung persentase hasil kandungan minyak biji mahoni dengan menggunakan rumus pada persamaan (Nurliana, 2021).

$$\% \text{Hasil} = \frac{\text{Berat minyak (g)}}{\text{Berat biji mahoni (g)}} \times 100\% \quad 2)$$

### **Karakterisasi hasil sintesis dengan Fourier Transform Infrared (FTIR)**

Komposisi senyawa penyusun ME dan hasil sintesis MES minyak biji mahoni diidentifikasi dengan spektrofotometer FTIR merk IR Buck M500 Scientific dengan panjang gelombang 4000-400 cm<sup>-1</sup>. Spesifikasi kondisi alat yaitu scan 32 det/scan, resolusi 4 dan tekanan 80 Torr. Interpretasi data spektrum IR kemudian dilakukan dengan cara membandingkan serapan-serapan gugus fungsi pada spektrum IR sampel dengan bilangan gelombang literatur atau pustaka (Astam, dkk 2019).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Preparasi Minyak Mahoni (*Swietenia mahagoni* L.)**

Biji mahoni yang diperoleh setelah pemisahan biji dan tempurung buahnya kemudian diangin-anginkan pada suhu kamar selama dua sampai tiga hari. Selanjutnya, biji mahoni dihaluskan menggunakan mesin penghalus (blender) sehingga diperoleh biji mahoni halus (serbuk biji mahoni). Biji mahoni yang telah kering dihaluskan dengan dengan blender. Biji mahoni halus sebanyak 570 g diekstraksi menggunakan pelarut n-heksana. Sampel kemudian dievaporasi untuk memisahkan antara pelarut dan juga minyak biji mahoni. Minyak yang diperoleh sekitar 280 mL dengan massa jenis rata-rata 0,876 g/mL. Persentase hasil dari minyak yang diperoleh sebesar 58,45%.

### **Reaksi Esterifikasi-Transesterifikasi**

Proses esterifikasi dilakukan menggunakan katalis asam, dimana reaksi katalis ini bersifat dapat balik. Penggunaan katalis asam pada proses esterifikasi diperlukan jika minyak nabati mengandung ALB di atas 0,3%, tetapi bila kadar ALB di bawah 0,3% maka dapat langsung ditransesterifikasi menggunakan katalis basa.

Minyak nabati dengan kadar ALB lebih besar dari 0,3% ditransesterifikasi secara langsung dengan menggunakan katalis basa akan mengakibatkan ALB bereaksi dengan katalis dan menyebabkan terbentuknya sabun. Sabun yang terbentuk akan menghambat proses pemisahan gliserol dari metil ester dan juga akan berakibat terbentuk emulsi saat proses pencucian. Proses esterifikasi dibutuhkan untuk mengkonversi ALB minyak nabati menjadi metil ester dan kadar ALB pada minyak berkurang (Hasahatan, dkk 2012).

Hasil analisis kadar ALB minyak biji mahoni sebagai bahan baku pada penelitian ini yaitu sebesar 7,72%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dengan kadar ALB yang lebih dari standar minyak belum memenuhi syarat untuk produksi metil ester dengan tahap transesterifikasi langsung, dengan demikian perlu dilakukan proses esterifikasi sebagai prosedur pendahuluan untuk mengurangi kadar ALB.

Esterifikasi dilakukan dengan mereaksikan minyak biji mahoni dan metanol dengan perbandingan mol 1:15, menggunakan katalis asam kuat H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% sebesar 1% dari berat minyak yang digunakan pada suhu 65°C selama satu jam. Pengadukan dilakukan secara terus menerus untuk mempercepat reaksi dan diharapkan seluruh katalis dapat bereaksi dengan reaktan. Setelah itu didiamkan selama 24 jam dengan tujuan agar pelarut dan trigliserida terpisah lebih maksimal (Mohan, dkk 2016).

Transesterifikasi adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkil ester, melalui reaksi alkohol dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol (Damayanti, 2011; Arita, dkk 2008).

Transesterifikasi dalam penelitian ini yaitu menggunakan perbandingan mol 1:6 minyak dan metanol pada suhu 60°C selama satu jam dengan katalis KOH sebanyak 1% (b/v) untuk mempercepat berlangsungnya reaksi (Damayanti dan Siti, 2017). Reaksi transesterifikasi bersifat dapat balik sehingga dilakukan penambahan metanol berlebih dengan tujuan untuk menggeser kesetimbangan ke arah produk. Perbandingan mol (1:6) dianggap lebih efektif dalam meningkatkan rendemen metil ester (Prihanto, dkk 2013). Larutan hasil reaksi transesterifikasi dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan selama 24 jam hingga terpisah dengan sempurna membentuk dua fasa. Fasa atas memiliki warna kuning cerah merupakan metil ester sedangkan fasa bawah berwarna jingga kemerahan berupa gliserol.

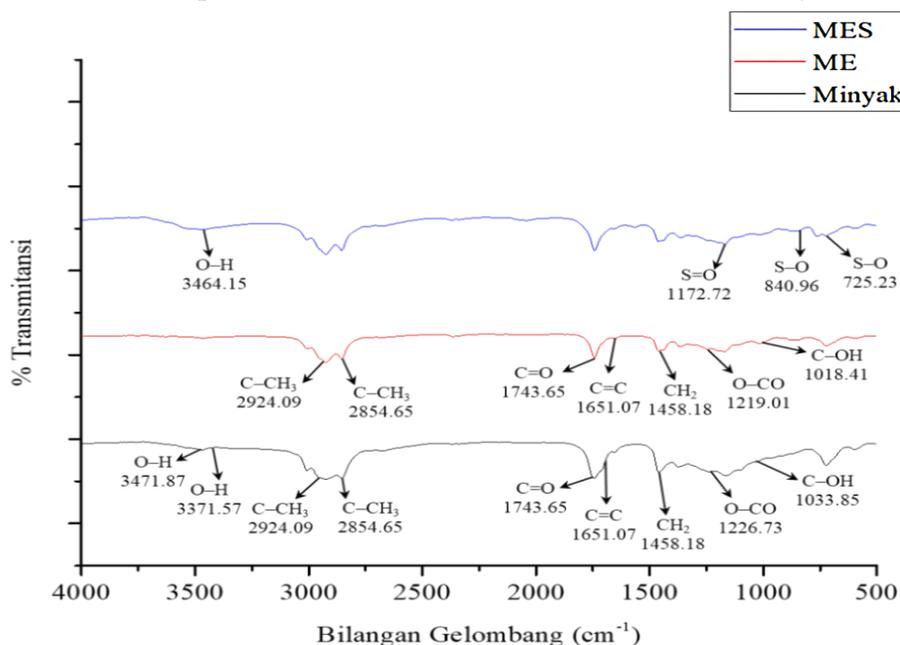


### Identifikasi dengan Spektrofotometer Fourier Transform Infrared (FTIR)

Spektrum spektrofotometer FTIR pada minyak biji mahoni menunjukkan adanya serapan gugus fungsi C-CH<sub>3</sub> pada bilangan gelombang 2924 cm<sup>-1</sup> dan 2854,65 cm<sup>-1</sup>, serapan gugus C=O pada bilangan gelombang 1743,65 cm<sup>-1</sup>, serapan gugus C=C pada bilangan gelombang 1651,07 cm<sup>-1</sup>, serapan gugus CH<sub>2</sub> pada bilangan gelombang 1458,18 cm<sup>-1</sup>, serapan gugus O-CO pada bilangan gelombang 1226,73 cm<sup>-1</sup>, serapan gugus C-OH pada bilangan gelombang 1033,85cm<sup>-1</sup> dan serapan gugus O-H pada bilangan gelombang 3471,87 cm<sup>-1</sup> dan 3371,87 cm<sup>-1</sup>. Hasil interpretasi serapan pada minyak biji mahoni menunjukkan bahwa terdapat serapan-serapan gugus fungsi yang merupakan karakteristik dari senyawa asam lemak tak jenuh penyusun minyak biji mahoni sesuai dengan serapan gugus fungsi pada penelitian (Sumartono, dkk 2017; Mursiti, dkk 2017).

Spektrum spektrofotometer FTIR pada metil ester minyak biji mahoni menunjukkan adanya serapan gugus fungsi C-CH<sub>3</sub> pada bilangan gelombang 2924,04 cm<sup>-1</sup> dan 2854,65 cm<sup>-1</sup>, serapan gugus C=O pada bilangan gelombang 1743,65 cm<sup>-1</sup>, serapan gugus C=C pada bilangan gelombang 1651,07 cm<sup>-1</sup> dan serapan gugus CH<sub>2</sub> pada bilangan gelombang 1458,18 cm<sup>-1</sup>. Serapan gugus O-CO pada bilangan gelombang 1219,01 cm<sup>-1</sup> dan serapan gugus C-OH pada bilangan gelombang 1018,41 cm<sup>-1</sup> pada metil ester bergeser ke arah bilangan gelombang yang lebih kecil. Hasil interpretasi sebagaimana Gambar 2 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat serapan-serapan gugus fungsi yang merupakan karakteristik dari senyawa ME dan sesuai dengan serapan gugus fungsi pada penelitian (Sumartono, dkk 2017; Maulida dan Supartono, 2016).

Gambar 2 pada spektrum FTIR metil ester sulfonat, menunjukkan bahwa ada beberapa puncak yang berbeda dari spektrum FTIR metil ester antara lain pada bilangan 1172,72 cm<sup>-1</sup> yang diduga sebagai adanya ikatan S=O atau gugus sulfat pada molekul metil ester, lalu keberadaan puncak baru pada rentang 840,96 cm<sup>-1</sup> dan 725,23 cm<sup>-1</sup> yang diduga merupakan gugus S-O berikatan tunggal. Serapan tersebut sesuai dengan serapan S=O dan S-O pada penelitian (Iman, dkk 2016; Jin, dkk 2016). Menurut He dkk (2004) dalam Babu dkk (2015) ikatan O-H yang terdapat pada MES disebabkan oleh serapan air dimana serapan ini mengindikasikan bahwa permukaan MES telah berubah dari hidrofobik menjadi hidrofilik.



**Gambar 2. Perbandingan Spektrum IR Minyak Mahoni dan MEN Mahoni**

**Tabel 1. Data Hasil Interpretasi Spektrum FTIR**

No.	Jenis vibrasi	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )					
		Minyak biji mahoni	Pustaka minyak biji mahoni	Metil ester	Pustaka metil ester	Metil ester sulfonat	Pustaka metil ester sulfonat
1.	O-H	3471,87 dan 3371,87	3550-3200	-	-	3464,15	3550-3200
2.	C-CH <sub>3</sub>	2924,04 dan 2854,65	3000-2800	2924,04 dan 2854,65	3000-2800	-	-
3.	C=O	1743,65	1740-1720	1743,65	1740-1720	-	-
4.	C=C	1651,07	1620-1680	1651,07	1650-1600	-	-
5.	CH <sub>2</sub>	1458,18	1470-1450	1458,18	1470-1458	-	-
6.	O-CO	1226,73	1320-1210	1219,01	1320-1210	-	-
7.	S=O	-	-	-	-	1172,72	1120-1230
8.	C-OH	1033,85	-	1018,41	-	-	-
9.	S-O	-	-	-	-	840,96 dan 725,23	750-1000

Sumber: Pustaka minyak biji mahoni (Sumartono, dkk 2017; Mursiti, dkk 2017), Pustaka metil ester (Maulida dan Supartono, 2016; Sumartono, dkk 2017) dan Pustaka metil ester sulfonat (Jin, dkk 2016; Iman, dkk 2016)

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dalam penelitian ini, maka disimpulkan bahwa persentase hasil metil ester sulfonat yang diperoleh sebesar 52,27%. Densitas metil ester sulfonat yang diperoleh 1,140 g/mL dan nilai stabilitas emulsi 77,5%. Hasil karakterisasi metil ester dengan FTIR menunjukkan gugus C-CH<sub>3</sub>, C=O, C=C, CH<sub>2</sub>, O-C-O dan C-OH pada bilangan, 2924,04 cm<sup>-1</sup>; 2854,65 cm<sup>-1</sup>; 1743,65 cm<sup>-1</sup>; 1651,07 cm<sup>-1</sup>; 1458,18 cm<sup>-1</sup>; 1219,01 cm<sup>-1</sup> dan 1018,41 cm<sup>-1</sup>. Sedangkan pada metil ester sulfonat menunjukkan adanya gugus S=O, dan S-O pada bilangan gelombang 1172,72 cm<sup>-1</sup>; 840,96 cm<sup>-1</sup> dan 725,23 cm<sup>-1</sup>.

## REFERENSI

- Astam A, Laily N dan La Ode Kadidae. 2019. Sintesis Metil Ester Nitrat dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.). *Jurnal Kependidikan Kimia*. 7(2).
- Ardy A, Ariesti HL, Lisa L, Hari R dan Zulfansyah. 2011. Produksi Metil Ester Sulfonat dari Metil Ester. 1907.
- Arita S, Meta BD dan Jaya I. 2012. Pembuatan Metil Ester Asam Lemak dari CPO Off Grade Dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(15): 34-4.

- Chalim A, Agung AW, Ade SS, Muhammad MS dan M Tohir. 2017. Studi Kinetika Reaksi Metanolisis Pembuatan Metil Ester Sulfonat (MES) menggunakan Reaktor *Batch* Berpengaduk. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*.1(1).
- Chasani M, Senny W dan Adidyan M. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Sabun Natrium dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) Serta Uji Aktivitas Antibakteri Terhadap *Staphilococcus aureus*. *Molekul*.10(1): 66-73.
- Damayanti A dan Siti B. 2012. Pengolahan Biji Mahoni (*Swietenia Macrophylla* King) Sebagai Bahan Baku Alternatif Biodiesel. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 1(1): 8-15.
- Halim MA, Sadia Y dan Kaniz F. 2017. Production of Biodiesel from *Swietenia Macrophylla* Seed. *International Conference Mechanical Engineering and Renewable Energy*.18(20).
- Hasahatan D, Sunaryo J dan Khomariah LN. 2012. Pengaruh Ratio H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan Waktu Reaksi Terhadap Kuantitas dan Kualitas Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar. *Jurnal Teknik Kimia*. 2(18): 26-36.
- Iman N, Abdul RR dan Nurhaeni. 2016. Sintesis Surfaktan Metil Ester Sulfonat (MES) dari Metil Laurat. *Jurnal Kovalen*. 2(2): 54-66.
- Mursiti S, Endah FR, Yuan MR dan Intan N. 2013. Mahogany Seeds Oil Isolation and Characterization. *Joint Conference on Chemistry*.509: 1-7.
- Mohan MR, Ram CRD, Shiva SKRBN, Prasad BVS dan Rao. 2016. Swietenia Mahagoni seed oil A new Source for Biodiesel Production. *Industrial Crops and Product*.90: 28-30.
- Nurliana L, La Ode Kadidae, Sunartia dan Rustam M. 2021. Characterization of Methyl Ester Sulfonate (MES) from Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) with Variations in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Concentration and Sulfonation Duration. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*.17(2): 192-201.
- Permadani RL, Ibadurrohman M dan Slamet. 2018. Utilization of Waste Cooking Oil as Raw Material for Synthesis Methyl Ester Sulfonates (MES) Surfactant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 105(1).
- Prihanto A dan Lucia HR. 2015. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung melalui Esterifikasi, Netralisasi dan Transesterifikasi. ISSN: 0216-7395.
- Rahman AA dan Galih SL. 2013. Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas Menjadi Detergen Alami Melalui Kombinasi Reaksi Trans-esterifikasi dan Sulfonasi. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*.2(2): 84-90.
- Saputra AT, Arief dan Irsan. 2017. Utilization of Used Oil for Biodiesel Manufacturing Using Zeolite Activated Catalyst. *Journal Chemurgy*.1(2): 1-6.
- Silalahi A, Syaiful B dan Yusnimar. 2016. Perbandingan Biodiesel Hasil Transesterifikasi Minyak Biji Kepayang (*Pangium Edule Reiw*) dengan Katalis NaOH dan H-Zeolit. *Jom FTEKNIK*. 3(1): 1-6.
- Widayati TW, Hendri Y dan IK Gary Devara. 2018. Sintesis Bio-nanosurfaktan sebagai Deterjen Ramah Lingkungan dari Kombinasi Ekstrak Getah Pepaya (*Carica papaya* L) dan Daun Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen). ISSN: 1693-4393.
- Zhao C, Jimin X, Fen R dan Shudong S. 2013. Modification of polyethersulfone membranes - A review of methods. *Elsevier Progress in Materials Science*.58: 76-150.