

# Sintesis Asam Levulinat Melalui Metode Esterifikasi dengan Etanol 96% menggunakan Katalis Heterogen Berbasis Biomassa untuk Pembuatan Zat Aditif Bahan Bakar

Dian Ratna Suminar<sup>1,\*</sup>, Faradila Anindita<sup>2</sup>, Ramadhana Suci Fajriati<sup>3</sup>,  
Rony Pasonang Sihombing<sup>4</sup>

*Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012*

Email: <sup>1,\*</sup>dian.ratna.suminar@polban.ac.id, <sup>2</sup>faradila.anindita.tki20@polban.ac.id,  
<sup>3</sup>ramadhana.suci.tki20@polban.ac.id, <sup>4</sup>rony.pasonang.sihombing@polban.ac.id

## ABSTRAK

Indonesia menjadi negara dengan polusi udara terbesar di Asia Tenggara, penyebab polusi udara salah satunya ialah asap kendaraan, oleh karena itu perlu dilakukannya solusi untuk mengurangi masalah tersebut. Etil levulinat merupakan senyawa kimia yang dihasilkan dari lignoselulosa yang dapat digunakan di berbagai bidang khususnya sebagai zat aditif bahan bakar yang bagus untuk mengurangi emisi gas CO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub>. Pembuatan etil levulinat dari asam levulinat dan etanol dilakukan melalui metode esterifikasi menggunakan katalis heterogen karbon sulfonat. Katalis didapat dari sekam padi yang telah melalui proses karbonisasi dengan suhu 550°C selama ± 75 menit, yang dilanjutkan dengan proses sulfonasi menggunakan asam sulfat 98% dengan suhu 150°C selama 4 jam. Proses sintesis dilakukan dengan variasi waktu 3 jam, 6 jam, dan 9 jam, rasio molar asam levulinat dan etanol (1:4, 1:8, dan 1:12), dan jumlah katalis (5%, 10%, dan 15%). Dihasilkan konversi optimum sebesar 85% pada waktu 6 jam perbandingan rasio mol 1:12 dengan katalis loading 10%.

### Kata Kunci

*Etil Levulinat, Katalis heterogen, Esterifikasi, Etanol, Sekam Padi*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan Teknologi dan Ilmu pengetahuan memiliki dampak negatif bagi lingkungan, semakin berkembangnya teknologi maka semakin banyak Industri dan alat transportasi yang dihasilkan, terlebih pertumbuhan penduduk di Indonesia semakin hari kian meningkat, pertumbuhan penduduk ini diikuti dengan pertumbuhan sektor lain seperti Industri dan kebutuhan transportasi, dengan bertambahnya Industri dan transportasi dapat memberikan dampak negatif berupa pencemaran udara.

World Health Organization (WHO) menyatakan bahwa pencemaran udara merupakan permasalahan lingkungan yang dapat mengganggu kesehatan manusia diantaranya adalah kanker, serangan jantung, asma, dan lain sebagainya. Tercatat pencemaran udara dapat menyebabkan 7 juta kematian di dunia, 2 juta diantaranya terjadi di Asia Tenggara. Berdasarkan riset Global

Alliance on Health and Pollution (GAHP), Indonesia menempati posisi keempat menyumbang kematian terbesar akibat pencemaran udara di dunia. Pada tahun 2017 tercatat sebesar 123,7 ribu jiwa di Indonesia meninggal akibat pencemaran udara, dengan 60- 70% disumbangkan dari kendaraan bermotor [1].

Dari pernyataan-pernyataan tersebut, dapat disimpulkan bahwa perlu diadakannya solusi untuk mengurangi pencemaran udara di Indonesia, salah satunya dengan mengurangi emisi gas dari kendaraan bermotor yang menyumbang angka terbesar yakni 60-70%. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah dengan penambahan zat aditif pada bahan bakar. Etil Levulinat merupakan suatu senyawa yang dapat digunakan untuk zat aditif bahan bakar, penambahan etil levulinat pada bahan bakar dapat menghasilkan pembakaran bahan bakar yang bersih, sehingga emisi gas yang dihasilkan pun berkurang [2].

Dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa Etil Levulinat dapat digunakan sebagai zat aditif sehingga pada penelitian kali ini EL diproduksi dengan metode esterifikasi menggunakan asam levulinat dan etanol dengan bantu katalis. Katalis yang digunakan merupakan katalis heterogeny berbasis biomassa, biomassa yang digunakan ialah sekam padi. Jumlah sekam padi di Indonesia sangat melimpah dan belum dapat digunakan secara optimum oleh karena itu sekam padi dipilih sebagai bahan pembuatan katalis heterogen karena pertimbangan ekonomis dan manfaat yang dapat diambil. Pada riset sebelumnya menghasilkan etil elvulinat dengan yield sebesar 98% dengan katalis loading yang digunakan berupa katalis Zeolit beta sebesar 20% [3]. Dikarenakan pertimbangan ekonomis, katalis zeolite beta digantikan menggunakan katalis berbasis sekam padi yang jumlahnya melimpah di negara Indonesia. Hal ini sekaligus merupakan nilai inovasi dari penelitian ini.

## 1.2 Tujuan Khusus Riset

1. Mengetahui kondisi operasi optimum untuk menghasilkan konversi asam levulinat terbesar.
2. Mengetahui karakterisasi katalis yang dihasilkan.
3. Mengetahui laju reaksi esterifikasi asam levulinat dan etanol
4. Mengetahui karakterisasi etil levulinat (titik didih, densitas dan viskositas)

## 1.3 Ruang Lingkup

1. Bahan baku proses etil levulinat adalah asam levulinat
2. Etil levulinat diperoleh dengan cara esterifikasi menggunakan pelarut etanol grade P.A dan katalis heterogen karbon sulfonat.
  - Waktu: 3 jam, 6 jam, 9 jam
  - *Catalyst loading* (w/V): 5% 10%, dan 15%
  - *Molar ratio*: 1:4, 1:8, dan 1:12
3. Katalis heterogen karbon sulfonat berasal dari sekampadi melalui proses karbonisasi dengan suhu 550°C.
4. Ukuran partikel katalis yang digunakan yaitu 65mesh.

## 1.4 Tinjauan Pustaka

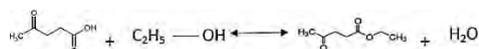
### 1.4.1 Etil Levulinat

Etil Levulinat merupakan salah satu alkil levulinat yang dihasilkan dengan mensintesis bahan baku melalui reaksi katalitik dengan

etanol [4] Menambahkan etil levulinat ke mesin diesel dapat menghasilkan pembakaran bahan bakar yang bersih, stabilitas titik nyala, kandungan belerang yang berkurang dan viskositas yang ditingkatkan [2]. Untuk tahap produksi etil levulinat dari biomassa selulosa dapat dilakukan melalui esterifikasi asam levulinat dengan etanol dengan adanya katalis, seperti asam cair mineral dan asam padat.

### 1.4.2 Esterifikasi

Esterifikasi merupakan reaksi pembentukan ester dengan reaksi langsung antara asam karboksilat dengan alkohol menghasilkan ester dan air Asam karboksilat yang digunakan dapat berasal dari asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak nabati atau berupa distilat asam lemak sawit [5]. Reaksi esterifikasi membutuhkan suatu katalis untuk mempercepat reaksi. Tanpa katalis reaksi berjalan sangat lambat karena kecepatannya tergantung pada autoprotonasi dari asam karboksilat [6]. Reaksi esterifikasi merupakan reaksi reversibel yang sangat lambat, tetapi bila menggunakan katalis asam mineral seperti asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) atau asam klorida (HCl) kesetimbangan akan tercapai dalam waktu yang cepat [7]. Berikut merupakan reaksi esterifikasi antara asam levulinat dengan etanol menghasilkan etil levulinat dengan produk samping air, yang ditunjukkan pada **Gambar 1.1**



**Gambar 1. 1** Reaksi esterifikasi asam levulinat dengan etanol

### 1.4.3 Asam Levulinat

Salah satu senyawa kimia yang dapat digunakan di berbagai industri, diproduksi dari bahan baku berbasis biomassa lignoselulosa adalah *Levulinic acid* (LA). *Levulinic acid* tersusun atas rantai pendek *fatty acid* yang terdiri dari kelompok keton karbonil dan asam karboksilat sehingga menyebabkan senyawa ini memiliki sifat reaktifitas yang membuat senyawa ini dapat digunakan sebagai *intermediate* ideal untuk produk turunan *Levulinic acid* [8]. Asam levulinat sangat potensial untuk sintesis berbagai senyawa- senyawa kimia, dikarenakan asam levulinat memiliki gugus keton dan karbonil, yang sangat potensial jika digunakan untuk sintesis senyawa kimia. Asam levulinat ini berasal dari biomassa, untuk menghasilkan asam levulinat yaitu biomassa direaksikan melalui reaksi

hidrolisis menggunakan katalis asam.

#### 1.4.4 Katalis Heterogen

Katalis adalah zat yang menyebabkan laju reaksi kimia menjadi lebih cepat pada suhu tertentu, tanpa mengalami perubahan kimiawi di akhir reaksi erdapat dua jenis katalis yaitu katalis homogen dan heterogen, pada pembuatan biomassa khususnya biodiesel katalis homogen memiliki kelemahan yaitu rumitnya pemisahan produk biodiesel yang dihasilkan dengan katalis. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, mulai dikembangkan penggunaan katalis heterogen (padat) untuk menggantikan katalis homogen (basa) [9]. Katalis heterogen sangat mudah dipisahkan dari sistem di akhir proses atau reaksi dan dapat digunakan kembali. Semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka kecepatan reaksi akan semakin meningkat, dikarenakan jumlah molekul yang bertumpuk akan semakin banyak, namun jika penambahan katalis berlebih maka akan memengaruhi kesetimbangan reaksi, sehingga pada saat akhir proses akan menghasilkan produk samping yang lebih banyak [10].

#### 1.4.5 Sekam Padi

Sekam dikategorikan sebagai biomasa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Berdasarkan jenis biomasa, sekam padi mempunyai potensi energi 30% dari total biomasa di Indonesia di bawah *palm oil* sebesar 39% serta memberikan penjelasan potensi energi yang dapat dihasilkan dari biomasa di seluruh provinsi di Indonesia. Selain itu juga menjelaskan pengembangan biomasa di Indonesia tahun 2011-2019. Sekam padi merupakan bahan ber lignoselulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Sekam padi tersusun dari palea dan lemma yang terikat dengan struktur pengikat yang menyerupai kulit, sel sel sekam padi yang telah matang mengandung lignin dalam konsentrasi yang cukup tinggi. Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50 % selulosa, 25 – 30 % lignin, dan 15 – 20 % silika [11]. abu sekam padi dengan pembakaran terkontrol dengan suhu tinggi berkisar antara 500-600 ° C [12]. Abu sekam padi memiliki kandungan kimia SiO<sub>2</sub> 80%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3,59%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,41%, CaO 3,84%, MgO 0,25%, K<sub>2</sub>O 1,26%, Na<sub>2</sub>O 0,77%.

#### 1.4.6 Karbonisasi

Proses karbonisasi merupakan proses untuk

mengkonversi bahan organik menjadi arang. Bahan akan kehilangan banyak kandungan air, sehingga akan dihasilkan arang. Arang merupakan sisa proses karbonisasi bahan yang mengandung karbon pada kondisi terkendali di dalam ruangan tertutup [13]. Arang dihasilkan melalui proses karbonisasi dengan suhu yang rendah, sedangkan semakin tinggi suhu yang digunakan maka kadar abu yang dihasilkan akan semakin besar [14]. Menurut penelitian [15] Kondisi optimum pada proses karbonisasi yaitu pada suhu 550°C dengan waktu 75 menit, dengan kadar karbon yang dihasilkan yaitu 41,3%.

#### 1.4.7 Sulfonasi

Sulfonasi merupakan reaksi antara ion bisulfite dengan molekul lignin [16]. semakin tinggi tingkat keasamannya maka laju hidrolisis akan semakin meningkat. Proses sulfonasi ini menggunakan asam sulfat dengan reaksi yang melibatkan pemasukan gugus sulfonat ke dalam lignin, yang bertujuan untuk mengubah sifat hidrofilitas dari lignin yang tidak larut dalam air sehingga akan meningkatkan sifat hidrofilitasnya dan menjadikan *lignosulfonate* dengan cara memasukan gugus *sulfonate* yang lebih polar dari gugus hidroksil [17]. Proses sulfonasi ini merupakan reaksi kimia yang melibatkan penggabungan gugus asam sulfonat HSO<sub>3</sub>- ke dalam suatu molekul ataupun ion termasuk reaksi-reaksi yang melibatkan gugus sulfonil halide ataupun garam-garam yang berasal dari gugus asam sulfonat [18]. Pada proses sulfonasi ini mengakibatkan banyaknya gugus aktif sulfonate yang akan masuk ke dalam pori-pori katalis, sehingga menyebabkan pada saat proses esterifikasi katalis tersebut dapat bekerja secara optimal [19].

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian Sintesis Asam Levulinat melalui metode esterifikasi dengan etanol 96% menggunakan Katalis Heterogen berbasis biomassa untuk pembuatan zat aditif bahan bakar dimulai Maret - Juni 2023. Seluruh Proses dilakukan di Laboratorium Korosi, Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung.

## 2.2 Variabel Riset

Tabel 2.1 Data Variabel

Proses	Variabel Tetap	Variabel Bebas
Karbonisasi	Suhu 500 °C, waktu 2 jam	Katalis loading 5%, 10%,
Sulfonasi	Suhu 150 °C, waktu 4 jam	
	-	

## 2.3 Persiapan Bahan dan Alat

### 2.3.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

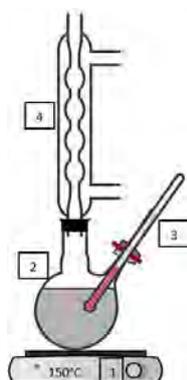
Tabel 2.2 Bahan yang digunakan

No	Nama Bahan	Jumlah
1	Asam Levulinat	200 gram
2	Etanol P.A	1 Liter
3	Aquadest	1 Liter
4	Etil Levulinat	10 gram
5	Sekam Padi	1 Kg
6	Kertas saring 60x60	10 lembar
7	Asam Sulfat P.A	500 mL
8	NaCl P.A	500 gram
9	Asam Sulfat (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	liter

### 2.3.2 Alat

#### 2.3.2.1 Rangkaian Alat Sulfonasi

Skema peralatan yang akan digunakan untuk proses sulfonasi yang ditunjukkan pada gambar 2.1



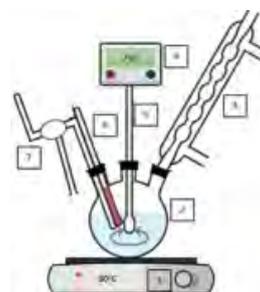
Gambar 2.1 Rangkaian Alat Sulfonasi

Keterangan

1. Hotplate
2. Labu leher dua

3. Termometer
4. Kondensor

### 2.3.2 Rangkaian Alat Esterifikasi



Gambar 2.2 Rangkaian Alat Esterifikasi

Keterangan

1. Labu leher tiga
  2. Pemanas
  3. Kondensor
  4. Motor Pengaduk
  5. Pengatur Kecepatan Pengaduk
  6. Pengaduk
  7. Termometer
  8. Pengambil Sampel
- Pengatur Skala Pemanas

Prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

#### 2.3.3 Pre-treatment sekam padi

Sekam padi direndam dengan air hingga kotoran yang terangkat, kemudian dikeringkan dan di oven dengan suhu 110°C selama 1-2 jam untuk mengurangi kadar air.

#### 2.3.4 Karbonisasi

Proses karbonisasi dilakukan pada suhu 550°C selama 75 menit, setelah melalui proses karbonisasi dilakukan pengayakan dengan ukuran partikel 65 mesh.

#### 2.3.5 Sulfonasi

Setelah karbonisasi sekam padi selesai, sulfonasi dilakukan dalam labu leher dua yang direaksikan dengan asam sulfat 98% pada suhu 150°C selama 4 jam. Sebelum dilanjutkan ke proses esterifikasi, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap katalis yang dihasilkan, pengujian yang dilakukan yaitu uji FT-IR dan uji densitas asam.

#### 2.3.6 Esterifikasi

Esterifikasi dilakukan menggunakan peralatan refluks dan labu leher tiga yang ditempatkan di waterbath. Asam levulinat dan etanol kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan variasi rasio mol

reaktan (asam levulinat : etanol) sebesar 1:4, 1:8, dan 1:12. Kemudian dilakukan pengadukan menggunakan motor dan batang pengaduk. Katalis heterogen karbon sulfonat dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan variasi sebanyak 5%, 10%, 15%. Proses esterifikasi berjalan pada suhu 78 °C dengan variasi waktu esterifikasi yaitu 3 jam, 6 jam, dan 9 jam. Setelah proses selesai, larutan didinginkan hingga suhunya mencapai suhu kamar.

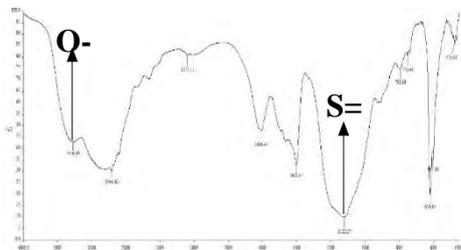
### 2.3.7 Pemisahan

Campuran yang sudah dingin kemudian disaring menggunakan corong pemisah untuk memisahkan produk dengan air. Selanjutnya akan dilakukan analisis sampel yaitu dengan pengukuran densitas, viskositas, dan titik didih.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Karakterisasi Katalis

Setelah dilakukannya proses karbonisasi maka dilanjut dengan proses sulfonasi. Proses ini dilakukan untuk menempelkan gugus sulfonat pada katalis heterogen yang sebelumnya telah dibuat. Semakin banyak gugus sulfonat yang menempel pada katalis maka aktivitas katalis pun akan semakin tinggi [20]. Keberadaan gugus sulfonat pada katalis heterogen karbon dapat dilihat dengan uji FTIR yang ditunjukkan pada gambar 3.1



**Gambar 3.1** Hasil Uji FTIR Katalis Setelah di uji FTIR ditemukan gugus sulfonate pada Panjang gelombang  $1122,27 \text{ cm}^{-1}$ , menurut [21]. keberadaan gugus sulfonat berkisar pada bilangan gelombang 1072-1319, diperkuat dengan penelitian yang dilakukan oleh [22]. yang melakukan penelitian mengenai karbon aktif dan melakukan sulfonasi ditemukan gugus S=O di Panjang gelombang  $1386 \text{ cm}^{-1}$ , selain itu ditemukan juga gugus O-H pada bilangan gelombang  $3416,98 \text{ cm}^{-1}$ , menurut penelitian [21] pada bilangan gelombang 3300-3700  $\text{cm}^{-1}$  mengidentifikasi adanya gugus O-H pada katalis.

## 3.2 Konversi

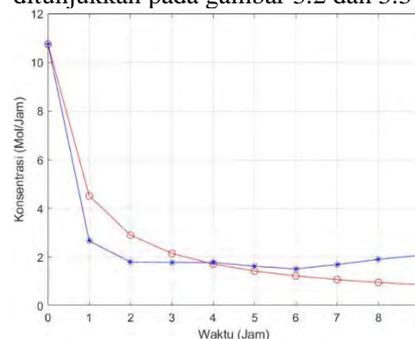
**Tabel 3. 1** Data Hasil Konersi Asam Levulinat pada Run 15

Jam Ke-	Berat Sampel	Volum e NaOH	%FFA	Konversi LA
0	0,6505	10,75	19,1698	0
1	0,5233	2,15	4,76590	75,138543
2	0,5418	1,5	3,21151	83,247057
3	0,5450	1,5	3,192661	83,34542351
4	0,5659	1,55	3,17724	83,42586619
5	0,5990	1,5	2,904841	84,84683775
6	0,5993	1,4	2,709828	85,8641283
7	0,5725	1,5	3,039301	84,145425
8	0,5437	1,6	3,413647	82,19264215
9	0,5308	1,7	3,715147	80,61986295

Nilai konversi tertinggi terdapat pada run 15 yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 dengan perbandingan rasio mol 1:12 dalam waktu 6 jam, dengan katalis loading 10%. Pada jam ke 7,8, dan 9 konversi mengalami penurunan dikarenakan pada jam ke 7,8 dan 9 banyak etanol yang menguap karena kesalahan mengatur suhu, sehingga terjadi hidrolisis ester, dimana aetil levulinat yang terbentuk akan kembali menjadi reaktan dan bahan baku, sehingga konversi pembentukan etil levulinat menurun.

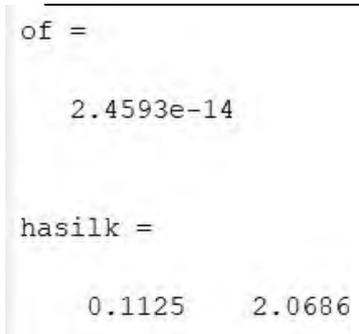
### 3.3 Kinetika Reaksi

Untuk mengetahui laju reaksi proses esterifikasi, maka dilakukan analisis kinetika reaksi menggunakan matlab yang akan ditunjukkan pada gambar 3.2 dan 3.3



**Gambar 3.3** Grafik Waktu terhadap konsentrasi reaktan

Parameter Sampel	Etil Levulinat	
Densitas	0,9736 g/cm <sup>3</sup>	1,012 g/cm <sup>3</sup>
Viskositas	1,57 cps	1,69 cps
Titik Didih	92 °C	94 °C



**Gambar 3.4** Hasil Laju Reaksi dan orde reaksi

Grafik yang tertera pada gambar 3.2 didapat dengan metode persamaan diferensial menggunakan matlab, untuk garis berwarna biru merupakan plot antara waktu dan Cadat dengan sumbu x merupakan waktu dan sumbu y merupakan Cadat (yang merupakan konsentrasi reaktan), dan untuk garis berwarna merah untuk sumbu x masih sama yaitu waktu, dan sumbu y merupakan Ca. Nilai Ca ini didapatkan dari persamaan diferensial menggunakan matlab dengan ode 23, sehingga didapatkan hasil seperti yang tertera pada gambar. Untuk hasil orde reaksi yang didapat dari matlab merupakan reaksi orde 2, dan untuk laju reaksi didapatkan nilai 0,1125.

Dapat dilihat juga pada gambar 3.2 menunjukkan semakin lama waktu maka konsentrasi reaktan pun akan semakin meningkat. Dengan meningkatnya konsentrasi reaktan memungkinkan banyaknya tumbukkan yang terjadi karena banyaknya partikel yang terdapat pada reaktan, sehingga tumbukan semakin efektif yang mengakibatkan konversi pun semakin meningkat [23]. Selain itu juga semakin lama waktu reaksi, kesempatan molekul-molekul untuk bertumbukan semakin lebih sering satu sama lain. Keadaan ini menyebabkan konversi reaksi meningkat dan laju pembentukan produk akan semakin besar [24]. Selain waktu dan konsentrasi reaktan, suhu pun mempengaruhi laju reaksi, suhu berbanding lurus dengan waktu, semakin lama waktu maka suhu reaksi pun akan semakin tinggi, karena reaksi esterifikasi

merupakan reaksi bolak balik sehingga kenaikan suhu dapat memperbesar laju reaksi [25].

### 3.4 Karakteristik

Sampel yang telah dihasilkan kemudian di uji pada tiga karakteristik yaitu viskositas, densitas, dan titik didih

Untuk hasil dari ketiga uji tersebut ditampilkan pada

**Tabel 4.2** berikut

**Tabel 3. 2** Karakteristik Etil Levulinat dan Sampel

Ketiga karakteristik tersebut dapat digunakan untuk memeriksa kemurnian dari suatu senyawa. Densitas, viskositas, hasil percobaan memiliki nilai yang cukup jauh dengan nilai karakteristik etil levulinate sebenarnya, sedangkan untuk titik didih menunjukkan nilai yang mendekati, hal tersebut menunjukkan bahwa reaksi esterifikasi berjalan dengan baik, sampel yang dihasilkan berupa etil levulinat hanya saja masih terdapat senyawa lain yang terkandung di dalam sampel.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

1. Kondisi optimum terdapat pada rasio mol 1:12, *catalys loading* 10%, dan dalam waktu 6 jam.
2. Setelah di uji FTIR ditemukan gugus sulfonate pada Panjang gelombang 1122,27 cm<sup>-1</sup>, serta ditemukan gugus O-H pada bilangan gelombang 3416,98 cm<sup>-1</sup>, dan S=O di Panjang gelombang 1386 cm<sup>-1</sup>.
3. orde reaksi yang didapat dari matlab merupakan reaksi orde 2, dan untuk laju reaksi didapatkan nilai 0,1125.
4. Hasil karakteristik etil levulinat menunjukkan perbedaan yang cukup jauh untuk parameter densitas dan viskositas, sedangkan titik didih sampel mendekati titik didih etil levulinat.

### 4.2 Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terdapat saran untuk melakukan analisis lebih lanjut mengenai kondisi operasi terutama suhu agar konversi yang dihasilkan optimum dan tidak mengalami penurunan

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. B. Setyawan dan G. M. Sabrie, "Kajian Potensi Kendaraan Bermotor Menjadi Barang Kena Cukai," *Jurnal Perspektif Bea dan Cukai*, vol. 6, no. 2, pp. 365-385, 2022.

- [2]. H. Joshi, B. Moser, J. Toler dan W. F. Smith, "Ethyl Levulinat: A Potential bio-based diluent for biodiesel which improves cold flow properties," *Biomass and Bioenergy*, vol. 35(7), pp. 3262-266, 2011.
- [3]. C. Patil, P. Niphadkar, V. Bokade dan P. Joshi, "Esterification of Levulinic Acid to Ethyl Levulinate ver Biomodal Micro-Mesoporous H/BEA Zeolite Derivatives," *Catalys Communications*, vol. 43, pp. 180-191, 2014.
- [4]. M. Zainol, M. Nazreen, W. A. Ylang, P. I. P. Hoe, T.T. M. Yussuf, M. A. S. Amin dan N. Aishah, "Ethyl Levulinat Synthesis form Levulinic Acid and Furfural Alcohol by Using Modified Carbon Cryogel," *AIDIC*, vol. 78, pp. 547-552, 2020.
- [5]. R. Rasyid, "Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Katalis pada Proses Esterifikasi Distilat Asam
- [6]. S. kadu, S. Kulkurnia dan R. Tapre, "Kinetics of Esterification of p-Tert. Butyl Cyclohexanol with acetid over ion Exchange Resin Catalyst," *NUICONE*, vol. 382, no. 482, pp. 1-4, 2011.
- [7]. R. Morrison dan R. Boyd, *Organic Chemistry*, New Delhi: Prentice-Hall of India, 2002
- [8]. D. W. Rackemann dan W. O. Doherty, "The Conversion of Lignocellulosics to Levulinic Acid," *Biofuels, Bioproduct and Biorefining*, vol. 5, no. 2, pp. 198-214, 2011.
- [9]. E. Kurniasih, A. Parlina dan Z. Rayhani, "PENGUNAAN KATALIS HETEROGEN UNTUK PRODUKSI BIODIESEL," *Jurnal Reaksi*, vol. 15, no. 01, pp. 2549-1202, 2017.
- [10]. N. M. A. G. dan A. , "Transesterifikasi Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Cangkang Kerang Darah (Andara Granosa) Kalsinasi 900°C," *Ind. Che. Acta*, vol. 5, no. 1, 2014,
- [11]. M. S. Ismail dan A. Waliuddin, "Effect of rice husk ash on high strength concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 10, no. 7, pp. 521-526, 1996.
- [12]. A. Putro dan D. Prasetyoko, "Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silika pada Sintesis Zeolit ZSM-5 Tanpa Menggunakan Templat Organik," *Akta Kimindo*, vol. 3, no. 1, pp. 33-36, 2007.
- [13]. R. Dewi, "Pembuatan Biocoal dari Campuran Batubara Lignit, Sekam Padi, dan Tempurung Kelapa (Pengaruh Temperatur Karbonisasi dan Ukuran Material)".
- [14]. N. H. dan N. Saniyyah, "Sekam Padi Menyerap Ion Logam Tembaga dan Timbal dalam Air Limbah," *Valnsi*, vol. 3, no. 2, 2013.
- [15]. S. Siahian, M. Hutapea dan R. Hasibuan, "PENENTUAN KONDISI OPTIMUM SUHU DAN WAKTU KARBONISASI PADA PEMBUATAN ARANG DARI SEKAM PADI," *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 2, no. 1, pp. 26-30, 2013.
- [16]. P. F. Rachim, E. L. Mirta dan M. Y. Thoha, "PEMBUATAN SURFAKTAN NATRIUM LIGNOSULFONAT DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN SULFONASI LANGSUNG," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 18, no. 1, pp. 41-46, 2012.
- [17]. S. Maysarah dan N. Herlina, "PEMBUATAN PEREKAT LIGNIN RESORSINOL FORMALDEHID DARI NATRIUM LIGNOSULFONAT TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT," *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara*, vol. 4, no. 4, pp. 58-63, 2015.
- [18]. T. A. Furi dan P. Coniwanti, "Pengaruh Perbedaan Ukuran Partikel dai Ampas Tebu dan Konsentrasi Natrium Bisulfit (NaHSO<sub>3</sub>) pada Proses Pembuatan Surfaktan," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 18, no. 4, 2012.
- [19]. Y. Kurniati, F. A. Prasetya, F. I. Hanafi, N. M. Taufik dan D. Arifyana, "Kajian Sintesis Katalis Asam Padat dari Limbah Sabut Siwalan (*Borassus flabellifer* L.) dengan Metode Sulfonasi," *Jurnal Pharmasci*, vol. 6, no. 2, 2021.
- [20]. M. H. Ikhsan dan U. K. Nizar, "Katalis Asam Padat Berbasis Karbon Tersulfonasi pada Proses Pembuatan Biodiesel," *Periodic*, vol. 9, no. 1, pp. 51-54, 2020.
- [21]. N. F. Wahyuni, A. Furqani dan S. Hendrana, "Analisa FTIR dari Sulfonasi Heterogen pada Polimer Mengandung Benzen," *LIPi*, 2017.
- [22]. D. Ranti, "Sintesis Karbon Aktif Tersulfonasi dari Buah Palembang Putri (*Veitchia merillii*) dengan Oksidator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> untuk Adsorpsi (VI)".
- [23]. F. Saputra, A. Fadli dan A. Amri, "Kinetika Reaksi pada Sintesis Hidroksiapatit dengan Metode Presipitasi," *Jom FTEKNIK*, vol. 3, no. 1, pp. 1-6, 2016.
- [24]. A. A. Pasaribu dan H. Rustamaji, "Kinetika Reaksi Esterifikasi Asam Lemak Bebas dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menjadi Metil Ester," *Prosiding SNSMAIP*, pp. 372-377, 2012.
- [25]. D. S. Retnowati, "Studi Awal Esterifikasi Etnol dan Asam Asetat dengan Katalis Zeolite yang Disusun "Fixed Bed"," *Reaktor*, vol. 8, no. 1, pp. 18-21, 2004.