

# Karakteristik Sifat Fisikokimia Etil Levulinat Sebagai Zat Aditif Bahan Bakar Menggunakan Katalis Heterogen Berbasis Biomassa

Alizza Asry Zafarina<sup>1,\*</sup>, Desti Fitriani<sup>2</sup>, Faradila Anindita<sup>3</sup>, Naufal Alip Cahya Ramadan<sup>4</sup>, Ramadhana Suci Fajriati<sup>5</sup>, Rony Pasonang Sihombing<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

Email : <sup>1,\*</sup>alizza.asry.tki22@polban.ac.id; <sup>2</sup>desti.fitriani.tki21@polban.ac.id; <sup>3</sup>naufal.alip.tkp22@polban.ac.id;

<sup>4</sup>faradila.anindita.tki20@polban.ac.id; <sup>5</sup>ramadhana.suci.tki20@polban.ac.id;

<sup>6</sup>rony.pasonang.sihombing@polban.ac.id

## ABSTRAK

Pencemaran udara semakin meningkat dari tahun ke tahunnya. Hal tersebut mampu berdampak buruk bagi kesehatan maupun lingkungan. Emisi transportasi memiliki persentase yang cukup tinggi dalam penyebab pencemaran udara yaitu sebesar 80-85%. Oleh karena itu, diperlukan zat aditif pada bahan bakar yang mampu mengurangi pencemaran udara tersebut. Salah satu zat aditif yang dapat digunakan yaitu Etil Levulinat. Etil Levulinat merupakan senyawa kimia yang dihasilkan dari lignoselulosa yang dapat digunakan di berbagai bidang khususnya sebagai zat aditif bahan bakar yang baik dalam mengurangi emisi gas Cox dan NOx. Zat aditif tersebut harus memiliki karakteristik sifat fisikokimia yang baik agar mampu berdampak secara maksimal. Sifat fisikokimia yang dapat mengidentifikasi zat aditif tersebut antara lain densitas, viskositas dan titik didih. Sintesis Etil Levulinat melalui proses Esterifikasi antara Asam Levulinat dan etanol dengan rasio mol 1:12. Pada proses ini menggunakan katalis loading dengan variasi 5%, 10% dan 15%. Analisa pengujian kandungan Etil Levulinat dilakukan menggunakan GC-MS. Karakterisasi terbaik didapatkan pada percobaan rasio mol 1:12 dengan penggunaan katalis loading 10%. Percobaan ini memiliki nilai densitas 0,9736; nilai viskositas 1,57; dan titik didih 92 yang hampir mendekati karakteristik Etil Levulinat pada umumnya.

### Kata Kunci

*Etil Levulinat, Densitas, Viskositas, Titik didih, Biomassa*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil polusi terbesar di dunia. Polusi tersebut sebagian besar disebabkan oleh penggunaan kendaraan yang berlebih. Peningkatan populasi di Indonesia berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan alat transportasi. Hal ini berakibat pada penggunaan bahan bakar yang menghasilkan emisi gas buang juga meningkat. Tercatat emisi transportasi menyumbang 80-85% dari beberapa penyebab pencemaran udara yang ada (Pranata dkk., 2021). Gas buang pada kendaraan bermotor berkontribusi sebesar 70% terhadap pencemaran Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Karbon Monoksida (CO), Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan partikulat (PM) di wilayah perkotaan. (menlhc, 2021).

Salah satu emisi yang cukup berbahaya dari kendaraan bermotor yaitu NO<sub>x</sub> dan CO. NO<sub>x</sub> dapat meracuni paru-paru, kemudian jika terpapar dalam waktu yang lama dapat menyebabkan timbulnya kanker. Sedangkan CO jika melebihi kadar normal dapat menyebabkan peningkatan Carboxy hemoglobin (CO-Hb) (Wahab dkk., 2019). Sebanyak 6,5 juta orang meninggal setiap tahunnya akibat dari kualitas udara yang buruk, 70% diantaranya terjadi di Asia Pasifik termasuk di Indonesia. (menlhc, 2021). sebanyak 7 juta orang meninggal akibat polusi udara. (WHO, 2023). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi pencemaran udara adalah dengan penambahan zat aditif pada bahan bakar. Salah satu sumber yang bisa digunakan untuk aditif tersebut adalah etil levulinat.

Etil Levulinat tersebut di sintesis melalui proses Esterifikasi dengan bantuan katalis Loading yang berasal dari sekam padi. Karakteristik yang tepat

akan membantu agar dampak penambahan zat aditifnya lebih optimal dan mampu mengurangi dampak dari emisi gas buang kendaraan bermotor yang berbahaya bagi kesehatan manusia.

## 1.2 Tujuan Khusus Riset

1. Mengetahui pengaruh jumlah katalis (katalis loading) terhadap karakteristik Etil Levulinat sebagai zat aditif pada bahan bakar
2. Mengetahui nilai Densitas, Viskositas dan Titik didih Etil Levulinat berdasarkan analisa pengujian
3. Memberi informasi dan referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai karakteristik sifat fisikokimia etil levulinat sebagai zat aditif pada bahan bakar dengan rasio mol 1:12

## 1.3 Tinjauan Pustaka

### 1.3.1 Etil Levulinat

Etil levulinate merupakan salah satu alkil leulinat yang dihasilkan dengan mensintesis bahan baku melalui reaksi katalitik dengan etanol (Zainol dkk., 2020). Etil levulinate digunakan pada bidang rasa, pelarut, tekstil, dan aditif bahan bakar. Etil levulinate memiliki kinerja yang baik sebagai zat aditif bahan bakar sehingga menyebabkan efisiensi mesin yang lebih tinggi dan menghasilkan emisi CO dan NO<sub>x</sub> yang lebih rendah. Namun harga pasar etil levulinate lebih tinggi, dibanding zat aditif jenis lainnya, oleh karena itu perlu optimasi terhadap pembuatan etil levulinate tersebut, maka dilakukannya penelitian ini untuk menekan harga etil levulinate.

Etil levulinate dapat dihasilkan dari proses esterifikasi menggunakan asam levulinate dengan bantuan katalis heterogen karbon sulfonate. Sekam padi dapat digunakan sebagai katalis dikarenakan sekam padi memiliki kandungan SiO<sub>2</sub> sebanyak 80% dan beberapa kandungan yang dapat digunakan sebagai support katalis pada proses pembuatan biodiesel (Kusyanto & Purwa, 2017). Pada riset sebelumnya menghasilkan etil levulinat dengan yield sebesar 98% dengan katalis loading yang digunakan berupa katalis Zeolit beta sebesar 20% (Patil dkk., 2014). 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.

### 1.3.2 Katalis Heterogen

Katalis heterogen merupakan katalis yang berada pada fase berbeda dengan reaktannya. Penggunaan katalis heterogen digunakan untuk mengatasi kelemahan katalis homogen yaitu rumitnya pemisahan produk biodiesel yang dihasilkan dan terbentuknya produk samping berupa sabun. Katalis heterogen sangat mudah dipisahkan dari sistem di akhir proses atau reaksi dan dapat digunakan kembali. (Widharta, 2021) Karbon menjadi salah satu katalis heterogen yang potensial untuk transesterifikasi minyak nabati. Aplikasi ini merupakan metode yang karena dapat menghasilkan katalis heterogen berbasis bio yang sangat efisien. Katalis padat yang terbuat dari biomassa menyajikan solusi ramah lingkungan karena tidak beracun, tidak korosif dan menghilangkan produksi air limbah. (Widharta, 2021)

Salah satu metode untuk sintesis katalis hidrogen, yaitu dengan cara karbonisasi. Karbon memiliki permukaan dan volume pori yang besar, sehingga daya serapnya besar. Karbon aktif adalah karbon yang sudah mengalami aktivasi, sehingga luas permukaannya menjadi lebih besar karena jumlah porinya lebih banyak. Karbon aktif memiliki struktur amorf dengan luas permukaan 300-2000 m<sup>2</sup>/gr (Raka dkk, 2022).

Aktivasi karbon aktif dengan penambahan asam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dimana terdapat gugus asam sulfonat -SO<sub>3</sub>H. Reaksi tersebut melibatkan penggabungan gugus asam sulfonat -SO<sub>3</sub>H, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, oleum, persenyawaan SO<sub>2</sub>, dan senyawa sulfoalkilasi. Zat pensulfonasi yang paling efisien adalah SO<sub>3</sub> karena hanya melibatkan satu reaksi adisi secara langsung. Pada Karbon aktif tersulfonasi, spesies sulfat yang teradsorpsi di dalam pori katalis memberikan kestabilan struktur katalis. Luas permukaan katalis ini berperan dalam interaksi pusat aktif dengan selulosa pada permukaan katalis. Katalis harus memiliki diameter pori yang lebih besar dan luas permukaan spesifik yang lebih besar yang mendukung hidrofobisitas dan situs katalitik eksternal di dalamnya untuk membuat katalis asam padat yang unggul. (Rizki dkk, 2013)

Berdasarkan SNI 06-3730-1995 tentang arang aktif teknis, arang aktif berbentuk serbuk yang berkualitas baik memiliki kadar air maksimal sebesar 15%, kadar zat mudah menguap maksimal 25%, kadar abu maksimal 10% dan kadar karbon minimal 65%. (Emy dkk, 2017)

### 1.3.3 Sekam Padi

Sebagai negara agraris, Indonesia merupakan produsen padi. Berdasarkan data Biro Pusat Statistik Kalimantan Timur pada tahun 2014 jumlah produksi padi mencapai 432.612 ton Gabah Kering Giling (GKG) (BPS, 2014). Menurut Folleto dalam Soeswanto (2011) sekam padi yang dihasilkan dari proses penggilingan sebanyak 20% dari produksi padi. Dari produksi tersebut didapatkan sekam padi kurang lebih 86.522 ton.

Sekam padi merupakan lapisan keras yg meliputi kariopsis yg terdiri atas dua belahan yg dianggap lemma dan palea yang saling bertautan. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah berasal butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Selama ini sekam padi hanya dibakar begitu saja atau dijadikan sebagai media tanam (menurut data BPS (2019)). Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat dipergunakan buat aneka macam kebutuhan misalnya: bahan standar industri, pakan ternak dan tenaga atau bahan bakar. Berdasarkan jenis biomassa, sekam padi memiliki potensi tenaga 30% dari total biomassa di Indonesia pada bawah *palm oil* sebesar 39% dan memberikan potensi energi yang dapat didapatkan berasal biomassa di semua provinsi di Indonesia. Selain itu pula mengungkapkan pengembangan biomassa di Indonesia tahun 2011-2019.

Sekam padi adalah bahan berlignoselulosa seperti biomassa lainnya namun mengandung silika yang tinggi. Sekam padi tersusun berasal palea serta lemma yg terikat menggunakan struktur pengikat yang menyerupai kulit. Sel-sel sekam padi yang telah matang mengandung lignin dalam konsentrasi yang cukup tinggi (Prabawati, S. Y., & Wijaya, A. G. 2008). Kandungan kimia sekam padi terdiri atas 50 % selulosa, 25 – 30 % lignin, dan 15 – 20 % silika (Ismail and Waliuddin, 1996). berdasarkan Petro (2007), abu sekam padi menggunakan pembakaran terkontrol menggunakan suhu tinggi berkisar antara 500-600 °C bisa dimanfaatkan dalam bermacam-macam proses kimia. berdasarkan Ismail dalam Prasad.R (2012) 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%. Dalam penelitian sebelumnya SiO<sub>2</sub> diekstraksi dari abu sekam padi dengan KOH dan digunakan menjadi katalis heterogen di pembuatan biodiesel.

### 1.3.4 Karbonisasi

Karbonisasi merupakan konversi yang berasal dari zat organik menjadi arang. Karbon yang terkandung pada dalam arang bereaksi menggunakan oksigen di bagian atas membentuk karbon monoksida berdasarkan reaksi berikut (Borman dan Ragland, 1998):



bagian atas karbon jua bereaksi menggunakan karbondioksida dan uap air dengan reaksi reduksi menjadi berikut :



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 (Dewi R. , 2014).

Selama proses karbonisasi, gas-gas yang mampu terbakar seperti CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, formaldehid, methana, asam formiat dan asam asetat dan gas-gas yg tidak bisa terbakar seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O dan tar cair dilepaskan. Gas-gas yg dilepaskan di proses ini mempunyai nilai kalor yg dapat dipergunakan buat memenuhi kebutuhan kalor di proses karbonisasi.

### 1.3.5 Esterifikasi

Fessenden dan Fessenden (dalam Jessica dkk, 2019:2) menjelaskan bahwa esterifikasi merupakan reaksi untuk pembentukan ester dengan reaksi langsung antara asam karboksilat dengan alkohol yang menghasilkan ester dan produk samping air. Asam karboksilat yang digunakan bisa berasal dari asam lemak bebas yang terdapat pada minyak nabati atau berupa distilat asam lemak sawit (Rasyd, dikutip dalam Jessica dkk, 2019).

Kadu dkk (dalam Jessica dkk, 2019:2) juga menjelaskan bahwa reaksi esterifikasi itu membutuhkan suatu katalis atau suatu zat untuk mempercepat reaksi karena jika tidak diberi katalis, reaksi akan berjalan sangat lambat. Hal ini terjadi karena kecepatannya tergantung pada autoprotonasi dari asam karboksilat.

Morrinson dan Boyd (dalam Jessica dkk, 2019:2) menjelaskan bahwa reaksi esterifikasi merupakan reaksi yang reversibel dan berjalan sangat lambat, tetapi tidak jika menggunakan katalis. Jika menggunakan katalis khususnya katalis asam mineral seperti asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) atau asam

klorida (HCl), maka kesetimbangan akan tercapai dalam waktu yang cepat.

Metode esterifikasi ini akan digunakan untuk membuat etil levulinate dengan menggunakan asam levulinat dan etanol ditambah katalis heterogen karbon sulfonat yang telah melalui proses karbonisasi dan sulfonasi. Selain menghasilkan etil levulinate, reaksi ini juga menghasilkan produk samping berupa air.

### 1.3.6 Karakteristik Etil Levulinat

Densitas dari etil levulinat sangat berpengaruh terhadap kualitas dari campuran bahan bakar dengan etil levulinat, semakin tingginya nilai densitas maka akan meningkatkan emisi NO<sub>x</sub>. (Unlu, dkk., 2018). Viskositas sangat penting untuk bahan bakar dikarenakan viskositas menjadi tolak ukur suatu cairan dapat mengalir. Pada bahan bakar, jika nilai viskositas tinggi akan berpengaruh terhadap sistem pengumpanan bahan bakar, namun jika viskositas terlalu rendah akan mengakibatkan kurangnya pelumasan yang dapat menyebabkan keausan dan kebocoran. (Marinez, dkk. 2014). Titik didih digunakan sebagai pola ukur dalam menentukan kemurnian produk, dikarenakan titik didih suatu zat murni akan tetap konstan. Ketiga karakteristik tersebut dapat digunakan untuk memeriksa kemurnian dari suatu senyawa.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian karakteristik sifat fisikokimia Etil Levulinat sebagai zat aditif bahan bakar menggunakan katalis heterogen berbasis biomassa dilakukan pada rentang bulan April - Juni 2023. Seluruh Proses dilakukan di Laboratorium Satuan Proses, 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	
Sulfonasi	Suhu 150 °C, waktu 4 jam	
Esterifikasi	Rasio mol 1:12, waktu 9 jam	Katalis loading 5%, 10%, 15%

## 2.3 Persiapan Alat dan Bahan

### 2.3.1 Bahan

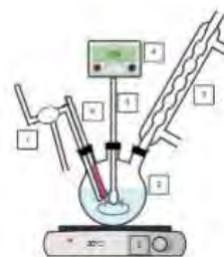
Bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

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> )	1 liter

### 2.3.2 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Rangkaian Alat Esterifikasi

Keterangan:

1. Labu leher tiga
2. Waterbath
3. Kondensor
4. Motor pengaduk
5. Pengaduk
6. Pengaduk
7. Termometer
8. Pengambil sampel

Keterangan: Ditambah beberapa alat pendukung lainnya.

### 2.4 Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

#### 2.4.1 Pre-treatment sekam padi

Sekam padi direndam dengan air hingga kotoran yang ada pada sekam padi terangkat, kemudian dikeringkan dalam udara terbuka, selanjutnya dihaluskan dan dilakukan pengayakan menggunakan ayakan 65 mesh.

#### 2.4.2 Karbonisasi

Karbonisasi sekam padi menggunakan furnace dengan suhu 500oC selama 2 jam, pada proses ini sekam padi akan berubah menjadi arang.

#### 2.4.3 Sulfonasi

Setelah karbonisasi sekam padi selesai, sulfonasi dilakukan dalam labu leher dua yang direaksikan dengan asam sulfat 98% pada suhu 150oC 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 konsentrasi asam.

#### 2.4.4 Esterifikasi

Pada proses ini dilakukan pada labu leher tiga yang ditempatkan di waterbath. Kemudian asam levulinate dan etanol dimasukkan ke dalam labu leher tiga dengan rasio mol (asam levulinate:etanol) 1:10, yakni asam levulinate sebanyak 11,6 gram dan ethanol sebanyak 46 gram. Setelah etanol dan asam levulinate dimasukkan kemudian dilakukan pengadukan dan secara perlahan ditambahkan katalis heterogen karbon sulfonate dengan variasi 5%, 10%, dan 15% dengan waktu esterifikasi selama 9 jam dan suhu 80oC.

#### 2.4.5 Pemisahan

Setelah proses esterifikasi selesai dilanjutkan dengan pemisahan antara etil levulinate dengan katalis heterogen menggunakan corong buchner. Kemudian dilanjutkan dengan pemisahan antara etil levulinate dengan air.

#### 2.4.6 Evaporasi

Proses esterifikasi dilakukan setelah etil levulinate dipisahkan dengan katalis dan air, proses evaporasi ini dilakukan menggunakan rotary evaporator untuk menguapkan sisa etanol dalam hasil esterifikasi.

#### 2.5 Indikator

Indikator capaian yang diharapkan dari penelitian ini yaitu menghasilkan yield etil levulinate yang tinggi sehingga dapat meningkatkan kinerja sebagai zat aditif bahan bakar.

#### 2.6 Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu meliputi pengolahan data secara kuantitatif menggunakan metode gravimetri selain itu beberapa alat dilibatkan dalam analisis data diantaranya FT-IR dan GC-MS.

#### 2.7 Cara Penafsiran

Data-data yang telah dihasilkan dari analisis data ditampilkan dalam bentuk gambar, tabel, kurva, dan diagram.

#### 2.8 Penyimpulan Hasil Penelitian

Kesimpulan dapat ditarik dari hasil penyajian gambar, tabel, kurva, dan diagram. Kesimpulan yang dapat diambil diantaranya adalah *yield* etil levulinate tertinggi, fenomena perubahan *yield* terhadap katalis loading.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Esterifikasi bertujuan membentuk senyawa ester dan air. Proses esterifikasi ini dilakukan dengan perbandingan rasio mol dengan mol alkohol yaitu 1:12 dengan jumlah mol alkohol yang lebih besar maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan sehingga produk ester akan lebih banyak (Bagus, dkk., 2014).

Tabel 3.1 Data Hasil Konversi Asam Levulinat

Jam Ke-	Berat Sampel (gram)	Volume NaOH (ML)	Penyetaraan Berat Sampel (ML)	Konversi LA (%)
0	0,6505	10,75	10,75	0
1	0,5233	2,15	2,672606535	75,13854386
2	0,5418	1,5	1,800941307	83,24705761
3	0,5450	1,5	1,790366972	83,34542351
4	0,5659	1,55	1,781719385	83,42586619
5	0,5990	1,5	1,628964942	84,84683775
6	0,5993	1,4	1,519606207	85,864128307
7	0,5725	1,5	1,704366812	84,14542512
8	0,5437	1,6	1,914290969	82,19264215
9	0,5308	1,7	2,083364732	80,61986295

Berdasarkan data di atas, nilai konversi tertinggi pada run 15 dengan perbandingan rasio mol 1:12 dalam waktu 6 jam dengan katalis loading 10%.

Selanjutnya sampel diekstrak dengan pelarut toluen untuk memisahkan produk dari air.

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 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Karakteristik Etil Levulinat

Parameter	Sample	Etil Levulinat
Densitas	0,9736	1,012
Viskositas	1,57	1,69
Titik Didih	92	94

Densitas, viskositas, dan titik didih hasil percobaan memiliki nilai yang mendekati nilai karakteristik etil levulinate sebenarnya, 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

Berdasarkan penelitian, dapat disimpulkan bahwa Karakteristik Etil Levulinat yang paling mendekati dengan nilai teoritis terdapat pada percobaan menggunakan variasi rasio mol Asam levulinat:Etanol sebesar 1:12 dengan konsentrasi katalis loading 10% dalam waktu 6 jam. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi rasio mol yang digunakan maka konversi yang dihasilkan lebih besar. Pada saat penelitian, penambahan katalis loading yang lebih dari 10% menyebabkan reaksi berjalan secara tidak sempurna. Sehingga katalis loading 10% yang digunakan akan lebih optimum.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kami panjatkan kepada tuhan yang Maha Esa, atas nikmatnya kami dapat menyelesaikan karya tulis ini. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari setiap pihak, sulit untuk menyelesaikan karya ini. Oleh sebab itu kami mengucapkan terimakasih kepada:

1. Rony Pasonang Sihombing S.T., M. Eng selaku dosen pembimbing
2. Dr. Shoerya Shoelarta, LRSC. MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung
3. Seluruh staf administrasi dan pranata Laboratorium Pendidikan Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung
4. Keluarga juga kerabat yang mendukung kami Penulis menyadari bahwa karya tulis ini masih terdapat kekurangan, dan diharapkan kririk dan

juga saran yang membangun untuk menyempurnakan karya ini. Akhir kata, penulis ucapkan terimakasih semoga karya ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membaca.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azzahro, U.L. & Broto, W., 2021. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara Sebagai Katalis CaO pada Pembuatan Biodiesel Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Sosial dan Teknologi*, Volume Vol 1. No 6, pp. 500-507.
- [2] Jaya, J. M., Hunga, A. Y. M., Nikmah, S. S. & Susanti, M. M., 2019. Sintesis Senyawa Etil Laurat Menggunakan Variasi Volume Katalis Asam Sulfat Pekat. *Jurnal Labora Medika*, Volume Vol 3 No 1, pp. 1-9.
- [3] Jia, B., Liu, C. & Qi, X., 2020. Selectiva production of ethyl levulinate from levulinic acid by lipase-immobilized mesoporous silica nanoflowers composite. *Fuel Processing Technology* 210,106578, pp. 1-7.
- [4] K. & Hasmara, P. A., 2017. Pemanfaatan Abu Sekam Padi Menjadi Katalis Heterogen dalam Pembuatan Biodiesel dari Minyak Sawit. *J. Trop. Pharm. Chem*, Volume Vol 4. No.1, pp.14-21.
- [5] Menlhk, 2021. Uji Emisi Kendaraan Sebagai Bentuk Kontribusi Masyarakat Terhadap Pengendalian Pencemaran Udara. 08 Juni.
- [6] N., Mukhtar, A. & Gapur, A., 2014. Transesterifikasi Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Kalsinasi 900oC. *Ind Che Acta*, Vol.5(1), pp. 23-29.
- [7] Patil, C. R., Niphadkar, P. S., Bokade, V. V. & Joshi, P. N., 2014. Esterification of levulinic acid to ethyl levulinate over bimodal micromesoporous H/BEA zeolite derivatives. *Catalysis Communications*, pp. 188-191.
- [8] Pranata, A. et al., 2021. Mamfaatkan Limbah Skrap Aluminium Untuk Knalpot Sepeda Motor Vega ZR Tahun 2011 Guna Mengurangi Polusi Udara. *Jurnal Rekayasa*, Volume Vol 4, No 2.
- [9] Wahab, A. W., Nafie, N. L., Raya, I. & Hala, Y., 2019. Pelatihan Pengukuran Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Nitrogen Oksida (NOx) pada Kendaraan Bermotor di SMA Negeri 2 Bone. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* , Vol 3(2), pp. 125-132.

- [10] WHO, 2022. Call for consultant to assist the WHO expert working group on climate change, air pollution and health. *WHO*, 16 December.
- [11] Wu, K. et al., 2021. Inter-integration reactive distillation with vapor permeation for ethyl levulinate production: Modeling, process analysis and design. *Chemical Engineering Science* 245, pp. 1-13.
- [12] Zainol, M. M. et al., 2020. Ethyl Levulinate Synthesis from Levulinic Acid and Furfuryl Alcohol by Using Modified Carbo Cryogels. *AIDIC*, Volume Vol. 78, pp. 547-55