

## EVALUASI KADAR ASAM LEMAK BEBAS PADA *PALM OIL MILL EFFLUENT* (POME) SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BIODISEL

### *Evaluation of Free Fatty Acids in Palm Mill Effluent (POME) As Raw Material for Biodiesel*

Dwi Sarwanto<sup>1)</sup>, Ika Kusuma Nugraheni<sup>2)\*</sup>, Nuryati<sup>1)</sup>, Anggun Angkasa BP<sup>2)</sup>, Triyono<sup>3)</sup>, Wega Trisunaryanti<sup>3)</sup>

<sup>1),3)</sup>Jurusan Teknologi Industri Pertanian Politeknik Negeri Tanah Laut

<sup>2)</sup>Jurusan Mesin Otomotif Politeknik Negeri Tanah Laut

<sup>3)</sup>Departemen Kimia Universitas Gadjah Mada

Jl. Ahmad Yani km.6, Desa Panggung, Kecamatan Pelaihari, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan

\*email: [ika.kusuma.n@politala.ac.id](mailto:ika.kusuma.n@politala.ac.id)

#### ABSTRAK

*Palm Oil Mill Effluent* (POME) merupakan limbah cair pabrik kelapa sawit yang masih memiliki kandungan lemak. POME dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Namun besarnya kandungan Asam Lemak Bebas (ALB), menjadikan POME harus dipreparasi sebelum dilakukan proses esterifikasi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perubahan nilai ALB dalam preparasi POME dan mengetahui perubahan ALB dengan adanya penambahan adsorben zeolite teraktivasi. Preparasi dilakukan dengan pemanasan POME pada suhu 60°C kemudian *didegumming* menggunakan asam fosfat 3% selama 30 menit, dan dilanjutkan dengan *bleaching* menggunakan arang aktif dengan perbandingan 8:3 dari berat POME (dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam). Adsorpsi dilakukan pada saat esterifikasi menggunakan zeolit aktif sebanyak 3% dari berat POME yang dipanaskan pada suhu 60°C selama 4 jam. Uji yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengecekan kadar ALB menggunakan metode titrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa presentasi penurunan ALB yang terbaik terdapat pada perlakuan yang dilakukan proses *degumming*, *bleaching* dan esterifikasi dengan zeolit. Efektivitas penurunan ALB dengan metode ini mencapai 45,20%.

**Kata Kunci:** POME, KOH, ALB, Esterifikasi.

#### ABSTRACT

*Palm Oil Mill Effluent* (POME) is a liquid waste from the Palm Oil Industry that still has lipid contents. POME can be used as raw materials for biodiesel production. But the high number of FFA content makes POME need to prepare for reducing FFA before esterification. The aim of this study is to evaluate the FFA in POME preparation and FFA in adsorption using active zeolite. Preparation was done by heating POME in 60 oC and degumming with 3% of phosphate acids in 30 minutes and then bleaching using active charcoal in ratio 8:3 from POME weight (it was heating on 100 oC in 1 hour). Adsorption while esterification using 3% of active zeolite that heated on 600C in 4 hours. The FFA content was analyzed using titration. The result showed that the good in reduction FFA number was the treatment using degumming, bleaching and esterification using active zeolite. The effectiveness in reducing FFA is 45.20%.

**Keywords:** POME, KOH, ALB, Esterification

#### PENDAHULUAN

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari sumber lipid

terbarukan, seperti minyak sayur atau lemak hewani melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dengan alkohol seperti

metanol dan merupakan bahan bakar cair yang mempunyai sifat menyerupai diesel yang berasal dari minyak fosil dengan hasil pembakaran yang lebih bersih dibandingkan diesel (Gog dkk., 2012). Biodiesel (*methyl ester*) terbentuk melalui reaksi antara senyawa ester (CPO) dengan senyawa alkohol (metanol) sehingga terbentuk senyawa ester baru (*methyl ester*). Biodiesel dihasilkan dari proses transesterifikasi antara trigliserida dengan alkohol rantai pendek.

Bahan baku biodiesel yang sedang dikembangkan adalah limbah POME (*Palm Oil Mill Effluent*), yang merupakan limbah cair kelapa sawit. Pengolahan minyak kelapa sawit di dalam pabrik menghasilkan 20-22% *Crude Palm Oil* (CPO). Selain itu, 0,5%-2,0% minyak hilang bersama limbah (*oil losses*), 0,5-1% dari berat Tandan Buah Segar (TBS) yang diolah merupakan minyak yang terikut dalam limbah cair. POME saat ini masih menjadi masalah dan belum termanfaatkan secara optimal. Jumlah fraksi minyak yang ada pada POME relatif kecil, tetapi potensi minyak limbah yang terakumulasi pada kolam limbah pertama dapat mencapai 1,5-2 ton per hari untuk pabrik yang mengolah 400 ton TBS per hari (Budiyanto dkk., 2012).

POME masih memiliki kandungan asam lemak bebas (ALB) yang tinggi. Nilai ALB akan mempengaruhi hasil metil ester yang terbentuk pada pembuatan biodiesel. Pada pembuatan metil ester dengan cara transesterifikasi, apabila bahan baku mempunyai ALB tinggi maka akan dapat menyebabkan *blocking* yaitu metanol yang

seharusnya bereaksi dengan trigliserida terhalang oleh pembentukan sabun (Sari & Kembaren, 2019). Sehingga pembuatan biodiesel dari bahan baku berkadar ALB tinggi membutuhkan proses pendahuluan sebelum dilakukan reaksi transesterifikasi.

Mardina (2012) telah melakukan penelitian mengenai penurunan bilangan asam pada minyak jelantah menggunakan adsorben arang aktif tempurung kelapa. Bilangan asam minyak jelantah dapat diturunkan kadarnya dengan menggunakan adsorben tersebut. Karena kemampuannya dalam adsorpsi dan dapat mencerahkan warna, maka penggunaan arang aktif ini juga menjadi tahapan *bleaching*/pencerahan warna. Selain dengan *bleaching*, proses preparasi POME dilakukan dengan penghilangan gum dengan cara *degumming* menggunakan asam fosfat. Pada reaksi *degumming* menggunakan adalah asam fosfat ( $H_3SO_4$ ) (Lee dkk., 2009).

Upaya memperbaiki ALB biodiesel dari POME bisa dilakukan dengan melakukan proses *degumming*, *bleaching* dan esterifikasi menggunakan zeolit (Budiyanto dkk, 2012). Zeolite merupakan katalis heterogen yang juga memiliki kelebihan dalam kemampuan adsorpsi. Selain itu, dengan bentuknya yang padat, katalis ini dapat digunakan berulang, sehingga dapat lebih efisien dan ekonomis. Penelitian terdahul menunjukkan bahwa transesterifikasi POME menggunakan katalis zeolit lokal dapat menghasilkan metil ester (Nugraheni dkk., 2018). Pada penelitian ini

akan diketahui efektivitas perlakuan *degumming*, *bleaching* dan penggunaan zeolit dalam menurunkan nilai ALB POME.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Hotplate*, labu leher tiga, termometer, gelas beaker, kondensor, *stirrer*, erlenmeyer, corong, *furnace*, neraca analitik dan oven. Bahan yang digunakan yaitu zeolit, KOH, POME, akuades, NaOH, arang aktif, kertas saring, indikator PP, alkohol, metanol dan asam fosfat.

### Prosedur Kerja

#### Preparasi POME

Preparasi bahan dilakukan di laboratorium Bioenergi Politala. POME yang digunakan berasal dari PT. GMK PKS Satui. POME yang digunakan sebanyak 1 liter, kemudian dipanaskan pada rentang 100°C-150°C. POME *didegumming* dengan penambahan asam fosfat sebanyak 3% dari berat bahan baku, dipanaskan dan diaduk selama 30 menit, endapan yang diperoleh kemudian dipisahkan menggunakan kertas saring, sehingga akan didapatkan presentasi minyak pada sampel POME. Setelah *degumming* dengan asam phospat, kemudian dilakukan proses *bleaching*. *Bleaching* dilakukan dengan pemanasan POME pada 70°C dan ditambahkan serbuk arang aktif dengan perbandingan 8:3 dari berat POME, pemanasan ditingkatkan menjadi 100°C sambil terus dilakukan

pengadukan dengan *magnetic stirrer* selama 60 menit (Aisyah dkk., 2010). Setelah proses *bleaching* ini selanjutnya ditentukan kadar asam lemak bebasnya (ALB).

#### Esterifikasi POME dengan adsorben zeolit

Sebelum dilakukan esterifikasi, zeolit diaktifasi dengan menggunakan KOH dengan perbandingan 1 : 4 (200 gram KOH : 800 gram aquades). Esterifikasi dilakukan dalam labu leher tiga yang dilengkapi dengan kondensor *refluks*, *indicator* suhu dan *water bath heater*. Campuran zeolit dan POME dipanaskan pada suhu 60°C dengan kecepatan pengadukan 500 rpm. Metanol ditambahkan ke dalam POME dengan rasio 1:7, zeolit yang digunakan sebanyak 3% dari jumlah berat POME. Esterifikasi dilakukan selama 4 jam kemudian didinginkan dan disaring untuk memisahkan POME dari zeolit (Kusuma dkk., 2013).

#### Penentuan angka ALB

Kadar ALB ditentukan dengan cara titrasi. sampel ditimbang 3-5 gram kemudian ditambahkan 30 ml n-heksana, 20 ml alkohol dan 3 tetes indikator PP. Setelah semua larutan tercampur dilakukan titrasi menggunakan NaOH 0,1 N, sampai berubah warna dan dicatat volume NaOH yang digunakan. Perhitungan kadar ALB ditentukan berdasarkan persamaan 1.

$$\%ALB = \frac{256 \times V \text{ Titrasi} \times N \text{ NaOH}}{\text{Berat Sampel} \times 1000} \times 100\% \quad \dots(1)$$

Perhitungan kadar ALB ini menjadi acuan bagaimana pengaruh pemanfaatan *degumming*, *bleaching* dan esterifikasi

dengan zeolit maupun tanpa zeolit untuk penurunan ALB, pada setiap perlakuan.

**Tabel 1.** Jenis Perlakuan Esterifikasi

Perlakuan	Jenis Perlakuan				
	POME	<i>Degumming</i>	<i>Bleaching</i>	Esterifikasi Dengan Zeolite	Esterifikasi Tanpa Zeolite
1	√	√	√	√	-
2	√	√	√	-	√
3	√	√	-	√	-
4	√	√	-	-	√

Keterangan : (√) Dilakukan  
(-) Tidak Dilakukan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kandungan Minyak pada POME

POME sebagai bahan baku pada penelitian ini adalah hasil samping dari pengolahan industri *Crude Palm Oil* (CPO). Sampel POME yang digunakan berasal dari pabrik kelapa sawit milik PT. Gawi Makmur PKS Satui, pengambilan POME diambil pada penampungan kolam pertama dari pembuangan limbah dari industri kelapa sawit, karena pada kolam pertama ini POME masih mengandung minyak yang cukup tinggi. Namun sebelum dilakukan proses pengolahan lebih lanjut, dilakukan analisis kandungan minyak yang dimiliki oleh POME terlebih dahulu. Berdasarkan hasil analisa, kandungan minyak yang ada dalam POME sebesar 31,79%. Nilai ini cukup besar sehingga masih memiliki potensi untuk dapat diolah kembali menjadi Biodiesel.

**Tabel 2.** Kandungan Minyak Pada Sampel POME

POME Awal (gram)	Besar Kandungan Minyak	(%) Minyak yang Didapatkan Pada POME
986,23	313,50	31,79

### Kadar ALB Preparasi POME

POME yang telah diketahui kadar minyaknya, kemudian dianalisis kandungan ALB-nya. Berdasarkan hasil analisa kadar ALB menunjukkan bahwa POME masih memiliki kandungan asam lemak bebas yang cukup tinggi. Sehingga diperlukan preparasi terlebih dahulu. Preparasi yang dilakukan dengan *degumming* menggunakan asam fosfat dan *bleaching* menggunakan arang aktif.

*Degumming* adalah proses penyingkiran senyawa gum (*phospholipid*). Pada penelitian ini, proses *degumming* dilakukan dengan menggunakan asam fosfat, dimana Asam fosfat dapat berfungsi sebagai reagen dalam mengendapkan zat-zat seperti protein dan gum. Penghilangan gum bertujuan untuk menghilangkan kotoran yang dapat mempengaruhi stabilitas produk minyak. Proses ini dilakukan dengan cara penambahan asam fosfat ke dalam POME, kemudian diaduk secara konstan sehingga akan membentuk senyawa fosfolipid yang lebih mudah terpisah dari minyak.

Asam fosfat merupakan asam lemah yang mempunyai satu ikatan rangkap fosfor-

oksigen yang dapat digunakan untuk delokalisasi muatan pada ion, sehingga lebih mudah mengikat senyawa fosfolipid yang terkandung dalam minyak dan dapat terpisahkan dengan cara penyaringan. Fosfolipid dapat mengganggu stabilitas produk akhir biodisel. *Degumming* ini juga dapat berfungsi untuk menurunkan kadar ALB namun tidak terlalu signifikan yaitu

sebesar 1,24% dari rata-rata setiap perlakuan. Meskipun asam fosfat mampu menurunkan ALB, penggunaan asam fosfat yang terlalu banyak dapat merusak minyak, karena sisa asam fosfat yang tidak bereaksi mengakibatkan kenaikan nilai FFA pada minyak, sehingga penggunaan asam fosfat untuk proses *degumming* ini harus diperhatikan (Ristianingsih dkk., 2011).

**Tabel 3.** Kadar ALB *Preparasi POME*

Perlakuan	Kadar ALB (%)		
	POME Awal	<i>Degumming</i>	<i>Bleaching</i>
1	20,11	19,20	17,28
2	19,94	18,00	16,82
3	18,45	17,51	-
4	18,45	17,28	-

Keterangan :

(-) Tidak Ada Dilakukan

Fungsi asam fosfat dalam menurunkan ALB akan menjadi meningkat ketika proses preparasi dilanjutkan dengan *bleaching* menggunakan *adsorben* arang aktif. Karbon/arang merupakan suatu katalis yang baik yang dapat digunakan pada reaksi organik karena sifatnya yang *inert*, kekuatan mekaniknya yang tinggi dan memiliki stabilitas termal yang baik (Hidayat dkk., 2013). Karbon/arang yang telah mengalami aktivasi memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik. *Bleaching* menggunakan arang aktif dapat menurunkan ALB karena adanya adsorpsi asam lemak pada sisi aktif yang ada pada arang. Arang yang telah berikatan dengan asam lemak kemudian mengendap dan tersaring sehingga POME yang dihasilkan memiliki kadar asam lemak yang lebih rendah.

Pada penelitian ini, preparasi *bleaching* POME menggunakan arang efektif menurunkan kadar ALB sebesar 1,55%. Meski demikian, nilai ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa *bleaching* minyak jelantah menggunakan karbon aktif mampu menurunkan kadar ALB hingga 54,3% (Aisyah, 2010). Perbedaan kemampuan penurunan ALB ini dikarenakan perbedaan bahan yang digunakan. POME memiliki kandungan pengotor yang lebih tinggi dan kompleks sehingga menghambat kemampuan adsorpsi arang aktif terhadap asam lemak bebas.

### Pengaruh Penambahan Zeolit Penurunan ALB POME

Proses esterifikasi digunakan untuk menurunkan kadar ALB POME. Esterifikasi yang dilakukan menggunakan zeolite teraktivasi. Zeolit termasuk di antara berbagai jenis padatan anorganik yang digunakan sebagai katalis untuk produksi biodiesel. Zeolit dapat disintesis dengan variasi sifat

asam dan tekstur, sehingga katalis zeolit digunakan dalam produksi biodiesel. Noiroj dkk (2009) menjelaskan hasil biodiesel menggunakan katalis zeolit KOH/Na-Y mencapai konversi 91% untuk menjadi *metil ester* dalam 8 jam pada suhu 66°C. Adapun kemampuan zeolite dalam menurunkan ALB POME ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kadar ALB Dengan Zeolit dan Tanpa Zeolit

Perlakuan	Kadar ALB (%)						Total (%) Penurunan
	Sebelum Esterifikasi	E1	E2	E3	E4	E5	
1	17,28	15,63	13,61	12,45	11,08	9,47	45,20
2	16,82	15,97	14,43	13,23	11,83	10,94	34,96
3	17,51	15,02	13,89	12,41	11,43	9,22	49,29
4	17,28	15,24	14,14	13,84	12,67	11,58	32,99

**Keterangan :**

Perlakuan 1 : POME dilakukan proses degumming, bleaching dan esterifikasi dengan zeolit.

Perlakuan 2 : POME dilakukan proses degumming, bleaching dan esterifikasi tanpa zeolit.

Perlakuan 3 : POME dilakukan proses degumming dan esterifikasi dengan zeolit.

Perlakuan 4 : POME dilakukan proses degumming dan esterifikasi tanpa zeolit.

E1 : Esterifikasi Pertama

E2 : Esterifikasi Kedua

E3 : Esterifikasi Ketiga

E4 : Esterifikasi Keempat

Proses esterifikasi POME pada penelitian ini menggunakan 4 perlakuan yang berbeda dimana pada dua perlakuan dilakukan proses *degumming*, bleaching dan esterifikasi dengan zeolit maupun tanpa zeolit. Kemudian pada dua perlakuan yang selanjutnya dilakukan proses *degumming* tanpa dilakukan proses bleaching dengan arang aktif, tapi tetap dilakukan proses esterifikasi dengan menggunakan zeolit yang telah diaktifasi dengan katalis KOH maupun tanpa menggunakan zeolit. Masing-masing perlakuan mengalami penurunan kadar ALB pada setiap esterifikasinya dimana pada dua perlakuan esterifikasi dilakukan dengan

menggunakan penambahan zeolit sedangkan pada kedua perlakuan perlakuan lainnya esterifikasi dilakukan tanpa menggunakan zeolit. Pada perlakuan yang dilakukan proses *degumming* dan *bleaching* dengan menggunakan asam fosfat dan arang aktif setelah itu dilakukan esterifikasi menggunakan zeolit yang telah diaktifasi dengan katalis KOH dengan kadar ALB pada sampel perlakuan yang telah dilakukan proses *degumming*, *bleaching*, dan esterifikasi dengan zeolit ALB sebesar 17,28%, setelah dilakukan esterifikasi kadar ALB mengalami penurunan di setiap esterifikasinya. Esterifikasi pertama ALB

menurun menjadi 15,63% hingga esterifikasi yang ke-5 kadar ALB turun menjadi 9,47%. Sedangkan pada perlakuan yang selanjutnya tidak dilakukan proses *bleaching*, namun masih dilakukan proses esterifikasi dengan menggunakan zeolit, sehingga memiliki kadar ALB sebesar 17,51%, setelah diesterifikasi menggunakan zeolit ALB turun menjadi 15,02% pada esterifikasi pertama, pada esterifikasi kedua sampai esterifikasi kelima mengalami penurunan ALB pada setiap proses essterifikasinya sampai esterifikasi kelima menjadi 9,22%, dari hasil perlakuan di atas menunjukkan bahwa esterifikasi dengan penambahan zeolit mampu menurunkan kadar ALB dengan presentasi penurunannya sebesar 45,20%% dan 49,29%%.

Penurunan kadar ALB pada POME ini terjadi karena penambahan metanol dengan zeolit yang telah diaktifasi dengan KOH, zeolit alam dapat digunakan sebagai *adsorben* pada proses penurunan kadar ALB pada minyak. Zeolit mempunyai struktur berongga, rongga ini dapat diisi oleh air dan kation yang bisa dipertukarkan dan memiliki ukuran pori yang tertentu. Oleh karena itu zeolit dapat mengadsorbsi ALB dalam minyak dengan cara *batch* maupun dengan cara pengendapan. Zeolit sangat baik digunakan sebagai adsorben karena mempunyai daya serap yang tinggi, luas permukaan yang besar, dan juga dapat dimanfaatkan sebagai penyaring, penukar ion, dan sebagai katalis untuk pembuatan biodisel,

Perlakuan yang dilakukan proses esterifikasi namun tanpa menggunakan penambahan zeolit, hanya menggunakan metanol teknis juga dapat digunakan untuk proses penurunan kadar ALB namun dengan presentasi yang kecil, yaitu rata-rata 1% penurunan kadar ALB dari 5 kali esterifikasi. Pada perlakuan yang dilakukan proses *degumming* dan *bleaching* kemudian dilanjutkan dengan proses esterifikasi tanpa zeolit, ALB pada sampel POME sebelum dilakukan esterifikasi yaitu sebesar 16,82%, kemudian dilakukan proses esterifikasi sebanyak 5 kali, dan didapatkan hasil data penurunan pada esterifikasi kelima yaitu sebesar 10,94%. Sedangkan pada perlakuan selanjutnya dilakukan proses *degumming* namun tidak dilakukan proses *bleaching*, tetapi masih dilakukan proses esterifikasi tanpa menggunakan zeolit. Memiliki kadar ALB awal pada sampel POME sebelum dilakukan esterifikasi sebesar 17,28%, setelah dilakukan proses esterifikasi pertama mengalami penurunan menjadi 15,24%, hingga esterifikasi kelima kadar ALB menjadi 11,58%, hal ini terjadi karena pada proses esterifikasi menggunakan metanol dapat menurunkan kadar ALB karena pada methanol merupakan jenis alkohol yang paling disukai dalam pembuatan biodisel karena metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) mempunyai keuntungan lebih mudah bereaksi atau lebih stabil, karena metanol memiliki satu ikatan carbon sehingga lebih mudah memperoleh pemisahan gliserol. Proses reaksi esterifikasi berjalan reversibel, maka penggunaan

metanol haruslah berlebih untuk mencapai reaksi ke arah produk untuk menghasilkan ester sebagai produk utama (Jincheng & Jianxing, 2011).

Keempat perlakuan yang telah dilakukan semua hasil perlakuan menunjukkan adanya penurunan kadar ALB. Penurunan ALB paling signifikan dari keempat perlakuan terdapat pada perlakuan yang telah dilakukan proses esterifikasi dengan penambahan zeolit dengan presentasi penurunan ALB nya sebesar 45,20%-49,29%, sedangkan presentasi penurunan kadar ALB pada perlakuan yang dilakukan esterifikasi tanpa menggunakan penambahan zeolit, didapatkan hasil presentasi penurunan ALB sebesar 34,96-32,99%, hal ini terjadi karena pada proses esterifikasi menggunakan zeolit dan metanol dikarenakan kemampuan zeolit dalam menyerap pengotor-pengotor organik pada POME, sedangkan methanol merupakan jenis alkohol yang paling disukai dalam pembuatan biodisel karena metanol (CH<sub>3</sub>OH) mempunyai keuntungan lebih mudah bereaksi atau lebih stabil, sedangkan katalis basa seperti KOH merupakan jenis katalis yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap asam lemak bebas (FFA) (Su, 2013).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian penurunan kadar ALB POME dengan Penambahan Zeolit dapat disimpulkan bahwa :

1. POME masih memiliki kandungan minyak yang cukup tinggi yaitu sebesar 31,80%.
2. Preparasi POME dengan proses *degumming* mengalami penurunan dalam kadar ALB pada sampel POME sebesar 1,24%, sedangkan pada proses *bleaching* kadar ALB pada POME juga mengalami penurunan yang cukup besar yaitu 1,55%.
3. Penambahan zeolit pada proses esterifikasi sangat berpengaruh dalam penurunan kadar ALB pada POME, dengan kemampuan penurunan rata-rata kadar ALB sebesar 45,20% dan 49,29%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, S., Yulianti, E., and Fasya, A.G. 2010. Penurunan Angka Peroksida dan Asam Lemak Bebas (FFA) pada proses Bleaching Minyak Goreng Bekas oleh Karbon Aktif Polong Buah Kelor (*Moringa Oliefera*. Lamk) dengan Aktivasi NaCl. *Alchemy*, 1(2),pp. 53-103.
- Budiyanto, B., Daulay, H.B., and Aldiona, A.F., 2012. Optimalisasi Kinerja Pembuatan dan Peningkatan Kualitas Biodisel Dari Fraksi Minyak Limbah Cair Pengolahan Kelapa Sawit Dengan Memanfaatkan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 22(1), pp.10-14.
- Gog, A., Roman, M., Tosa, M., Paizs, C., Irimie, F.D., 2012. Biodiesel Production Using Enzymatic Transesterification–Current State and Perspectives. *Renewable Energy*, 39(1), pp.10–16.
- Hidayat, A., Wijaya, K., Hinode, H., and Budiman, A., 2013. Comparison of Activated Carbon Prepared from Indonesian Forest and Agricultural

- Residues. *Asian J Chem.* 25(3), pp.1569-79.
- Ding, J., He, B., & Li, J., 2011. Biodiesel Production from Acidified Oils via Supercritical Methanol. *Energies.* 4(12), pp. 2212-2223.
- Kusuma, R.I., Hadinoto, J.P., Ayucitra, A., Soetaredjo, F.E., and Ismadji, S. 2013. Natural Zeolit from Pacitan Indonesia, as Catalyst Support for Transesterification of Palm Oil. *Applied Clay Science*, (74), pp.121-126
- Lee, D.W., Y.M. Park dan K.Y. Lee. 2009. Heterogeneous Base Catalysts for Transesterification in Biodiesel Synthesis. *Catal Surf Asia*, (13), pp. 63-77
- Mardina P., Faradina, E., Setyawati, N. 2012. Penurunan Angka Asam pada Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia* 6 (2). pp. 196-200.
- Noiroj, K., Intarapong. P., Luengnaruemitchai, A., Jai-In, S. 2009. A Comparative Study of KOH/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and KOH/ NaY Catalysts for Biodiesel Production via Transesterification From Palm Oil. *Renewable Energy.* 34(4), pp. 1145-1150.
- Nugraheni, I. K., Nuryati, N., B. Persada, A. A., Triyono, T., & Trisunaryanti, W. 2018. Physical Properties of Palm Oil Mill Effluent Transesterification With Local Zeolite. *AIP Conference Proceedings*, (2024), 020042
- Ristianingsih, Y., Sutijan, S., & Budiman, A., 2011. Studi Kinetika Proses Kimia dan Fisika Penghilangan Getah *Crude Plam Oil* (CPO) Dengan Asam Fosfat. *Reaktor.* 13(4), pp. 242-247.
- Sari, R.M., and Kembaren, A., 2019. Pemanfaatan Karbon Aktif Ampas dalam Mereduksi Asam Lemak Bebas (*Free Fatty Acid*) pada Minyak Goreng Bekas sebagai Biodiesel. *TALENTA Conference Series*, (2), pp. 124-128.
- Su, C.H. 2013. Recoverable And Reusable Hydrochloric Acid Used As A Homogeneous Catalyst For Biodiesel Production. *Applied Energy*, (104), pp. 503-509.