

KAJIAN REAKSI TRANSESTERIFIKASI DAN ESTERIFIKASI SECARA SERENTAK PADA PENGGUNAAN KATALIS SULFAT TITANIUM DIOKSIDA BERPENYANGGA SILIKA MESOPORI

Hb Slamet Yulistiono^{1,*}, Joice Manga²

^{1,2} Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

This research is related to the synthesis of $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM-48}$ which is applied as a catalyst in biodiesel ethyl ester production from a mixture of palm oil fatty acid distillate (PFAD) and palm cooking oil. The focus of the research includes evaluating the performance of the catalyst in the simultaneous esterification/transesterification reaction. The synthesis of MCM 48 mesoporous silica was carried out by the Manga method [8] while the synthesis of $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM-48}$ catalyst was carried out using TiO_2 and MCM-48 in a 4:1 ratio by impregnation with 2M sulfuric acid and calcination at 400°C. The results showed that the PFAD esterification reaction using ethanol and $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM-48}$ catalyst achieved optimal performance as indicated by the conversion of 100% into esters. In addition, the best catalyst selectivity was achieved at a reaction time of 2.5 hours as indicated by the formation of 46.6% ethyl ester palmitate and 40.9% ethyl ester stearate. On the other hand, the simultaneous observation of the transesterification and esterification reactions of the mixture of PFAD and palm cooking oil showed that the performance of the catalyst decreased sharply in the presence of cooking oil. This means that the $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM-48}$ catalyst has low performance in the triglyceride environment through the transesterification reaction but on the contrary performs optimally in the fatty acid environment through the esterification reaction.

Keywords: PFAD, esterification, transesterification, catalyst, MCM 48 mesoporous silica

ABSTRAK

Penelitian ini berkaitan dengan sintesis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM-48}$ yang diaplikasikan sebagai katalis pada produksi biodiesel etil ester dari campuran antara destilat asam lemak minyak sawit (DALMS) dan minyak goreng sawit. Fokus penelitian meliputi evaluasi kinerja katalis pada reaksi esterifikasi/transesterifikasi secara serentak pada produksi biodiesel etil ester. Sintesis bahan silika mesopori MCM 48 dilakukan dengan metode Manga [8] sedangkan sintesis katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM-48}$ dilakukan dengan menggunakan bahan TiO_2 dan MCM-48 dalam perbandingan 4:1 melalui cara impregnasi dengan asam sulfat 2M dan kalsinasi pada suhu 400°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi esterifikasi DALMS menggunakan etanol dan katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM-48}$ mencapai kinerja optimal yang ditunjukkan dengan konversi 100% menjadi ester. Selain itu, selektivitas katalis terbaik dicapai pada waktu reaksi 2,5 jam yang ditunjukkan dengan terbentuknya etil ester palmitat 46,6% dan etil ester stearat 40,9%. Sebaliknya, pada pengamatan reaksi transesterifikasi dan esterifikasi secara serentak terhadap campuran DALMS dan minyak goreng sawit menunjukkan bahwa kinerja katalis menurun tajam dengan adanya minyak goreng. Hal ini berarti bahwa katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM-48}$ berkinerja rendah pada lingkungan trigliserida melalui reaksi transesterifikasi tetapi sebaliknya berkinerja optimal pada lingkungan asam lemak melalui reaksi esterifikasi.

Kata-kata Kunci: DALMS, Esterifikasi, Transesterifikasi, Katalis, Silika Mesopori MCM-48

1. PENDAHULUAN

Biodiesel berbasis asam lemak umumnya diproduksi melalui jalur reaksi kimia esterifikasi menggunakan alkohol dengan bantuan katalis-katalis kimia yang bersifat asam, sedangkan biodiesel berbasis minyak/lemak (trigliserida) diproduksi melalui jalur reaksi kimia transesterifikasi menggunakan alkohol dengan bantuan katalis-katalis kimia bersifat basa. Jadi, pemilihan jenis katalis yang tepat selalu tergantung dari jenis bahan bakunya (asam lemak atau trigliserida dari minyak/lemak), karena memang mekanisme reaksinya yang berbeda.

Pada reaksi esterifikasi destilat asam lemak minyak sawit (DALMS) menggunakan etanol dan katalis asam sulfat pekat (H_2SO_4) selama waktu reaksi 90 menit pada suhu reaksi 80°C dengan laju pengadukan 300 rpm dilaporkan mampu menghasilkan biodiesel etil ester dengan konversi maksimal 92%. Dalam penelitian tersebut teramati pula, bahwa pada proses pencucian produknya menggunakan air dalam jumlah yang besar sehingga dihasilkan limbah asam yang korosif [1] [2].

* Korespondensi penulis: Hb Slamet Yulistiono, email slamethb@poliupg.ac.id

* Dosen Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang

Dalam rangka meminimalkan terbentuknya limbah cair yang korosif pada proses produksi biodiesel, maka digunakan suatu katalis berbentuk padat yang relatif lebih mudah untuk dipisahkan dari produk reaksinya. Tentu saja katalis padat ini harus memiliki efek katalitik yang baik sehingga proses reaksi pembentukan biodiesel menjadi lebih efisien, ekonomis dan aman terhadap lingkungan,

Yulistiono dan Brotowati (2018) dan Yulistiono dan Manga (2019) dalam penelitiannya telah melaporkan, bahwa katalis padat $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ telah sukses disintesis secara impregnasi dan kalsinasi serta diaplikasikan pada reaksi esterifikasi DALMS menggunakan etanol dan dihasilkan etil ester dengan konversi 94,7%. Kesulitan utama yang teramati adalah pada saat proses pemurnian produk ester, dimana katalis sulit dipisahkan dari produk esternya karena katalis memiliki ukuran yang sangat kecil dan mampu menembus kertas saring [3] [4]. Upaya yang telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan memperbesar ukuran partikel katalis melalui penggabungan beberapa partikel dengan menggunakan penyangga dari material silika mesopori [5]. Penggunaan penyangga dari material silika mesopori ternyata membawa efek katalitik yang sangat baik, dimana teramati dari waktu ke waktu selama waktu reaksi berlangsung pembentukan ester lebih dominan mengarah ke jenis etil ester palmitat dan etil ester stearat. Ke dua ester ini merupakan komponen biodiesel yang dapat meningkatkan *cetane number* bahan bakar [6].

Berdasarkan uraian tentang kinerja katalis padat $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ berpenyangga silika mesopori diatas, maka perlu dilakukan kajian yang lebih lengkap menyangkut kinerja katalis lainnya, misalnya apakah katalis ini memicu terbentuknya etil ester palmitat dan etil ester stearat dan juga memicu terjadinya reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara serentak selama waktu reaksi berlangsung. Hal ini perlu dipertanyakan mengingat DALMS tidak hanya merupakan campuran asam-asam lemak bebas tetapi juga mengandung sedikit minyak sawit, yang notabene merupakan sumber trigliserida. Jika asam-asam lemak bebas dan minyak sawit pada DALMS seluruhnya dapat terkonversi menjadi etil ester, maka dapat diartikan telah berlangsung reaksi kimia esterifikasi dan transesterifikasi secara serentak.

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan diantaranya adalah mensintesis material silika mesopori sesuai metode Manga (2020), kemudian menggunakannya untuk mensintesis padatan $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ berpenyangga silika mesopori dengan menggunakan rasio berat antara TiO_2 dan silika mesopori sebesar 4. Padatan ini selanjutnya diaplikasikan sebagai katalis pada reaksi pembentukan biodiesel etil ester menggunakan bahan baku DALMS dan campuran antara DALMS dan minyak sawit dalam perbandingan 2:1 dan 5:1. Kinerja katalis ditentukan berdasarkan konversi pembentukan biodiesel etil ester yang didapat melalui proses analisis komponen ester dan bukan ester menggunakan instrument GC-MS.

Dalam rangka meningkatkan ketahanan energi Indonesia melalui penggunaan energi terbarukan yang bersih, maka penelitian tentang pembuatan biodiesel dari asam-asam lemak atau minyak/lemak ini masih tetap perlu dilakukan, khususnya tentang sintesis katalis yang bisa berkinerja bagus secara serentak pada reaksi esterifikasi asam lemak dan transesterifikasi minyak/lemak.

2. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Kimia PNUP dan selesai dalam 8 bulan penelitian.

Pada proses sintesis silika mesopori dibutuhkan bahan-bahan habis pakai seperti larutan LUDOX HS40, CTAB, Triton x100, NaOH, Aquades, Aquabides, Asam asetat 30%, HCl 0,1 M, Etanol 50%, dan alat-alat penelitian *hot plate*, *oven*, botol propilen, wadah-wadah secukupnya, pengaduk, penangas air, termometer, neraca analitik, penyaring vakuum, dan sejumlah gelas-gelas kimia.

Pada proses sintesis katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ berpenyangga silika mesopori melalui impregnasi dan kalsinasi dibutuhkan bahan titanium dioksida, silika mesopori dan larutan H_2SO_4 2 M, dan alat-alat penelitian seperti neraca analitik, motor dan batang pengaduk, penyaring vakuum, kertas saring, dan tanur (*furnace*).

Pada proses reaksi kimia esterifikasi/transesterifikasi untuk produksi biodiesel dibutuhkan bahan-bahan seperti etanol pa, destilat asam lemak minyak sawit (DALMS), minyak goreng sawit, katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ berpenyangga silika mesopori yang telah disintesis, dan alat-alat penelitian seperti reaktor labu leher 3 yang dilengkapi dengan *thermometer setting*, *reflux condensor*, *heating mantle*, motor dan batang pengaduk, neraca analitik, *hot plate*, pompa akuarium dan gelas-gelas kimia secukupnya. Pada proses analisis komposisi DALMS dan produk reaksi dibutuhkan seperangkat instrumen GC-MS.

Secara umum telah dilaksanakan secara berurut 1) sintesis silika mesopori menurut metode Manga (2020), 2) sintesis katalis padat $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ berpenyangga silika mesopori dan 3) pengujian efek katalitik.

Sintesis Silika Mesopori (Manga J., 2020)

Mula-mula dilakukan pembuatan larutan silika dengan cara mereaksikan 14,3 gram larutan Ludox HS40 dengan 45,25 gram larutan NaOH 1 M pada suhu 80 °C dalam kondisi teraduk ringan selama 2 jam. Larutan silika yang dihasilkan kemudian didinginkan.

Berikutnya, larutan surfaktan dibuat dengan cara mencampurkan 6,12 gram CTAB dengan 1,34 gram Triton x-100, dan 83,47 gram aquadest. Campuran kemudian dipanaskan sehingga terbentuk larutan surfaktan yang homogen. Larutan surfaktan kemudian didinginkan.

Selanjutnya, larutan silika dan larutan surfaktan dicampurkan dengan cepat ke dalam botol poli propilen sambil dikocok kuat selama 15 menit. Campuran yang kemudian berubah bentuk menjadi gel ini kemudian dipanaskan pada kondisi statis pada suhu 100 °C selama 24 jam sambil sesekali dikocok-kocok. Setelah itu baru didinginkan pada suhu kamar, lalu ditambahkan asam asetat 30% hingga pH-nya mencapai 10. Sampai tahap ini telah diperoleh silika mesopori tetapi masih mengandung surfaktan sehingga masih memerlukan tahap pemurnian.

Pemurnian silika mesopori yang masih mengandung surfaktan ini akan dilakukan dengan cara berikut:

Mula-mula dilakukan pemanasan pada suhu 100 °C selama 24 jam, setelah itu didinginkan pada suhu kamar, lalu disaring dengan menggunakan penyaring Buchner, lalu hasilnya dicuci dengan aquadest dan akhirnya dikristalkan di oven pada suhu 120 °C. Serbuk putih yang dihasilkan kemudian dicuci dengan menggunakan larutan campuran HCl dan etanol (1 gram silika mesopori dicuci dengan 25 ml HCl 0,1 M dalam larutan etanol 50%). Saat mencuci lakukan pengadukan selama 30 menit baru kemudian disaring dengan menggunakan penyaring Buchner. Bagian padat yang diperoleh dicuci lagi dengan menggunakan aquadest dan akhirnya dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C.

Sintesis Katalis Padat $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ Berpenyangga Silika Mesopori

Mula-mula titanium dioksida dan silika mesopori hasil sintesis dalam rasio berat sebesar 4 direndam di dalam larutan H_2SO_4 2M dengan kondisi operasi berikut: lama perendaman 6 jam, perbandingan volume antara *bulk* titanium dioksida/silika mesopori terhadap asam sulfat sebesar 1:2, laju pengadukan 250 rpm. Setelah perendaman dilakukan penyaringan dengan menggunakan penyaring *Buchner*. Padatan yang diperoleh kemudian ditiriskan dan diaktifkan dengan cara pengeringan pada suhu 100°C selama 24 jam. Selanjutnya, bahan ini dikalsinasi pada 500 °C selama 4 jam di dalam tanur. Produk kalsinasi kemudian disimpan dalam botol atau bejana berpenutup rapat untuk digunakan sebagai katalis pada proses reaksi kimia esterifikasi DALMS dan esterifikasi/transesterifikasi campuran DALMS dan minyak goreng sawit.

Reaksi Kimia Esterifikasi DALMS dan Transesterifikasi DALMS / Minyak Sawit

Mula-mula DALMS dicairkan menggunakan *hot plate*, lalu dimasukkan ke dalam reaktor labu yang dikondisikan pada suhu 80 °C dan laju pengadukan 250 rpm serta waktu reaksi 4 jam. Berturut-turut kemudian dimasukkan sejumlah minyak sawit dengan perbandingan berat terhadap DALMS sebesar 1:2 dan 1:5, etanol dengan rasio molar terhadap DALMS sebesar 13 dan sejumlah katalis padat dengan variasi rasio berat terhadap DALMS sebesar 5 %.

Setelah waktu reaksi tercapai, reaktor dimatikan dan didinginkan, semua material dalam reaktor dikeluarkan dan langsung dilakukan pemisahan katalis dengan menggunakan penyaring *Buchner*. Bagian filtrat ditempatkan di corong pisah untuk menjalani proses *settling* secara grafitasi sehingga dapat dipisahkan sekali lagi bagian-bagian padatan yang tersisa dan cairan. Bagian cairan kemudian didestilasi pada suhu 78 °C untuk mengambil komponen etanol. Residu yang diperoleh kemudian dipanaskan pada 115°C untuk menyingkirkan komponen air dan etanol yang tersisa. Produk akhir kemudian ditampung dalam wadah berpenutup rapat.

Analisis Data Penelitian

Data penelitian yang dibutuhkan adalah komposisi komponen pada DALMS dan pada produk reaksi. Data ini diperoleh melalui analisis menggunakan instrumen GC-MS dan digunakan untuk menentukan tingkat kemurnian produk biodiesel sekaligus juga menentukan tingkat konversi pembentukan etil ester pada reaksi esterifikasi DALMS menjadi biodiesel etil ester.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 berikut memperlihatkan rekapitulasi hasil analisis DALMS dan produk esterifikasi DALMS selama waktu reaksi 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 dan 2,5 jam yang disarikan dari kromatogram GC-MS.

Table 1. Data Analisis Komponen Penyusun DALMS dan Produk Reaksi untuk Waktu Reaksi Esterifikasi yang Berbeda

No.	Komponen	Waktu Reaksi	Jumlah [%]					
			0 jam	0,5 jam	1 jam	1,5 jam	2 jam	2,5 jam
1	Tetradecanoic acid, ethyl ester			2,12	1,74	1,59	1,19	0,88
2	Hexadecanoic acid, methyl ester						0,90	
3	Hexadecanoic acid, ethyl ester			43,32	42,19	44,46	44,70	46,60
4	Heptadecanoic acid, ethyl ester			0,94	0,92	0,17	0,18	
5	Octadecanoic acid, methyl ester						0,56	
6	Octadecanoic acid, ethyl ester			7,96	7,99	7,53	7,14	40,88
7	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester						1,15	
8	9-Octadecenoic acid (Z)-, ethyl ester			34,75	34,85	35,72	36,67	11,64
9	Linoleic acid, ethyl ester			9,71	9,81			
10	Ethyl 9-hexadecenoate			0,91	0,16	0,49		
11	Komponen lainnya		1,84	0,29	2,12	10,05	7,51	
12	Tetradecanoic acid (Asam miristat)		1,30					
13	Hexadecanoic acid (Asam palmitat)		49,79					
14	9-Octadecenoic acid (Z)- (Asam oleat)		35,80					
15	Octadecanoic acid (Asam stearate)		4,33					
16	Asam-asam lemak lainnya		3,52					
17	Methyl Ester (Trigliserida)		2,96					
18	Ethyl Ester (Trigliserida)		0,46					
	Total		100	100	100	100	100	100

Tabel 1 diatas memperlihatkan hal-hal sebagai berikut:

Pada awal reaksi, terlihat DALMS yang digunakan sebagai bahan baku merupakan kumpulan asam-asam lemak bebas dan didominasi oleh asam palmitat, asam oleat dan sedikit asam stearat.

Selanjutnya, pada pengamatan waktu reaksi 0,5 jam sudah terlihat agresivitas katalis dalam bekerja mengkonversi asam-asam lemak menjadi etil ester. Semua bagian dari DALMS, termasuk kandungan trigliserida-nya telah terkonversi menjadi ester. Dari sini sudah dapat diduga, bahwa katalis mampu secara simultan mengkonversi asam-asam lemak dan trigliserida menjadi etil ester. Selama waktu reaksi 0,5 jam pertama tersebut telah terbentuk etil ester dari asam palmitat 43,32%, etil ester dari asam oleat 34,75%, etil ester dari asam stearat 7,96% dan etil ester dari asam linoleate 9,71%, atau secara keseluruhan telah terbentuk ester sebanyak minimal 95,74%. Nilai ini jelas lebih baik jika dibandingkan dengan performa katalis SO_4^{2-}/TiO_2 tanpa penyangga (Hb. S. Yulistiono dan J. Manga, 2019).

Pada waktu reaksi selama 1 jam pertama, performa katalis terlihat monoton, tetapi untuk waktu reaksi 1,5 jam, terlihat etil ester asam linoleat seluruhnya telah terkonversi. Untuk waktu reaksi yang lebih lama, 3 komponen yang telah terbentuk diawal waktu reaksi selama 0,5 jam pertama, terlihat tidak menunjukkan perubahan yang berarti. Ke tiga komponen tersebut adalah etil ester dari asam palmitat, etil ester dari asam oleat, dan etil ester dari asam stearat.

Akhirnya, pada waktu reaksi 2,5 jam terlihat etil ester asam oleat banyak yang terkonversi, sebagian besar menjadi etil ester asam stearat dan sebagian lagi menjadi etil ester asam palmitat. Tabel 1 juga memperlihatkan bahwa pada waktu reaksi 2,5 jam tersebut performa maksimum tercapai, dimana hanya terdapat komponen etil ester asam palmitat 46,6%, etil ester asam stearat 40,88% , etil ester asam oleat 11,64% dan etil ester asam miristat 0,88% atau secara keseluruhan terdapat etil ester 100%.

Tabel 2 berikut memperlihatkan pengamatan 4 komponen terbanyak pada produk reaksi esterifikasi/transesterifikasi campuran DALMS dan minyak goreng sawit selama waktu reaksi 1 ; 2 ; 3 ; 4 dan 5 jam yang disarikan dari kromatogram GC-MS.

Table 2. Data Analisis 4 Komponen Terbanyak Penyusun Produk Reaksi Esterifikasi/Transesterifikasi Untuk Waktu Reaksi yang Berbeda

Komponen \ Waktu reaksi	Minyak Goreng Sawit : DALMS 20%					Minyak Goreng Sawit : DALMS 50%				
	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam	1 jam	2 jam	3 jam	4 jam	5 jam
Tetradecanoic acid, ethyl ester	28.63	3.37	3.43	3.76	4.66	4.67	2.4	27.55	9.54	7.71
Hexadecanoic acid, ethyl ester	8.21	36.51	6.62	8.94	26.02	22.3	7.02	7.02	25.5	16.4
Octadecanoic acid, ethyl ester	7.27	6.56	6.25	5.86	6.59	4.71	4.83	4.89	4.99	5.49
Ethyl Oleate	31.15	35.98	35.11	35.12	0.12					12.83

Tabel 2 diatas memperlihatkan 4 komponen etil ester yang terbentuk paling banyak, yakni etil ester dari asam palmitat, etil ester dari asam stearat, etil ester dari asam oleat dan etil ester dari asam miristat yang nilainya sangat rendah dibandingkan dengan 4 komponen yang sama pada produk reaksi esterifikasi DALMS. Berdasarkan percobaan ini, dapat disimpulkan bahwa kinerja katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM 48}$ sangat rendah jika berada pada lingkungan minyak yang mengandung trigliserida. Sebaliknya kinerja katalis justru sangat prima pada lingkungan asam lemak, dimana 100% asam lemak dapat terkonversi menjadi etil ester, khususnya dalam bentuk etil ester dari asam palmitat sebesar 46,6% dan asam stearat sebesar 40,9%. Hal ini juga memberi arti bahwa katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM 48}$ tidak memicu terjadinya reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara serentak.

4. KESIMPULAN

Katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2\text{-MCM 48}$ berkinerja optimal pada lingkungan asam lemak, dimana pada waktu reaksi selama 2,5 jam dapat mengkonversi 100% DALMS menjadi etil ester. Katalis ini juga sangat selektif karena produksinya mengarah ke komponen yang dapat meningkatkan nilai angka setana, yaitu etil palmitat dan etil stearat. Katalis ini juga tidak memicu terjadinya reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara serentak.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah memberikan pendanaan dan kepada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang serta seluruh teman sejawat yang telah membantu sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima juga kami tujukan kepada Bapak Achmad Rifai, PLP Jurusan Teknik Kimia yang telah membantu mengoperasikan instrumen GC-MS

Semoga penelitian ini dapat bermanfaat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yulistiono, S. Hb. "Kinetika Reaksi Esterifikasi Distilat Asam Lemak Minyak Sawit Dengan Menggunakan Etanol Dan Katalis Asam Sulfat". INTEK Tahun 14 No. 1. Hlm. 14-24 . 2008
- [2] Yulistiono, S. Hb. "Potensi Destilat Asam Lemak Minyak Sawit Pada Pembuatan Bioaditif Peningkat Angka Setana Bahan Bakar Solar. INSTEK Tahun 4 No. 1 . 2012
- [3] Yulistiono, S. Hb. dan Brotowati, S. "Pengaruh Suhu Kalsinasi pada Sintesis Katalis Padat Titanium Dioksida Tersulfonasi Terhadap Konversi Pembentukan Ester Pada Reaksi Esterifikasi Destilat Asam Lemak Minyak Sawit Menggunakan Metanol". Prosiding SNP2M 2018 (pp.167-171). ISSN 978-602-60766-4-9. 2018
- [4] Yulistiono, S. Hb. dan Manga, J. "Evaluasi Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Pada Proses Impregnasi Terhadap Aktifitas Katalis $\text{SO}_4^{2-}/\text{TiO}_2$ Pada Esterifikasi Destilat Asam Lemak Minyak Sawit". Prosiding SNP2M 2019 (pp. 165-169). ISSN 978-602-60766-7-0 . 2019
- [5] Manga, J. and Yulistiono, S. Hb. "Effect of Application of Mesoporous Silica on Titanium Dioxide Sulfate catalyst for Synthesis of Palmitate Ethyl Ester as Biodiesel". Journal of Physics: Conference Series. doi:10.1088/1742-6596/2049/1/012033. 2021
- [6] Yulistiono, S. Hb. dan Manga, J. "Penerapan Silika MCM-48 Sebagai Penyangga Katalis Sulfat Titanium Dioksida Pada Reaksi Esterifikasi Destilat Asam lemak Minyak Sawit". Prosiding SNP2M 2021 (pp. 136-139). ISSN 978-623-98762-1-0 . 2021