



PEMANFAATAN LIMBAH CANGKANG KERANG DARA SEBAGAI KATALIS CAO PADA PEMBUATAN BIODIESEL MINYAK GORENG BEKAS

Umei Latifah Azzahro¹ dan Wisnu Broto²

Universitas Diponegoro^{1,2}

azzahlatifah20@gmail.com¹ dan mailto:vieshnoe@gmail.com



This work is licensed under a Creative Commons Attribution No Derivatives 4.0 International License

Diterima:

16 Mei 2021

Direvisi:

30 Mei 2021

Disetujui:

14 Juni 2021

Abstrak

Penelitian ini dilatar belakangi oleh cadangan energi yang keberadaannya semakin menipis sedangkan kebutuhannya terus bertambah. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang diproduksi dari minyak nabati, lemak hewani, limbah minyak, dan lain sebagainya. Penelitian ini menggunakan proses transesterifikasi dengan memvariasikan konsentrasi katalis CaO 2% dan 4%, suhu operasi 50 °C dan 70 °C, serta waktu operasi 50 menit dan 70 menit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perlakuan transesterifikasi terbaik dan juga menentukan efek utama yang paling berpengaruh menggunakan metode faktorial desain 2 level 3 variabel. Kondisi transesterifikasi terbaik terdapat pada variabel ke-8 dengan penambahan katalis CaO 4% (b/b), lama waktu transesterifikasi 70 menit, dan suhu operasi 70 °C dengan karakteristik biodiesel yang didapat adalah nilai viskositas 4,8908 cSt, densitas 853,2 kg/m³, % rendemen besarnya 78,1% dan perolehan angka setana sebesar 39. Efek utama yang paling berpengaruh adalah jumlah % katalis.

Kata kunci: *Biodiesel; Minyak goreng bekas; Cangkang kerang dara; Transesterifikasi*

Abstract

This research is motivated by the energy reserves that are running low while the demand continues to grow. Biodiesel is an alternative fuel produced from vegetable oil, animal fat, waste oil and so on. This study used a transesterification process by varying the concentration of 2% and 4% CaO catalyst, operating temperature of 50 °C and 70 °C, and operating time of 50 minutes and 70 minutes. This study aims to determine the best transesterification treatment and also determine the main effect that has the most influence using the 2 level 3 variable design factorial method. The best transesterification conditions are found in the 8th variable with the addition of 4% (w/w) CaO catalyst, 70 minutes of transesterification time and 70 °C operating temperature with

the characteristics of biodiesel obtained is a viscosity value of 4,8908 cSt, density 853.2 kg/m³, % yield 78.1%, and cetane number of 39. The main effect that had the most influence was % catalyst.

Keywords: Biodiesel; Used cooking oil; Blood clam shells; Transesterification

PENDAHULUAN

Energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui dan keberadaannya di alam semakin lama semakin habis (Wibisono et al., 2011). Sementara kebutuhan terhadap energi berbanding terbalik dengan ketersediaan energi yang ada (Khairiah & Destini, 2017). Berdasarkan pada Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi untuk mengembangkan energi alternatif pengganti BBM (Sulistiyono, 2013), maka berbagai upaya untuk melakukan diversifikasi energi dengan cara mencari energi alternatif yang *renewable* dilakukan. (Mawarni & Suryanto, 2018)

Biodiesel merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang memiliki banyak kelebihan (Adewuyi, 2020) diantaranya merupakan *green fuel* karena sifatnya yang aman, dapat terbarukan dan tidak beracun, serta terbiodegradasi. Selain itu, emisi CO, CO₂, SOx, NOx, dan hidrokarbon tidak terbakar berkurang sampai 50%. (Hidayati et al., 2017)

Minyak goreng bekas (*waste cooking oil*) yang biasa disebut minyak jelantah, sangat potensial untuk diolah menjadi biodiesel (Silalahi & Hidayah, 2011). Hal ini dapat dilakukan karena minyak jelantah juga merupakan minyak nabati, turunan dari CPO (*Crude Palm Oil*) (Manorama & Rukmini, 1991). Pemanfaatan minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel memiliki beberapa kelebihan (Prasetyo, 2018), diantaranya sumber minyak nabati mudah diperoleh, proses pembuatan biodiesel dari minyak nabati mudah, cepat dan tingkat konversi minyak nabati menjadi biodiesel yang tinggi (95%).

Kandungan yang terdapat pada minyak jelantah yaitu berupa trigliserida asam lemak bebas yang secara karakteristik masih ada kesamaan dengan minyak kelapa sawit, dengan demikian maka minyak jelantah dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel (Prasetyo, 2018).

Kerang darah (*Anadara granosa*) merupakan jenis kerang yang populer di Indonesia. Kelimpahan kerang darah (*Anadara granosa*) di Indonesia menurut Direktorat Jendral Perikanan Tangkap Indonesia (2012) yaitu 48,994 ton. Kerang ini mengandung senyawa kimia mineral berupa kitin, kalsium karbonat, kalsium hidrosiapatit dan kalsium fosfat. Selain kitin cangkang kerang juga memiliki kalsium karbonat (CaCO₃) yang secara fisik mempunyai pori-pori yang memungkinkan memiliki kemampuan mengadsorpsi atau menyerap zat-zat lain kedalam pori-pori permukaannya. Pada penelitian ini cangkang kerang darah dapat digunakan sebagai alternatif sumber katalis CaO yang kemudian diaplikasikan pada reaksi transesterifikasi (Sudarwan, 2020).

Transesterifikasi merupakan proses di mana bahan baku berupa trigliserida bereaksi dengan rantai pendek (C1/C2) alkohol dengan penambahan katalis yang dapat dilakukan dengan menggunakan katalis homogen maupun heterogen. Katalis heterogen mempunyai banyak kelebihan seperti dapat digunakan kembali, pemisahan produk dan katalis lebih mudah, dan pengurangan pada jumlah air limbah yang dihasilkan. (Bayu et al., 2019) Reaksi transesterifikasi dilakukan pada suhu yang dekat dengan titik didih metanol (60-70 °C) pada tekanan atmosfer.

Berdasarkan pada penelitian pembuatan biodiesel ini akan digunakan bahan berupa minyak goreng bekas dan cangkang kerang dara sebagai katalis CaO.

METODE PENELITIAN

Bahan utama yang digunakan untuk membuat biodiesel adalah minyak goreng bekas/minyak jelantah. Sedangkan bahan pembantunya adalah cangkang kerang dara sebagai katalis CaO, methanol, asam sulfat (H_2SO_4), KOH, Indikator PP, dan Aquadest. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah labu leher tiga, *magnetic stirrer*, *hot plate*, pendingin balik, klem statif, *thermometer*, selang, *grinder*, *furnace*, oven, piknometer, viskosimeter ostwald, buret dan erlenmeyer.

Pada penelitian ini menggunakan metode transesterifikasi dengan proses awal *pretreatment* bahan baku berupa kalsinasi katalis CaO, esterifikasi, dan transesterifikasi.

Variabel tetap yang digunakan adalah suhu kalsinasi ($900\text{ }^{\circ}\text{C}$), waktu kalsinasi (4 jam), suhu esterifikasi ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$), kecepatan pengadukan (600 rpm), waktu esterifikasi (60 menit), volume methanol esterifikasi (20% v/v), asam sulfat (5% v/v), dan volume methanol transesterifikasi (40% v/v). Sedangkan variabel bebas yang digunakan adalah waktu transesterifikasi (50 dan 70 menit), suhu transesterifikasi ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $70\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan konsentrasi katalis CaO (2% dan 4% m/v).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalsinasi katalis CaO dilakukan menggunakan *furnace* $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam di Gedung Laboratorium Obat Alam Undip.



Gambar 1. Kalsinasi Katalis CaO

Pembentukan CaO dapat terlihat dari semakin berkurangnya berat materi dari 112 gram menjadi 91 gram. Hal ini terjadi karena dilepaskannya gas CO_2 dari dekomposisi termal CaCO_3 menjadi CaO, dimana gas CO_2 merupakan produk lain dari dekomposisi tersebut (Susila Arita et al., 2020).

Karakteristik minyak jelantah sebelum dilakukan proses esterifikasi terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Sebelum Esterifikasi

Karakteristik	Satuan	Jumlah
Densitas	Kg/m^3	907,6
Viskositas	cSt	37,87
FFA	%	4,17

Tingginya kadar FFA ini akan membentuk sabun pada proses transesterifikasi jika ditambah dengan katalis basa CaO. Dengan demikian, harus dilakukan proses esterifikasi terlebih dahulu untuk mengurangi kadar FFA minyak jelantah menggunakan katalis asam H_2SO_4 .

Karakteristik minyak setelah dilakukan proses esterifikasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Setelah Esterifikasi

Karakteristik	Satuan	Jumlah
Densitas	Kg/m^3	814,2
Viskositas	cSt	34,52
FFA	%	2,37

Kadar FFA minyak setelah dilakukan esterifikasi menurun dari 4,17 % menjadi 2,37 %. Penurunan tersebut disebabkan karena proses esterifikasi mereaksikan asam lemak bebas yang terdapat didalam minyak dan metanol dengan bantuan katalis asam. (Indrawati, 2016).

Minyak hasil esterifikasi ini kemudian dilanjutkan ke tahap berikutnya yaitu tahap transesterifikasi. Pada tahap transesterifikasi ini dilakukan dengan memvariasikan suhu, waktu, dan konsentrasi katalis CaO dengan respon %rendemen seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Data Uji Transesterifikasi

Run	Variabel			Analisa
	t (menit)	s (°C)	k (%)	%rendemen
1	50	50	2	70,4
2	70	50	2	71,8
3	50	70	2	73,3
4	70	70	2	74,2
5	50	50	4	75,6
6	70	50	4	76,4
7	50	70	4	77,8
8	70	70	4	78,1

Keterangan : t= waktu operasi, s= suhu operasi, k= kadar katalis CaO.

Perlakuan terbaik dipilih berdasarkan tingginya nilai efektivitas yang dihasilkan dengan setiap parameter memiliki bobot nilai prioritas yang berbeda. Adapun bobot nilai parameter yang ditetapkan pada tahap transesterifikasi ini yaitu % rendemen. Berdasarkan nilai indeks efektivitas yang telah dihitung, maka didapatkan hasil perlakuan terbaik adalah variabel ke-8 dengan interaksi penambahan jumlah katalis CaO 4% (m/v) dan lama waktu transesterifikasi 70 menit, serta suhu operasi 70 °C. Karakteristik yang dihasilkan oleh perlakuan tersebut telah memenuhi standar mutu biodiesel berdasarkan SNI 7182 :2015 dan ASTM D 613 yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik Hasil Terbaik

Karakteristik	Satuan	Jumlah
Densitas	Kg/m^3	853,2
Viskositas	cSt	4,8908
Rendemen	%	78,1
Angka Setana		39

Variabel ke-8 ditetapkan sebagai perlakuan terbaik pada penelitian ini karena memiliki nilai rendemen paling tinggi dari variabel lainnya yaitu sebesar 78,1 %. Hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasi katalis dalam larutan, maka energi aktivasi suatu reaksi semakin kecil, sehingga produk akan semakin banyak terbentuk. (Prihanto & Irawan, 2017). Biodiesel yang dihasilkan dari reaksi transestrifikasi dilakukan dengan 3 variasi variabel yaitu suhu, waktu, dan kadar katalis. Selanjutnya, biodiesel tersebut dilakukan pengujian berupa densitas, viskositas, %rendemen, dan angka setana.

Tabel 5. Densitas Biodiesel

Run	Densitas kg/m ³	SNI kg/m ³
1	891,2	850-890
2	888,2	
3	884,4	
4	879,2	
5	862,4	
6	856,4	
7	854,4	
8	853,2	

Nilai densitas yang diperoleh sebagian besar telah sesuai dengan SNI-7182 : 2015 yaitu berkisar antara 850 – 890 kg/m³, namun pada variabel 1 nilai densitasnya tidak memenuhi syarat SNI dimana nilai densitasnya sebesar 891,2 kg/m³. Hal ini dikarenakan kemungkinan saat proses pencucian tidak maksimal menyebabkan adanya kandungan air yang terikat dengan metil ester sehingga sulit dipisahkan. Densitas yang didapat telah sesuai dengan teori yang ada yaitu semakin lama waktu dan semakin besar suhu yang digunakan maka partikel reaktan akan bergerak lebih cepat sehingga intensitas tumbukan antar partikel akan lebih intens dan semakin efektif sehingga menurunkan nilai kekentalan pada biodiesel (Alfianita, 2019).

Tabel 6. Viskositas Biodiesel

Run	Viskositas (cSt)	SNI (cSt)
1	7,7757	2,3-6,0
2	7,2385	
3	7,0751	
4	6,8416	
5	6,6992	
6	6,3264	
7	5,9085	
8	4,8908	

Nilai viskositas biodiesel yang didapat sebagian besar telah memenuhi syarat SNI – 7185 : 2015 sebesar 2,3 – 6,0 cSt. Namun pada variabel 1, variabel 2, dan variabel 3 nilai viskositasnya melebihi nilai SNI yang seharusnya. Hal ini terjadi karena suhu reaksi yang terlalu singkat dan membuat hasil reaksi yang kurang sempurna sehingga masih memiliki kandungan sisa trigliserida yang tidak bereaksi (tidak terkonversi).

Viskositas yang didapat telah memenuhi teori yang ada yaitu berbanding lurus dengan nilai densitas bahwa semakin rendah nilai kekentalan minyak yang diuji maka nilai viskositasnya juga menurun. Secara teori, semakin lama reaksi berlangsung maka semakin banyak pula asam lemak yang akan dikonversi menjadi metil ester (Biodiesel) sehingga semakin berkurang pula kadar gliserol maupun sisa trigliserida dalam biodiesel.

Semakin tinggi konsentrasi katalis, viskositasnya cenderung menurun. Karena semakin banyak persen katalis yang diberikan akan semakin cepat pula terpecahnya trigliserida menjadi tiga ester asam lemak yang akan menurunkan viskositas (Purnama Sari et al., 2016).

Tabel 7. Rendemen Biodiesel

Run	%rendemen
1	70,4
2	71,8
3	73,3
4	74,2
5	75,6
6	76,4
7	77,8
8	78,1

Berdasarkan proses transesterifikasi yang telah dilakukan, Pengaruh konsentrasi katalis CaO pada rentang % b/b katalis dari 2% sampai 4% mengalami peningkatan yield biodiesel. Hal ini terjadi karena fungsi katalis adalah menurunkan energi aktivasi. Semakin besar konsentrasi katalis dalam larutan, maka energi aktivasi suatu reaksi semakin kecil, sehingga produk akan semakin banyak terbentuk. Meningkatnya konsentrasi katalis akan menyebabkan meningkatnya yield biodisel. (Prihanto & Irawan, 2017). Berdasarkan konsentrasi katalis 4% adalah kondisi terbaik yang menghasilkan *yield biodiesel* maksimal yaitu sebesar 78,1%. Bila konsentrasi katalis CaO ini terus ditingkatkan hingga 4,5% yield yang terbentuk justru semakin menurun. Menurut (Sarwono et al., 2018) hal ini terjadi karena penambahan konsentrasi katalis yang berlebihan akan mendorong reaksi terbentuknya sabun. Fakta ini terjadi ketika proses pencucian produk, adanya sabun akan menghasilkan emulsi berwarna putih. Jika semakin banyak sabun yang terbentuk, berarti semakin sedikit yang dikonversi menjadi biodiesel.



Gambar 2. Hasil Cetane Number

Angka setana yang didapat dari variabel terbaik (variabel ke-8) yaitu sebesar 39. Hal ini berarti mutu biodiesel dari segi angka setana masih dibawah standar SNI – 7182 : 2015 yang seharusnya sebesar 51.

Rendahnya angka setana ini berkaitan dengan asam lemak yang terkandung pada biodiesel. Terutama %FFA minyak jelantah sebelum dilakukan tahap transesterifikasi. Dimana %FFA tersebut masih sebesar 2,37 %. Padahal seharusnya, untuk dapat masuk ke tahap transesterifikasi, syarat %FFA adalah <2%. Dengan demikian, tingginya kadar FFA ini berarti masih terkandung asam lemak yang tinggi dengan rantai karbon panjang pada biodiesel. Sehingga menyebabkan angka setana rendah dan angka pembakaran juga rendah (Suleman et al., 2019).

Bahan bakar dengan angka cetane rendah dapat menyebabkan mesin diesel berjalan lamban dan memiliki emisi yang lebih tinggi akibat pembakaran yang tidak efisien. Angka cetane rendah juga membuat mesin sulit dinyalakan. Sedangkan bahan bakar dengan angka cetane tinggi akan menyala lebih cepat serta melakukan proses pembakaran yang lebih efisien. (Mardawati et al., 2019).

Analisis faktorial desain diperlukan untuk dapat menentukan Efek Utama yang paling berpengaruh pada penelitian dari variabel-variabel yang sudah ditetapkan. Pada penelitian ini, digunakan metode faktorial desain 2 level 3 variabel dengan variasi suhu operasi, waktu operasi, dan kadar katalis yang digunakan. Respon yang didapat berupa densitas, viskositas, dan rendemen. Berikut data yang tersaji pada tabel 8.

Tabel 8. Data Uji Biodiesel

Run	Variabel			Analisa		
	T	s	k	% r	D	V
1	50	50	2	70,4	891,2	7,7757
2	70	50	2	71,8	888,2	7,2385
3	50	70	2	73,3	884,4	7,0751
4	70	70	2	74,2	879,2	6,8416
5	50	50	4	75,6	862,4	6,6992
6	70	50	4	76,4	856,4	6,3264
7	50	70	4	77,8	854,4	5,9085
8	70	70	4	78,1	853,2	4,8908

Untuk menganalisa data diatas, maka batas atas diberi tanda (+) sedangkan batas bawah diberi tanda (-) untuk mempermudah perhitungan. Seperti tabel 9.

Tabel 9. Data Analisa

Run	t	S	k	ts	tk	sk	tsk
1	-	-	-	+	+	+	-
2	+	-	-	-	-	+	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	-	+	-	-	-
5	-	-	+	+	-	-	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	-	+	+	-	-	+	-
8	+	+	+	+	+	+	+

Setelah dihitung menggunakan metode faktorial desain, didapat data seperti tabel 10.

Tabel 10. Interpretasi Data

Efek	Hasil
Rata-rata	74,7
T	0,85
S	2,3
K	4,55
Ts	-0,25
Tk	-0,3
Sk	-0,35
Tsk	0

Berdasarkan tabel interpretasi data diatas, dapat diketahui bahwa efek utama yang paling berpengaruh adalah katalis. Kadar CaO yang tinggi memberikan kuat basa yang lebih tinggi. Semakin besar kuat basa, semakin tinggi aktivitas katalitik katalis sehingga rendemen biodiesel yang dihasilkan juga semakin tinggi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Cangkang kerang dara dapat digunakan sebagai alternatif pengganti katalis basa heterogen untuk pembuatan biodiesel melalui kalsinasi dengan suhu 900 °C selama 4 jam. Kondisi transesterifikasi terbaik didapat pada variabel ke-8 dengan penambahan jumlah katalis CaO 4% (m/v) dan lama waktu transesterifikasi 70 menit, serta suhu operasi 70 °C. Efek utama yang paling berpengaruh dalam penelitian ini adalah konsentrasi katalis. Hal ini didapat dari perhitungan metode faktorial desain 2 level 3 variabel.

BIBLIOGRAPHY

- Adewuyi, A. (2020). Challenges and prospects of renewable energy in Nigeria: A case of bioethanol and biodiesel production. *Energy Reports*, 6, 77–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.002>
- Alfianita, R. A. L. (2019). *Pengaruh Variasi Waktu dan Suhu Terhadap Rendemen Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis Abu Layang Batubara (Fly Ash) Melalui Proses Transesterifikasi*.
- Indrawati, W. (2016). Pengaruh Penambahan NaOH dan Metanol Terhadap Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas (Jelantah) dengan Metode Transesterifikasi. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Prodi Teknik Mesin Universitas Pamulang Pamulang* (Vol. 1, Issue 1).
- Khairiah, K., & Destini, R. (2017). Analisis Kelistrikan Pasta Elektrolit Limbah Kulit Durian (*Durio zibethinus*) sebagai Bio Baterai. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP*, 1(2).
- Manorama, R., & Rukmini, C. (1991). Effect of processing on β -carotene retention in crude palm oil and its products. *Food Chemistry*, 42(3), 253–264. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0308-8146\(91\)90068-Y](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0308-8146(91)90068-Y)
- Mardawati, E., Hidayat, S., Rahmah, D. M., & Rosalinda, S. (2019). Produksi Biodiesel Dari Minyak Kelapa Sawit Kasar Off Grade Dengan Variasi Pengaruh Asam Sulfat Pada Proses Esterifikasi Terhadap Mutu Biodiesel Yang Dihasilkan. *Jurnal Industri Pertanian*, 01(3).
- Prasetyo, J. (2018). Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2), 45–54.
- Prihanto, A., & Irawan, T. A. B. (2017). *Pengaruh Temperatur, Konsentrasi Katalis Dan*

- Rasio Molar Metanol-Minyak Terhadap Yield Biodisel Dari Minyak Goreng Bekas Melalui Proses Netralisasi-Transesterifikasi*. 13(1), 30–36.
- Purnama Sari, S., Tambunan, A. H., Lilik EkoNugroho, dan P., Studi Magister Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, P., & Pertanian Bogor, I. (2016). Penggunaan Pengaduk Statik untuk Pengurangan Kebutuhan Katalis dalam Produksi Biodiesel Application of Static Mixer Towards The Reduction of Required Catalyst in Biodiesel Production. In *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* (Vol. 26, Issue 3).
- Sarwono, E., Erzha, N., & Nining Widarti, B. (2018). Pengolahan Biodiesel dari Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum* L.) Menggunakan Katalis KOH. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Inovasi Dan Aplikasi Di Lingkungan Tropis*, 1(1), 34–40.
- Silalahi, M., & Hidayah, M. A. (2011). Kinetika Reaksi Transesterifikasi pada Pengolahan Limbah Minyak Goreng Bekas (Waste Vegetable Oil) menjadi Bahan Bakar Biodiesel. *Indonesian Journal of Urban and Environmental Technology*, 5(5), 167–172.
- Sudarwan, I. A. (2020). *Realisasi Penjualan Mobil 2019 Turun 10,81 Persen dari 2018*. <https://www.otomotif.bisnis.com/>
- Suleman, N., Abas, & Paputungan, M. (2019). Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Teknik*, 17(1), 66–77. <https://doi.org/10.37031/jt.v17i1.54>
- Sulistiyono, S. (2013). Pengurangan Subsidi BBM Fosil Sebagai Momentum Pengembangan Energi Alternatif Jenis Biofuel. *Swara Patra*, 3(4).
- Susila Arita, Muhammad Rifqi, Tirtasakti Nugoroho, Tuty E. Agustina, & Fitri Hadiah. (2020). Pembuatan biodiesel dari limbah cair kelapa sawit dengan variasi katalis asam sulfat pada proses esterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(1), 1–11. <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i1.54>
- Wibisono, R. W., Ardhito, V., & Chayati, T. N. (2011). *Pengembangan IMTA (Integrated Multi Trophic Aquaculture) Berbasis ekosistem lokal melalui peningkatan produksi dan diversifitas yang ramah lingkungan di Indonesia*. Bogor Agricultural University, Institut Pertanian Bogor.