

RIVIEW: SINTESIS BIODIESEL DENGAN KATALIS HETEROGEN DARI CANGKANG HEWAN MOLLUSCA

REVIEW: SYNTHESIS OF BIODIESEL WITH HETEROGEN CATALYST FROM MOLLUSCA ANIMAL SHELLS

Mukhlash imaduddin dan Samik Samik*

*Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761*

** Corresponding author, tel/fax :085731160005, email:samik@unesa.ac.id*

Abstrak Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Sebagian besar kebutuhan energi yang diperlukan manusia dipasok dari sumber daya alam yang tak dapat diperbaharui contohnya seperti minyak bumi, gas alam dan juga batu bara. Solusi yang di berikan ialah dengan menggantinya menggunakan biodiesel. Biodiesel merupakan energi alternatif berbasis nabati dan hewani. Sumber minyak nabati dapat diperoleh pada biji karet dan juga minyak goreng. Pada biji karet mengandung sekitar 40-50%-b minyak nabati dengan komposisi asam lemak yang dominan adalah asam oleat dan asam linoleat, sementara sisanya berupa asam palmitat, asam stearat, asam arachidat dan asam lemak lainnya. Katalis yang berasal dari beberapa cangkang kerang menunjukkan bahwa nilai yield pada kerang tertinggi yaitu pada kerang hijau dengan yield sebesar 90,1% dengan suhu reaksi 65°C selama 4 jam dengan berat katalis 5% dari berat biodiesel.

Kata Kunci : Kalsinasi, Transesterifikasi, Mollusca

Abstract Energy is a very important need in human life. Most of the energy needs that humans need are supplied from non-renewable natural resources such as oil, natural gas and coal. The solution given is to replace it with biodiesel. Biodiesel is an alternative energy based on plants and animals. Sources of vegetable oil can be obtained from rubber seeds and cooking oil. Rubber seeds contain about 40-50%-w vegetable oil with the dominant fatty acid composition being oleic acid and linoleic acid, while the rest are palmitic acid, stearic acid, arachidic acid and other fatty acids. Catalysts derived from several shells showed that the yield value of the highest shellfish was in green mussels with a yield of 90.1% with a reaction temperature of 65°C for 4 hours with a catalyst weight of 5% of the weight of biodiesel..

Keywords: Calcination, Transesterification, Mollusca

PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Sebagian besar kebutuhan energi yang diperlukan manusia dipasok dari sumber daya alam yang tak dapat diperbaharui contohnya seperti minyak bumi, gas alam dan juga batu bara. Bahan bakar ini cepat atau lambat akan habis yang menyebabkan manusia harus berpikir untuk membuat energi alternatif terbaharukan seperti biodiesel.

Biodiesel merupakan campuran mono alkil ester dari asam lemak rantai panjang yang

berasal dari bahan lipid terbaharukan seperti minyak nabati dan minyak hewani. [1] Biodiesel dapat terbuat dari banyak bahan-bahan minyak nabati seperti kanola, biji kapas, kelapa sawit, kacang tanah dan berbagai macam tanaman lainnya. [2]

Biodiesel memiliki kelebihan yaitu lebih ramah lingkungan daripada bahan bakar alam yang tak dapat diperbarui. Biodiesel tidak mengandung sulfur, hidrokarbon aromatik, logam dan residu minyak mentah sehingga biodiesel dapat disebut sebagai bahan bakar

bersih atau hijau. [3] Oleh karena itu, biodiesel dapat mengurangi jumlah partikel karbon dioksida, hidrokarbon dan partikel yang dilepas yang dapat terurai secara hayati dan meminimalisir gas rumah kaca atau sulfur ke atmosfer. [4]

Keunggulan biodiesel tersebut dapat dioptimalkan di Indonesia karena Indonesia memiliki sumber daya alam yang melimpah, banyak sekali sumber minyak nabati yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel, salah satunya yaitu biji karet dan minyak goreng. Indonesia memiliki luas area perkebunan karet pada tahun 2017 3.672.123 Ha (estimasi) dengan produksi yaitu sejumlah 3.229.861 Ton (Direktorat Jendral Perkebunan). [5] Selama ini hasil utama yang diambil dari tanaman karet adalah latex. Sementara biji karet masih belum dimanfaatkan dan dibuang sebagai limbah. [5]. Sedangkan untuk luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia 14,33 juta hektar dengan produksi mencapai 42,9 juta ton [6]. Sehingga, dengan besarnya produksi minyak kelapa sawit menyebabkan besarnya limbah minyak bekas juga. Pada waktu panjang menggunakan minyak goreng dengan terus menerus sehingga mengakibatkan rusaknya minyak goreng tidak baik untuk kesehatan, sehingga solusi untuk mengatasi limbah minyak goreng bekas dengan pembuatan biodiesel [7]

Selain kaya akan biji karet dan minyak goreng, Indonesia juga menghasilkan hasil laut yang melimpah ruah. Baik dari segi komoditas laut maupun material-material yang ada di dalamnya, salah satunya kerang. Kerang merupakan hewan laut yang dimanfaatkan sebagai bahan makanan masyarakat di sekitar pesisir. Namun pengolahan limbah dari cangkangnya masih sangat kurang. [8].

METODE

Metode yang digunakan untuk menyusun artikel reiew ini adalah dengan cara studi literature dari jurnal-jurnal yang berkaitan dengan topik yang dibahas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan biodiesel menggunakan metode kalsinasi dan transesterifikasi :

1. Minyak Nabati

Bahan baku biodiesel biasanya berasal dari minyak nabati. Minyak nabati dapat berupa minyak pangan (edible oil) maupun minyak non pangan (non edible oil). [9] Contoh beberapa minyak nabati yang sering digunakan dalam pembuatan katalis :

1.1 Minyak Biji Karet

Biji karet mengandung sekitar 40-50%-b minyak nabati dengan komposisi asam lemak yang dominan adalah asam oleat dan asam linoleat, sementara sisanya berupa asam palmitat, asam stearat, asam arachidat dan asam lemak lainnya. Biji karet terdiri dari 40-50% kulit yang keras berwarna coklat, dan 50-60% kernel yang berwarna putih kekuningan. Kernel biji karet terdiri dari 45,63% minyak, 2,71% abu, 3,71% air, 22,17% protein dan 24,21% karbohidrat, sehingga biji karet berpotensi digunakan sebagai sumber minyak. Kandungan air yang besar dalam biji karet memicu hidrolisis trigliserida menjadi asam lemak. Maka biji karet dapat dikeringkan dan diambil minyaknya menggunakan metode pengepresan. [10]

Tabel 1. Komposisi Asam Lemak dalam Minyak Biji Karet. [10]

Komposisi	Persentase (%-b)
Asam Palmitat	13,11
Asam Stearate	12,66
Asam Arachidat	0,54
Asam Oleat	39,45
Asam Linoleate	33,12
Asam Lemak Lainnya	1,12

1.2 Minyak Goreng

Minyak goreng dapat digunakan sebagai sumber dalam pembuatan biodiesel karena adanya komponen

trigliserida dan asam lemak bebas. Minyak goreng bekas yang jumlahnya melimpah, murah, dan mudah didapat merupakan sumber potensial untuk digunakan sebagai bahan baku sintesis biodiesel. Namun, dalam pembuatan biodiesel, adanya asam lemak bebas dalam minyak goreng menyebabkan hasil biodiesel tidak optimal karena

banyaknya senyawa sabun yang terbentuk. [11]

Minyak sawit berasal dari ekstraksi mesokarp buah kelapa sawit, yang dilanjutkan tahap pemurnian dan tahap fraksinasi. Minyak sawit banyak digunakan karena harganya yang murah, tersedia dalam jumlah banyak dan stabilitas terhadap oksidasi yang tinggi. [12]

Tabel 2. Komposisi kandungan Asam Lemak pada minyak goreng baru dan bekas. [12]

Kandungan minyak goreng	Konsentrasi	
	Sebelum Penggorengan	Sesudah Penggorengan
Kaprilat	0,02	0,00
Laurat	0,17	0,14
Miristrat	0,92	0,82
Palmitat	37,71	38,46
Stearat	3,76	4,00
Arakidat	0,31	0,39
Oleat	42,56	39,15
Linoleat	13,59	11,04
Eikosenat	0,00	0,14

2. Katalis

Katalis di bagi menjadi 2 jenis yaitu homogen dan heterogen. Dalam katalis homogen memiliki beberapa keuntungan. Pada reaksi transesterifikasi untuk produksi biodiesel dapat berlangsung, selama ini digunakan KOH dan NaOH sebagai katalis basa homogen. Katalis ini memiliki aktivitas katalitik yang tinggi untuk menghasilkan biodiesel pada kondisi lunak dan waktu reaksi singkat. Namun, penggunaan katalis homogen memiliki beberapa kelemahan termasuk masalah korosi, rekoveri katalis, pembentukan sabun, menghasilkan air limbah dalam jumlah besar, dan masalah kualitas gliserol sebagai produk samping. [9]

Katalis heterogen lebih menguntungkan diaplikasikan untuk mendukung teknologi

bersih (green technology) dengan biaya rendah. Hal ini karena katalis heterogen dapat dengan mudah dipisahkan dari campuran reaksi, dapat digunakan kembali beberapa kali, ramah lingkungan, dan rendah toksit [13]. Katalis yang digunakan dalam pembuatan biodiesel biji karet merupakan katalis heterogen. Di karenakan katalis heterogen memiliki beberapa keuntungan dari katalis homogen seperti dapat dengan mudah di pisahkan dan pemurnian produk dan dapat di gunakan secara berkelanjutan. Katalis heterogen juga bersifat non-korosif. Tidak beracun (non-toksik) dan dapat di regenerasi setelah di gunakan [14]

3. Katalis Dari Hewan Mollusca

3.1 Kerang Hijau

Kerang hijau (*Perna viridis*) atau dikenal sebagai "green mussels" adalah jenis yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Tersebar luas di perairan Indonesia dan ditemukan melimpah pada perairan pesisir, daerah mangrove dan muara sungai.

Tabel 3. Cangkang kerang hijau memiliki kadar Sebagai berikut [15] :

Senyawa	Konsentrasi
	Cangkang Kerang Hijau
CaO	98,367
Na ₂ O	0,937
SO ₃	0,293
P ₂ O ₅	0,163
SrO	0,158
ZrO ₂	0,046
Cl	0,037
Fe ₂ O ₃	-

3.2 Kerang Dara

Kerang Dara adalah salah satu hewan lunak (mollusca) kelas bivalvia atau pelecypoda. Warna dan bentuk cangkang darah sangat unik. Kerang darah biasanya simetri bilateral, mempunyai sebuah mantel yang berupa daun telinga dan cangkang setangkup. Mantel tersebut melekat pada cangkang oleh sederetan otot yang meninggalkan bekas melengkung yang disebut garis mantel. Manfaat permukaan luar mantel yaitu mensekresi kandungan dari zat organik cangkang dan membuat kristal-kristal kalsit atau kapur. Cangkang terdiri dari tiga lapisan, yakni: Lapisan luar tipis hampir berupa kulit dan disebut periostracum, Lapisan kedua yang tebal terbuat dari kalsium karbonat, dan Lapisan dalam terdiri dari mother of pearl yang dibentuk dari selaput mantel dalam bentuk lapisan tipis. Lapisan tipis ini yang membuat

cangkang menebal saat hewannya bertambah tua. [16]

Tabel 4. Cangkang kerang darah memiliki kadar sebagai berikut [16]:

Kandungan	Kadar (% Berat)
CaO	66,70
SiO ₂	7,88
Fe ₂ O ₃	0,03
MgO	22,28
Al ₂ O ₃	1,25

3.3 Kerang *P. margaritifera*

Cangkang *P. margaritifera* berukuran besar, bulat secara garis besar, dengan katup kiri lebih cembung daripada katub kanan. Bagian luar berwarna hijau keabu-abuan dengan deretan sisik, dan bagian dalam pada permukaan nacre berwarna-warni keperakan, merah muda, merah atau hijau, sedangkan berwarna khas hitam pada margin prismatic. [17]

Tabel 5. Komposisi Cangkang Kerang *P. margaritifera* [17]

Mineral	Komposisi (mg/kg.wet)
Kalsium (Ca)	33100
Magnesium (Mg)	6,33
Natrium (Na)	5,00
Fosfor (P)	50,00
Besi (Fe)	3,00
Mangan (Mn)	31,60

4. Kalsinasi

Proses kalsinasi merupakan proses penguraian atau dekomposisi senyawa kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi senyawa kalsium oksida (CaO) melalui pemanasan pada suhu tinggi [18]. Produk dari kalsinasi biasanya disebut

dengan “kalsin” yaitu mineral yang telah mengalami proses pemanasan proses kalsinasi dilakukan dalam sebuah tungku atau reaktor yang disebut dengan kiln atau calciners dengan beragam desain, seperti tungku poros, rotari kiln, tungku perapian ganda, dan reaktor fluidized bed. Normalnya proses kalsinasi dilakukan dibawah temperatur leleh (melting point) dari bahan produk. [19] Adapun reaksi kimia pada proses kalsinasi yaitu :



Dalam proses kalsinasi, total 20 gram serbuk disimpan dalam desikator untuk memperoleh keseimbangan yang stabil [20]. Bubuk cangkang kerang hijau dikalsinasi menggunakan tungku listrik (Neytech Vulcan, USA) dengan suhu 900°C dengan waktu kalsinasi 2–4 jam sampai dengan suhu 1000°C. [14]

4.1 Persiapan Katalis

Cangkang kerang. Katalis yang terbuat dari sebagian cangkang kerang merupakan katalis CaO. Katalis CaO merupakan katalis heterogen yang dapat mengurangi limbah dan dapat di gunakan untuk sintesis biodiesel dengan biaya rendah. Disamping itu, Sumber kalsium dapat diperoleh dari alam yang menjadi limbah yaitu, cangkang telur, cangkang kepiting, kerang, tulang dan moluska. Cangkang kerang memiliki potensi yang baik sebagai sumber kalsium dalam pembuatan katalis yang ramah dan mengurangi biaya produksi biodiesel. Dalam pembuatan katalis CaO dari cangkang kerang, Cangkang kerang dikumpulkan dan dibersihkan dengan air yang mengalir untuk menghilangkan protein yang tersisa dalam cangkang dan zat-zat pengotor lainnya. Kemudian di oven dengan suhu 100°C untuk menghilangkan kandungan air selama 24 jam. Cangkang kerang yang telah kering

di hancurkan menjadi ukuran-ukuran kecil, kemudian dikalsinasi pada suhu 900°C-1000°C selama 3 jam. Setelah dikalsinasi CaO dihaluskan menjadi serbuk kecil. [21] Cangkang kerang dikalsinasi dengan suhu tinggi yaitu, 900°C-1000°C. Kemudian diaplikasikan pada reaksi transesterifikasi minyak biji karet dengan pelarut metanol. [21]

5. Esterifikasi

Reaksi esterifikasi merupakan proses konversi asam lemak bebas menjadi metil ester sehingga didapatkan hasil biodiesel yang maksimal. Jenis katalis yang sering dipakai dalam proses ini berasal dari asam-asam kuat, seperti H₂SO₄ dan HCl. Reaksi esterifikasi menggunakan katalis asam homogen memiliki keuntungan yaitu aktivitas dan selektivitasnya tinggi. Namun, sulit dipisahkan dari campuran reaksi dan kurang stabil pada suhu tinggi. [11]

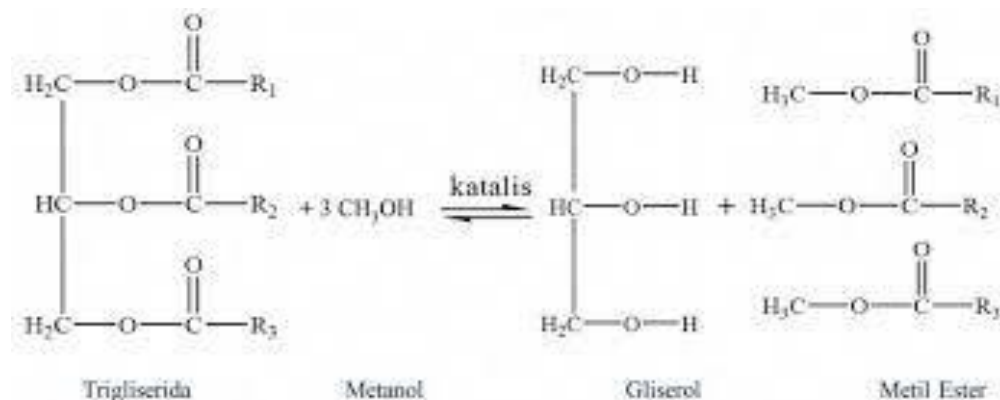
6. Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses transformasi kimia molekul trigliserida yang besar, bercabang dari minyak nabati dan lemak menjadi molekul yang lebih kecil, molekul rantai lurus, dan hampir sama dengan molekul dalam bahan bakar diesel. Minyak nabati atau lemak hewani bereaksi dengan alkohol (biasanya metanol) dengan bantuan katalis (biasanya basa) yang menghasilkan alkil ester (atau untuk metanol, metil ester) [22]

Transesterifikasi merupakan metode yang bertujuan untuk mengubah (tri, di, mono) gliserol yang mendominasi pada minyak biji karet ataupun bahan dan berviskositas tinggi menjadi metil ester, yang mana gliserol di gantikan oleh alkohol rantai pendek seperti metanol dan etanol. Proses transesterifikasi dapat berlangsung maksimal apabila ditambahkan katalis, baik katalis homogen maupun katalis heterogen. Katalis homogen lebih dihindari karena memiliki fase yang sama dengan

reaktan maupun produk sehingga sulit dipisahkan ketika proses reaksi berakhir [23]. Katalis heterogen sendiri terdiri dari dua komponen utama, yaitu situs aktif

(dopan) dan penyangga. Situs aktif berfungsi untuk meningkatkan laju reaksi dan mengarahkan reaksi ke arah produk yang diinginkan [21]



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester adalah

7. Nilai Yield Biodiesel dengan katalis Cangkang Kerang

Banyak sumber artikel dan jurnal yang melaporkan efektivitas katalis yang

berasal dari cangkang hewan moluska. Berikut beberapa contohnya:

Tabel 6. Nilai Yield dari beberapa sampel kerang dengan minyak nabati.

Jenis Cangkang	Jenis Minyak	%Katalis	Suhu Reaksi	Waktu Reaksi	Yield%	Ref.
Kerang Darah	Minyak Goreng Filma	1%	60,2	1,5 jam	64,9%	[16]
Kerang Hijau	Minyak Biji Karet	5%	65°C	4 jam	90,1%	[9]
Kerang Mutiara	Minyak Jelantah	4%	60-65°C	60 Menit	48%	[24]

Hasil yield biodiesel dari reaksi minyak goreng Filma dengan katalis kerang darah sebesar 1% pada suhu 65oC selama 1,5 jam adalah 64,9%. Sedangkan, hasil yield biodiesel dari reaksi minyak biji karet dengan katalis cangkang kerang hijau sebesar 5% pada suhu 65oC selama 4 jam adalah 90,10%. Terakhir, hasil yield biodiesel dari reaksi minyak jelantah dengan katalis kerang mutiara sebesar 4% pada suhu 60-65oC selama 1 jam adalah 48%.

Dapat dilihat bahwa katalis cangkang kerang hijau memberikan hasil yield biodiesel yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis kerang darah dan katalis kerang mutiara. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan aktivitas katalitik dari masing-masing katalis serta kondisi reaksi yang digunakan. Selain itu, jenis minyak bahan baku yang digunakan dalam setiap reaksi juga dapat mempengaruhi hasil yield biodiesel.

Meskipun demikian, hasil yield biodiesel dari reaksi minyak goreng Filma dengan katalis kerang darah sebesar 64,9% tetap tergolong cukup baik dan dapat menjadi alternatif untuk memproduksi biodiesel secara ekonomis dan ramah lingkungan. Namun, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas dan jumlah produksi biodiesel dengan menggunakan katalis kerang darah.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan, biodiesel dapat diproduksi dari minyak nabati melalui reaksi transesterifikasi dengan bantuan katalis. Beberapa jenis cangkang kerang seperti kerang hijau dan kerang mutiara telah digunakan sebagai katalis dan memberikan hasil yield biodiesel yang berbeda-beda. Penelitian menunjukkan bahwa kerang hijau memberikan yield biodiesel yang lebih tinggi dengan suhu

reaksi 65 °C selama 4 jam dengan berat katalis 5% dari berat biodiesel

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Demirbas, "Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels," *Energy Conv Manage*, pp. 14-34, 2009.
- [2] U. Rashid, F. Anwar, B. Moser dan G. Knothe, "Moringa Oleifera Oil : A Possible Source of Biodiesel," *Bioresour Technol*, p. 8175, 2008.
- [3] S. G. M. Caynak, "Biodiesel Production from Pomace Oil and Improvement of its Properties with Synthesis Manganese Additive," *Fuel*, p. 534, 2009.
- [4] S. Dmytryshyn, A. Dalai, S. Chaudhari, H. Mishra dan M. Reaney, "Synthesis and Characterization of Vegetable Oil Deriver Esters : Evaluation for Their Diesel Additive Properties," *Biosour Technol*, pp. 55-64, 2004.
- [5] S. Siahaan, D. Setyaningsih dan Hariyadi, Potency for The Utilization of Ruber (Havea Brasiliensis Muell.Arg) Seed as an Alternative Energy Source of Biokerosene, Bogor: Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB, 2011.
- [6] B. P. S. Indonesia, "Indonesian Oil Palm Statistics 2019," 2019.
- [7] Husna, Nurlela dan A. Wahyudi, "Kualitas Minyak Goreng Sebelum Dan Sesudah Dipakai Ditinjau Dari Kandungan Asam Lemak Bebas Dan Perubahan Warna," *Jurnal Teknik Kimia*, 2020.
- [8] T. W. Agustini, S. E. Ratnawati, B. A. Wibowo dan J. Hutabarat, "Pemanfaatan Cangkang Kerang Simping (Amusium Pleuronectes) Sebagai Sumber Kalsium Pada Produk Ekstrudat," *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, p. 2, 2011.
- [9] E. Yunita, Z. Darwis dan Yusmaniar, "Optimasi Konsentrasi Katalis Cao Dari Cangkang Kerang Hijau (Perna Viridis) Dalam Reaksi Ranseterifikasi Minyak Biji Karet (Hevea Braziliensis) Pada Pembuatan Biodiesel," *Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan*, 2020.

- [10] A. Hakim dan E. Mukhtadi, "Pembuatan Minyak Biji Karet Dari Biji Karet Dengan Menggunakan Metode Screw Pressing: Analisis Produk Penghitungan Rendemen, Penentuan Kadar Air Minyak, Analisa Densitas, Analisa Viskositas, Analisa Angka Asam Dan Analisa Angka Penyabunan," *Metana*, p. 14, 2017.
- [11] A. Sartika, Nurhayati dan Muhdarina, "Esterifikasi Minyak Goreng Bekas Dengan Katalis H_2SO_4 dan Transesterifikasi Dengan katalis CaO dari Cangkang Kerang Darah : Variasi Kondisi Esterifikasi," vol. 2, 2015.
- [12] M. Taufik dan H. Seftiono, "KARAKTERISTIK FISIKA DAN KIMIA MINYAK GORENG SAWIT HASIL PROSES PENGGORENGAN DENGAN METODE DEEP-FAT FRYING," *Jurnal Teknologi*, 2017.
- [13] Y. H. Hui, "Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Oilseed product, 5th ed, 2.," *New York. John Wiley and Son Company Pub*, 1996.
- [14] F. F. Z. Guo, "Biodiesel Production with solid Catalysts," *Biodiesel Feedstocks and Processing Technologies*, 2011.
- [15] F. Akbar, R. Kusumaningrum, M. S. Jamil, A. Noviyanto, W. B. Widayatno, A. S. Wismogroho dan N. T. Rochman, "Sintesis $Ca_2P_2O_7$ dari Limbah Kerang dengan Metode Solvothermal," *J. Fisika*, 2019.
- [16] G. C. C. Rohmana, H. P. Sudarminto dan S. E. Damayanti, "Studi Aktivasi Limbah Cangkang Kerang Sebagai Katalis ramah Lingkungan Dalam Pembuatan Biodiesel," *Distilat*, 2021.
- [17] O. J. Kalesaran, C. Lumenta dan R. Rompas, "Komposisi Mineral Cangkang Kerang Mutiara *Pinctada margaritifera* Di Sulawesi Utara," *Budidaya Perairan*, 2018.
- [18] S. B. K. Niju, "Enhancement of Biodiesel Synthesis Over Highly Active CaO Derived from Natural White Bivalve Shell," *Arabian Journal of Chemistry*, 2014.
- [19] P. P. Lestari, "Biodiesel Dari Sawit Dengan Katalis Kalsinasi Cangkang Kerang Darah," *Technology and Art of Life*, 2019.
- [20] D. .. A. A. Kumar, "Nanocrystalline K-CaO for The Transesterification of a Variety of Foodstocks, Structure Kinetics and Catalytic Properties," *Biomass and Bioenergy*, 2012.
- [21] S. Asnibar, "Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas untuk Pembuatan Biodiesel berkatalis CaO dari Cangkang kerang Darah," *Fuel*, 2014.
- [22] K. G. J. Gerpen dan J. Krahel, *The Biodiesel Handbook*, United States of America: AOCS Press, 2005.
- [23] P. L. Boey, G. P. Maniam dan S. Abd Hamid, "Performance of Calcium Oxide as a Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Production: A Review," *Chemical Engineering Journal*, vol. 168, no. 1, pp. 15-22, 2011.
- [24] I. Sumarlan dan R. B. Mentari, "Esterifikasi of Waste Cooking Oil using Heterogeneous Catalyst from Pearl Shell," *Jurnal Akademika Kimia*, 2020.