

## REVIEW: PEMANFAATAN BIJI NYAMPLUNG (*Calophyllum Inophyllum*) SEBAGAI BAHAN BAKU BIODIESEL BERDASARKAN PROSES PRODUKSI DAN PENAMBAHAN KATALIS

Ilham Aldi Pratama<sup>1</sup>; Ika Kurniaty<sup>1</sup>, Ummul Habibah Hasyim<sup>1</sup>, Gema Fitriyano<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta  
E-mail: ika.kurniaty@umj.ac.id

**ABSTRAK.** Kebutuhan energi dunia semakin meningkat beriringan dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan ekonomi. Energi fosil merupakan energi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat dunia dan ketersediaannya akan habis di masa mendatang. Penggunaan biodiesel menjadi solusi akan energi yang terbarukan dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui metode produksi dan katalis yang paling efektif dalam pemanfaatan biji nyamplung menjadi biodiesel dengan ide pokok yaitu proses produksi dan penggunaan katalis. Penelitian ini merupakan *literature review* yang dimulai dengan pengumpulan artikel, pengelompokan data, analisa dan membuat ringkasan. Hasil penelitian ini menunjukkan metode *supercritical methanol* menjadi metode produksi paling efektif dengan perolehan *yield* sebesar 90,4% dalam 10 menit reaksi dan katalis CaO berbahan dasar tulang sapi menunjukkan karakteristik yang sangat mendekati CaO murni yang dapat menghasilkan *yiled* sebesar 86,02% sehingga dapat menekan biaya produksi.

Kata kunci: biodiesel, biji nyamplung, katalis, *literature review*, metode produksi

**ABSTRACT.** World energy demand is increasing along with population growth and economic development. Fossil energy is the energy most widely used by the people and its availability will run out in the future. The use of biodiesel is a solution for renewable and environmentally friendly energy. This study aims to determine the most effective production methods and catalysts in the utilization of nyamplung seeds into biodiesel with the main idea of the production process and the use of catalysts. This research is a literature review that starts with article collection, data grouping, analysis and making a summary. The results of this study indicate that the supercritical methanol method is the most effective production method with a yield of 90.4% in 10 minutes of reaction and a CaO catalyst made from cow bone shows characteristics that are very close to pure CaO which can produce yiled of 86.02% so that it can decrease production cost.

Keywords: biodiesel, catalyst, literature review, nyamplung seeds, production method

## PENDAHULUAN

Sumber energi berbasis energi fosil termasuk sumber daya alam tak terbarukan sehingga perlu dikembangkan sumber energi alternative, salah satunya adalah biodiesel. Biodiesel bukan hanya energi terbarukan dan ramah lingkungan namun energi yang dapat terdegradasi dalam lingkungan (Demirbas, 2009).

Biodiesel merupakan mono alkil ester dari asam-asam lemak rantai panjang yang mengandung 12 sampai 24 atom karbon yang dibuat dari sumber lipida/lemak yang dapat

diperbaharui, seperti minyak nabati dan lemak hewani melalui transesterifikasi (Ma & Hanna, 1999). Apabila dibandingkan dengan bahan bakar fosil, biodiesel mempunyai kelebihan, diantaranya bahan bakunya dapat diperbaharui (*renewable*), tidak memiliki kandungan sulfur sehingga tidak memberikan kontribusi terhadap terjadinya hujan asam, memiliki sifat pelumas yang sangat baik sehingga dapat memperpanjang masa pakai mesin, memiliki titik nyala yang tinggi sehingga lebih aman dari bahaya kebakaran, dapat mengurangi emisi udara beracun, dan bersifat *biodegradable* (Primadi, 2011).

Pada awal produksi, biodiesel fokus pada pengembangan minyak nabati yang dapat dikonsumsi seperti minyak sawit, kedelai, bunga matahari dan padi. Bahan baku biodiesel harus memenuhi persyaratan untuk produksi biodiesel dengan biaya produksi rendah dan produksi skala besar (Silitonga, et al., 2013). Harga minyak nabati yang dapat dikonsumsi mahal (Rizwanul Fattah, et al., 2014), maka pengembangannya difokuskan pada minyak nabati yang tidak dapat dikonsumsi untuk menekan biaya produksi saat masa krisis.

Sumber minyak nabati yang tidak bersaing dengan kebutuhan pangan jika digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel antara lain seperti biji karet, biji jarak pagar dan biji nyamplung. Penggunaan biji karet sebagai bahan baku biodiesel terkendala pada rendahnya produktifitas biji karet hanya sekitar 2 ton/ha/tahun (Supriadi & Balittri, 2012). Penggunaan jarak pagar sebagai biodiesel juga terkendala pada rendahnya produktifitas jarak pagar yang hanya 5 ton/ha/tahun (Bustomi, et al., 2008).

Biji nyamplung memiliki produktifitas paling besar diantara biji karet dan jarak pagar yaitu sekitar 20 ton/ha/tahun yang menjadikan keuntungan penggunaan biji nyamplung sebagai biodiesel dibanding minyak nabati lain (Bustomi, et al., 2008).

Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) merupakan salah satu jenis tanaman yang biasa hidup dan tumbuh di daerah berpasir seperti di daerah tepi sungai atau daerah pesisir pantai sampai dengan ketinggian 200 dpl. Potensi nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel sangat besar karena terdapat kandungan minyak dengan kadar tinggi sekitar 40-73%. Nyamplung *Inophyllum L.* dan penghasil minyak (biofuel) yang kadar oktannya cukup tinggi (Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, 2008).

Kelebihan nyamplung sebagai bahan baku biofuel adalah bijinya mempunyai rendemen minyak yang tinggi (bisa mencapai 74%), dan juga beberapa sifat fisiko kimia yang dapat dilihat pada tabel 1, serta pemanfaatannya tidak berkompetisi dengan kepentingan pangan ((P3HH), 2005-2008).

Beberapa keunggulan nyamplung ditinjau dari prospek pengembangan dan pemanfaatannya sebagai bahan baku biodiesel, antara lain tanaman nyamplung tumbuh dan tersebar merata secara alami di Indonesia; regenerasi mudah dan berbuah

sepanjang tahun menunjukkan daya survival yang tinggi terhadap lingkungan; tanaman relatif mudah dibudidayakan baik tanaman sejenis (*monoculture*) atau hutan campuran (*mixed-forest*); cocok di daerah beriklim kering, dan berbuah sepanjang tahun hampir seluruh bagian tanaman nyamplung berdayaguna dan menghasilkan bermacam produk yang memiliki nilai ekonomi; dan pemanfaatan nyamplung dapat menekan laju penebangan pohon hutan sebagai kayu bakar; serta produktivitas biji lebih tinggi dibandingkan jenis lain, jarak pagar 5 ton/ha; sawit 6 ton/ha; nyamplung 20 ton/ha, ((P3HH), 2005-2008).

Masalah yang dihadapi dalam pengembangan biodiesel di Indonesia adalah mahalnya investasi yang harus dikeluarkan untuk mengkonversi minyak nabati menjadi biodiesel sehingga kebanyakan perusahaan lebih banyak mengeksport minyak nabati mentah karena lebih mudah dan cepat mendatangkan uang. Investasi yang dikeluarkan juga tidak sebanding dengan perolehan biodiesel yang dihasilkan. Alhasil, capaian produksi biodiesel per tahunnya masih dibawah level 75% dari total kapasitas produksi (Murtiningrum & Firdaus, 2016).

Dalam proses produksi selain memperhitungkan produk yang didapat juga mempertimbangkan efisiensi dari sebuah proses. Efisiensi sebuah proses dapat dilihat dari waktu operasi dan produk hasil yang didapat. Semakin cepat sebuah proses berjalan dan semakin banyak perolehan produk hasil maka semakin efisien sebuah proses berjalan. Proses tersebut dapat berjalan secara maksimal dengan bantuan katalis (Anwaristiawan, Harjito, & Widiarti, 2018)

Katalis merupakan salah satu bahan yang dapat meningkatkan efisiensi proses. Akan tetapi, bahan kimia yang digunakan untuk sistesis katalis cukup mahal sehingga perlu dikembangkan sumber katalis dari bahan bahan alami (Enggawati & Ediati, 2013). Penggunaan bahan alami sebagai bahan baku pembuatan katalis dapat mengatasi masalah mahalnya investasi untuk produksi biodiesel dalam negeri. Dengan menggunakan bahan alami yang kebanyakan merupakan limbah, maka dapat menekan biaya produksi sehingga diharapkan produksi biodiesel dalam negeri dapat meningkat.

Masalah yang dikaji pada artikel ini adalah metode produksi apakah yang paling efektif dalam pemanfaatan minyak nyamplung

sebagai biodiesel dan bagaimana pengaruh katalis dalam menaikkan produksi biodiesel yang dapat dihasilkan. Adapun tujuannya untuk mengetahui bagaimana metode produksi yang paling efektif dalam proses produksi biodiesel dari minyak nyamplung dan untuk mengetahui katalis yang efektif dalam proses produksi biodiesel dari minyak nyamplung.

Tabel 1. Sifat fisio-kimia minyak nyamplung (Sumber: (Hasibuan, Sahirman, & Yudawati NMA, 2013))

Karakteristik fisio-kimia	Nilai
Viskositas suhu 40 °C	60,96 cSt
Bilangan asam	59,94 mg KOH/g
Kadar asam lemak bebas	29,53%
Bilangan penyabunan	198,1 mg KOH/g
Bilangan Iod	86,42 mg/g
Wujud	Hijau gelap, kental, bau menyengat

## METODOLOGI PENELITIAN

### Metode Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan Literatur  
Mencari sumber sumber yang digunakan untuk studi pustaka seperti bahan bakar alternatif, sumber energi terbarukan, BIJI nyamplung, pemanfaatan nyamplung menjadi biodiesel, definisi biodiesel, proses pembuatan biodiesel dan katalis dengan menggunakan Virtual tools antara lain Google Cendekia, Researchgate, Science Direct dan sumber-sumber data sekunder lainnya.
2. Mengelompokkan Data Sekunder  
Data sekunder yang telah didapatkan kemudian dikelompokkan berdasarkan ide pokok yang dibahas yaitu proses produksi atau metode yang digunakan untuk pembuatan biodiesel dan penambahan katalis pada proses untuk diketahui kontribusi dan korelasinya.
3. Melakukan Analisa  
Tahapan yang dilakukan dalam analisa literatur yaitu mencari kesamaan,

perbedaan (*contrast*), memberikan pandangan (*criticize*), melakukan perbandingan (*synthesize*) dan meringkas (*summarize*) mengenai pemanfaatan biji nyamplung sebagai bahan baku pembuatan biodiesel yang dikaji dari sisi proses produksi atau metode yang digunakan untuk pembuatan biodiesel dan penggunaan katalis

### 4. Kesimpulan

Membuat kesimpulan dari hasil analisa review pemanfaatan biji nyamplung sebagai bahan baku biodiesel berdasarkan proses produksi dan penambahan katalis

## PEMBAHASAN

Pemanfaatan biji nyamplung sebagai bahan baku biodiesel ditinjau berdasarkan proses produksi dan penggunaan katalis dapat dilihat pada table 2 dan 3 dibawah ini.

Tabel 2. Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Nyamplung

(Tipachan, Pinnarat, Minyak biji nyamplung Kajorncheappunngan hasil <i>treatment</i> awal biji nyamplung diproses dengan metode <i>supercritical methanol</i> pada <i>stainless steel reactor</i> dengan variasi suhu, tekanan dan rasio molar minyak dan metanol. Hasil biodiesel dipisahkan dari gliserol dengan metode evaporasi dan dilakukan analisa <i>yield</i> dan karakteristik biodiesel.	
(Naveenkumar & Baskar, 2019)	Dalam proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan proses <i>pre-treatment</i> , proses esterifikasi, proses transesterifikasi dengan bantuan katalis <i>zinc-doped calcium oxide</i> , dan <i>post-treatment</i> untuk memurnikan biodiesel yang terbentuk.
(Muhammad, Jatranti, Qodariyah, & Mahfud, 2014)	Minyak nyamplung akan melalui 4 tahapan proses produksi biodiesel, yaitu

	tahap <i>pre-treatment</i> , tahap <i>Degumming</i> , tahap esterifikasi dan tahap transesterifikasi dengan bantuan gelombang mikro yang kemudian hasil produk biodiesel dimurnikan dengan pemanasan oven.	layang sebelumnya dipreparasi awal dan dilakukan proses <i>leaching</i> .
(Permatasari, Mayangsari, Gunardi, 2013)	Tahapan produksi minyak nyamplung dari biji nyamplung dilakukan dalam dua tahapan proses yaitu esterifikasi dan transesterifikasi dengan bantuan katalis H-Zn. Kadar biodiesel yang terbentuk dilakukan Analisa dengan metode <i>Gas Chromatography</i> .	(Hartono, Jayanudin, Harzufi, & Nuraini.M, 2012) Proses pembuatan biodiesel dari minyak biji nyamplung dilakukan dengan bantuan katalis asam basa. Asam yang digunakan dalam esterifikasi adalah asam klorida pekat. Basa yang digunakan dalam transesterifikasi adalah natrium hidroksida dengan variasi konsentrasi.
(Musta, Haetami, & Salmawati, 2017)	Proses dimulai dengan mengeringkan biji nyamplung yang sudah dipilih. Minyak biji nyamplung didapatkan dari pengepresan biji nyamplung dengan mesin pres. Langkah selanjutnya adalah proses <i>Degumming</i> dan proses terakhir yaitu Transesterifikasi minyak biji nyamplung menjadi biodiesel dan dilakukan pemurnian terhadap biodiesel yang terbentuk.	(Christina, Sungadi, & Kurniawan, 2017) CaO yang digunakan sebagai katalis dalam produksi biodiesel dari minyak nyamplung dipreparasi dari tulang sapi menggunakan proses kalsinasi.
		(Handayani, Wulansarie, Husaen, & Ulfayanti, 2018) <i>Ionic Liquid</i> merupakan katalis yang digunakan dalam proses esterifikasi minyak nyamplung. <i>Ionic Liquid</i> yang digunakan adalah 1-Butyl-3-Methylimidazolium Hydrogen Sulphate (BMIMHSO <sub>4</sub> ).

Tabel 3. Penggunaan Katalis dalam Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Nyamplung

(Nurhidayanti, 2018)	Katalis yang digunakan adalah katalis asam basa. Pada proses esterifikasi digunakan katalis asam sulfat encer yang kemudian dinetralkan oleh KOH. Katalis basa yang digunakan dalam proses transesterifikasi yaitu KOH.
(Enggawati & Ediati, 2013)	Katalis heterogen CaO dibuat dengan kalsinasi kulit telur ayam yang kemudian dilakukan sintesis katalis CaO/Abu Layang dengan metode impregnasi basah. Abu

Pemanfaatan nyamplung untuk dijadikan biodiesel telah banyak dilakukan dalam penelitian sebelumnya. Proses konversi biji nyamplung menjadi biodiesel secara keseluruhan melalui 3 tahapan yaitu *pre-treatment*, esterifikasi dan transesterifikasi. Proses *pre-treatment* merupakan tahap yang berguna dan harus dilakukan sebagai tahapan paling awal dalam pemanfaatan minyak nyamplung sebagai biodiesel.

Biji nyamplung yang sudah di pres menghasilkan minyak nyamplung masih mengandung partikel – partikel padat dan zat pengotor yang dapat mengganggu proses selanjutnya sehingga pada proses *pre-treatment* dapat menghilangkan pengotor dan partikel padat lainnya dalam minyak nyamplung dengan cara penyaringan. Kandungan air dalam minyak nyamplung juga dapat mengganggu proses khususnya pada reaksi transesterifikasi karena dapat terjadi reaksi

saponifikasi dan menurunkan perolehan biodiesel (Tipachan, Pinnarat, & Kajorncheappunngam, 2017).

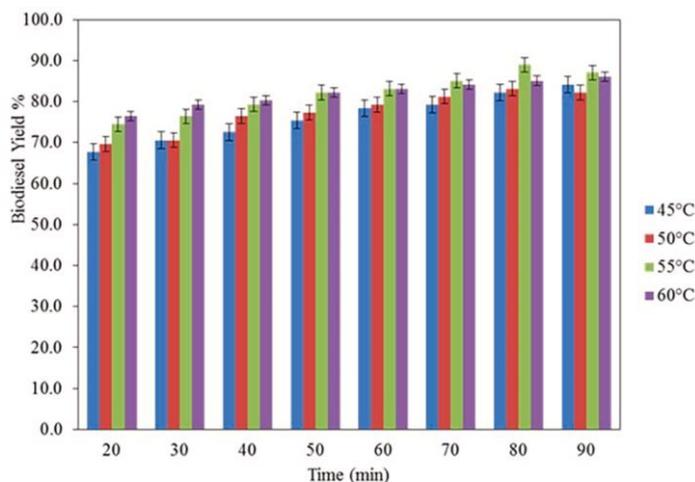
Untuk menghilangkan kandungan air dalam minyak nyamplung dapat dilakukan dengan pemanasan dalam oven (Naveenkumar & Baskar, 2019). Dalam tahapan *pre-treatment* umumnya dilakukan proses *degumming* setelah proses *pre-treatment*. *Degumming* adalah proses penghilangan getah atau lendir yang terdiri dari fosfolipid, protein, residu, karbohidrat, air dan resin. Penambahan asam ( $H_3PO_4$ ,  $H_2SO_4$  dan HCl) atau basa (NaOH) adalah cara yang dapat dilakukan untuk penghilangan getah dari minyak nyamplung (Musta, Haetami, & Salmawati, 2017). Kadar air yang tinggi pada minyak nyamplung akan dikonsumsi oleh katalis sehingga menghasilkan *yield* biodiesel yang kecil (Lotero, et al., 2005) sehingga proses *degumming* perlu dilakukan. keberhasilan proses *degumming* dinilai berdasarkan parameter purifikasi, yaitu kecerahan kenampakan minyak.

Esterifikasi merupakan tahapan yang dilakukan untuk mengubah asam lemak bebas menjadi trigliserida karena tujuan esterifikasi untuk mendapatkan minyak nyamplung dengan kadar asam lemak bebas <2%, karena jika minyak nyamplung memiliki kadar asam lemak bebas >2% dilanjutkan ke proses transesterifikasi akan terjadi penyabunan yang akan mengurangi kualitas biodiesel yang dihasilkan (Sudrajat, Sahirman, Suryani, & Setiawan, 2010).

Dalam (Musta, Haetami, & Salmawati, 2017) melakukan proses transesterifikasi langsung setelah proses *degumming*. Keuntungan dari proses transesterifikasi langsung adalah produk ester yang dihasilkan dapat langsung diambil tapi harus melalui tahapan pemurnian lebih lanjut terhadap produk ester (biodiesel) yang dihasilkan karena terjadinya saponifikasi menyebabkan banyak *impurities* yang terdapat pada biodiesel produk sehingga mempengaruhi rendemennya.

Proses transesterifikasi langsung yang dilakukan oleh (Musta, Haetami, & Salmawati, 2017) menghasilkan perolehan biodiesel sebesar 82,618% dengan waktu reaksi selama 60 menit. Sehingga proses produksi biodiesel dari minyak nyamplung tidak tepat dilakukan dengan proses transesterifikasi langsung karena memerlukan waktu reaksi yang lama dan tingkat kemurnian biodiesel yang dihasilkan juga rendah.

Bercampurnya sisa pelarut dan pengotor lainnya membuat viskositas yang dihasilkan jauh dibawah persyaratan (SNI 04-7182-2006, 2006) sebesar 2,3 – 6,0 cSt yaitu didapat hasil viskositas sebesar 0,0315 cSt sehingga membuat biodiesel yang dihasilkan terlalu encer. Proses transesterifikasi langsung dengan menggunakan alkohol dan katalis basa tidak cocok untuk minyak nabati dengan FFA tinggi seperti minyak nyamplung (~ 27



wt.%) karena akan terjadi pembentukan sabun sehingga produk biodiesel yang dihasilkan belum murni karena masih bercampur dengan

Gambar 1. Pengaruh suhu dan waktu reaksi dalam proses produksi biodiesel. (Sumber: (Naveenkumar & Baskar, 2019))

sisa pelarut dan pengotor lainnya sehingga mempengaruhi rendemen.

Transesterifikasi atau biasa disebut dengan alkoholisis merupakan tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkil ester, melalui reaksi dengan alkohol dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Parameter yang berpengaruh dalam pembuatan biodiesel adalah perbandingan molar metanol dan minyak, konsentrasi katalis, waktu dan suhu reaksi. Semakin tinggi rasio molar metanol dan minyak maka akan semakin tinggi juga perolehan biodiesel yang dihasilkan. Namun semakin tinggi rasio molar metanol dengan minyak berarti semakin banyak kebutuhan metanol yang diperlukan dalam proses produksi biodiesel. Semakin kecil rasio molar metanol dan minyak maka akan menekan biaya bahan baku metanol, namun waktu reaksi akan semakin lama.

Beberapa peneliti seperti (Permatasari, Mayangsari, & Gunardi, 2013) menggunakan rasio molar metanol dengan

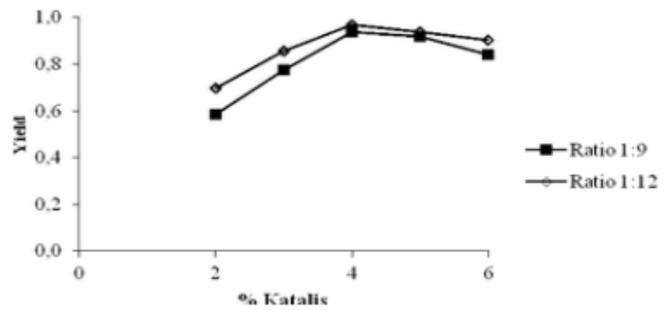
minyak sebesar 2:1 dalam reaksi esterifikasi dan transesterifikasi. Dengan rasio molar metanol dan minyak 2:1 reaksi dapat berjalan hingga terbentuk produk biodiesel selama 210 menit dan didapatkan *yield* biodiesel sebesar 36,807%. Tentu ini bukan waktu yang sebentar, karena biodiesel produk masih harus melalui tahap pemurnian sebagai tahap akhirnya. Jenis katalis dan konsentrasi katalis juga memiliki pengaruh besar dalam proses produksi biodiesel. Salah satu hal yang berpengaruh pada proses produksi biodiesel adalah rasio molar methanol dan minyak, berikut adalah hubungan antara rasio molar dengan perolehan biodiesel:

Tabel 4. Hubungan rasio molar dan konsentrasi katalis dalam produksi biodiesel. (Sumber: (Naveenkumar & Baskar, 2019))

Methanol : Oil (Rasio Molar)	Biodiesel Yield (%)	Konsentrasi Katalis (%)	Biodiesel Yield (%)
05:01	73,9	2	73,1
06:01	76,0	4	80,6
07:01	68,6	6	88,1
08:01	69,6	8	86,0
09:01	80,0	10	84,9
10:01	75,2	-	-

Faktor lain yang mempengaruhi hasil biodiesel adalah waktu reaksi dan suhu reaksi. Semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu reaksi maka *yield* biodiesel akan semakin tinggi seperti yang ditampilkan pada gambar berikut:

Dalam (Permatasari, Mayangsari, & Gunardi, 2013) mendapatkan hasil *yield* yang rendah sebesar 36,807% dikarenakan pemakaian rasio molar metanol dan minyak yang kecil yaitu 2:1 sehingga reaksi tidak berjalan optimal karena secara stoikiometri dibutuhkan minimal 3 mol alkohol setiap mol trigliserida agar reaksi dapat berjalan normal (Widyastuti, 2007). Untuk mendapat hasil *yield* yang lebih baik, salah satu caranya adalah dengan menaikkan rasio molar metanol dan minyak seperti yang dilakukan oleh (Naveenkumar & Baskar, 2019) mendapatkan rasio molar metanol dan minyak optimum pada perbandingan 9:1 sehingga dapat dihasilkan *yield* biodiesel sebesar 89,0%. Namun, penggunaa rasio molar metanol dan minyak yang tinggi akan menaikkan beban biaya produksi untuk bahan baku metanol.



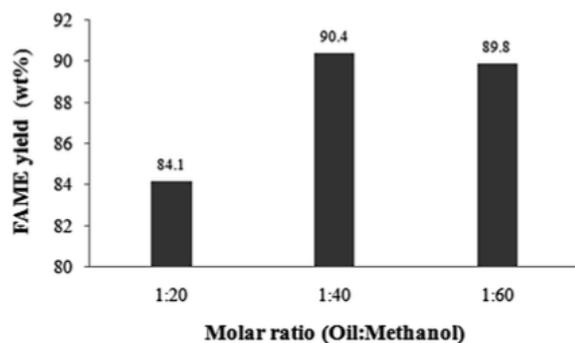
Proses esterifikasi dan transesterifikasi menggunakan bantuan *microwave* dan menggunakan katalis asam sulfat untuk reaksi esterifikasi dan kalsium oksida untuk reaksi transesterifikasi. Kondisi optimum yang didapatkan oleh (Muhammad, Jatranti, Qodariyah, & Mahfud, 2014) yaitu

Gambar 2. Perbandingan konsentrasi katalis dan rasio molar dalam peningkatan perolehan *yield* (Sumber: (Muhammad, Jatranti, Qodariyah, & Mahfud, 2014))

konsentrasi katalis 4% dengan rasio molar metanol dan minyak (9:1) yang ditampilkan. Penggunaan gelombang mikro dalam proses transesterifikasi terbukti mampu menghasilkan *yield* biodiesel yang tinggi diatas 90%, namun waktu reaksi yang dibutuhkan juga tidak berbeda jauh dengan metode konvensional sedangkan untuk konsumsi energi yang dibutuhkan dengan menggunakan gelombang mikro ini lebih banyak. Sehingga tidak terdapat perbedaan secara signifikan pada metode konvensional dengan metode iradiasi gelombang mikro dalam hal efisiensi produk karena masih memerlukan waktu produksi yang lama dari tahap awal sampai didapat produk akhir biodiesel yang murni. Metode iradiasi gelombang mikro juga perlu ditinjau dalam hal skala produksi agar dapat digunakan dalam skala industri.

(Tipachan, Pinnarat, & Kajorncheappunngam, 2017) memakai metode *supercritical methanol* dalam proses produksi biodiesel dari biji nyamplung. Penggunaan metode *supercritical fluid* dapat menjadi solusi untuk mendapatkan biodiesel dengan kualitas tinggi dengan proses yang lebih ringkas. Proses tersebut merupakan *non-catalytic reaction* dimana minyak nabati bereaksi dengan *supercritical methanol* untuk menghasilkan biodiesel. Dalam penelitiannya, (Tipachan, Pinnarat, & Kajorncheappunngam, 2017) menggunakan variasi rasio molar

metanol dengan minyak, variasi suhu dan variasi tekanan. Katalis tidak digunakan karena *supercritical methanol* merupakan metode produksi yang dapat berjalan meskipun tanpa penambahan katalis. Minyak nyamplung tidak melalui proses *degumming* terlebih dahulu, namun untuk menghasilkan kualitas biodiesel yang baik, maka minyak nyamplung disaring untuk menghilangkan partikel – partikel kasar dari minyak nyamplung. Secara teori, semakin tinggi rasio molar metanol dan minyak, maka akan lebih banyak molekul metanol yang bereaksi dengan trigliserida. Dari hasil yang didapat menunjukkan pada rasio molar metanol dan minyak 60:1 terjadi penurunan hasil *yield* menjadi 89,8% dimana pada rasio 40:1 dapat menghasilkan *yield* 90,4% seperti yang ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 3. Perbandingan rasio molar metanol dan minyak terhadap yield biodiesel (Sumber: (Tipachan, Pinnarat, & Kajorncheappunngam, 2017))

Penurunan *yield* ini diakibatkan oleh metanol yang mengencerkan reaktan sehingga menghasilkan lebih sedikit produk. Kemungkinan lain adalah metanol yang terlarutkan dalam biodiesel dan gliserol produk pada saat proses pemisahan dan pemurnian biodiesel sehingga masih ada metanol yang tersisa di dalam produk biodiesel, meskipun pada tahap akhir biodiesel melalui tahapan pemurnian dengan *rotary dryer*. Metode *supercritical methanol* memiliki beberapa kelebihan dari metode transesterifikasi konvensional yaitu tidak dipengaruhi oleh kondisi bahan karena asam lemak bebas yang terkandung dalam bahan akan transesterifikasi menjadi metil ester secara langsung, tingkat konversi metil ester yang tinggi, waktu proses yang jauh lebih singkat, tidak dipengaruhi keberadaan air dalam

minyak nabati dan tidak adanya sabun yang terbentuk sehingga mengurangi biaya pengolahan limbah. Metode *supercritical methanol* ini memiliki kekurangan yaitu perlunya pengawasan *safety* yang lebih karena dalam prosesnya melibatkan suhu dan tekanan tinggi (Dermibas, 2002).

Alternatif metode produksi biodiesel dari minyak nabati yang masih tergolong baru adalah dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik. (Widayat, Hadiyanto, & Satriadi, 2012) melakukan optimasi proses produksi biodiesel berbantuan gelombang ultrasonik. Dalam penelitiannya, penggunaan gelombang ultrasonik atau dikenal dengan sonokimia merupakan salah satu cara terbaik untuk ekstraksi padat-cair suatu produk karena dapat mempengaruhi perubahan – perubahan yang terjadi pada proses kimia. Keuntungan utama transesterifikasi dengan bantuan gelombang ultrasonik dibandingkan dengan metode konvensional adalah efisiensi lebih besar dan waktu operasinya lebih singkat. Dengan proses yang ringkas dan efisien ini mampu menghasilkan perolehan biodiesel yang tinggi, namun metode ini perlu dilakukan *treatment* terlebih dahulu di awal proses sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan biodiesel dari tahapan awal akan memakan waktu yang lama sehingga tidak cocok untuk digunakan dalam skala yang lebih besar.

(Trisnaliani, Fatria, & Sari, 2018) melakukan penelitian mengenai penggunaan tegangan tinggi dalam separasi produk biodiesel dari minyak nabati. Proses produksi dilakukan dengan bantuan gelombang *microwave* pada reaksi transesterifikasi. Pemisahan biodiesel dengan metode separasi tegangan listrik dapat menjadi teknologi yang menjanjikan untuk sintesa biodiesel dari minyak nabati karena waktu relatif singkat, tidak terjadi pembentukan sabun dan tidak membentuk gliserol. Kekurangan dari metode separasi tegangan listrik ini adalah masih sulitnya mengendalikan mekanisme reaksi karena adanya elektron berenergi tinggi, mengendalikan ikatan mana yang akan dieksitasi atau diionisasi dan mencegah reaksi lanjutan karena aksi dari elektron berenergi tinggi

Metode non konvensional yang digunakan dalam proses produksi biodiesel dari minyak nabati yang juga sedang dikembangkan saat ini adalah membran reaktor. Menurut (Wenten & Nasution, 2010) membran reaktor merupakan solusi yang

tepat untuk dapat menghasilkan perolehan biodiesel yang tinggi karena metode membran reaktor menjaga kesetimbangan reaksi agar bergeser ke arah produk. Operasi secara membran reaktor dipengaruhi oleh laju alir umpan, jenis membran, ukuran pori membran, *trans-membrane pressure* (TMP) dan afinitas. Pemasangan sistem yang kompleks dan banyaknya bahan *single use* yang digunakan dalam metode membran reaktor ini membuat metode ini perlu dikembangkan lebih jauh lagi supaya dapat berjalan lebih efisien mengingat teknologi membran masih terkendala pada terbatasnya suhu dan tekanan proses.

Katalis yang umum digunakan dalam proses pembuatan biodiesel umumnya dalam bentuk liquid, karena pengontrolannya mudah lalu katalis dalam bentuk liquid membutuhkan panas reaksi yang lebih kecil dari katalis solid sehingga membuat proses efisien. Keunggulan katalis liquid juga waktu reaksi sampai dicapainya keadaan optimum tidak lama dibandingkan dengan menggunakan katalis solid. Kelemahan katalis liquid adalah kompleksnya proses pencucian dan separasi terhadap produk akhir. Untuk katalis solid memiliki keuntungan pada proses pencucian dan separasi dengan produk lebih mudah dan tidak kompleks, juga harga katalis solid cenderung lebih murah dan bersifat thermostabil (Muhammad, Jatranti, Qodariyah, & Mahfud, 2014). Dalam penelitiannya, (Nurhidayanti, 2018) membandingkan hasil biodiesel dari proses transesterifikasi konvensional, iradiasi *microwave* dan iradiasi *microwae*. tanpa katalis.

Pada transesterifikasi konvensional dengan katalis KOH 1% wt didapatkan hasil optimum dengan *yield* sebesar 75,26% dalam waktu 30 menit. Penggunaan *microwave* dalam penelitian (Nurhidayanti, 2018) tidak berjalan semestinya ketika tidak ditambah katalis kedalam proses. Penggunaan *microwave* tidak dapat menggantikan peran katalis untuk mempercepat reaksi, terbukti pada waktu reaksi 30 menit biodiesel masih belum terbentuk. Peran katalis tetap dibutuhkan untuk mempercepat reaksi karena *microwave* hanya berperan sebagai pemanas saja. Penelitian (Nurhidayanti, 2018) mendapat hasil *yield* terbaik dengan menggunakan proses iradiasi *microwave* dengan *power* 200W, waktu reaksi 5 menit, suhu reaksi 65 °C dan penambahan katalis KOH 1% wt dengan hasil *yield* sebesar 84,621%. Penggunaan *microwave*

menyebabkan peningkatan mobilitas molekul reaktan yang mengarahkan pada kenaikan faktor tumbukan (Gude, Patil, Martinez, Deng, & Nirmalakhandan, 2013). Pada penelitian (Hartono, Jayanudin, Harzufi, & Nuraini.M, 2012) digunakan katalis asam klorida 37% sebanyak 1% berat minyak pada proses esterifikasi dan digunakan katalis NaOH dengan variasi konsentrasi. Hasil optimum tercapai dengan konsentrasi katalis NaOH 2,5% dengan waktu reaksi 75 menit dan didapatkan hasil *yield* biodiesel sebesar 72%.

Penggunaan katalis asam basa kuat seperti yang dilakukan oleh (Nurhidayanti, 2018) dan (Hartono, Jayanudin, Harzufi, & Nuraini.M, 2012) menimbulkan beberapa masalah. Masalah yang umumnya terjadi adalah pada proses pengolahan limbah dari proses produksi. Kandungan asam basa kuat dalam jumlah banyak akan membuat pengolahan limbah menjadi lebih panjang tahapannya dan tidak bisa dilakukan *recycle* untuk dipakai kembali. Kebutuhan akan bahan baku asam basa kuat dengan *grade* yang tinggi tentu akan menambah beban produksi sehingga masalah mahalannya investasi untuk produksi biodiesel tidak terselesaikan. Sehingga penggunaan katalis asam basa kuat dalam proses produksi biodiesel tidak tepat karena tidak bernilai ekonomis dan juga tingkat efektifitasnya tidak begitu baik.

Untuk itu perlu dikembangkan katalis yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomis. (Handayani, Wulansarie, Husaen, & Ulfayanti, 2018) dalam penelitiannya menggunakan katalis BMIMHSO<sub>4</sub> (1-Butyl-3-Methylimidazolium Hydrogen Sulphate) dalam proses esterifikasi minyak nyamplung dengan bantuan gelombang *microwave*. Katalis BMIMHSO<sub>4</sub> merupakan katalis dengan selektifitas tinggi dan dapat di *recycle* sehingga limbah yang dihasilkan tidak mencemari lingkungan. Katalis BMIMHSO<sub>4</sub> ditambahkan pada proses esterifikasi dengan variasi konsentrasi. Dengan naiknya konsentrasi katalis maka nilai FFA akan semakin kecil karena kehadiran katalis akan menurunkan energi aktivasi. Kelebihan dari katalis akan menyebabkan warna minyak menjadi gelap dan akan menurunkan bilangan asam secara perlahan pada proses esterifikasi.

Penggunaan katalis BMIMHSO<sub>4</sub> mampu mengurangi kadar asam lemak bebas dari minyak nyamplung hingga kadarnya dibawah 2%. Penggunaan katalis BMIMHSO<sub>4</sub> sangat berguna dan berpengaruh untuk

membuat kualitas biodiesel menjadi baik karena mampu menurunkan FFA hingga dibawah 2%. Katalis BMIMHSO<sub>4</sub> ini juga ramah lingkungan sehingga tidak memerlukan proses pengolahan limbah yang panjang sehingga meningkatkan efisiensi proses. Namun katalis BMIMHSO<sub>4</sub> harganya mahal dan tidak tepat digunakan untuk skala industri, meskipun kemampuannya bagus dalam meningkatkan reaksi esterifikasi pada proses pembuatan biodiesel.

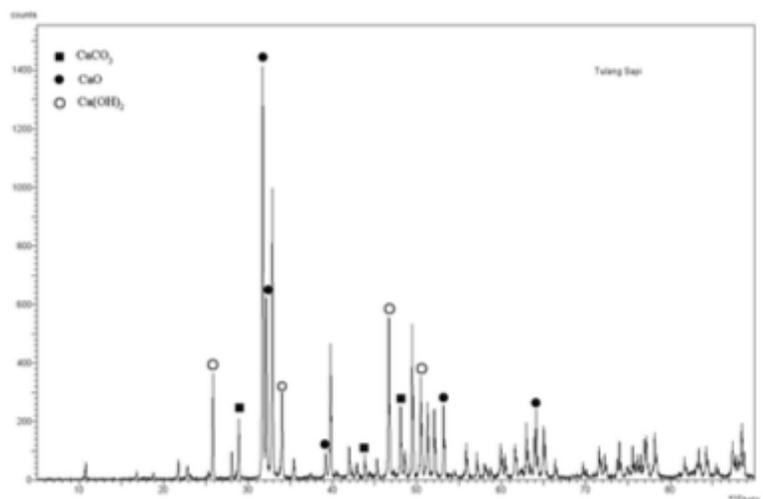
Penggunaan katalis homogen seperti katalis asam basa terbukti dapat meningkatkan laju reaksi dan menghasilkan konversi biodiesel yang lebih tinggi dari katalis heterogen. Akan tetapi, katalis homogen ternyata menimbulkan beberapa masalah antara lain bercampurnya katalis dengan produk di akhir reaksi karena memiliki fase yang sama sehingga dibutuhkan proses pemurnian untuk mendapat kualitas biodiesel yang baik (Sharma, Singh, & Upadhyay, 2011). Masalah lain yang ditimbulkan dari penggunaan katalis homogen adalah dihasilkannya limbah dan emulsi dengan jumlah cukup banyak dan tidak dapat digunakan dalam proses produksi yang berkelanjutan (M., W.M.A.W., & M.K., 2009). Untuk mengatasi masalah tersebut, katalis heterogen mulai banyak digunakan karena dapat dengan mudah dipisahkan dari produk, serta limbah yang dihasilkan lebih sedikit (Z., M.R., N., J., & W.J.N., 2009).

Bahan kimia yang digunakan untuk sintesis katalis harganya cukup mahal sehingga harga katalisnya juga akan lebih mahal, untuk itu perlu dicari sumber bahan lain yang dapat mensintesis katalis.

Proses pembuatan katalis CaO/Abu Layang yang dilakukan oleh (Enggawati & Ediati, 2013) dimulai dengan preparasi CaO dari kulit telur ayam, kemudian preparasi abu layang, *leaching* abu layang dan sintesis katalis CaO/Abu Layang. Hasil karakterisasi menggunakan XRD menunjukkan bahwa senyawa yang dihasilkan dari kalsinasi kulit telur ayam pada suhu 1000 °C adalah CaO. Senyawa utama yang Menyusun hampir seluruh bagian kulit ayam adalah kalsit (CaCO<sub>3</sub>) sehingga pemanasan pada suhu tinggi dapat mengubahnya menjadi CaO (J., D., & A.J., 2012). *Yield* biodiesel terbesar dari penelitian (Enggawati & Ediati, 2013) didapatkan dengan menggunakan katalis CaO/Abu Layang adalah 10,76% dengan waktu reaksi 120 menit dan suhu reaksi 60 °C.

Katalis yang dipakai adalah CaO/Abu Layang dengan proses *leaching*. Ada beberapa faktor yang menyebabkan *yield* biodiesel kecil, yaitu salah satunya jumlah katalis yang ditambahkan ke dalam reaksi. Penelitian yang dilakukan oleh (Enggawati & Ediati, 2013) menggunakan katalis CaO/Abu Layang sebanyak 1,25% (b/b) seperti yang dilakukan pada penelitian terdahulu. Penelitian terdahulu menggunakan jumlah katalis sebesar 1,25% (b/b) dapat menghasilkan *yield* biodiesel sebesar 89%. Kemungkinan yang kedua karena rasio molar metanol minyak yang tidak sesuai sehingga reaksi tidak berjalan optimal. Dengan nilai *yield* sekecil itu tentu sangat tidak relevan dengan kebutuhan industri sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk optimasi proses terutama penelitian mengenai rasio molar minyak/alkohol dan jumlah katalis yang digunakan.

(Christina, Sungadi, & Kurniawan, 2017) menggunakan katalis berbasis kalsium dari tulang sapi karena limbahnya di Indonesia cukup tinggi sehingga mudah didapat. Untuk mempreparasi CaO dilakukan dengan proses kalsinasi. CaO merupakan katalis heterogeny yang dapat didapatkan dengan kalsinasi kalsium karbonat pada suhu tinggi. Katalis yang sudah diaktivasi selanjutnya dianalisis dengan menggunakan XRD dan EDX. Hasil XRD menunjukkan komposisi dari katalis tulang sapi terdiri dari CaCO<sub>3</sub>, CaO dan

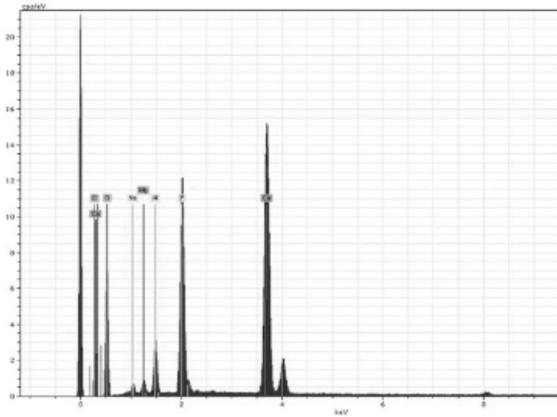


Gambar 4. Karakteristik katalis CaO/Abu Layang hasil XRD (Sumber: (Christina, Sungadi, & Kurniawan, 2017)

Ca(OH)<sub>2</sub> seperti yang ditampilkan pada gambar 4.

Kehadiran senyawa Ca(OH)<sub>2</sub> dapat dilihat pada 2θ = 25,852°; 34,035°; 46,668°;

dan 50,460°. Terkandungnya senyawa karbonat di dalam katalis disebabkan karena proses kalsinasi tidak berjalan sempurna dalam mengkonversi kalsium karbonat menjadi kalsium oksida. Analisis EDX bertujuan untuk mengetahui senyawa kimia yang terdapat dalam katalis baik kualitatif dan kuantitatif.



Gambar 5. Hasil analisa EDX terhadap katalis CaO/Abu Layang (Sumber: (Christina, Sungadi, & Kurniawan, 2017))

Hasil analisa EDX menunjukkan persentase senyawa-senyawa yang terkandung dalam katalis adalah: MgO= 0,9%, Na<sub>2</sub>O= 0,8356%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>= 3,1355, CaCO<sub>3</sub>= 27,3333%, CaO= 37,5293%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dan P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>= 30,2663%.

Penggunaan katalis CaO dari tulang sapi mampu menghasilkan *yield* biodiesel dari minyak nyamplung sebesar 86,02% dengan jumlah katalis yang dibutuhkan sebesar 2% b/b minyak dengan suhu operasi 60 °C. Dengan memanfaatkan sumber bahan kimia dari limbah tidak terpakai contohnya limbah tulang sapi, dapat menghasilkan katalis dengan kualitas tinggi untuk dapat digunakan sebagai katalis reaksi dalam proses produksi biodiesel. Tulang sapi merupakan bahan yang mudah didapat dan ketersediaannya banyak dan harganya ekonomis. Dengan memanfaatkan tulang sapi sebagai bahan baku pembuatan katalis CaO maka akan menekan biaya produksi biodiesel. Katalis CaO yang dihasilkan juga memiliki karakteristik yang sangat mendekati CaO murni sehingga tepat digunakan untuk katalis reaksi transesterifikasi pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung. Katalis heterogen seperti CaO yang berasal dari tulang sapi selain dapat menghasilkan *yield* biodiesel yang tinggi dengan waktu reaksi yang cepat juga bersifat ramah lingkungan sehingga tepat

digunakan dalam proses produksi biodiesel dari minyak nyamplung.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode konvensional tidak efektif digunakan dalam proses produksi biodiesel dari minyak nabati karena proses yang rumit dan memerlukan waktu yang panjang. Metode *supercritical methanol* menjadi metode yang paling efektif yang dapat digunakan dalam proses produksi biodiesel dari minyak nyamplung jika dibandingkan dengan metode terbaru yang lain seperti membran reaktor dan metode sonifikasi karena dapat menghasilkan biodiesel dengan *yield* maksimal 90,4% dengan waktu reaksi 10 menit.
2. Katalis heterogen merupakan katalis yang tepat digunakan dalam produksi biodiesel. Katalis CaO berbahan dasar tulang sapi memiliki karakteristik yang sangat mendekati CaO murni dengan harga yang lebih ekonomis sehingga menjadi pilihan yang tepat digunakan dalam proses produksi biodiesel dari minyak nyamplung. Katalis CaO berbahan dasar tulang sapi mampu menghasilkan *yield* biodiesel hingga 86,02% dimana lebih tinggi perolehan biodieselnnya dari katalis CaO/Abu layang sebesar 10,76%.

### Saran

Dari hasil penelitian ini dapat diambil beberapa saran yaitu:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan terhadap pengaruh penambahan katalis dalam metode *supercritical methanol*
2. Diperlukan penelitian tentang bagaimana efektifitas metode

*supercritical methanol* apabila dilakukan dalam skala industri pengolahan minyak nyamplung menjadi biodiesel.

## DAFTAR PUSTAKA

- (P3HH), P. P. (2005-2008). *Penelitian Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung (Calophyllum Inophyllum Linn)*. Retrieved from <http://www.litbang.pertanian.go.id/>
- Anwaristiawan, D., Harjito, & Widiarti, N. (2018). Modifikasi Katalis BaO/Zeolit Y pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Jarak (*Jatropha Curcas L.*) Menjadi Biodiesel. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(3), 292-298.
- Bustomi, S., Rostiwati, T., Sudrajat, R., Leksono, B., Kosasih, A., Anggraeni, I., . . . Rachman, E. (2008). Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Sumber Energi Biofuel Potensial.
- Christina, N., Sungadi, E., & Kurniawan, Y. (2017). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung dengan Menggunakan Katalis Berbasis Kalsium. 26-35.
- Demirbas, A. (2009). Biodiesel from waste cooking oil via base-catalytic and supercritical methanol transesterification. *Energy Conversion and Management*, 50, 923-927.
- Dermibas, A. (2002). Biodiesel From Vegetable Oil Via Transesterification in Supercritical Methanol. *Energi Conversion and Management*, 43, 2349-2356.
- Enggawati, E. R., & Ediati, R. (2013). Pemanfaatan Kulit Telur Ayam dan Abu Layang Batubara sebagai Katalis Heterogen untuk Reaksi Transesterifikasi Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum Linn*). *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, 2, 1-6.
- Gude, V., Patil, P., Martinez, G., Deng, S., & Nirmalakhandan, N. (2013). Microwave Energy Potential for Biodiesel Production. *Sustainable Chemical Process*, 1, 1-31.
- Handayani, P. A., Wulansarie, R., Husaen, P., & Ulfayanti, M. I. (2018). Esterification of Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Oil with Liquid Catalyst of BMIMHSO<sub>4</sub> and Microwave-Assisted. *Jurnal Bahan Alam dan Terbarukan*, 7, 59-63.
- Hartono, R., Jayanudin, Harzufi, E., & Nuraini, M. D. (2012). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung dengan Proses Esterifikasi- Transesterifikasi dengan Katalis Asam Basa.
- Hasibuan, S., Sahirman, & Yudawati NMA. (2013). Karakteristik Fisiokimia dan Antibakteri Hasil Purifikasi Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*). *Agritech*, 33(3), 311-319.
- J., B., D., D., & A.J, T. (2012). A Review on Solid Oxide from Waste Shells as Catalyst for Biodiesel Production. *Renewable and Sustainable Energy*.
- K., H. (1987). Tumbuhan Berguna Indonesia .
- Lotero, E., Liu, Y., Lopez, D., Suwannakarn, K., Bruce, D., & Goodwin, J. (2005). Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. *Industrial Engineering Chemistry Research*, 44(14), 5353-5363.
- M., Z., W.M.A.W., D., & M.K., A. (2009). Activity of Solid Catalyst for Biodiesel Production: A Review. *Fuel Processing Technology*, 770-777.
- Ma, F., & Hanna, M. (1999). Biodiesel Production: a review. *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
- Muhammad, F. R., Jatranti, S., Qodariyah, L., & Mahfud. (2014). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung Menggunakan Pemanasan Gelombang Mikro. *Jurnal Teknik POMITS*, 3, 154-159.
- Murtiningrum, & Firdaus, A. (2016). Perkembangan Biodiesel di Indonesia Tinjauan Atas Kondisi Saat Ini, Teknologi Produksi dan Analisis Prospektif. *Jurnal PASTI*, IX, 35-45.
- Musta, R., Haetami, A., & Salmawati, M. (2017). Biodiesel of The Transesterification Product of *Calophyllum Inophyllum* Seed Oil From Kendari Using Methanol Solution. 4(2), 394-401.
- Naveenkumar, R., & Baskar, G. (2019). Biodiesel Production from *Calophyllum inophyllum* Oil Using Zinc Doped Calcium Oxide (Plaster of Paris) Nanocatalyst. *Bioresource Technology*, 280, 493-496.

- Nurhidayanti, N. (2018, Desember). Studi Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung Menggunakan Iradiasi Microwave. *Jurnal Tekno Insentif*, 12, 1-12.
- Page, L. (1987). Applied Heterogeneous Catalyst. *Editions Technip*.
- Permatasari, A., Mayangsari, W., & Gunardi, I. (2013). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum* L) dengan Reaksi Transesterifikasi Menggunakan Katalis K<sub>2</sub>O/H-Zn Berbasis Zeolit Alam. *Jurnal Teknik POMITS*, 2, 290-295.
- Primadi, T. (2011). Analisis Tanaman Penghasil Biodiesel.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. (2008). Pembuatan Biodiesel dari Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.).
- Rizwanul Fattah, I., Masjuki, H., Kalam, M., Wakil, M., Ashraful, A., & Shahir, S. (2014). Experimental Investigation of Performance and Regulated emissions of a Diesel Engine with *Calophyllum Inophyllum* Biodiesel Blends Accompanied by Oxidation Inhibitors. *Energy Conversion and Management*, 83, 232-240.
- Sharma, Y., Singh, B., & Upadhyay, S. (2011). Advancements in Development and Characterization of Biodiesel: a Review. *Fuel*, 87, 2355-2373.
- Silitonga, A., Masjuki, H., Mahlia, T., Ong, H., Chong, W., & Boosroh, M. (2013). Overview Properties of Biodiesel Diesel Blends from Edible and Non edible feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 346-60.
- SNI 04-7182-2006. (2006). In *Biodiesel*. Jakarta: BSN.
- Sudrajat, R., Sahirman, A., Suryani, & Setiawan, D. (2010). Proses Transesterifikasi Pada Pembuatan Biodiesel Menggunakan Minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) yang telah dilakukan Esterifikasi.
- Supriadi, H., & Balitri, E. (2012). Potensi Pemanfaatan Biji Karet sebagai Biodiesel Ramah Lingkungan. *Warta Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri*, 18, 16-19.
- Tipachan, C., Pinnarat, T., & Kajorncheappunngam, S. (2017). Biodiesel Production from Unrefined Krating (*Calophyllum Inophyllum*) Seed Oil Using Supercritical Methanol. *16(4)*, 283-291.
- Trisnaliani, L., Fatria, & Sari, I. M. (2018). Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Microwave Hydro Distillation dan Separasi Tegangan Tinggi. *9*, 25-30.
- Wenten, I. G., & Nasution, M. H. (2010). Review Proses Produksi Biodiesel dengan Menggunakan Membran Reaktor. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*.
- Widayat, Hadiyanto, & Satriadi, H. (2012). Optimization Proses Produksi Biodiesel Berbantuan Gelombang Ultrasonik dengan Metode Central Composite Design. *32*, 662-670.
- Widyastuti, L. (2007). Reaksi Metanolisis Minyak jarak Pagar Menjadi Metil Ester Sebagai Bahan Bakar Pengganti Minyak Diesel dengan Menggunakan Katalis KOH.
- Z., H., M.R., O., N., A., J., K., & W.J.N., F. (2009). Solid Heterogenous Catalyst for Transesterification of Triglycerides with Methanol: A Review. *Applied Catalysis A: General* 363, 1-10.