

PROSES PEMBUATAN BIODIESEL DARI CAMPURAN MINYAK KELAPA DAN MINYAK JELANTAH

Muthia Elma*, Satria Anugerah Suhendra, Wahyuddin

*Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan 70714, Telp. (0511) 4773868

*Email: melma@unlam.ac.id

Abstrak-Indonesia memiliki hasil produksi buah kelapa yang hanya dimanfaatkan untuk memasak. Minyak jelantah merupakan hasil dari sisa penggorengan rumah tangga yang setelah penggunaannya menjadi limbah dan dapat mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi biodiesel dengan memanfaatkan campuran antara minyak kelapa dan minyak jelantah terhadap efek penambahan metanol dan waktu reaksi optimum dari pembuatan biodiesel. Proses produksi biodiesel dari campuran kedua bahan baku menggunakan proses dimana minyak kelapa dan minyak jelantah dicampurkan berdasarkan %-v/v dari 200 mL dengan perbandingan minyak jelantah (MJ) dan minyak kelapa (MK) yaitu 100MJ:0MK; 75MJ:25MK; 50MJ:50MK; 25MJ:75MK; dan 0MJ:100MK dengan komposisi metanol serta esterifikasi 38%; 30%; 28%; 19% serta untuk transesterifikasi 19%; 20%; 21%; 25%. Pada reaksi esterifikasi menggunakan komposisi katalis H_2SO_4 0,5%, dan transesterifikasi menggunakan katalis KOH 0,9%. Yield yang dihasilkan dari penelitian ini adalah: 100MJ:0MK 92,15%; 93,65%, 75MJ:25MK (96,65%), 50MJ:50MK (95,11%), 25MJ:25MK (96,65%) dan 100MK:0MJ (82,65%). Analisa gliserol total yang didapat pada penelitian ini adalah 100MJ:0M (0,19%), 75MJ:25MK (0,21%), 50MJ:50MK (0,23%) 25MJ:25MK (0,22%) dan 100MK:0MJ (0,26%). Dari hasil analisa gliserol total tersebut didapat sampel yang terbaik yakni 50MJ:50MK dengan nilai gliserol total 0,23% dengan waktu 60 menit untuk esterifikasi dan 70 menit untuk transesterifikasi, dengan analisa angka asam yang didapatkan sebesar 0,2117, angka penyabunan 198,41; ester content yang didapat sebesar 98,163% water content untuk sebesar 0,56 ppm. Keseluruhan dari hasil analisa biodiesel tersebut memenuhi standar EN 14214.

Kata kunci: minyak kelapa, minyak jelantah, biodiesel, FFA, trigliserida, gliserol total.

Abstract-Coconut oil is normally produced as cooking oil in some areas in Indonesia. However, palm oil mostly produced by industries as vegetable/cooking oil. Waste cooking oil from palm oil becomes a big problem in the environment, and creates pollution. This research aims to use waste cooking oil to produce biodiesel by mixing waste cooking oil and coconut oil. Those mixed oils become raw materials for this process. The composition of the mixtures are 100MJ: 0MK; 75MJ: 25MK; 50MJ: 50MK; 25MJ: 75MK; and 0MJ: 100MK (% v / v of waste cooking oil (MJ) and coconut oil (MK)). The total of 200 mL oil mixtures was used for the esterification process with methanol composition were 38%; 30%; 28%; and trans-esterification were 19%; 20%; 21%; 23%. Esterification reaction was using the 0,5% H_2SO_4 as a catalyst, while transesterification was using 0.9% KOH as catalyst. The yield of biodiesel this research were: 100MJ: 0MK (92.15%), 75MJ: 25MK (96.65%), 50MJ: 50MK (95.11%), 25MJ: 25MK (96.65%) and 100MK: 0MJ (82.65%). Furthermore, the total glycerol values were 100MJ:0MK (0.19%), 75MJ: 25MK (0.21%), 50MJ:50MK (0.23%) 25MJ: 25MK (0.22%) and 100MK: 0MJ (0.26%). EN14214 standard shows that the best composition of mixed oils was 50MJ:50MK. Then, the total glycerol was 0.23% (60-70 minutes for the esterification and transesterification reaction). Acid number value was 0.2117, saponification number was 198.41; ester content was 98.163% and water content was 0.56 ppm.

Keywords: coconut oil, waste cooking oil, biodiesel, FFA, triglyceride, total glycerol.

PENDAHULUAN

Bahan bakar minyak yang berbahan baku fosil tergolong bahan bakar yang tidak terbarukan (*unrenewable energy*). Penggunaan bahan bakar

minyak yang terus-menerus meningkat merupakan akibat dari pertumbuhan penduduk dan industri. Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak bumi tersebut, salah satu caranya

adalah dengan memproduksi bahan bakar biodiesel yang bahan bakunya diperoleh dari tumbuhan (Darmanto dan Sigit, 2006). Biodiesel merupakan bahan bakar yang mengandung senyawa ester dari tanaman dan lemak hewan dan bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif yang sangat potensial sebagai pengganti solar. Bentuk senyawa *methyl ester* atau *ethyl ester* ini adalah ramah lingkungan, *non-toxic*, dan ekonomis.

Kelapa (*Cocos nucifera*) merupakan jenis tumbuhan yang memiliki satu unit gliserin dan sejumlah asam lemak dalam setiap satu molekul minyak kelapa. Minyak kelapa memiliki potensi untuk menghasilkan *Coco methyl ester* yang dapat digunakan sebagai bahan baku biodiesel (Darmanto dan Sigit, 2006). Minyak jelantah merupakan minyak bekas dari penggorengan rumah tangga (domestik) yang sisa hasil penggorengan atau merupakan limbahnya langsung dibuang ke lingkungan. Kandungan asam lemak bebas dapat dikurangi dengan cara esterifikasi asam lemak bebas dengan katalis asam homogen, seperti asam sulfat (Setiawati dan Edwar, 2012, Wijaya, 2011). Minyak jelantah mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan karakteristik yang dimiliki oleh minyak bumi (Syamsidar, 2013).

Menurut penelitian dari Kumar bahwa pemanfaatan minyak kelapa sebagai bahan baku pembuatan biodiesel adalah mampu mengefisienkan waktu dan pemakaian bahan kimia sebagai pelarut dalam proses transesterifikasi (Kumar dkk., 2010). Sedangkan penelitian dari Jincheng Din mengatakan bahwa minyak jelantah sebagai bahan baku pembuatan biodiesel adalah berperan dalam memanfaatkan limbah rumah tangga menjadi bahan bakar yang berbasis biomasa (Jincheng Ding, 2011). Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut hanya memanfaatkan minyak jelantah dan minyak kelapa saja, sehingga dirasa perlu dilakukan penelitian pembuatan biodiesel dengan cara mencampurkan minyak jelantah dan minyak kelapa.

Bahan baku biodiesel yang berasal dari pengolahan kelapa sawit berupa CPO (*Crude Palm Oil*), RBDPO (*refined bleached deodorized palm oil*), olein, stearin, dan PFAD (*palm fatty acid distillate*). Tetapi pemakaian CPO sebagai bahan baku biodiesel sangat bersaing karena CPO digunakan juga untuk pangan, oleh karena itu perlu dicari bahan baku biodiesel yang pemakaiannya tidak bersaing dengan kebutuhan pokok manusia dan harganya murah (Sheehan dkk., 1998, Sugiono, 2008).

Salah satu jenis bahan bakar pengganti yang sangat potensial untuk dikembangkan adalah *fatty acid methyl ester* atau dikenal dengan nama biodiesel yang merupakan bahan bakar alternatif

pada mesin diesel. Biodiesel berasal dari minyak nabati yang dapat diperbaharui, dan dihasilkan secara periodik, serta mudah diperoleh. Penggunaan biodiesel memberikan banyak keunggulan, yaitu ramah lingkungan karena bersifat *biodegradable* dan tidak beracun, emisi polutan berupa hidrokarbon yang tidak terbakar, jelaga hasil pembakaran biodiesel lebih rendah dari pada solar, tidak memperparah efek rumah kaca karena siklus karbon yang terlibat pendek, kandungan energi yang hampir sama dengan kandungan energi *petroleum diesel* (80% dari kandungan *petroleum diesel*), serta angka setana lebih tinggi dari pada *petroleum diesel* (solar), dan penyimpanan mudah karena titik nyala yang rendah (Kusumaningtyas dan Bachtiar, 2011).

Secara global, spesifikasi untuk biodiesel adalah European Standard (EN 14214). Spesifikasi tersebut bisa digunakan untuk *Automotive Fuels* yang mengandung *Fatty Methyl Ester* (FAME) untuk mesin diesel. Berikut adalah spesifikasi standard EN 14214 sebagai berikut:

Tabel 1. *Standard Biodiesel EN14214 (Europe, 2006)*

Parameter	EN14214 Standard
Total acid number (mg KOH/g)	max 0.5
Free Gliserol Content (%-w)	max 0.02
Monoglyceride (%-w)	max 0.8
Diglyceride (%-w)	max 0.2
Triglyceride (%-w)	max 0.2
Total Glycerol Content (%-w)	max 0.25
Water content (ppm)	max 500
Ester content (%-w)	min 96.5
Oxidation stability (hour)	min 6
Phosphor content (ppm)	max 4

Minyak kelapa memiliki 1 unit gliserin dan sebagian komponen asam lemak dari medium rantai karbon. Medium rantai karbon yang membuat minyak kelapa menjadi unik dari minyak nabati di dunia. Komponen gliserin dari minyak nabati memiliki titik didih yang tinggi untuk mencegah terjadinya penguapan. Namun pada aplikasi *biofuel*, digunakan komponen asam lemak yang dikonversikan ke dalam senyawa ester. Jika pada minyak nabati dari kelapa dan metanol direaksikan akan menghasilkan *Coco Methyl Esther (Coco Biodiesel)*. Berdasarkan penelitian dari Nihon University of Japan dan Technological University of Philippines, *Coco Biodiesel* dapat mengurangi emisi NO_x 20%, *Emission of Particulate Matter* (PM) yang dapat direduksi 60% dari sebagian kecil 1% campuran dalam bahan bakar diesel, dan 1 liter dari *Coco Biodiesel* dalam proses pembakaran dengan bahan bakar diesel dapat mereduksi emisi CO_2 dari 3,2 kg. Berdasarkan penelitian dari Southwest Research Institute USA, bahwa 1% *Coco Biodiesel* yang dicampur dapat meningkatkan pelumasan dari 36% kemampuan pelumas bahan bakar diesel. *Coco*

Biodiesel memiliki jumlah iodin 7-10 dari angka setana 68 dan jumlah iodin 45 untuk angka setana kurang dari 50. Adapun titik didih awal pada *Coco Biodiesel* adalah 258^oF (C8) dan titik didih akhir 601^oF (C18) (Diaz, 1990).

Minyak goreng yang digunakan secara berulang kali dapat menimbulkan perubahan warna menjadi coklat tua atau hitam dan kemudian dibuang. Karena dengan digunakannya minyak goreng secara berulang-ulang akan menyebabkan oksidasi asam lemak tidak jenuh yang kemudian membentuk gugus peroksida dan monomer siklik. Hal tersebut dapat menimbulkan dampak negatif bagi yang mengkonsumsinya, yaitu menyebabkan berbagai gejala keracunan. Beberapa penelitian pada binatang melaporkan bahwa gugus peroksida dalam dosis yang besar dapat merangsang terjadinya kanker kolon. Inilah yang menyebabkan mengapa penggunaan minyak jelantah secara berulang-ulang sangat berbahaya bagi kesehatan. Ketika penggunaannya beberapa kali, minyak goreng mengalami perubahan kimia akibat oksidasi dan hidrolisis. Sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada minyak goreng. Melalui proses tersebut beberapa trigliserida akan terurai menjadi senyawa-senyawa lain, salah satunya *Free Fatty Acid* (FFA) atau asam lemak bebas. Kandungan asam lemak bebas inilah yang kemudian akan diesterifikasi dengan metanol menghasilkan biodiesel. Sedangkan kandungan trigliseridanya ditransesterifikasi dengan metanol, yang juga menghasilkan biodiesel dan gliserol. Dengan kedua proses tersebut maka minyak jelantah dapat bernilai tinggi (Suirta, 2009).

METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah buret, erlenmeyer, erlenmeyer *flux*, gelas ukur 50 mL; 500 mL; dan 100 mL, *separator funnel* 250 mL, *hotplate stirrer*, *magnetic stirrer*, labu leher tiga, kondensor, *minichiller*, pipet tetes, ruang asam (*v-Fume Hood*), neraca *balance*, termometer, *waterbath*, *membrane vacuum pump*, corong gelas, corong *butcher*, statif dan klem, dan gelas *beaker*. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak kelapa, minyak jelantah, metanol 96%, etanol teknis 95%, H₂SO₄, akuades, KOH-Etanol 0,1085N, KOH, KOH Alkoholik, *chloroform*, Asam Asetat Glasial, KI, Asam Periodat, indikator pati, Asam Tiosulfat 0,01004N, kertas saring, indikator *phpt*, indikator pH, dan *aluminium foil*.

Analisis Bahan Baku

Sebelum dilakukan proses *pretreatment* dan pengolahan biodiesel terlebih dahulu akan dilakukan proses analisis terhadap bahan baku penelitian. Tujuan dari analisis ini adalah untuk

mengetahui karakteristik dari minyak goreng bekas dan minyak kelapa yang akan diolah, karena setiap minyak jelantah dan minyak kelapa memiliki karakteristik yang berbeda-beda akibatnya akan berpengaruh pada proses *pretreatment* bahan baku tersebut. Parameter analisis yang dimaksud adalah angka asam, angka penyabunan, kadar air, dan kandungan FAME yang terdapat dalam bahan baku.

Proses Pretreatment

Minyak kelapa dan minyak jelantah dicampurkan berdasarkan perbandingan %-v/v dalam 200 mL, dengan perbandingan minyak jelantah dan minyak kelapa adalah sebagai berikut: 100:0; 75:25; 50:50; 25:75 dan 0:100. Kemudian campuran minyak diaduk hingga homogen. Setelah itu, dilakukan proses perhitungan kadar %FFA dengan cara campuran minyak diambil 3 g kemudian ditambahkan dengan etanol teknis 95% yang sudah distandarisasikan dengan volume 50 mL. Kemudian ditambahkan indikator *phpt* sebanyak 5 tetes dan dititrasi dengan larutan KOH-Etanol 0,1085N sebagai titran untuk menentukan kadar asam lemak bebas yang terkandung dalam *mixed* minyak dengan perubahan warna dari bening ke *pink*. Dilakukan perhitungan %FFA-*Palmatic* dan %FFA-*Oleic* karena %FFA, tujuan perhitungan dari kedua kandungan minyak tersebut agar dapat menentukan kandungan FAME di dalam biodiesel. Penambahan indikator *phpt* bertujuan untuk menentukan bahwa sampel bersifat asam atau basa, jika bersifat asam sampel menjadi bening, sedangkan basa menjadi merah muda (Minry, 2011).

Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi dilakukan dengan mencampurkan minyak kelapa, minyak jelantah dan metanol dengan menggunakan katalis asam (H₂SO₄). Adapun perbandingan volume campuran minyak kelapa dan minyak jelantah sebanyak 200 mL dari perbandingan variasi *mixed* minyak, sedangkan jumlah katalis yang digunakan 0,5% dari volume campuran minyak kelapa dan minyak jelantah 200 mL dengan variasi penambahan metanol 38% untuk *mixed* minyak jelantah dan kelapa 100MJ:0MK dan 30% untuk 75MJ:2MK. Kemudian *mixed* minyak dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang berisi *magnetic stirrer* dan dicampurkan dengan campuran metanol dan H₂SO₄ dan dilakukan pemanasan pada suhu 65^oC dan pengadukan 400 rpm dengan waktu 90 menit untuk perbandingan minyak jelantah dan minyak kelapa 100MJ:0MK dan 60 menit untuk *mixed* minyak 75MJ:25MK dan kondisi operasi dijaga agar tidak melebihi suhu 65^oC. Setelah itu, dilakukan proses dekantasi dengan *separator*

funnel selama 60 menit dan langsung diambil sampel sebanyak 3 g untuk mengetahui %FFA yang baru. Setelah 60 menit, minyak dipisahkan dengan gliserol yang dihasilkan dan volume fase atas dan tengah (*phospholipid*) dicatat. Hal yang sama juga dilakukan pada komposisi *mixed* minyak 50MJ:50MK dan 25MJ:75MK dengan komposisi metanol 18 mL dan 29 mL.

Proses Transesterifikasi

Pada proses transesterifikasi dilakukan pada sebuah labu leher tiga pada suhu 65°C dengan perputaran 400 rpm. Awalnya, campuran minyak yang ada di bagian atas *separator funnel* dimasukkan ke dalam labu leher tiga. Adapun pada proses transesterifikasi ini dilakukan dengan katalis basa KOH yang ditimbang 0,9% dari 200mL dan variasi metanol 20 mL; 21 mL; 25 mL, dan 19 mL. Campuran KOH dengan metanol di masukkan ke dalam labu leher tiga dan di reaksi selama 60 menit untuk 100MJ:0MK dan 75MJ:25MK; 70 menit untuk 50MJ:50MK; dan 50 menit untuk 25MJ:75MK dan 0MJ:100MK. Kemudian didekantasi selama 15 menit untuk memisahkan metil ester dengan gliserol dan volume fase bawah (gliserol) dicatat.

Proses Pemurnian

Proses pemurnian pada penelitian ini dilakukan dengan proses *washing* dan *drying*. Metil ester pada fase atas *separator funnel* dipisah dengan gliserol. Ditambahkan *aquadest* yang telah dipanaskan di dalam *waterbath* pada suhu 60°C ke dalam *separator funnel* sebanyak 20 mL. Larutan kemudian dikocok dan didiamkan selama 1 menit sampai terpisah dua fase. Minyak dipisahkan dengan *aquadest* dan perubahan volume dicatat. Hal yang sama dilakukan kembali dengan penambahan *aquadest* sampai fase bawah larutan berubah dari kuning keruh menjadi bening dan pH mendekati netral (pH=6). Selanjutnya adalah proses *drying* dimana minyak yang telah mengandung metil ester dipanaskan dalam gelas *beaker* selama 20 menit (sampai air dalam minyak menguap) dengan suhu 150°C dan perputaran 300 rpm untuk 75MJ: 25MK. Kemudian didinginkan dalam waktu 1,5 jam. Minyak kemudian disaring dengan menggunakan corong *butcher* dan *membrane vacuum pump*. Minyak hasil saringan disimpan di dalam botol sampel. Hal yang sama juga dilakukan pada *mixed* minyak jelantah: minyak kelapa (100MJ:0MK; 75MJ:25MK; 50MJ:50MK; 25MJ:75MK; 0MJ:100MK).

Poses Analisa

Hasil sintesis biodiesel diidentifikasi secara kualitatif menggunakan Gas *Chromatography-Mass Spectroscopy* (GCMS) untuk mengetahui

komposisi metil ester pada biodiesel dan FFA. Disamping itu, juga dilakukan analisis kuantitatif karakteristik biodiesel berdasarkan EN-14214 yaitu angka asam, kadar air, angka iodium, angka penyabunan, kandungan fosfor, kandungan sabun, gliserol bebas, gliserol total, monogliserida, digliserida, trigliserida, kandungan ester, dan stabilitas oksidasi. Adapun prosedur dalam setiap analisa adalah sebagai berikut:

Gliserol Total (GT)

Analisa Gliserol Total dilakukan di Laboratorium Biofuel Komatsu (Nursery Km. 69) di PT. Adaro Indonesia, Tanjung. Analisa ini bertujuan untuk menentukan kandungan FAME pada biodiesel.

Analisa Acid Value

Analisa Gliserol Total dilakukan di Laboratorium Biofuel Komatsu (Nursery Km. 69) di PT Adaro Indonesia, Tanjung. Proses analisa *Acid Value* dilakukan dengan cara menimbang 20 gram kemudian ditambahkan dengan etanol teknis 95% yang sudah distandarisasikan dengan volume 50 mL. Kemudian ditambahkan indikator *phpt* sebanyak 5 tetes dan dititrasi dengan larutan Etanol-*Chloroform* 0,1085N dengan perubahan warna dari bening ke pink. Dilakukan perhitungan *Acid Value*.

Analisa Saponification Value

Analisa Gliserol Total dilakukan di Laboratorium Biofuel Komatsu (Nursery Km. 69) di PT Adaro Indonesia, Tanjung.

Analisa GC/MS

Analisa GCMS dilakukan di Laboratorium Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada Yogyakarta untuk sampel 50MJ:50MK sebagai nilai Gliserol Total yang optimum dan memenuhi standar EN14214. Tipe GC/MS: GCMS-QP2010S SHIMADZU.

Analisa Water Contain

Analisa *water contain* dilakukan di Laboratorium Teknologi Proses Program Studi Teknik Kimia Universitas Lambung Mangkurat.

Variabel Penelitian

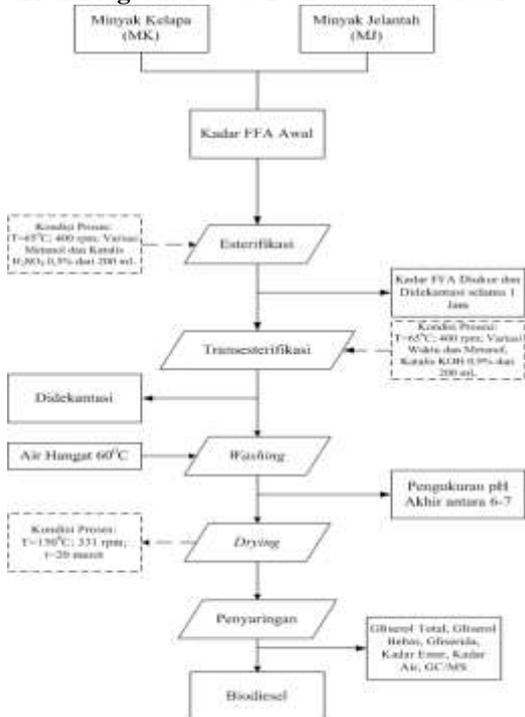
Pada proses biodiesel ini, digunakan 2 variabel yakni:

- Variabel bebas yaitu komposisi % campuran (%-v/v) antara campuran minyak jelantah dan minyak kelapa 100MJ:0MK; 75MJ:25MK; 50MJ:50MK; dan 0MJ:100MK. Komposisi metanol (%-v/v) saat esterifikasi 38%; 30%; 28%; dan 19%, dan transesterifikasi 18%, 19%, 20%, 21%, 23%, dan 25%. Serta waktu

saat transesterifikasi 40; 50; 60; 70; dan 80 menit.

- b. Variabel terikat yakni komposisi campuran minyak kelapa dan minyak jelantah dalam 200 mL, komposisi katalis, serta suhu optimum reaksi esterifikasi dan transesterifikasi 65°C.

Blok Diagram Proses Pembuatan Biodiesel



Gambar 1. Diagram Proses Pembuatan Biodiesel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran % FFA Awal

Pada pengukuran %FFA pada penelitian ini dilakukan dengan metode titrasi, dimana etanol 95% ditambahkan indikator phpt dan dititrasi dari warna bening ke merah muda terhadap sampel *mixed* minyak. Dari hasil pengamatan bahwa %FFA-*Palmatic* dan *Oleic mixed* minyak adalah seperti pada tabel 2 berikut :

Tabel 2. %FFA Masing-Masing Komponen *Mixed* Minyak

Komposisi (MJ:MK)	FFA <i>Palmatic</i>		FFA <i>Oleic</i>	
	FFA (%)	Komposisi (MJ:MK)	FFA (%)	
100:0	16,434	100:0	18,103	
75:25	13,147	75:25	14,482	
50:50	8,240	50:50	9,077	
25:75	4,352	25:75	4,793	
0:100	0,463	0:100	0,510	

Ket: MJ=Minyak Jelantah
MK=Minyak Kelapa

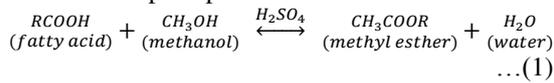
Pada hasil pengamatan %FFA, terlihat bahwa komposisi 100MJ:0MK dan 75MJ:25MK menunjukkan %FFA paling besar dan kemudian

bisa dilakukan proses esterifikasi (syarat nilai %FFA lebih dari 1%), dan kedua komposisi tersebut akan dianalisa seberapa besar efisiensi penggunaan metanol untuk proses esterifikasi dan transesterifikasi pada kedua komposisi *mixed* minyak tersebut agar menghasilkan biodiesel dengan analisa dan *yield* yang sesuai dengan standar EN 14214.

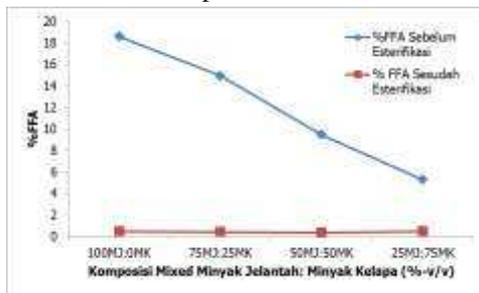
Dari tabel 2 di atas menunjukkan kandungan %FFA *oleic* lebih besar dibandingkan dengan %FFA *palmatic*. Hal ini juga diterangkan oleh Hendartomo, (Hedartomo, 2006) bahwa semakin besar kandungan %FFA *oleic* yang didapat, semakin besar kandungan lemak tak jenuh pada sampel minyak tersebut. Asam *oleic* merupakan asam yang dapat diubah menjadi *polyester* dengan menambahkan metanol, yang memiliki struktur rantai karbon yang sama dengan minyak bumi. Adapun proses yang dapat mengubah asam *oleic* menjadi *polyester* tersebut yakni melalui proses esterifikasi. Disamping itu, menurut Liebert (Liebert, 1987) dalam penelitiannya mengatakan bahwa kandungan asam lemak jenuh yang dominan pada minyak jelantah adalah asam *palmatic*, sedangkan asam lemak tak jenuh yang dominan pada minyak jelantah adalah *oleic*, sehingga kandungan *palmatic* dan *oleic* menjadi parameter penting dalam menganalisa %FFA *mixed* minyak. Selain itu, menurut penelitian dari Bamgboye menyebutkan bahwa asam *palmitic* dan *oleic* lebih dominan di kelapa sawit. Variasi kandungan *palmitic* dan *oleic* yang bervariasi mempengaruhi angka setana dari biodiesel. Adanya penambahan 6% FFA *palmitic* yang dominan dari biodiesel akan meningkatkan angka setana sebesar 29,30% (Bamgboye dan Hansen, 2007). Sehingga %FFA yang perlu diperhatikan pada penelitian ini adalah perhitungan %FFA *oleic* karena dimungkinkan akan mempengaruhi angka setana dan komposisi FAME pada *methyl ester*, adapun *range* %FFA yang dihasilkan pada penelitian ini 0,5-18% untuk *oleic* dan 0,4-16% untuk *palmitic*. Komponen utama pembentukan *methyl ester* ada pada kandungan asam *palmitic* dan *oleic*, ini adalah kombinasi dari jenuh atau tidak jenuhnya asam lemak, dan hal itu juga menentukan meningkat atau menurunnya angka setana karena semakin jenuh kandungan FAME dalam minyak, angka setana semakin besar dan jika terdapat lemak jenuh pada FAME akan mereduksi angka setana pada minyak serta meningkatnya jumlah karbon (Gerpen, 1996). Adanya pembentukan %FFA menjadi salah satu parameter untuk mengetahui mutu minyak, karena semakin tinggi kandungan %FFA suatu minyak maka akan semakin rendah mutu minyak tersebut untuk dijadikan biodiesel.

Esterifikasi *Mixed* Minyak Jelantah dan Minyak Kelapa

Pada penelitian ini, proses esterifikasi digunakan untuk menurunkan kadar %FFA yang tinggi dari proses pengukuran %FFA *mixed* minyak. Penggunaan rasio metanol yang bervariasi sangat menentukan konversi yang efektif dalam menghasilkan produk utama biodiesel. Berikut adalah reaksi pada proses esterifikasi biodiesel :



Menurut Jincheng Ding (Jincheng Ding, 2011), proses reaksi esterifikasi berjalan reversibel, maka penggunaan metanol haruslah berlebih untuk mencapai reaksi ke arah produk untuk menghasilkan ester sebagai produk utama. Tetapi pada penelitian ini digunakan variasi % komposisi sampel yang berbeda-beda untuk mengetahui seberapa besar %FFA yang dihasilkan terhadap efisiensi waktu dan keefektifan pelarut metanol. Dari penelitian ini didapatkan semakin besar komposisi minyak jelantah dalam sampel, semakin besar penggunaan metanol yang digunakan. Hal ini dikarenakan kandungan %FFA pada minyak jelantah yang tinggi. Adapun pembentukan %FFA yang tinggi dikarenakan proses hidrolisis minyak dengan air maupun proses pemanasan yang tinggi. Berikut adalah hasil dari penurunan %FFA sebelum dan sesudah proses esterifikasi adalah:



Gambar 2. Konsentrasi %FFA Awal dan Akhir terhadap *Mixed* Minyak Jelantah: Minyak Kelapa pada 60°C; 400 rpm; 60 menit

Dari gambar 2 terlihat bahwa %FFA sebelum dan sesudah esterifikasi mengalami penurunan yang sangat signifikan. Dari gambar 2 tersebut memungkinkan bahwa reaksi esterifikasi berjalan sempurna. Pada grafik setelah %FFA diturunkan menunjukkan garis *flat* namun sedikit mengalami fluktuatif dikarenakan adanya pengaruh komposisi campuran minyak jelantah dan kelapa yang bervariasi. Semakin besar komposisi minyak jelantah semakin besar pula %FFA akhir yang didapat. Minyak jelantah merupakan minyak yang teroksidasi dan memiliki angka peroksida tinggi, apabila dicampurkan dengan minyak yang baru (dalam hal ini adalah minyak kelapa) maka dapat

meningkatkan angka peroksida dari minyak. Tingginya angka peroksida juga berpengaruh terhadap ketengikan (Wannahari dan N., 2012). Dari hasil penelitian ini, %FFA *mixed* minyak 27%MJ:25%MK memiliki nilai %FFA akhir yang tinggi, sedangkan saat *mixed* minyak 50%MJ:50%MK memiliki %FFA akhir yang rendah. Menurut Raharja (Raharja dan Dwiyuni, 2013), minyak kelapa memiliki kandungan lemak tak jenuh yang stabil, bahkan setelah disimpan selama 1 tahun pada suhu ruangan terbukti tidak mengalami ketengikan walaupun mengandung 9% asam lemak jenuh. Sifat dari minyak kelapa dapat menentukan penurunan %FFA pada bahan baku dikarenakan kandungan asam lemak pada *palmatic* dan *oleic* yang rendah. Adapun rata-rata% penurunan FFA pada penelitian ini didapat adalah 94%. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa saat kondisi perputaran 400 rpm konversi % penurunan FFA yang didapat sebesar 94% (Hayyan dkk. , 2014).

Disamping itu, proses esterifikasi selain dapat menurunkan %FFA, juga berfungsi untuk menurunkan kandungan impuritis dan air dalam bahan baku. Berikut adalah grafik hubungan antara komposisi *mixed* minyak terhadap air+impuritis :

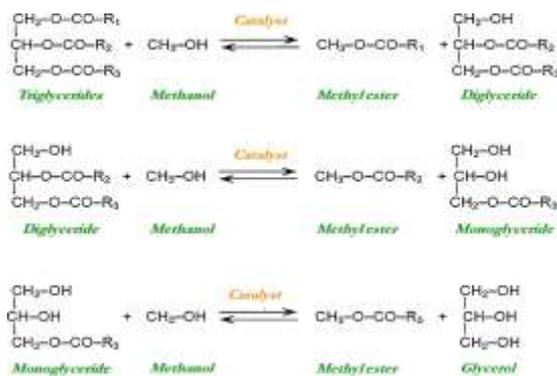


Gambar 3. Hubungan Antara Kandungan Rata-Rata Impuritis + Air terhadap Komposisi *Mixed* Minyak

Gambar 3 di atas menunjukkan bahwa grafik mengalami penurunan. Semakin berkurangnya komposisi minyak jelantah dalam *mixed* minyak, semakin berkurang pula kandungan impuritis dan air yang dihasilkan karena dipengaruhi oleh sifat ketengikan dan oksidasi yang ada di dalam minyak jelantah tersebut. Jika minyak jelantah dicampurkan dengan komposisi minyak kelapa pada komposisi tertentu, maka hasil impuritis dan air yang diperoleh lama kelamaan akan berkurang sehingga *methyl* ester yang didapatkan semakin besar. Semakin lama waktu untuk dekantasi semakin besar impuritis dan air yang didapatkan semakin besar. Selain itu, adanya sifat dari katalis asam sulfat yang higroskopis, maka air dapat diserap oleh asam sulfat dan produk utama yang dihasilkan semakin besar (Hayyan dkk. , 2014).

Transesterifikasi Mixed Minyak Jelantah dan Minyak Kelapa

Proses pembentukan biodiesel berikutnya adalah transesterifikasi. Transesterifikasi merupakan reaksi pembentukan trigliserida, digliserida, dan monogliserida yang termodifikasi ke dalam gliserol (Marchetti dan Errazu, 2010). Proses transesterifikasi pada penelitian ini menggunakan metanol dengan katalis basa (KOH). Menurut Chia-Hung Su (Su, 2013), katalis basa seperti KOH merupakan jenis katalis yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap asam lemak bebas (FFA) sebagai umpan, akan tetapi secara umum katalis KOH merupakan jenis katalis yang sulit untuk memurnikan produk. Menurut Demirbas (Demirbas, 2007), fungsi pelarut metanol pada proses transesterifikasi dikarenakan metanol merupakan larutan organik. Ketika direaksikan dengan KOH, metanol memiliki tingkat pH akurat, berat jenis yang ideal, dan titik didih yang rendah pada proses *batch* (Anderson dkk., 2008). Reaksi dari transesterifikasi pada proses ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3 Tahap-Tahap Reaksi Transesterifikasi
Sumber: (Borges dan Díaz, 2012)

Gambar 3 di atas memperlihatkan reaksi transesterifikasi adalah reaksi *reversible*, dimana produk yang terbentuk di akhir reaksi adalah *methyl ester* dan gliserol.

Berikut adalah hasil remarks fasa bawah gliserol dari reaksi transesterifikasi :

Tabel 3. Hasil Remarks Fasa Bawah (Gliserol) Mix Minyak

Mix Minyak (MJ:MK)	Waktu Reaksi (Menit)	Remarks 1 Fasa Bawah Gliserol (mL)
100:0	60	32
75:25	60	35
50:50	70	37
25:75	50	32
0:100	50	39

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa keefektifan penggunaan metanol dan waktu reaksi mempengaruhi hasil gliserol sebagai reaksi samping transesterifikasi biodiesel.

Pemurnian Biodiesel

Pemurnian *methyl ester* (biodiesel) setelah reaksi transesterifikasi bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dan sisa-sisa gliserol yang masih tersisa. Pemurnian biodiesel dilakukan dengan metode *washing* menggunakan air panas pada suhu 60°C, sampai pH 6, dan warna minyak (biodiesel) menjadi kuning bening dengan metode pengadukan, *settling*, dan dekantasi.

Proses pencucian biodiesel pada suhu 60°C untuk menjaga titik didih metanol yang masih terdapat di biodiesel dan mempercepat reaksi. Proses *settling* pada pemurnian biodiesel bertujuan mengurangi gliserol bebas yang masih terikat pada *methyl ester* (Permana dan Mulyani, 2008). Proses pemanasan dengan suhu 103°C bertujuan mengurangi kandungan air dari hasil *washing*. Proses pemurnian akhir yakni penyaringan untuk menghilangkan zat pengotor dari biodiesel.

Menurut Demirbas (Demirbas, 2007), *yield* paling optimum dari proses biodiesel menggunakan katalis *homogenous* seperti KOH adalah diantara 95% sampai 98%. Berikut adalah *yield* yang dihasilkan dari pembuatan biodiesel :

Tabel 4 Yield Biodiesel Mixed Minyak Jelantah dan Minyak Kelapa

Mixed Minyak (MJ:MK)	Volume Akhir Biodiesel (mL)	Yield (%)	Waktu Reaksi (Menit)	Komposisi Metanol (mL)
100:0	181	92,1511	60	20
75:25	190	96,6511	60	21
50:50	187	95,1151	70	25
25:75	190	96,6511	50	19
0:100	162	82,6511	50	19

Dari tabel 4 di atas terdapat *yield* biodiesel memiliki nilai lebih rendah dari *yield* optimum biodiesel. Hal ini dikarenakan terdapat volume akhir yang memiliki selisih yang besar dari volume awal 200 mL. Ini menjelaskan bahwa semakin rendah volume akhir yang didapat pada biodiesel, semakin rendah *yield* yang didapatkan karena dipengaruhi oleh pengurangan volume dari biodiesel pada proses pemisahan air dan biodiesel pada *washing* yang belum sempurna. Dalam penelitian ini, selisih kandungan pelarut metanol dalam 1 mL tidak mempengaruhi kenaikan *yield* biodiesel. Sedangkan setiap selisih 2 mL kandungan pelarut metanol pada *mixed* minyak mempengaruhi *yield* biodiesel yang dihasilkan.

Analisa Kandungan Biodiesel

Analisa Gliserol Total

Analisa gliserol total merupakan analisa yang sangat penting untuk mengetahui kandungan gliserol yang masih terkandung di biodiesel. Berikut adalah hasil analisa gliserol total yang didapat pada penelitian ini:

Tabel 5. Hasil Analisa Gliserol Total Biodiesel *Mixed* Minyak Jelantah dan Minyak Kelapa

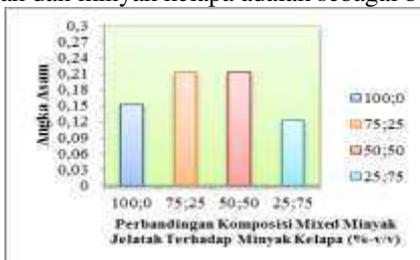
Mix Minyak (MJ:MK)	Volume Blanko (mL)	Volume Titran (mL)	Komposisi Metanol (mL)	Hasil Analisa Gliserol Total (%)
100:0	68,8	59,6	20	0,19
75:25	68,8	59,6	21	0,19
50:50	58,1	47,3	25	0,23
25:75	58,1	47,5	19	0,22
0:100	58,1	45,5	19	0,26

Tabel 5 memperlihatkan bahwa analisa gliserol tidak menentu terhadap komposisi metanol saat transesterifikasi. Hal ini disebabkan semakin besar selisih antara volume blanko dan titran, semakin besar pula analisa gliserol yang didapatkan. Berdasarkan standar analisa gliserol total standar EN 14214 bahwa kandungan gliserol yang bagus untuk biodiesel adalah $\leq 0,25\%$. Dari sebagian besar analisa gliserol yang didapatkan adalah di bawah $0,25\%$.

Dari tabel 5 menjelaskan bahwa semakin rendahnya gliserol total yang didapat dimungkinkan tergantung pada komposisi *mixed* minyak kelapa terhadap minyak jelantah dan juga berpengaruh terhadap terhadap komposisi metanol saat transesterifikasi. Jadi komposisi biodiesel yang menghasilkan nilai GT sesuai EN14214 adalah 50MK:50MJ dengan waktu 70 menit.

Analisa Acid Value (Angka Asam)

Perbandingan angka asam untuk *crude* biodiesel yang dihasilkan dari campuran minyak jelantah dan minyak kelapa adalah sebagai berikut:

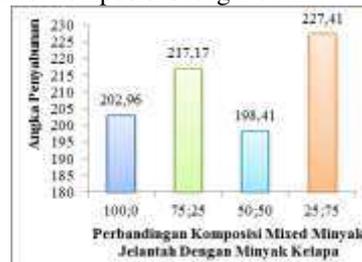


Gambar 4. Perbandingan Kandungan Bilangan Asam *Crude* Biodiesel terhadap Perbandingan Komposisi *Mixed* Minyak

Dari gambar 4 terdapat variasi hasil kandungan asam yang terkandung dalam *crude* biodiesel antara berbagai komposisi campuran minyak jelantah dengan minyak kelapa. Nilai angka asam yang paling baik adalah yang paling rendah bilangan asamnya (Randy, 2008) yaitu pada campuran minyak jelantah dengan minyak kelapa (25:75) sebesar 0,1217. Pada campuran yang lainnya memiliki angka asam yang masih jauh dibawah standar yang ditetapkan standar EN 14214 yaitu maksimal 0,5. Angka asam sendiri memiliki pengertian yaitu banyaknya miligram KOH yang dibutuhkan untuk menetralkan asam bebas di dalam satu gram sampel biodiesel. Katalis yang digunakan untuk semua sampel adalah KOH dengan komposisi yang sama yaitu 0.9%.

Analisa Saponification Value (Angka Penyabunan)

Hasil percobaan angka penyabunan biodiesel pada variasi komposisi sebagai berikut:



Gambar 5. Hubungan Antara Angka Penyabunan dengan Variasi Komposisi *Mixed* Minyak

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara angka penyabunan terhadap variasi komposisi campuran minyak jelantah dengan minyak kelapa, dimana terjadi fluktuatif karena adanya senyawa yang tak tersabunkan. Berdasarkan teori semakin kecil nilai penyabunannya, semakin bagus produk yang dihasilkan (Randy, 2008). Hasil optimum diperoleh pada komposisi minyak jelantah dan minyak kelapa 50:50 (%v/v) sebesar 198.41. Prinsip penentuan bilangan penyabunan adalah terjadinya hidrolisis dengan penambahan basa kuat yang menghasilkan asam lemak dan gliserol.

Analisa Ester Content (Kadar Ester)



Gambar 6 Hasil Analisa Ester Content dalam *Crude* Biodiesel Komposisi *Mixed* Minyak Jelantah Dengan Minyak Kelapa

Gambar 6 menunjukkan bahwa kadar ester yang terdapat dalam *crude* biodiesel pada berbagai variasi komposisi bahan baku tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan metanol yang tidak memiliki *range* yang cukup jauh. Semakin banyak metanol yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi, maka kadar ester yang dihasilkan akan bertambah banyak. Semakin cepat waktu reaksi maka semakin sedikit kadar ester yang dihasilkan karena

peningkatan waktu reaksi menyebabkan reaksi balik menjadi trigliserida. Berdasarkan standar EN14214, ester *content* harus mengandung minimal 96,5%, hal ini sudah sesuai dimana ester yang terkandung pada biodiesel rata-rata 98%.

Analisa Water Content

Analisa pada biodiesel merupakan bertujuan untuk menentukan seberapa besar ppm kandungan air yang ada pada sampel biodiesel. Berikut adalah hasil analisa *water content* biodiesel :

Tabel 6. Hasil Analisa *Water Content* Biodiesel

Komposisi Biodiesel	% Water Content	Part Per Million (ppm)
100MJ:0MK	0,048%	4,8
75MJ:25MK	0,026%	2,625
50MJ:50MK	0,101%	0,56
25MJ:75MK	0,038%	3,8
0MJ:100MJ	0,021%	2,2

Berdasarkan tabel 6 terlihat bahwa sebagian besar analisa *Water Content* biodiesel *mixed* minyak memperlihatkan kandungan ppm memenuhi standar EN14214 yakni tidak melebihi 500 ppm. Dari grafik, nilai minimum ppm ada pada komposisi *mixed* minyak 50MJ:50MK yakni 0,56 ppm. Menurut Chalid (Chalid dkk., 2008), kandungan air tinggi menyebabkan adanya reaksi *hirdolisis* yang lebih kuat untuk menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol. Hal ini sudah sesuai dengan analisa *glireol* total maksimum yang didapat sesuai standar EN14214 adalah komposisi *mixed* minyak 50MJ:50MK.

Dari semua analisa tersebut, didapatkan komposisi biodiesel yang terbaik, yakni 50MJ:50MK. Berikut adalah parameter perbandingan antara perbandingan biodiesel 50MJ:50MK terhadap EN14214 adalah sebagai berikut

Tabel 6. Hasil Analisa Gliserol Total Biodiesel *Mixed* Minyak Jelantah dan Minyak Kelapa

No.	Uji Kualitas Biodiesel	Standar EN-14214	Hasil Penelitian 50%MJ:50%MK
1	Gliserol Total (%-w)	Max. 0,25	0,23
2	Acid Value (mg KOH/g)	Max. 0,5	0,21
3	Saponification Value	Max. 230	98,41
4	Water Content (ppm)	Max.500	0,56
5	Ester Content (%-w)	Min. 96,5	97,81

Tabel 6 di atas memperlihatkan kualitas biodiesel dari *mixed* minyak 50MJ:50MK terhadap parameter biodiesel sesuai dengan standar EN 14214. Berdasarkan gliserol total dan ester konten terlihat bahwa hasil penelitian biodiesel 50MJ:50MK mendekati batas parameter EN 14214 karena perhitungan pada analisa ester konten tersebut dipengaruhi oleh nilai gliserol total yang

dihasilkan oleh biodiesel. Sedangkan pada analisa angka asam, angka sabun, dan *water content* memperlihatkan nilai yang jauh lebih kecil dari nilai yang telah ditetapkan EN 14214, dapat dikatakan bahwa kandungan biodiesel dari 50MJ:50MK sudah sesuai dengan standar EN 14214. Dapat disimpulkan bahwa penambahan komposisi 50% (%-v/v) minyak kelapa terhadap 50% (%-v/v) minyak jelantah dapat mempengaruhi kualitas biodiesel yang dihasilkan.

PENUTUP

Kesimpulan

Minyak jelantah dan minyak kelapa merupakan salah satu bahan baku untuk memproduksi biodiesel. Biodiesel ini bermanfaat sebagai bahan bakar yang dapat digunakan oleh industri pertambangan sesuai dengan peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya dan Mineral No.32 Tahun 2008 terhadap kewajiban pemakaian B20 sebagai campuran bahan bakar minyak sejak bulan Januari 2016. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Dengan menggunakan *mixed* minyak antara minyak jelantah dan minyak kelapa untuk menghasilkan biodiesel, didapatkan *yield* yang terbaik sebesar 96,6511% dengan komposisi minyak jelantah dan minyak kelapa 75MJ:25MK dan 25MJ:75MK.
2. Nilai gliserol total sebesar 0,23% dari komposisi 50% minyak jelantah dan 50% minyak kelapa (50MJ:50MK) (sesuai dengan standar EN14214).

Saran

Untuk menggunakan pelarut metanol sebaiknya diperlukan variasi *range* yang berbeda jauh.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terutama kepada:

1. Bapak Didik Tribowo selaku pimpinan QHSE PT. ADARO.
2. Bapak Kharis Pujianur selaku pimpinan, Bapak Didi Darmawan, Bapak Roby Yusvere Variani, dan Bapak Wahyudinor selaku karyawan di Biodiesel Fuel Plant Nursery 69 PT. ADARO
3. Ibu Abdiatul Husnah dan Ibu Nida Adilah selaku pembimbing Laboratorium Biofuel dari PT. ADARO dan PT. KOMATSU di BDF Plant yang telah memberikan arahan dan SOP selama penelitian di PT. ADARO, BDF Plant.
4. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungannya, yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, B., Keehfuss, S. dan Pettit, B. 2008. Biodiesel: Corst and Reactant Comparison. *The Evergreen State College*.
- Bamgboye, A. I. dan Hansen, A. C. 2007. Prediction of Cetane Number of Biodiesel Fuel Form the Fatty Acid Methyl Ester (FAME) Composition. *International Agrophysics*, 22, 21-29.
- Borges, M. E. dan Díaz, L. 2012. Recent developments on heterogeneous catalysts for biodiesel production by oil esterification and transesterification reactions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2839-2849.
- Chalid, S. Y., Muawanah, A. dan Jubaedah, I. 2008. Analisa Radikal Bebas Pada Minyak Goreng Pedagang Gorengan Kaki
- Darmanto, S. dan Sigit, I. 2006. Analisa Biodiesel Minyak Kelapa Sebagai Bahan Bakar Alternatif Minyak Diesel. 4, 64.
- Demirbas, A. 2007. Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide. *Energy Conversion and Management*, 48, 937-941.
- Diaz, R. S. 1990. *Coconut for Clean Air*, Manila, Philippines, I. A. Asian Institute of Petroleum Studies
- Europe, I. E. 2006. Overview and Recommendations on Biofuel Standard for Transport in The EU. *Project Biofuel Market Place*. Munchen, Germany: Dominik Rutz.
- Gerpen, J. a. V. 1996. Cetane Number Testing of Biodiesel. *Prociding 3rd Conf. ASAE Liquid Fuel*.
- Hayyan, A., Hashim, M. A., Hayyan, M. dan Qing, K. G. 2014. Biodiesel Production from Acidic Crude Palm Oil Using Perchloric Acid. *Energy Procedia*, 61, 2745-2749.
- Hendartomo, T. 2006. *Pemanfaatan Minyak dari Tumbuhan untuk Pembuatan Biodiesel*, Yogyakarta.
- Jincheng Ding, B. H., And Jianxin Li 2011. Biodiesel Production from Acidified Oils via Supercritical Methanol. *Energies*.
- Kumar, G., Kumar, D., Singh, S., Kothari, S., Bhatt, S. dan Singh, C. P. 2010. Continuous Low Cost Transesterification Process for the Production of coconut Biodiesel. *Energies*, 3, 43-56.
- Kusumaningtyas, R. D. dan Bachtiar, A. 2011. Sintesis Biodiesel dari MInyak Biji Karet Dengan Veriasi Suhu dan Konsentrasi KOH untuk Tahapan Transesterifikasi *Bahan Alam Terbarukan*, 1, 9-18.
- Liebert, M. A. 1987. Final Reort on The Safety Assessment of Oleic Acid, Lauric Acid, Palmitic Acid, Myristic Acid, And Stearic Acid. *Journal of The American College of Toxicology*, 6.
- Marchetti, J. M. dan Errazu, A. F. 2010. Biodiesel production from acid oils and ethanol using a solid basic resin as catalyst. *Biomass and Bioenergy*, 34, 272-277.
- Minry, V. 2011. *Indikator Fenolftalein*. www.scribd.com.
- Permana, S. dan Mulyani, S. 2008. Proses Gliserolisis CPO Menjadi Mono dan Diacyl Gliserol Dengan Pelarut Ter-Butanol dan Katalis MgO. *Teknik Kimia Universitas Diponegoro*.
- Raharja, S. dan DwiYuni, M. 2013. Study on Phsyco-Chemical Characteristic of Virgin Coconut Oil (VCO) Made by Coconut Milk Cream Freezin Method *Departemen Industri Pertanian*, 18, 76-78.
- Randy, K. 2008. Pengaruh Suhu Waktu Pemanasan Terhadap Kualitas Minyak Kelapa yang Dibuak Dengan Cara Pemanasan. *Institut Teknik Bandung*.
- Setiawati, E. dan Edwar, F. 2012. Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi. *Riset Industri*, 6, 117-127.
- Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. dan Shapouri, H. 1998. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Final report. *Other Information: Supercedes report DE98005500; PBD: May 1998; PBD: 1 May 1998*.
- Sni. 2006. *Forum Biodiesel Indonesia*.
- Su, C.-H. 2013. Recoverable and reusable hydrochloric acid used as a homogeneous catalyst for biodiesel production. *Applied Energy*, 104, 503-509.
- Sugiono, A. 2008. Pengembangan Bahan Bakar Nabati untuk Mengurangi Dampak Pemanasan Global. *In: TEKNOLOGI*, B. P. D. P. (ed.). Seminar Nasional Kebijakan Pemanfaatan Lahan dalam Menanggulangi Dampak Pemanasan Global UGM Yogyakarta: Agus Sugiono.
- Suirta, I. W. 2009. Preparasi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Kelapa Sawit. *Kimia*, 3, 1-6.
- Syamsidar 2013. Pembuatan dan Uji Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Teknosains*, 7, 209-218.
- Wannahari dan N., N. M. F. 2012. Reduction of Peroxide Value in Used Palm Cooking Oil Using Bagasse Adsorbent. *American International Journal of Contemporary Research*, 2, 188.
- Wijaya, K. 2011. Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas. *Teknik Kimia*, 16, 1-10.