

Studi Kinetika Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas Sebagai Biodiesel

Irawati Ramli^{a,1}, Nurhikmah Wahab^{a,2}

^a Jurusan Teknik Sipil, Universitas Teknologi Sulawesi, Jalan Talasalapang No. 51 Makassar 90221, Indonesia

E-mail : ¹irawatiramli89@gmail.com, ²nurhikmahwahab05@gmail.com

Abstract:

Biodiesel merupakan sumber bahan bakar alternatif pengganti solar yang terbuat dari minyak tumbuhan atau lemak hewan, tidak mengandung sulfur dan tidak beraroma. Biodiesel dihasilkan dengan mereaksikan minyak tumbuhan dengan alkohol menggunakan basa sebagai katalis pada suhu dan komposisi tertentu. Dalam penelitian ini digunakan minyak kelapa bekas (jelantah) yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan biodiesel. Penelitian yang dilakukan pada reaksi transesterifikasi pada minyak goreng bekas dengan metanol dimana dilakukan dua tahap yakni reaksi esterifikasi minyak goreng bekas (jelantah) dengan metanol menggunakan katalisator H₂SO₄ untuk mengurangi asam lemak bebas, dan tahap kedua reaksi transesterifikasi minyak kelapa bekas (jelantah) dengan metanol menggunakan katalisator NaOH. Kinetika reaksi pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas dan metanol dengan katalisator NaOH merupakan reaksi orde satu. Dengan menggunakan 300 gr minyak dan 101,5 gr metanol dan variasi berat katalis 1,0 gr, 1,2 gr, 1,4 gr katalisator dipanaskan pada suhu 60oC diperoleh hasil optimal yaitu konstanta kecepatan reaksi 0,086 exp (-—).

Keywords: biodiesel, transesterifikasi dan kinetika reaksi.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sumber daya energi terbarukan (renewable energy) terus mengalami kemajuan. Salah satu diantaranya adalah pengembangan biodiesel, yaitu bahan bakar untuk mesin diesel yang dihasilkan dari sumber daya hayati yang justru banyak terdapat di daerah tropis seperti Indonesia. Bahan baku (feed stock) biodiesel terus mengalami pengembangan melalui berbagai eksperimen diseluruh dunia. Dari awalnya berbasis tumbuhan kanola (rapeseed) kemudian dikembangkan pembuatan dari kelapa sawit, pohon jarak, sampai minyak jelantah (used vegetable oil). Untuk mengantisipasi makin meningkatnya harga serta permintaan akan minyak solar / ADO (Automotive Diesel Oil), penting untuk mengkaji pengembangan biodiesel berbahan baku minyak jelantah sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar. Bahan bakunya dapat diperbaharui dan bersifat ramah lingkungan.

Karena informasi mengenai kinetika pemanfaatan minyak goreng bekas sebagai biodiesel sangat terbatas sehingga perlu klarifikasi proses dan kondisi operasi dalam tahap blank test, proses esterifikasi dan transesterifikasi menggunakan reaktor tangki berpengaduk. Hal inilah yang akan dipelajari pada penelitian ini.

Salah satu bahan yang digunakan didalam proses transesterifikasi ialah metanol. Metanol disebut juga metil alkohol merupakan senyawa paling sederhana dari gugus alkohol. Rumus kimianya adalah CH₃OH. Metanol berwujud cairan yang tidak berwarna, dan mudah menguap. Metanol memiliki berat molekul 32,042, titik leleh -98oC dan titik didih 64oC. Pada umumnya metanol digunakan dalam proses transesterifikasi karena metanol harganya lebih murah dan lebih mudah untuk dikonversi.

Masalah utama yang diusulkan pada penelitian ini yang diidentifikasi dalam operasi sistem proses batch untuk suatu produk yang penting untuk dilakukan penelitian awal yaitu:

1. Pembentukan metil ester dengan mereaksikan minyak goreng bekas dan metanol dengan bantuan katalis NaOH dengan cara transesterifikasi.

2. Pengaruh variasi konsentrasi katalis NaOH dan variasi lama pengadukan terhadap konversi reaksi transesterifikasi dari minyak goreng bekas dengan metanol.
3. Analisa blank test, hasil reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dengan melakukan analisis fisika dan kimia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Minyak goreng adalah minyak yang berasal dari lemak tumbuhan atau hewan yang dimurnikan, berbentuk cair dalam suhu kamar dan biasanya digunakan untuk menggoreng makanan. Minyak goreng dari tumbuhan dihasilkan dari tanaman seperti kelapa, biji-bijian, kacang-kacangan, jagung dan kedelai. Minyak goreng dapat digunakan hingga 3 - 4 kali penggorengan. Jika digunakan berulang kali, minyak akan berubah warna. Zat warna dalam minyak terdiri dari dua golongan, yaitu zat warna alamiah dan warna dari hasil degradasi zat warna alamiah. Zat warna tersebut terdiri dari α dan β karotein, xanthofil, klorofil dan anthosyanin. Zat warna ini menyebabkan minyak berwarna kuning, kuning kecoklatan dan kemerah-merahan (Tjatkiko, et al., 1985).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pemanasan pada minyak selama 30 menit dengan suhu di atas 125°C dapat menyebabkan munculnya senyawa-senyawa baru yang beracun bagi tubuh dari pemutusan rantai-rantai asam lemak. Salah satu senyawa yang beracun yaitu trans 2-hidroksil oktenal (HNE). Senyawa ini sangat berbahaya karena mudah diserap oleh tubuh dan bersifat racun (toksik) terhadap biomolekul-biomolekul di dalam tubuh seperti DNA dan protein. Selain itu pemanasan terus menerus terhadap minyak dapat menghasilkan pula beberapa senyawa lain yang bersifat toksik terhadap tubuh yakni 4-hidroksiheksanal, 4-hidroksioktenal dan hepta 2,4-dienal. (Emel Seran, 2011)

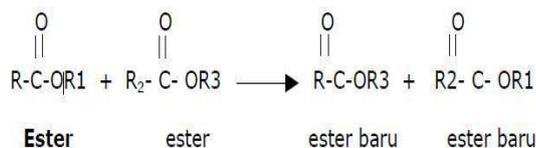
Minyak jelantah telah mengalami perubahan struktur kimia akibat proses penggorengan. Minyak jelantah mengandung asam lemak jenuh yang tinggi yang berbahaya bagi tubuh. Kandungan kolesterol baik (HDL) semakin berkurang sementara kolesterol buruk (LDL) semakin meningkat. Hal ini dapat memicu berbagai penyakit seperti hipertensi, penyumbatan peredaran darah, penyakit jantung, dan stroke. Bahkan lebih dari itu minyak jelantah dapat menyebabkan kanker colon pada usus besar. (Rudiansyah, 2011). Ciri fisik minyak jelantah:

- a. Warnanya kuning agak kemerah-merahan, sedangkan minyak curah asli berwarna kuning.
- b. Minyak curah yang berasal dari minyak jelantah agak cair dan tidak kental seperti minyak curah asli.
- c. Minyak jelantah tidak berbuih pada saat dikocok.
- d. Minyak curah jelantah berbau kurang segar, sedangkan pada minyak curah asli tidak berbau sama sekali. (EBO, 2011)

Alkil ester adalah senyawa yang merupakan hasil esterifikasi atau transesterifikasi yang melibatkan senyawa asam dan alkohol untuk reaksi esterifikasi dan trigliserida dan alkohol untuk reaksi transesterifikasi. Pembuatan alkil ester dari CPO dilakukan dengan cara mengkonversi lemak yang terkandung didalamnya menjadi bentuk alkil ester. Untuk asam lemak reaksi yang diperlukan untuk menghasilkan alkil ester adalah dengan menggunakan esterifikasi. Trigliserida yang terkandung dalam minyak sawit dapat dikonversi menjadi alkil ester melalui transesterifikasi. Sumber senyawa asam yang digunakan dalam penelitian ini adalah asam lemak bebas pada minyak goreng bekas. Reaksi dan sifat kimia pada minyak atau lemak:

2. 1. Esterifikasi

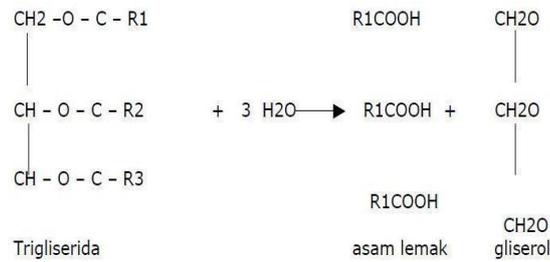
Proses esterifikasi bertujuan untuk asam-asam lemak bebas dari trigliserida, menjadi bentuk ester. Reaksi esterifikasi dapat dilakukan melalui reaksi kimia yang disebut esterifikasi atau penukaran ester yang didasarkan pada prinsip transesterifikasi fiedel-craft



Gambar 1. Reaksi esterifikasi trigliserida

2. 2. Hidrolisa

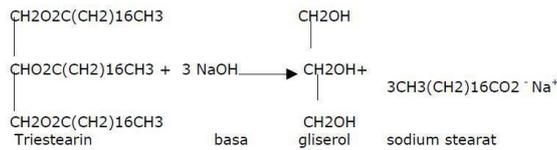
Dalam reaksi hidrolisa, lemak dan minyak akan diubah menjadi asam-asam lemak bebas dan gliserol, proses ini dibantu adanya asam, alkali, uap air, panas, dan enzim lipolitik seperti lipase. Reaksi hidrolisis mengakibatkan kerusakan lemak dan minyak yaitu hydrolytic rancidity yaitu terjadi flavor dan rasa tengik pada lemak atau minyak. Hal ini terjadi karena terdapat sejumlah air dalam lemak dan minyak tersebut.



Gambar 2 Reaksi hidrolisa lemak dan minyak

2.3. Penyabunan

Reaksi ini dilakukan dengan penambahan sejumlah larutan basa kepada trigliserida. Bila penyabunan telah lengkap, lapisan air yang mengandung gliserol dipisahkan dan kemudian gliserol dipulihkan dengan penyulingan.



Gambar 3. Reaksi penyabunan trigliserida

2. 4. Enzimatis

Enzim yang dapat menguraikan lemak atau minyak dan akan menyebabkan minyak tersebut menjadi tengik, ketengikan itu disebut enzymatic rancidity.

2. 5. Oksidasi

Oksidasi dapat berlangsung bila terjadi kontak antara sejumlah oksigen dengan lemak atau minyak. Terjadinya reaksi oksidasi ini akan mengakibatkan bau tengik kepada minyak atau lemak oxidative rancidity.

2.6. Hidrogenasi

Proses hidrogenasi bertujuan untuk menjernihkan ikatan dari rantai dari karbon asam lemak pada lemak atau minyak. Setelah proses hidrogenasi selesai, minyak didinginkan dan katalisator dipisahkan dengan penyaringan. Hasilnya adalah minyak yang bersifat plastis atau keras, tergantung pada derajat kejenuhan.

Pada penelitian terdahulu, katalis yang digunakan adalah KOH, alkohol dari jenis metanol dan waktu transesterifikasi adalah 60 menit. Pada suhu 60oC untuk variabel rasio minyak jelantah dengan metanol 1:2 diperoleh densitas (ρ) 0,8667 gr/ml. Untuk perbandingan pereaksi 1:4 diperoleh densitas (ρ) 0,8677 gr/ml. Untuk perbandingan pereaksi 1:6 diperoleh densitas (ρ) 0,8636 gr/ml (Setiawan, Budi, et al., 2010).

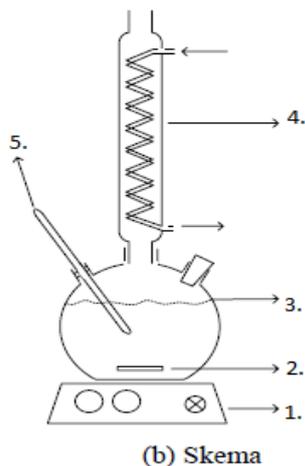
Penelitian lain menyebutkan minyak diesterifikasi dengan metanol dan katalisator H₂SO₄, dipanaskan pada suhu 60 oC dengan waktu 30 menit. Hasil reaksi esterifikasi direaksikan lagi dengan metanol dan katalisator KOH pada suhu kamar, reaksi yang terjadi adalah reaksi transesterifikasi. Kinetika reaksi pembuatan biodiesel dari minyak kelapa bekas (jelantah) dan metanol dengan katalisator KOH merupakan reaksi orde dua. Dengan menggunakan 100 ml minyak dan 126,5 ml metanol dan 1,5 gram katalisator bekerja pada suhu kamar dan tekanan atmosferis, diperoleh hasil optimal yaitu konstanta kecepatan reaksi ke kanan (k_1) sebesar $3,49 \cdot 10^{-4}$, konstanta kecepatan reaksi ke kiri (k_2) sebesar $1,89 \cdot 10^{-4}$ dan nilai konstanta kesetimbangan reaksi (K) sebesar 1,85 dengan konversi kesetimbangan sebesar 80,28%. (Yuniwati, Murni, 2009)

Peningkatan penggunaan konsentrasi katalis NaOH (0,5 sampai 1,5% b/b dari total berat minyak dan metanol), menghasilkan biodiesel (%) yang semakin tinggi. (Sahubawa, 2010). Semakin besar jumlah katalis yang digunakan dapat menurunkan produk biodiesel yang dihasilkan, yang berarti akan meningkatkan hasil dari produk samping. (S., Tilani Hamid, 2002)

Peningkatan penggunaan konsentrasi katalis NaOH (0,5 sampai 1,5% b/b dari total berat minyak dan metanol), menghasilkan biodiesel (%) yang semakin tinggi. (Sahubawa, 2010). Semakin besar jumlah katalis yang digunakan dapat menurunkan produk biodiesel yang dihasilkan, yang berarti akan meningkatkan hasil dari produk samping. (S., Tilani Hamid, 2002).

3. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan pada penelitian sebagaimana pada skema dibawa ini adalah



Gambar 4. Skema Peralatan

Keterangan :

1. Hot Plate
2. Stirer
3. Labu Leher Tiga
4. Kondensor
5. Termometer

Sedangkan bahan yang digunakan adalah:

1. Minyak goreng bekas (minyak jelantah)
2. H₂SO₄
3. NaOH
4. CH₃OH
5. CH₃COOH

Penelitian yang dilakukan secara garis besar terdiri dari tiga tahap yaitu blank test, reaksi esterifikasi minyak kelapa bekas (jelantah) dengan metanol menggunakan katalisator H₂SO₄ untuk mengurangi asam lemak bebas, dan reaksi transesterifikasi minyak kelapa bekas (jelantah) dengan metanol menggunakan katalisator NaOH.

3.1. Tahap Blank Test

Tahap blank test ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan sifat-sifat minyak goreng bekas (MGB) yang akan digunakan sebagai pembanding dengan MGB setelah reaksi. MGB yang akan digunakan disaring terlebih dahulu untuk menghilangkan pengotor-pengotor dan hasil penggorengan. Karakteristik yang dianalisa adalah kadar air, kandungan FFA, densitas, dan viskositas.

3.2. Tahap Reaksi Esterifikasi

Minyak kelapa bekas (jelantah) sebanyak 500 gr dimasukkan ke dalam labu leher tiga kemudian ditambahkan H₂SO₄ pekat sebanyak 5 gr (1%-b minyak), kemudian dipanaskan sampai suhu 60oC. Metanol sebanyak 57 gr dimasukkan ke erlenmeyer yang telah dilengkapi pendingin balik kemudian dipanaskan dengan kompor listrik hingga mencapai titik didih. Selanjutnya metanol dimasukkan ke dalam reaktor berpengaduk melalui saluran pendingin balik. Suhu dalam reaktor diusahakan tetap pada 50oC-60oC selama 60 menit. Setelah 60 menit, reaksi dihentikan kemudian hasil reaksi dimasukkan ke dalam corong pisah dan didiamkan sampai mencapai suhu kamar (dibiarkan selama satu malam). Minyak hasil reaksi dicuci dengan aquadest dalam gelas beker dengan magnetic stirrer selama 30 menit. Setelah itu minyak dan aquadest dipisahkan dengan corong pisah. Langkah tersebut diulang selama 4 kali sampai didapatkan minyak hasil yang mencukupi untuk tahap reaksi transesterifikasi.

3.3. Tahap Reaksi Transesterifikasi

NaOH 1,0 gram dilarutkan dalam metanol (teknis) 101,5 gram yang berada di dalam gelas beker diaduk dengan menggunakan batang pengaduk dan dipanaskan sampai suhu 60oC hingga semua NaOH larut

sempurna. Larutan ini kemudian dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang berisi minyak 300 gram dan dilengkapi pendingin balik. Campuran diaduk dengan pengaduk mercury dengan kecepatan 400 rpm selama 60 menit. Untuk setiap 10 menit selama pengadukan, sampel diambil sebanyak 3,3 mL untuk dianalisis kadar asam lemak bebas. Campuran setelah pengadukan dimasukkan ke dalam corong pemisah dan didiamkan selama satu malam. Setelah ester dan gliserol terbentuk menjadi 2 lapisan sempurna. Lapisan bawah berupa gliserol dan lapisan atas berupa ester dan sisa minyak, kemudian gliserol dipisahkan dengan corong pisah. Ester dan sisa minyak dicuci dengan aquadest dan 2 mL asam asetat 1N untuk memisahkan sisa katalis yang dimungkinkan masih ada dalam ester menggunakan pengaduk mercury dengan kecepatan 400 rpm selama 30 menit. Setelah itu ester hasil pencucian dimasukkan ke dalam corong pisah. Dibiarkan sebentar membentuk 2 lapisan, ester di atas dan air di bawah (dibuang). Ester dimasukkan ke dalam beker gelas kemudian dipanaskan pada suhu 110oC selama 1 jam untuk menguapkan sisa air yang masih ada setelah pencucian. Proses diatas dilakukan untuk berat katalis NaOH dengan variasi berat 1,2 gram, 1,4 gram, 1,6 gram dan 1,8 gram. Uji karakteristik minyak goreng bekas sebelum dan setelah reaksi meliputi kandungan FFA, angka asam, kadar air, viskositas, densitas serta angka penyabunan. Kemudian dilakukan uji kandungan FFA, uji angka asam, uji viskositas, uji densitas, dan uji angka penyabunan.

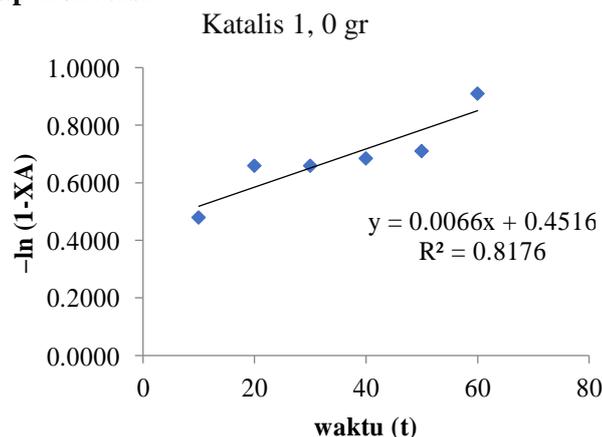
3.4. Kinetika Reaksi

Melakukan variasi kondisi operasi berupa variasi berat katalis pada transesterifikasi untuk menentukan konstanta laju reaksi kemudian ditentukan konversi dan orde reaksi berdasarkan perubahan konsentrasi asam lemak dalam minyak sampai mencapai 60 menit. Dilihat pengaruh konsentrasi katalis terhadap konversi reaksi.

4. HASIL

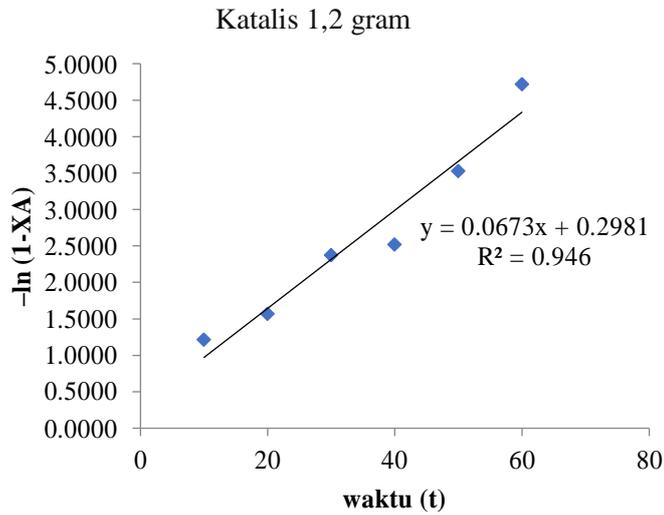
Karakteristik yang dianalisa adalah kadar air 4,1 %, kandungan FFA 5,4 %, densitas 0,92 gr/ml, dan viskositas 131, 57 gr/cm²s. Angka penyabunan minyak kelapa sawit tergolong tinggi (224-249) disebabkan oleh karena tersusun dari asam laurat yang merupakan asam lemak jenuh dengan berat molekul rendah. Tetapi pada minyak kelapa dengan pemanasan (MGB) angka penyabunannya turun disebabkan oleh perlakuan pemanasan yang telah merusak asam-asam lemak yang terdapat didalamnya. Pada hasil praktikum ini angka penyabunan MGB menunjukkan 65,2 dan pada biodiesel dari berbagai variabel berat katalis didapatkan > 184.

4.1. Pengaruh Waktu terhadap Konversi



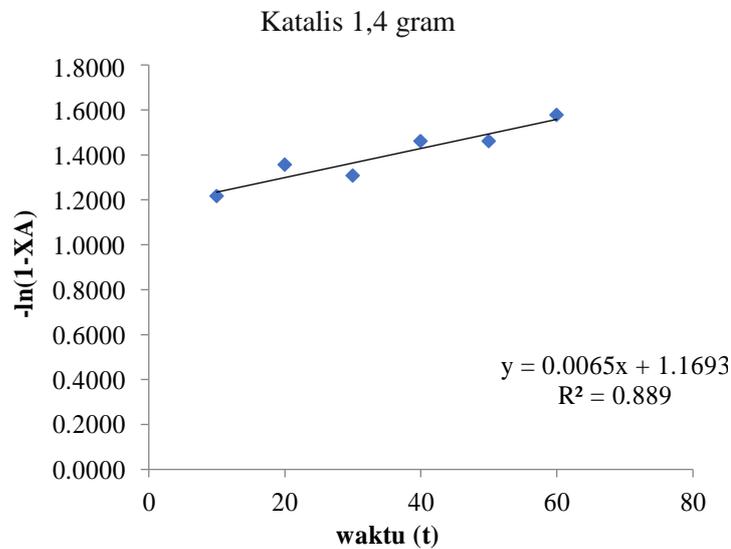
Gambar 5. Hubungan antara $-\ln(1-XA)$ dan t

Pada berat katalis 1,0 gr NaOH yang diamati pada penelitian ini, produksi biodiesel akan mencapai hasil optimum pada waktu 20 menit. Dari gambar 5 terlihat bahwa hubungan antara $-\ln(1-XA)$ dengan t cenderung mengikuti garis lurus, sehingga reaksi metanolisis minyak A dengan katalisator NaOH 1,0 gr ini adalah reaksi orde 1 dengan nilai k sebesar $0,006 \frac{1}{\text{menit}}$. Nilai k yang dihasilkan untuk reaksi ini berlaku untuk kisaran waktu penelitian 10-60 menit dan penyimpangan hasil penelitian berdasarkan gambar 5 sebesar 0,817.



Gambar 6. Hubungan antara $-\ln(1-XA)$ dan t

Pada berat katalis 1,2 gr NaOH yang diamati pada penelitian ini, produksi biodiesel akan mencapai hasil optimum pada waktu 30 menit. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara $-\ln(1-XA)$ dengan t. Dari gambar 6 dengan katalisator NaOH 1,2 gr ini adalah reaksi orde 1 dengan nilai k sebesar $0,067 \frac{1}{\text{menit}}$. Nilai k yang dihasilkan untuk reaksi ini berlaku untuk kisaran waktu penelitian 10-60 menit dan penyimpangan hasil penelitian berdasarkan gambar 6 sebesar 0,946.



Gambar 7. Hubungan antara $-\ln(1-XA)$ dan t

Dapat dilihat dari gambar 7, mula-mula konversi A akan meningkat dengan cepat dengan bertambahnya waktu reaksi yang akan mencapai waktu reaksi optimum pada waktu 20 menit. pengaruhnya terhadap kenaikan konversi A. Pada berat katalis 1,4 gr produksi biodiesel akan mencapai hasil optimum pada waktu 20 menit. Dari gambar 7 terlihat bahwa hubungan antara $-\ln(1-XA)$ dengan t cenderung mengikuti garis lurus, sehingga reaksi metanolisis minyak A dengan katalisator NaOH 1,4 gr ini adalah reaksi orde 1 dengan nilai k sebesar $0,006 \frac{1}{\text{menit}}$. Nilai k yang dihasilkan untuk reaksi ini berlaku untuk kisaran waktu penelitian 10-60 menit dan penyimpangan hasil penelitian berdasarkan gambar 7 sebesar 0,889.

5. KESIMPULAN

Dari pengolahan data dan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari hasil analisa metil ester yang terbentuk mendekati angka standar solar.
2. Viskositas dari produksi biodiesel akan mencapai hasil optimum pada berat katalis 1,4 gr sebesar 17,06 gr/cm².s. Viskositas yang tinggi atau fluida yang masih lebih kental akan mengakibatkan kecepatan

aliran akan lebih lambat sehingga proses derajat atomisasi bahan bakar akan terlambat pada ruang bakar.

- Persamaan konstanta kecepatan reaksi metanolisis minyak jelantah didekati dengan menggunakan persamaan Arrhenius sebagai fungsi perbandingan stoikiometri reaktan dan didapatkan persamaan $k = 0,086 \exp(-\text{---})$ dengan ralat 0,904

REFERENSI

- Azis, Isalmi; Nurbayti, Siti; Ulum, Badrul. 2011. *Pembuatan Produk biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi*. Vol. 2. 1978 – 8193. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). 2005. *Biodiesel*. Jakarta : Panitia Teknis Energi Baru dan Terbarukan (PTEB) Forum Konsensus XXIV. SNI 04-7182-2006.
- EBO. *Gaptek Update Menembus Batas Dunia Informasi*. <http://www.gaptekupdate.com/2011/10/bahaya-penggunaan-minyak-jelantah/>. 3 Februari 2012
- Emel Seran. *Bahaya Minyak Goreng yang Dipakai Berulang Kali*. <http://wanibesak.wordpress.com/2011/09/27/bahaya-minyak-goreng-yang-dipakai-berulang-kali/>. 3 Februari 2012
- Firdaus, Ihwan Ulul. *Nawapanca Engineering Web site*. <http://www.indonesiapintar.or.id/index.php/Teknologi-Terapan/Metode-Pembuatan-Biodiesel-Berkualitas-Tinggi-Dengan-Menggunakan-Dua-Tahap-Transesterifikasi.html>. 3 Februari 2012
- Hakim, Arief Rahman and Irawan, Sutra. 2012. *Kajian Awal Sintesis Biodiesel dari Minyak Dedak Padi Proses Esterifikasi*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
- Hambali, Erliza, et al. 2006. *Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel*. Bogor : Penebar Swadaya.
- Haryono, et al. 2010. *Pengolahan Minyak Goreng Kelapa Sawit Bekas menjadi Biodiesel Studi Kasus: Minyak Goreng Bekas dari KFC Dago Bandung*. ISSN 1693-4393. Yogyakarta : Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Karna Wijaya. 2011. *Mengactualkan Kembali Konversi Minyak Goreng Bekas Menjadi Biodiesel*. <http://pse.ugm.ac.id/?p=338>. 3 Februari 2012
- Levenspiel, Octave. 1999. *Chemical Reaction Engineering*. United States of America: Department of Chemical Engineering
- Rudiansyah, Muhamad. *Bahaya dan Manfaat Minyak Jelantah*. <http://kesehatan.kompasiana.com/medis/2011/03/08/bahaya-dan-manfaat-minyak-jelantah/.1401>. 3 Februari 2012
- S., Tilani Hamid and Yusuf, Rachman. 2002. *Preparasi Karakteristik Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit*. Jurnal Teknologi, Vol. 6. 2. Depok: Universitas Indonesia.
- Sahubawa, Latif. 2010. *The Effect of Using Catalyst in Transesterification Reaction on the Biodiesel Quality from Sardine Flour Oil Waste*. Manusia dan Lingkungan, Vol. 17, pp. 200-206. Yogyakarta: UGM.
- Sholehuddin, Muhammad. *Angka Penyabunan*. <http://www.scribd.com/doc/39778067/angka-penyabunan>. 7 Mei 2012.
- Tjatzmiko, B. and Widjaja, A. P. 1985. *Teknologi Minyak dan Lemak*. Bogor : Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Wijaya, Karna. 2011. *Biofuel di Indonesia: Prospek, Perspektif dan Strategi Pengembangannya*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada (UGM)
- . 2011. *Mengactualkan Kembali Konversi Minyak Goreng Bekas Menjadi Biodiesel*. Pusat Studi Energi Universitas Gadjah Mada. <http://pse.ugm.ac.id/?p=338>. 3 Februari 2012.
- Yuniwati, Murni and Karim, Amelia Abdul. 2009. *Kinetika Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas (Jelantah) dan Metanol dengan Katalisator KOH*. Yogyakarta: s.n., Jurnal Teknologi, Vol. 2, pp. 130-136.