

Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.)

Sefrinus M.D Kolo¹, Rikson A.F Siburian², Theodore Y.K Lulan³

¹Program Studi Biologi, Fakultas Ilmu Pendidikan, Universitas Timor, Kefamenanu-NTT, 85613, email: sefriunimor@gmail.com

^{2,3}Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang-NTT

Article Info

Article history:

Received 27 Agustus 2015

Received in revised form 12 Desember 2015

Accepted 11 Januari 2016

Keywords:

Jatropha curcas L.

Biodiesel

Esterifikasi

Transesterifikasi

Asam Lemak Bebas

Abstrak

Penelitian tentang pengaruh variasi konsentrasi metanol terhadap sifat fisika-kimia biodiesel dari minyak biji jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi metanol terhadap sifat fisika-kimia biodiesel dan menentukan konsentrasi efektif metanol pada pengujian sifat fisika-kimia biodiesel. Pembuatan biodiesel dilakukan dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi. Sifat fisika-kimia yang diuji dalam penelitian ini yaitu: kerapatan, kekentalan dan bilangan asam. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh variasi konsentrasi metanol terhadap sifat fisika-kimia biodiesel dimana proses esterifikasi dan transesterifikasi mampu mengkonversi asam lemak bebas dan trigliserida menjadi metil ester. Analisis keragaman dan uji BNT menunjukkan konsentrasi efektif metanol untuk meningkatkan mutu biodiesel yaitu 30 % dengan kerapatan sebesar 0,8802 mg/l dan bilangan asam sebesar 4,72 mg KOH/g serta kekentalan sebesar 6,32 mm²/s. ©2016 dipublikasikan oleh Bio-Edu.

1. Pendahuluan

Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) secara nasional mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Peningkatan laju konsumsi BBM tersebut diperparah lagi dengan semakin menurunnya kemampuan produksi minyak bumi di dalam negeri secara alami, sehingga perlu diambil langkah-langkah untuk mendapatkan sumber energi alternatif seperti biodiesel (Risnoyatningsih, 2010).

Biodiesel adalah bahan bakar minyak (BBM) yang dibuat dari bahan nabati berupa lemak atau minyak untuk digunakan pada mesin genset diesel, mobil atau otomotif lainnya. Biodiesel termasuk bahan energi yang dapat diperbaharui, karena dapat ditanam pada areal kehutanan, pertanian, lahan rakyat dan lain-lain. Biodiesel merupakan salah satu bentuk perubahan biomassa yang dapat mensubstitusi BBM yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi. Dalam suatu transesterifikasi atau reaksi alkoholisis satu mol gliserida bereaksi dengan tiga mol alkohol untuk membentuk satu mol gliserol dan tiga mol alkil ester asam lemak berikutnya. Proses tersebut merupakan suatu rangkaian dari reaksi reversibel (dapat balik), dimana molekul trigliserida diubah satu tahap demi tahap menjadi digliserida, monogliserida, dan gliserol (Prihandana & Handoko, 2006).

Beberapa jenis bahan bakar yang telah dikenal secara luas di dunia dan diaplikasikan dalam skala pilot dan komersial yaitu: minyak kacang kedelai dengan nama pasar SME (*Soybean-oil methyl Ester*) yang dikembangkan di Amerika, minyak biji lobak dengan nama pasar RME (*Rapeseed-oil Methyl Ester*) dikembangkan di Eropa dan Nikaragua, CME (*Coconut-oil Methyl Ester*) dikembangkan di Filipina dan POME (*Palm-oil methyl ester*) yang dikembangkan di Malaysia (Sudrajat dkk, 2005). Beberapa hasil pertanian yang mengandung minyak, seperti minyak sawit dan minyak jarak pagar (*Jatropha curcas* L) juga dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel. Minyak jarak mempunyai komposisi asam lemak yaitu asam oleat dan asam linoleat, asam palmitat dan asam stearat (Hambali, 2006).

Sebelum diaplikasikan pada berbagai mesin diesel terlebih dahulu harus diuji sifat fisika-kimia biodiesel sehingga biodiesel dapat bekerja efektif pada mesin. Beberapa sifat fisika-kimia yang menjadi standar mutu dari biodiesel adalah viskositas, densitas, bilangan asam, bilangan iodium dan bilangan penyabunan. Sifat-sifat fisika-kimia tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu rasio molar antara trigliserida dan alkohol, jenis alkohol yang digunakan pada reaksi transesterifikasi, jenis katalis yang digunakan, suhu reaksi, waktu reaksi, kandungan air dan kandungan asam lemak bebas pada bahan baku yang dapat menghambat reaksi (Hambali, 2006).

Berdasarkan uraian fakta pada latar belakang maka masalah yang dapat dirumuskan yaitu: Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi metanol terhadap sifat fisika-kimia biodiesel dan berapakah konsentrasi efektif metanol yang dapat menghasilkan biodiesel yang bermutu sesuai standar ASTM? Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi metanol terhadap sifat fisika-kimia biodiesel dan mengetahui konsentrasi efektif metanol yang dapat menghasilkan biodiesel yang bermutu sesuai standar ASTM.

2. Materi dan Metode

2.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan di Laboratorium Kimia FST Undana dan Laboratorium Perawatan dan Perbaikan Politeknik Kupang pada tahun 2007.

2.2 Bahan Dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Biji tanaman jarak, Metanol, Etanol 95%, KOH 0,1 N, Indikator pp, H₂SO₄ 2%, Larutan Urea 1%, CH₃COOH 0,05%, Na₂SO₄ anhidrous. Sedangkan alat-alat yang digunakan: Peralatan gelas, Labu leher dua, Thermometer, Refluks

kondensor, 1 set alat titrasi, penangas, corong pisah, piknometer, viskometer ostwald, Botol HDPE, Press Hidrolik.

2.3 Teknik Analisa Data

Rancangan penelitian yang digunakan adalah: Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan analisis keragaman satu arah, dan untuk mengetahui beda nyata taraf perlakuan dengan kontrol digunakan uji BNT (Beda Nyata Terkecil). Dengan variasi konsentrasi metanol yaitu 10, 20, 30, dan 40% (v/v) sebagai perlakuan dan pengukuran sifat fisika-kimia sebagai ulangan dengan jumlah ulangan 3 kali. (Sudrajat, 2005)

2.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu:

1. Proses Pembuatan Minyak Jarak

Biji jarak yang sudah terpisah dari kulitnya dibersihkan dari bahan-bahan yang tidak diinginkan, seperti sisa-sisa kulit luar, ranting-ranting, kerikil. Biji jarak yang sudah bersih dimasak pada suhu 80°C dibawah kondisi kedap udara. Setelah dimasak biji dikeringkan pada suhu 100°C. Biji Jarak yang telah dikeringkan diblender. Biji jarak yang sudah diblender dipres dengan press hidrolik dengan kekuatan 3-4 ton.

2. Proses Tahap 1 (Esterifikasi)

Urutan proses esterifikasi adalah sebagai berikut: Dilakukan pencampuran 10 ml metanol teknis dengan 1 ml katalis asam yaitu H₂SO₄ sebanyak 2% (v/v). Campuran tersebut dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi 50 ml minyak jarak pagar yang dilengkapi alat kondensor untuk mengkondensasi uap metanol, selanjutnya dipanaskan pada suhu 60°C selama 90 menit. Setelah itu, campuran hasil pemanasan selanjutnya dimasukkan ke dalam corong pemisah untuk memisahkan hasil samping dari metil ester (biodiesel) dan minyak jarak pagar. Campuran biodiesel dan minyak jarak pagar dicuci dengan larutan urea 1% sebanyak 9x50 ml, kemudian dicuci kembali dengan 2x50 ml air suling hangat, sehingga air terpisah yaitu pada bagian bawah campuran biodiesel dan minyak jarak pagar.

3. Proses Tahap 2 (Transesterifikasi)

Urutan proses transesterifikasi adalah sebagai berikut: Campuran biodiesel dan minyak jarak pagar dimasukkan ke dalam erlenmeyer asah 250 ml, kemudian dipanaskan hingga suhu mencapai 60°C. Dilakukan pencampuran antara metanol teknis dengan katalis KOH 0,3%. Banyaknya metanol teknis yang dicampur dengan KOH dibuat bervariasi yaitu: 10, 20, 30, dan 40%. Larutan dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi minyak jarak pagar dan dilengkapi dengan kondensor untuk mengkondensasi uap metanol. Campuran tersebut direaksikan dengan cara memanaskannya pada suhu 60°C selama 90 menit. Setelah berlangsung 90 menit biodiesel yang terbentuk dimasukkan ke dalam corong pemisah untuk memisahkan biodiesel dari gliserol. Biodiesel dicuci dengan larutan CH₃COOH 0,05% sebanyak 2x50 ml dan dilanjutkan dengan pencucian menggunakan air suling hangat sebanyak 2x50 ml, sehingga air terpisah yaitu pada bagian bawah dari campuran biodiesel dan minyak jarak pagar. Untuk menghilangkan molekul air yang masih terdapat di dalam biodiesel dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring yang sudah dibubuhi Na₂SO₄ anhidrat (Sudrajat, 2005).

4. Uji Sifat Fisika-Kimia Biodiesel

Pengujian sifat fisika-kimia biodiesel adalah: viskositas (kekentalan), kerapatan, bilangan asam.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengepresan Minyak

Hasil pengepresan biji jarak diperoleh minyak sebanyak 380 ml dan rendemennya 12,5%. Rendemen hasil penelitian ini masih berada di bawah standar ASTM yakni 38%. Hal ini disebabkan karena proses yang dilakukan dalam penelitian ini masih sangat sederhana. Minyak yang dihasilkan ditentukan kualitasnya dengan pengujian sifat fisika-kimia yang meliputi : kerapatan, kekentalan, bilangan asam, kejernihannya.

Tabel 1. Karakteristik Minyak Jarak Hasil Pengepresan

No	Karakteristik	Satuan	Nilai	
			Hasil Penelitian	ASTM-D90
1.	Densitas	g/ml (20°C)	0,9182	0,9177
2.	Viskositas	Mm ² /s (40°C)	11,24	1,96 – 6,5
3.	Bilangan asam	Mg KOH/g	6,23	4,75
4.	Rendemen minyak	%	12,5	38
5.	Kejernihan		Agak Keruh	Jernih

Kerapatan minyak yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu 0,9182 g/ml. Nilai ini mendekati standar ASTM yaitu 0,9177 g/ml. Kekentalan minyak yang dihasilkan yaitu 11,24 mm²/s. Nilainya masih sangat tinggi dari standar ASTM yaitu berkisar antara 1,96 – 6,5 mm²/s. Sedangkan bilangan asam yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu 6,23 mg KOH/g. Nilai ini juga masih sangat tinggi dari standar ASTM yaitu sebesar 4,75 mg KOH/g.

Oleh karena itu, perlu diadakan perlakuan selanjutnya (Esterifikasi -Transesterifikasi) yang dapat menurunkan kekentalan minyak tersebut dan juga menurunkan kadar asam lemak bebas dalam minyak. pengukuran kerapatan dilakukan karena berhubungan dengan pengukuran kekentalan, dimana semakin besar kekentalan maka semakin kecil bobot jenis minyak. Hal ini akan menyebabkan atomisasi bahan bakar semakin berkurang.

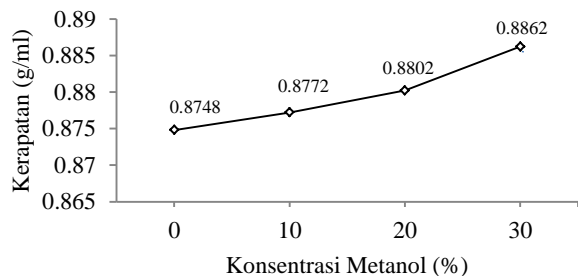
3.2 Pengaruh Konsentrasi Metanol Terhadap Kerapatan

Hasil perlakuan konsentrasi metanol terhadap minyak diperoleh nilai kerapatan biodiesel yang bervariasi antara 0,871 - 0,890 g/ml. Analisis keragaman menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi methanol berpengaruh nyata terhadap kerapatan. Uji BNT yang membandingkan tiap perlakuan konsentrasi metanol dengan kontrol menunjukkan bahwa ada beda sangat nyata terhadap kerapatan.

Berdasarkan perhitungan terlihat bahwa rata-rata angka kerapatan dari masing-masing konsentrasi berada pada range angka kerapatan standar. Namun nilai kerapatan sebesar 0,8802 g/ml pada konsentrasi metanol 30% lebih efektif karena nilai kerapatannya sesuai dengan penelitian sebelumnya yang disimpulkan oleh Andi (2006) yaitu sebesar 0,880 g/ml.

Hasil perhitungan uji F menunjukkan bahwa F hitung > F tabel, karena F hitung > F tabel (5,328 > 4,07) maka Ho ditolak artinya ada pengaruh variasi konsentrasi metanol terhadap kerapatan.

Pengaruh Variasi Konsentrasi Metanol terhadap Kerapatan



Gambar 2. Hubungan antara konsentrasi metanol dengan kerapatan

Pengaruh konsentrasi metanol terhadap kerapatan dapat dinyatakan dalam bentuk grafik seperti disajikan pada gambar 2. Grafik tersebut menunjukkan, bahwa peningkatan konsentrasi metanol cenderung meningkatkan kerapatan. Hal ini disebabkan pembentukan metil ester yang meningkat seiring dengan semakin tingginya konsentrasi metanol.

3.3 Pengaruh Konsentrasi Metanol Terhadap Kekentalan

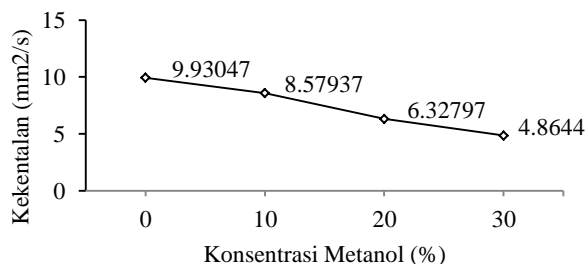
Kekentalan biodiesel bervariasi antara : 4,8 – 10,1 mm²/s. Analisa keragaman menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi metanol berpengaruh nyata terhadap kekentalan. Hasil uji BNT yang membandingkan tiap perlakuan konsentrasi metanol dengan kontrol menunjukkan bahwa ada beda sangat nyata terhadap kekentalan sehingga

dapat disimpulkan bahwa pengaruh peningkatan konsentrasi metanol cenderung menurunkan kekentalan metil ester.

Semakin cepat waktu alir suatu cairan, maka kekentalan akan semakin rendah. Kekentalan akan berbanding terbalik dengan waktu alir. Berdasarkan pengolahan data menunjukkan bahwa kekentalan pada konsentrasi metanol 30% (v/v) (kondisi efisien) karena mendekati standar dan masih rendah dari biodiesel komersial yang ada di pasaran. Tetapi kekentalan hasil penelitian ini tidak bisa dibandingkan dengan standar ASTM karena pemakaian alat yang berbeda. Sebab jika kekentalan biodiesel atau minyak nabati tinggi maka akan mengurangi atomisasi bahan bakar meningkatkan penetrasi semprot bahan bakar, yang akan mengakibatkan deposit mesin yang tinggi serta penebalan minyak pelumas.

Hasil perhitungan uji F menunjukkan bahwa F hitung > F tabel, karena F hitung > F tabel (835,32 > 4,07) maka Ho ditolak artinya ada pengaruh variasi konsentrasi metanol terhadap kekentalan.

Pengaruh Variasi Konsentrasi Metanol terhadap Kekentalan



Gambar 3. Hubungan Antara Konsentrasi Metanol Dan Kekentalan

Pengaruh konsentrasi metanol terhadap kekentalan dapat dinyatakan dalam bentuk grafik seperti disajikan pada gambar 3. Grafik tersebut menunjukkan, bahwa peningkatan konsentrasi metanol cenderung menurunkan kekentalan. Berarti variasi konsentrasi metanol mampu mengkonversi asam lemak bebas dan trigliserida menjadi metil ester.

3.4 Pengaruh Konsentrasi Metanol Terhadap Bilangan Asam

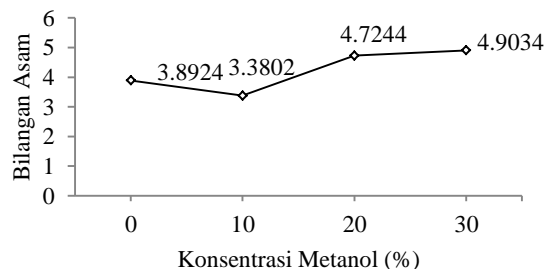
Bilangan asam bervariasi antara 3,1-5,0 mg KOH/g. Analisa keragaman menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi metanol berpengaruh nyata terhadap bilangan asam. Selanjutnya hasil analisa BNT yang membandingkan tiap perlakuan konsentrasi metanol dengan kontrol menunjukkan bahwa ada beda nyata pada perlakuan 20% dengan kontrol. Tetapi pada perlakuan 10, 30 dan 40 % tidak berbeda nyata, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh peningkatan konsentrasi metanol mula-mula cenderung menurunkan bilangan asam dan selanjutnya mengalami peningkatan.

Bilangan asam menunjukkan banyaknya kandungan asam lemak bebas yang ada di dalam biodiesel. Selain itu bilangan asam merupakan salah satu parameter uji kualitas dari biodiesel. Menurut standar dari ASTM bilangan asam maksimum yang diperbolehkan untuk biodiesel adalah 4,75. Apabila standar tersebut dibandingkan dengan bilangan asam biodiesel pada konsentrasi metanol 30 % (v/v) yaitu 4,72, maka nilai tersebut lebih rendah dari standar ASTM dan mendekati standar yang diinginkan. Ini berarti bilangan asam hasil penelitian ini telah memenuhi standar ASTM.

Hasil perhitungan uji F menunjukkan bahwa F hitung > F tabel, karena F hitung > F tabel (71,3073 > 4,47) maka Ho ditolak artinya ada pengaruh variasi konsentrasi metanol terhadap bilangan asam.

Pengaruh konsentrasi metanol terhadap bilangan asam dapat dinyatakan dalam bentuk grafik yang disajikan pada gambar 3. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi metanol mula-mula cenderung menurunkan bilangan asam dan selanjutnya menyebabkan peningkatan.

Pengaruh Variasi Konsentrasi Metanol terhadap Bilangan Asam



Gambar 4. Hubungan antara konsentrasi metanol dengan bilangan asam

Perlakuan konsentrasi metanol dan katalis asam diperlukan untuk menghidrolisis asam-asam lemak bebas didalam biodiesel sehingga akan menurunkan bilangan asam biodiesel. Sebab jika bilangan asam rendah maka pHnya akan naik dan sifat korosinya menurun.

3.5 Pemeriksaan Visual

Pemeriksaan visual terhadap lapisan hasil reaksi dapat menunjukkan reaksi biodiesel berhasil atau tidak. Hasil reaksi yang berhasil akan membentuk 2 lapisan yang berbeda. Lapisan atas adalah 80-90% dari produk dan warnanya lebih terang daripada lapisan dasar. Lapisan bawah 0-20% dari produk. Dari hasil reaksi pada penelitian ini dapat dilihat bahwa campuran membentuk 2 lapisan yang berbeda. Lapisan atas adalah produk dan warnanya lebih terang (kuning gading) sedangkan lapisan dasar adalah hasil samping dan warnanya jauh lebih gelap (putih keruh). Lapisan atas tersebut adalah biodiesel atau ester. Lapisan bawah merupakan campuran dari gliserol, katalis dan alkohol (Alam Syah & Andy, 2006).

3.6 Reaksi Esterifikasi – Transesterifikasi

Secara umum, reaksi esterifikasi adalah reaksi langsung antara suatu asam karboksilat dan suatu alkohol, serta berkatalis asam dan merupakan reaksi yang reversibel. Proses esterifikasi dilakukan juga dengan maksud untuk menghilangkan asam lemak bebas dengan jalan mengkonversinya menjadi metil ester. Katalis yang digunakan adalah katalis asam (H_2SO_4 2%) dan bukan katalis basa (KOH), dengan maksud untuk menghindari terjadinya reaksi asam lemak dengan KOH yang akan membentuk sabun (saponifikasi). Esterifikasi suatu asam karboksilat berlangsung melalui serangkaian tahap yaitu transfer proton dari katalis asam ke atom oksigen karbonil, sehingga meningkatkan elektrofilitas dari atom karbon karbonil. Atom karbon karbonil kemudian diserang oleh atom oksigen dari alkohol, yang bersifat nukleofilik sehingga terbentuk ion oksonium. Selanjutnya terjadi pelepasan proton dari gugus hidroksil milik alkohol, menghasilkan kompleks teraktivasi. Protonasi terhadap salah satu gugus hidroksil, yang diikuti oleh pelepasan molekul air akan menghasilkan ester yang dikehendaki.

Sedangkan proses transesterifikasi yaitu pertukaran bagian alkohol dari suatu ester dalam larutan asam atau basa oleh suatu reaksi reversibel antara ester dan alkohol. Setelah asam lemak bebas dikonversi menjadi metil ester, maka yang tersisa dalam minyak jarak pagar adalah metil ester dan trigliserida sehingga proses esterifikasi dilanjutkan dengan transesterifikasi dengan tujuan untuk mengkonversi trigliserida dalam minyak jarak pagar menjadi metil ester. Katalis yang digunakan adalah katalis basa yaitu KOH 0,3% agar reaksi cenderung lebih cepat dibandingkan menggunakan katalis asam.

Dari hasil uji sifat fisika kimia diperoleh hasil yaitu terjadi penurunan bilangan asam sangat signifikan yaitu dari 6,23 - 3,3 mg KOH/g, kekentalan turun dari 11,24 - 4,86 mm²/s, serta kerapatan berkurang dari 0,91 - 0,87 g/ml. Berarti penggunaan variasi konsentrasi metanol pada penelitian ini mampu mengkonversi asam lemak bebas dan trigliserida menjadi metil ester serta konsentrasi yang sifat fisika-kimianya mendekati standar yaitu konsentrasi metanol 30%.

4 Simpulan

- Proses esterifikasi dan transesterifikasi berhasil mengkonversi asam lemak bebas dan trigliserida yang ada dalam minyak jarak secara optimal menjadi metil ester. Hal tersebut ditandai dengan menurunnya nilai bilangan asam dan kekentalan serta nilainya memenuhi standar ASTM dan biodiesel komersial.
- Konsentrasi metanol 30 % pada proses esterifikasi dan transesterifikasi adalah paling efektif karena menghasilkan biodiesel yang mendekati standar ASTM yaitu: Kerapatan sebesar 0,8802 g/ml, Kekentalan sebesar 6,32 mm²/s dan Bilangan asam sebesar 4,72 mg KOH/g, sedangkan standar ASTM ketiga sifat fisika-kimia tersebut yaitu: Kerapatan sebesar 0,86-0,90 g/ml, Kekentalan sebesar 1,9-6,0 mm²/s dan Bilangan asam sebesar 4,75 mgKOH/g.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka ada beberapa saran untuk pengembangan penelitian ini di masa mendatang antara lain : Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memperkecil interval perlakuan (konsentrasi metanol) dan sebagai peluang untuk terus menggali potensi sumber daya alam yang ada di Indonesia khususnya di NTT perlu ditingkatkan dengan melakukan penelitian-penelitian yang bersifat aplikatif demi pengembangan IPTEK.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Kimia FST Undana dan Laboratorium Perawatan dan Perbaikan Politeknik Kupang atas izin penggunaan fasilitas laboratorium selama penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada Pemerintah daerah Kabupaten Timor Tengah Utara atas bantuan dana demi kelancaran selama penelitian.

PUSTAKA

- Alam Syah, Andy N., 2006. *Biodiesel Jarak Pagar*. PT Agro Media Pustaka. Jakarta. Indonesia.
- Hambali, E., 2006. *Jarak Pagar tanaman Penghasil Biodiesel*. Penebar Swadaya. Jakarta. Indonesia.
- Lele, S. A. Almad., 2005. *Chemical Analysis Of Jatropha oil Jatropha curcas L.*, Sai Petrochemicals Pvt Ltd. Mumbai. India.
- Prihandana, R. Handoko, R., 2006. *Petunjuk Budidaya Jarak Pagar*. Agromedia Pustaka. Jakarta. Indonesia.
- Sudradjat, R., Hendra A., W, Iskandar., D, Setiawan. 2005. *Teknologi Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Tanaman Jarak Pagar*, *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*. PLTHH. Bogor. Indonesia.
- Susilo, B., 2006. *Pemanfaatan Biji Jarak Pagar Sebagai Alternatif Bahan Bakar*. Trubus Agrisarana Surabaya. Indonesia.