

# Studi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa (*Coconut Oil*) dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik

Sri Kembaryanti Putri<sup>1,\*</sup>, Supranto<sup>2</sup>, Rahman Sudiyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknologi Pangan, Politeknik Pertanian Universitas Andalas

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

## Abstract

Biodiesel is produced by methanolysis of various vegetable oils such as coconut oil, palm oil, seed oil, soybean oil, etc. Coconut oil has the potential as a raw material for making biodiesel due its abundant availability. The use of the ultrasonic waves can increase conversion and reaction rate. The objective of this study was to study the effect of the use of ultrasonic waves on the transesterification of coconut oil, the ratio of reactants, catalyst concentration, and activation of methanol on the reaction conversion.

Sodium hydroxide catalyst with a specific weight was dissolved in methanol with a certain volume. After dissolution was completed, the reactants including coconut oil with a certain volume were put into the reactor, and reaction was then started. Samples were taken every 10 minute intervals for analysis of fatty acids. The reaction was stopped after 60 minutes. Furthermore, biodiesel was separated from glycerol and purified.

Experimental results showed that transesterification of coconut oil could be improved with the help of ultrasonic waves. The obtained conversion was 4 times higher (85,66%) than the conversions generated in the conventional process (20,15%) The process was done in the same condition which was the ratio of reactants of 5 mgek methanol / mgek oil, catalyst 1% by weight oil and the initial reaction temperature of 60°C. The greater the ratio of methanol-oil equivalent, the higher reaction conversion is.

**Keywords:** biodiesel, coconut oil, transesterification, ultrasonic wave, reaction rate constant

## Abstrak

Biodiesel dapat dibuat melalui proses metanolisis berbagai minyak nabati seperti minyak kelapa, minyak kelapa sawit, minyak kedelai dan lain-lain. Minyak kelapa memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel karena ketersediaannya yang berlimpah. Gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk meningkatkan konversi reaksi dan mempercepat laju reaksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh penggunaan gelombang ultrasonik dalam proses transesterifikasi minyak kelapa, perbandingan pereaksi, konsentrasi katalisator dan aktivasi metanol terhadap konversi reaksi.

Katalisator natrium hidroksida dengan berat tertentu dilarutkan di dalam metanol dalam volum tertentu. Setelah terlarut sempurna bersamaan dengan minyak kelapa dimasukkan ke dalam reaktor dan reaksi dijalankan. Sampel diambil setiap interval 10 menit untuk dianalisis kandungan asam lemaknya. Reaksi dihentikan setelah mencapai waktu 60 menit. Setelah itu, biodiesel yang terbentuk dipisahkan dari gliserol dan dimurnikan.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa transesterifikasi minyak kelapa dapat dipacu dengan bantuan gelombang ultrasonik. Konversi reaksi yang dicapai empat kali lebih besar (85,66%) dibandingkan dengan konversi pada proses konvensional (20,15%). Proses dilakukan pada kondisi operasi yang sama; perbandingan pereaksi 5 mgek metanol/mgek minyak, 1% berat katalisator, dan suhu awal reaksi 60°C. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi perbandingan ekivalen metanol-minyak, semakin tinggi konversi reaksi yang dicapai.

**Kata kunci:** biodiesel, minyak kelapa, transesterifikasi, gelombang ultrasonik, tetapan laju reaksi

## Pendahuluan

Biodiesel secara umum didefinisikan sebagai ester monoalkil dari minyak tanaman dan lemak hewan. Minyak yang berasal dari tumbuhan dan lemak hewan serta turunannya mempunyai kemungkinan sebagai pengganti bahan bakar diesel (Srivastava dan Prasad, 2000).

Biodiesel memiliki sifat fisis yang sama dengan minyak solar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk kendaraan bermesin diesel. Dibanding bahan bakar solar, biodiesel memiliki beberapa keunggulan, yaitu: (i) biodiesel diproduksi dari bahan pertanian, sehingga dapat diperbaharui, (ii) memiliki bilangan cetane yang tinggi, (iii) ramah lingkungan karena biodiesel tidak mengandung sulfur sehingga tidak ada emisi SO<sub>x</sub>, (iv) aman dalam penyimpanan dan transportasi karena tidak

\* Alamat korespondensi: e-mail: anggah\_ei@yahoo.com

mengandung racun. Biodiesel tidak mudah terbakar karena memiliki titik bakar yang relatif tinggi, (v) meningkatkan nilai produk pertanian Indonesia, (vi) memungkinkan diproduksi dalam skala kecil menengah sehingga bisa diproduksi di pedesaan, (vii) menurunkan ketergantungan suplai minyak dari negara asing dan (viii) biodegradabel: jauh lebih mudah terurai oleh mikroorganisme dibandingkan minyak mineral (Susilo, 2006, Georgogianni dkk, 2007).

Biodiesel dihasilkan melalui proses transesterifikasi minyak atau lemak dengan alkohol. Gugus alkil dalam alkohol akan menggantikan gugus hidroksil pada struktur ester minyak dengan dibantu katalis. NaOH dan KOH adalah katalis yang umum digunakan. Alkohol yang dapat digunakan antara lain metanol, etanol, propanol, butanol dan amil alkohol (Ma dan Hanna, 1999; Pramanik, 2003).

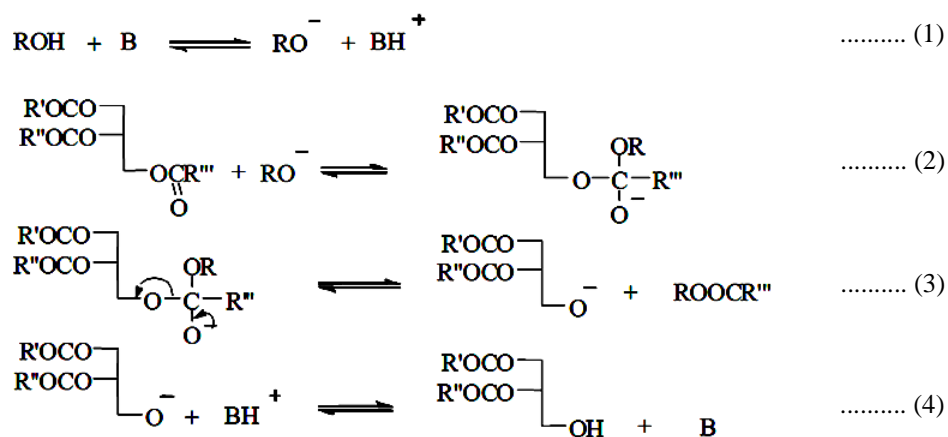
Mekanisme transesterifikasi minyak nabati dengan katalis basa terlihat pada Gambar 1. Keseluruhan proses merupakan suatu rangkaian tiga urutan reaksi dan merupakan reaksi reversibel, dimana di- dan monogliserida dihasilkan sebagai *intermediate*. Tahap pertama (Persamaan 1) adalah reaksi antara basa dengan alkohol menghasilkan alkoksida dan katalis terprotonasi. Serangan nukleofilik dari alkoksida pada gugus karbonil dari trigliserida menghasilkan sebuah intermediet (Persamaan 2), alkil ester dan anion trigliserida terbentuk (Persamaan 3). Pada tahap akhir akan terjadi deprotonasi dari katalis, yang selanjutnya menghasilkan katalis aktif yang baru (Persamaan 4), katalis tersebut bereaksi kembali dengan molekul alkohol lainnya, sampai terbentuk monogliserida dan mengalami reaksi yang sama hingga menghasilkan alkil ester dan gliserol (Schuchardt dkk, 1998).

Penggunaan gelombang ultrasonik memberikan pengaruh positif untuk menaikkan produk metil ester. Pencampuran dengan menggunakan ultrasonik lebih baik dibandingkan dengan menggunakan pengadukan karena adanya efek kavitasi (Mahamuni dan Adewuyi, 2009; Deshmane dkk, 2009; Santos dkk, 2009). Kecepatan reaksi meningkat karena efek kavitasi, termal, dan mekanik yang dihasilkan gelombang ultrasonik yang memberikan energi yang sangat besar. Peningkatan laju reaksi akan menghasilkan konversi pembentukan biodiesel yang lebih tinggi dan proses berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan proses tanpa penggunaan ultrasonik.

Efek termal merupakan absorpsi energi gelombang ultrasonik yang menyebabkan suhu medium meningkat. Besar absorpsi energi gelombang ultrasonik ini tergantung pada viskositas, massa jenis, dan impedansi medium, serta frekuensi gelombang yang diberikan. Gelombang ultrasonik yang melalui medium juga mengalami pengurangan energi, karena sebagian energinya diabsorpsi oleh medium akibatnya suhu medium meningkat (Sabbagha, 1980).

Kavitasi adalah salah satu efek akibat adanya gelombang ultrasonik di dalam cairan. Jika pada cairan diradiasikan gelombang ultrasonik maka tekanan cairan tersebut akan bertambah pada saat gelombang ultrasonik mempunyai amplitudo positif dan akan berkurang pada saat amplitudo negatif. Akibat perubahan tekanan ini maka gelembung-gelembung gas yang biasanya ada dalam cairan akan terkompresi pada saat tekanan cairan naik dan terekspansi pada saat tekanan turun.

Bila amplitudo gelombang ultrasonik cukup besar maka gelembung tersebut akan pecah pada saat kompresi, yaitu pada saat tekanan di luar gelembung besar untuk memecahkan gelembung



Gambar 1. Mekanisme Reaksi Transesterifikasi dengan katalis basa.

yang sebelumnya sudah berukuran maksimum (mengembang saat ekspansi). Pecahnya gelembung ini akan menghasilkan gelombang kejut (*shock waves*) karena terjadi pada tekanan yang besar (Trisnobudi, 2001).

Efek mekanik terjadi akibat gelombang ultrasonik yang merambat di dalam medium yang mengakibatkan adanya getaran partikel di dalam medium itu. Getaran ini terjadi pada semua intensitas, sehingga dapat menyebabkan efek mekanik terhadap partikel di dalam medium. Efek mekanik ini dapat menimbulkan percepatan partikel (Sabbagha, 1980).

Berbagai sumber minyak/lemak dapat dijadikan sebagai bahan baku biodiesel, antara lain minyak kelapa, minyak sawit, minyak biji jarak, minyak kedelai, dan sebagainya. Di Indonesia saat ini sedang dikembangkan bahan bakar alternatif dari minyak biji jarak, minyak sawit dan minyak kelapa.

Penelitian tentang biodiesel dengan ultrasonik yang pernah dilakukan adalah pembentukan biodiesel dari minyak kedelai dan etanol dengan katalis natrium hidroksida menggunakan *digital sonofier power supply* 80 – 100 kHz daya 120 W (Jose dkk, 2005) dan pembuatan biodiesel dari destilat asam lemak minyak sawit dan metanol dengan katalis natrium hidroksida menggunakan *ultrasonic bath procured* 50 kHz dan 120 W (Deshmane dkk, 2008).

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh gelombang ultrasonik terhadap konversi pada pembuatan biodiesel dari minyak kelapa dan metanol. Katalis yang digunakan adalah natrium hidroksida dan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 42 kHz dan daya 35 W.

### Metode Penelitian

Bahan yang digunakan pada pembuatan biodiesel adalah minyak kelapa dengan kandungan asam lemak 4,3546 mg/kg, densitas 0,9263 g/ml dan kandungan air 0,1 %-vol. Metanol (teknis) dengan kadar 96,02% (GC) dan densitas 0,7687 g/ml. Natrium hidroksida (NaOH) berbentuk padatan.

Penelitian ini dilakukan dengan melarutkan katalis natrium hidroksida dengan berat tertentu dalam metanol dengan volume tertentu. Setelah larut dimasukkan ke dalam reaktor bersamaan dengan minyak kelapa dengan volume tertentu. Reaktor dijalankan. Pengambilan sampel dilakukan setiap selang waktu 10 menit untuk dianalisa asam lemak. Reaksi dihentikan setelah

60 menit. Percobaan diulangi untuk mempelajari pengaruh perbandingan reaktan dan konsentrasi katalis.

Pembuatan biodiesel dengan ultrasonik untuk melihat pengaruh aktivasi metanol dilakukan dengan mengaktifkan campuran metanol-katalis dalam reaktor ultrasonik pada berbagai variasi waktu. Setelah itu minyak kelapa dimasukkan ke dalam reaktor dan reaksi dijalankan selama 60 menit.

Pengaruh suhu awal reaksi dilihat dengan melakukan proses yang sama dengan perbandingan reaktan. Sebelum direaksikan dalam reaktor ultrasonik, masing-masing campuran metanol dan minyak kelapa dipanaskan secara terpisah pada variasi suhu tertentu. Setelah itu direaksikan dalam reaktor selama 60 menit.

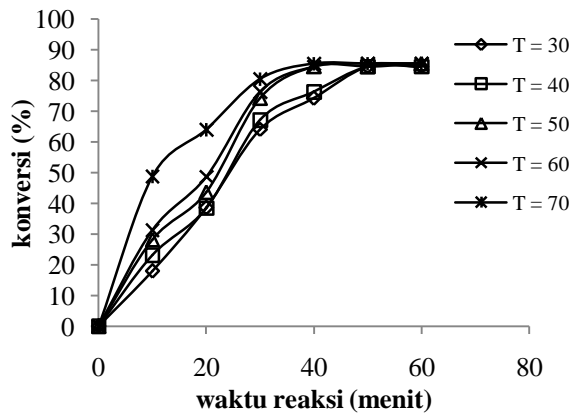
Pembuatan biodiesel dengan reaktor *batch* dilakukan sebagai pembandingan terhadap pembuatan biodiesel dengan bantuan gelombang ultrasonik. Proses pembuatan biodiesel secara konvensional dilakukan dengan cara yang sama dengan pengaruh suhu awal reaksi. Perbedaannya adalah suhu pemanasan awal tetap (tidak divariasikan) dan reaktor yang digunakan adalah reaktor *batch* tersirkulasi. Biodiesel yang dihasilkan pada setiap proses kemudian dipisahkan dan dimurnikan.

## Hasil dan Pembahasan

### Pengaruh Suhu Awal Reaksi

Pengaruh suhu awal reaksi dipelajari dengan melakukan penelitian pada suhu awal reaksi 30, 40, 50, 60 dan 70°C. Proses pembuatan biodiesel dengan bantuan gelombang ultrasonik ini dilakukan pada frekuensi 42 kHz, daya 35 watt dan 220 volt, perbandingan reaktan 5 mg/kg metanol/mg/kg minyak, katalis 1 % dan lama reaksi 60 menit. Hubungan waktu reaksi dengan konversi pada berbagai suhu awal reaksi dapat dilihat pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa untuk waktu reaksi yang sama semakin tinggi suhu awal reaksi maka konversi reaksi semakin tinggi. Semakin tinggi suhu awal reaksi semakin singkat waktu reaksi yang dibutuhkan untuk mencapai konversi kesetimbangan. Pada suhu awal 30 dan 40°C, kesetimbangan tercapai pada menit ke- 50. Pada suhu awal reaksi 50 dan 60°C, kesetimbangan tercapai pada menit ke-40. Sedangkan pada suhu awal reaksi 70°C, untuk mencapai kesetimbangan hanya diperlukan waktu reaksi 30 menit. Untuk semua variasi suhu awal yang dilakukan, suhu akhir reaksi sama yaitu 70°C.



Gambar 2. Hubungan waktu reaksi dengan konversi pada berbagai suhu awal reaksi (RE = 5 mgek metanol/mgek minyak, w = 1%, t = 60 menit, f = 42 kHz, P = 35W).

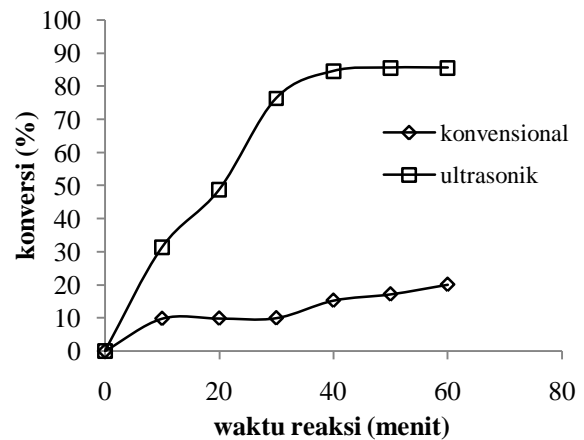
Pada Gambar 2 juga terlihat bahwa semakin tinggi suhu awal reaksi, maka semakin cepat laju reaksi, khususnya di saat awal reaksi. Hal ini ditandai dengan besarnya perubahan konversi terhadap waktu di saat-saat awal reaksi. Semakin tinggi suhu reaksi, maka semakin tinggi intensitas tumbukan antar molekul pereaksi yang memiliki tingkat energi yang dapat mengatasi energi aktivasi reaksi. Pada Gambar 2 terlihat bahwa kenaikan konversi pada suhu reaksi 60 dan 70°C setelah reaksi berlangsung 40 menit tidak signifikan. Oleh karena itu, pada percobaan-percobaan berikutnya reaksi dijalankan pada suhu 60°C.

**Perbandingan Konversi Konvensional dan Ultrasonik**

Perbandingan proses konvensional dan proses ultrasonik dipelajari dengan melakukan penelitian dengan perbandingan reaktan 5 mgek/mgek, katalis 1%, suhu awal 60°C dan waktu reaksi 60 menit. Hasil perbandingan kedua proses dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa proses pembuatan biodiesel dengan menggunakan gelombang ultrasonik menghasilkan konversi yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses pembuatan secara konvensional. Gambar 3 menunjukkan bahwa penggunaan gelombang ultrasonik dapat membantu mempercepat terjadinya proses transesterifikasi minyak kelapa dan metanol. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh kavitasi dan termal yang dihasilkan gelombang ultrasonik dapat memberikan energi yang besar kepada molekul-molekul pereaksi untuk mengatasi energi aktivasi reaksi sehingga kecepatan reaksi meningkat. Peningkatan laju

reaksi akan menghasilkan konversi pembentukan metil ester yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih pendek dibandingkan dengan proses tanpa menggunakan gelombang ultrasonik (konvensional).

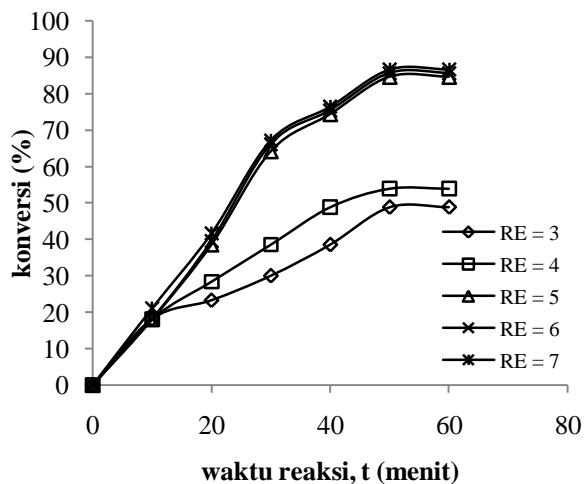


Gambar 3. Hubungan waktu reaksi dengan konversi antara proses konvensional dengan ultrasonik.

**Pengaruh Perbandingan Reaktan**

Proses pembuatan biodiesel dengan bantuan gelombang ultrasonik ini dilakukan pada frekuensi 42 kHz, daya 35 watt dan 220 volt, katalis 1 %, suhu awal reaksi 30°C dan lama reaksi 60 menit. Pengaruh perbandingan reaktan metanol-minyak yang dipelajari adalah 3, 4, 5, 6, dan 7 mgek/mgek. Hubungan antara waktu reaksi dan konversi pada berbagai perbandingan reaktan disajikan pada Gambar 4. Terlihat bahwa semakin besar perbandingan ekivalen metanol-minyak, konversi reaksi meningkat. Hal ini karena peluang terjadinya tumbukan antara reaktan semakin besar sehingga pada waktu reaksi yang sama akan menghasilkan konversi yang lebih besar pula. Selain itu, semakin tinggi perbandingan reaktan akan menggeser kesetimbangan reaksi ke kanan sehingga pembentukan produk semakin banyak. Kelebihan metanol diperlukan agar reaksi berjalan searah (reaksi *irreversible*).

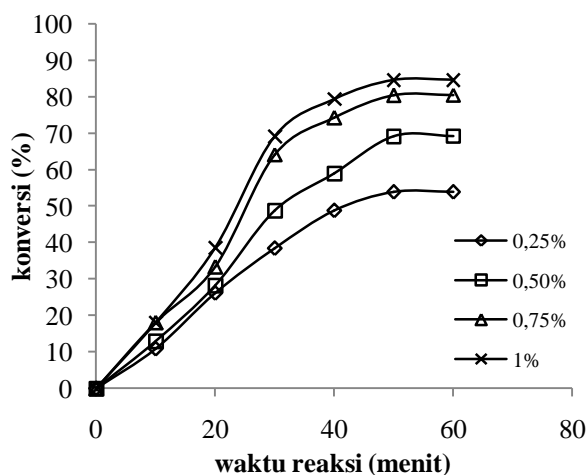
Gambar 4 juga menunjukkan bahwa pada perbandingan reaktan 3 sampai 5 kenaikan konversi signifikan. Sementara itu pada perbandingan reaktan 5 sampai 7 terjadi kenaikan tetapi tidak signifikan seperti pada perbandingan 3 sampai 5. Hal ini karena pada perbandingan reaktan 5 sudah mencapai konversi maksimum.



Gambar 4. Hubungan waktu reaksi dengan konversi pada berbagai perbandingan pereaksi ( $w = 1\%$ , suhu awal =  $30^\circ\text{C}$ ,  $t = 60$  menit,  $f = 42$  kHz,  $P = 35\text{W}$ ).

### Pengaruh Konsentrasi Katalis

Pengaruh konsentrasi katalis pada pembuatan biodiesel dengan bantuan gelombang ultrasonik dipelajari dengan melakukan penelitian dengan perbandingan pereaksi 5 mgek/mgek dan konsentrasi katalis 0,25; 0,5; 0,75 dan 1% dari berat minyak. Frekuensi gelombang ultrasonik yang digunakan adalah 42 kHz, daya 35 watt dan 220 volt, suhu awal reaksi  $30^\circ\text{C}$  dan lama reaksi 60 menit. Hubungan antara waktu reaksi dengan konversi pada berbagai konsentrasi katalis disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan waktu reaksi dengan konversi pada berbagai konsentrasi katalis ( $\text{RE} = 5$  mgek metanol/mgek minyak, suhu awal =  $30^\circ\text{C}$ ,  $t = 60$  menit,  $f = 42$  kHz,  $P = 35\text{W}$ ).

Dari Gambar 5 terlihat bahwa konversi meningkat dengan naiknya konsentrasi katalis. Katalis akan bereaksi dengan metanol membentuk ion metoksida. Ion ini akan bereaksi dengan minyak kelapa menghasilkan metil ester

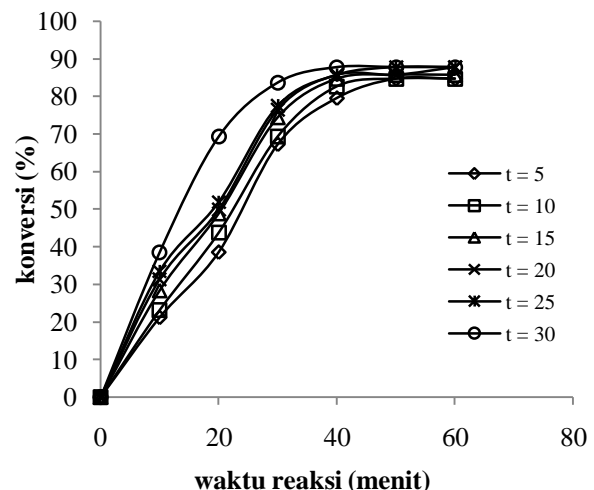
(biodiesel). Semakin banyak katalis yang digunakan maka semakin banyak ion metoksida yang terbentuk dan semakin besar peluang konversi minyak kelapa menjadi biodiesel.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa kenaikan konversi terjadi dari awal reaksi sampai 50 menit. Pada reaksi 50 dan 60 menit konversi reaksi relatif konstan. Hal ini dapat disebabkan keaktifan katalis yang menurun sehingga katalis tidak mampu lagi mengaktivasi zat-zat yang bereaksi. Faktor lainnya adalah mulai tercapainya konversi kesetimbangan sehingga katalis tidak lagi mempengaruhi konversi.

### Pengaruh Waktu Aktivasi Metanol

Aktivasi metanol dilakukan dengan menggunakan gelombang ultrasonik. Pengaruh waktu aktivasi metanol yang dipelajari adalah 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 menit dengan menggunakan perbandingan reaktan 5 mgek/mgek, katalis 1%, suhu awal reaksi  $60^\circ\text{C}$ , frekuensi gelombang 42 kHz, daya 35 watt waktu reaksi 60 menit.

Aktivasi metanol dilakukan untuk mempercepat terbentuknya nukleofil ion metoksida reaktif dari hasil reaksi antara metanol dengan katalis natrium hidroksida. Selanjutnya terjadi reaksi transesterifikasi antara minyak kelapa dengan metanol yang telah diaktivasi. Hubungan antara waktu reaksi dan konversi pada berbagai waktu aktivasi disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan waktu reaksi dengan konversi pada berbagai waktu aktivasi metanol ( $\text{RE} = 5$  mgek metanol/mgek minyak,  $w = 1\%$ , suhu awal =  $30^\circ\text{C}$ ,  $t = 60$  menit,  $f = 42$  kHz,  $P = 35\text{W}$ ).

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu aktivasi akan meningkatkan konversi reaksi. Konversi tertinggi 87,72% dihasilkan

dengan waktu aktivasi 30 menit. Aktivasi metanol dilakukan agar semua bereaksi dengan metanol sehingga tidak ada lagi katalis yang bereaksi dengan asam lemak membentuk sabun. Sabun yang dihasilkan akan menurunkan konversi biodiesel.

### Kesimpulan

Reaksi transesterifikasi minyak kelapa dapat dilakukan dengan bantuan gelombang ultrasonik. Konversi yang dihasilkan adalah 85,66% dalam waktu 60 menit. Konversi ini jauh lebih besar dibandingkan konversi yang dihasilkan pada proses pembuatan konvensional yaitu 20,15% untuk kondisi proses yang sama yaitu perbandingan pereaksi 5 mg/kg metanol/mg/kg minyak, katalis 1% berat minyak dan suhu awal reaksi 60°C. Semakin besar perbandingan ekivalen metanol-minyak, konversi reaksi meningkat. Demikian juga dengan konsentrasi katalis, konversi meningkat dengan naiknya konsentrasi katalis. Semakin lama waktu aktivasi metanol akan menghasilkan konversi yang lebih tinggi.

### Daftar Pustaka

- Deshmane, V. G., Gogate, P. R., dan Pandit, A. B., 2009. Ultrasound-Assisted Synthesis of Biodiesel from Palm Fatty Acid Distillate, *Ind. Eng. Chem. Res.* 48, 7923-7927.
- Georgogianni, K. G., Kontiminas, M. G., Tegou, E., Avlonitis, D., dan Gergis, V., 2007. Biodiesel Production: Reaction and Process Parameters of Alkali-Catalyzed Transesterification of waste Frying Oils, *Energy & Fuels*, 21, 3023-3027.
- Jose, A. C., Ernesto, E. B., dan Alape, F., 2005. Biodiesel from Alkaline Transesterification Reaction of Soybean Oil Ultrasonic Mixing, *JAACS*, 82 (7), 525-530.
- Ma, F., dan Hanna, M.A., 1999. Biodiesel Production: A Review, *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
- Mahamuni, N. N., dan Adewuyi, Y. G., 2009. Optimization of the Synthesis of Biodiesel via Ultrasound-Enhanced Base-Catalyzed Transesterification of Soybean Oil Using a Multifrequency Ultrasonic Reactor, *Energy & Fuels*, 23, 2757-2766.
- Pramanik, K., 2003. Properties and Use of *Jatropha curcas* Oil and diesel Fuel Blends in Compression Ignition Engine, *Renewable Energy*, 28, 239-248.
- Sabbagha R. E., 1980. Diagnostic Ultrasound Applied to Obstetrics and Gynecology, Haper & Row, London, pp 19-31.
- Santos, F. F. P., Matos, L. J. B. L., Rodrigues, S., dan Fernandes, F. A. N., 2009. Optimization of the Production of Methyl Esters from Soybean Waste Oil Applying Ultrasound Technology, *Energy & Fuels*, 23, 4116-4120.
- Schuchardt, U., Serchui, R. dan Vargas, R. M., 1998. Transesterification of Vegetables Oil, *J. Braz. Chem. Soc.*, 199-210.
- Sirvastava, A. dan Prasad, R., 2000. Triglycerides Based Biodiesel Fuels, *Renewable Sustainable Energy*, 4, 111-133.
- Susilo, B., 2006. Biodiesel sumber Energi Alternatif Pengganti Solar yang terbuat dari Ekstraksi Minyak jarak Pagar, Trubus Agrisarana, Surabaya.
- Trisnobudi, A., 2001. Aplikasi Ultrasonik, Catatan Kuliah, Departemen Teknik Fisika, Intitut Teknologi Bandung.