

TRANSESTERIFIKASI *IN SITU* BIJI JARAK PAGAR MENGGUNAKAN KAVITASI HIDRODINAMIK

In Situ Transesterification of Jatropha Seed Using Hydrodynamic Cavitation

Muhammad Dani Supardan, Satriana, Ryan Moulana

Jurusan Teknik Kimia, Universitas Syiah Kuala, Jl. Syech Abdur Rauf 7, Darussalam, Banda Aceh
Email: m.dani.supardan@che.unsyiah.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses produksi biodiesel dari biji jarak pagar melalui proses transesterifikasi *in situ* menggunakan kavitasi hidrodinamik. Transesterifikasi *in situ* dilakukan pada kondisi: volume metanol 800 mL, temperatur proses 50°C, katalis kalium hidroksida 2 g, kandungan air biji jarak kurang dari 3% dan ukuran partikel biji jarak 0,355-1,18 mm. Hasil penelitian menunjukkan rendemen biodiesel tertinggi sebesar 35% yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar menggunakan kavitasi hidrodinamik tanpa penambahan *co-solvent* diperoleh pada penggunaan waktu proses 120 menit dan rasio volume metanol terhadap berat biji jarak 16 (mL/g). Penggunaan *co-solvent* heksana terbukti dapat meningkatkan rendemen biodiesel yang dihasilkan dimana pada penambahan volume heksana sebanyak 95 mL diperoleh rendemen biodiesel sebesar 60%. Proses transesterifikasi *in situ* biji jarak menggunakan kavitasi hidrodinamik menghasilkan rendemen biodiesel yang lebih besar dibandingkan proses menggunakan pengaduk mekanik. Hasil analisis gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) menunjukkan komponen terbesar dalam produk biodiesel adalah metil oleat.

Kata kunci: Transesterifikasi *in situ*, kavitasi hidrodinamik, biodiesel, biji jarak pagar, *co-solvent*

ABSTRACT

In this study, the *in situ* transesterification of jatropha seed using hydrodynamic cavitation for the production of biodiesel was studied. Experiments were carried out under the following conditions: 800 mL of methanol volume, 50°C of reaction temperature, 2 g of potassium hydroxide catalyst, less than 3% of moisture content in jatropha seed and 0,355-1,18 mm of particle size. From experiment without *co-solvent* addition, the highest biodiesel yield of 35% obtained at condition: time of process of 120 minute and ratio of methanol to jatropha seed of 16 (mL/g). The use of *co-solvent* of hexane provided a higher yield of biodiesel compared to the system without *co-solvents*. The highest biodiesel yield of 60% were obtained under the addition of 95 mL of hexane volume. In addition, the use hydrodynamic cavitation provided a higher yield of biodiesel compared to the system using mechanical stirring. The biodiesel produced in the experiment was analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS), which showed that methyl oleate was the highest compound in biodiesel.

Keywords: In situ transesterification, hydrodynamic cavitation, biodiesel, jatropha curcas seed, *co-solvent*

PENDAHULUAN

Biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan bakar diesel berbasis minyak bumi diantaranya adalah menghasilkan lebih sedikit asap dan partikulat, menghasilkan emisi karbon monoksida dan hidrokarbon lainnya lebih sedikit, dapat diperbaharui, *biodegradable* dan tidak beracun

(Agarwal dan Das, 2001). Kelebihan ini menjadikan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif masa depan. Terkait dengan itu, upaya mencari teknologi proses produksi biodiesel yang efisien banyak dilakukan. Teknologi proses produksi biodiesel baru yang sudah dikembangkan pada saat ini antara lain adalah ultrasonik (Siatis dkk., 2006; Stavarache dkk., 2005), kavitasi hidrodinamik (Ji dkk., 2006; Kelkar dkk.,

2008; Pal dkk., 2010), metanol superkritik (Hengwen dkk., 2005), reaktif-distilasi (Kiss dkk., 2006), dan transesterifikasi *in situ* (Georgogianni dkk., 2008; Qian dkk., 2008).

Salah satu permasalahan utama dalam proses produksi biodiesel adalah alkohol dan minyak sebagai bahan baku utama, bersifat tidak saling bercampur (*immiscible*). Pengadukan merupakan teknik yang paling umum dipakai agar alkohol dan minyak bisa saling bercampur sehingga reaksi pembentukan biodiesel dapat berjalan dengan baik. Namun, pengadukan membutuhkan energi yang relatif besar. Dalam studinya, Ji dkk. (2006) dan Kelkar dkk. (2008) melaporkan penggunaan kavitas hidrodinamik yang terbukti dapat mempercepat reaksi dan memiliki konsumsi energi yang lebih kecil dibandingkan proses menggunakan pengaduk mekanik. Hal ini disebabkan efek yang ditimbulkan oleh kavitas hidrodinamik dapat meningkatkan perubahan kimia dan fisis suatu media melalui pembentukan dan pemecahan gelembung-gelembung kavitas. Selain itu, teknik kavitas hidrodinamik memiliki kelebihan lain yaitu geometri reaktor tidak berpengaruh terhadap kinerja proses dan lebih mudah di-*scale up* (Ji dkk., 2006). Dengan kelebihan-kelebihan ini, kavitas hidrodinamik menjadi sangat menjanjikan dipakai untuk proses produksi skala kecil, menengah maupun besar.

Sementara itu, metode konvensional untuk memproduksi biodiesel dari jarak pagar dan berbagai jenis biji-bijian lain yang mengandung minyak dilakukan melalui dua tahapan yaitu tahap ekstraksi minyak dari biji jarak dan tahap transesterifikasi minyak jarak menjadi biodiesel. Kedua tahapan ini dilakukan secara terpisah dan diskontinyu, sehingga proses produksi biodiesel menjadi kurang efisien dan mengkonsumsi banyak energi. Transesterifikasi *in situ* dapat menjadi salah satu alternatif proses untuk mendapatkan proses yang lebih efisien. Proses transesterifikasi *in situ* merupakan suatu unit operasi terintegrasi yang terdiri dari ekstraktor (sebagai tempat terjadinya proses ekstraksi) dan reaktor (sebagai tempat terjadinya reaksi) yang berada dalam satu unit peralatan. Hal ini akan mengurangi tahapan proses serta menyederhanakan aliran proses sehingga biaya peralatan (modal) dan biaya proses yang lebih rendah. Dalam proses transesterifikasi *in situ*, ekstraksi minyak serta esterifikasi dan/atau transesterifikasi dilakukan dalam satu langkah dimana alkohol berfungsi sebagai pelarut ekstraksi sekaligus sebagai *reagent* transesterifikasi selama proses transesterifikasi *in situ* berlangsung. Hal ini akan menyebabkan konsumsi alkohol dengan jumlah yang lebih tinggi dibandingkan proses konvensional. Namun, proses transesterifikasi *in situ* menggabungkan dua proses yang seharusnya dilakukan secara terpisah yaitu proses ekstraksi minyak dan proses reaksi transesterifikasi, sehingga mengurangi waktu proses, biaya, dan jumlah pelarut yang diperlukan (Shuit dkk., 2010; Kaul dkk., 2010).

Bersamaan dengan itu, upaya mencari bahan baku biodiesel alternatif yang murah juga terus dilakukan. Penggunaan minyak sawit sebagai bahan baku biodiesel dikhawatirkan dapat mengganggu pasokan minyak sawit mentah. Jarak pagar merupakan salah satu bahan baku alternatif biodiesel yang potensial untuk dikembangkan. Jarak pagar dipandang menarik sebagai sumber biodiesel karena berbagai alasan, diantaranya adalah kandungan minyaknya yang tinggi, tidak berkompetisi untuk pemanfaatan lain (misalnya jika dibandingkan dengan kelapa sawit), dan memiliki karakteristik agronomi yang sangat menarik karena dapat tumbuh di lahan tandus (Kumar dan Sharma, 2008)

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses produksi biodiesel dari biji jarak pagar melalui proses transesterifikasi *in situ* menggunakan kavitas hidrodinamik. Proses transesterifikasi *in situ* menggunakan kavitas hidrodinamik diharapkan dapat menjadi proses alternatif yang murah, efisien dan hemat energi untuk produksi biodiesel dari biji jarak pagar. Proses transesterifikasi *in situ* tanpa kavitas hidrodinamik dengan menggunakan pengadukan mekanik dilakukan sebagai pembandingan.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan baku utama yang digunakan adalah biji jarak pagar yang diperoleh dari kebun-kebun sekitar kota Banda Aceh. Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah metanol teknis yang diperoleh dari toko bahan kimia Rudang Jaya Medan, serta kalium hidroksida dan heksana yang diperoleh dari Sigma-Aldrich. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah rangkaian reaktor kavitas hidrodinamik, pompa sentrifugal, *stopwatch*, motor pengaduk, statif, corong pemisah, termometer, timbangan analitik, *rotary evaporator* Buchii R-124, *water bath*, *oven* listrik, dan beberapa peralatan gelas untuk kebutuhan preparasi maupun analisis.

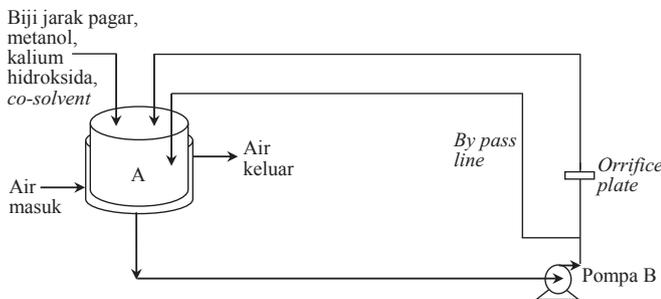
Prosedur Penelitian

Biji jarak pagar dipersiapkan melalui pengupasan dan pengecilan ukuran dengan menggunakan *crusher* untuk mendapatkan ukuran yang seragam. Ukuran partikel bahan yang digunakan adalah 0,355-1,18 mm. Selanjutnya biji jarak pagar dikeringkan menggunakan *oven* hingga kadar air kurang dari 3%.

Tahapan penelitian dilakukan dengan menggunakan rangkaian peralatan kavitas hidrodinamik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Sebanyak 2 g kalium hidroksida dan 800 mL metanol (70 %-v) dimasukkan ke wadah A dan dipanaskan hingga 50°C. Selanjutnya, dimasukkan biji jarak dengan jumlah sesuai variabel percobaan. Biji jarak pagar

ditempatkan dalam wadah khusus untuk menghindari biji jarak pagar terikut sirkulasi aliran. Selanjutnya, sejumlah tertentu *co-solvent* heksana juga ditambahkan ke wadah A untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi dan laju reaksi transesterifikasi. Sebagai waktu awal reaksi ($t=0$) adalah saat pompa B mulai dihidupkan dimana campuran reaksi akan bersirkulasi selama proses berlangsung. Kavitas hidrodinamik akan terbentuk sesaat setelah fluida melewati *orrifice plate*. Suhu operasi dijaga tetap dengan mensirkulasikan air di dalam *bath*. Reaksi transesterifikasi *in situ* dilakukan selama 2 jam. Setelah reaksi selesai, dilakukan pemisahan ampas biji jarak dengan menggunakan kertas saring. Ampas biji jarak pagar dibilas beberapa kali dengan metanol untuk mengambil hasil reaksi yang kemungkinan masih terikut pada solid residu. Filtrat yang berupa campuran metanol, biodiesel dan gliserol diproses lebih lanjut. Selanjutnya dilakukan pemisahan metanol dari campuran reaksi dengan menggunakan *rotary evaporator*. Pelarut yang telah diuapkan dapat digunakan kembali untuk variabel percobaan berikutnya. Campuran reaksi yang sudah tidak mengandung metanol dimasukkan ke dalam corong pemisah sehingga akan diperoleh 2 lapisan yaitu lapisan atas (biodiesel) serta lapisan bawah (gliserol). Biodiesel yang diperoleh disimpan untuk ditimbang dan dianalisis lebih lanjut.

Sebagai pembanding dilakukan proses transesterifikasi *in situ* tanpa kavitas hidrodinamik dengan menggunakan rangkaian peralatan berupa labu leher tiga berkapasitas 2000 mL yang dilengkapi dengan pendingin tegak dan termometer. Proses transesterifikasi *in situ* tanpa kavitas hidrodinamik dilakukan menggunakan pengaduk mekanik/listrik. Transesterifikasi *in situ* tanpa kavitas hidrodinamik menggunakan variabel-variabel berikut: tanpa menggunakan *co-solvent* heksan, waktu reaksi 120 menit, volume metanol 800 mL, rasio volume metanol terhadap berat biji jarak pagar 19 (mL/g) dan kecepatan pengadukan 500 rpm.



Gambar 1. Skema peralatan penelitian kavitas hidrodinamik

Analisis Hasil

Biji jarak pagar ditimbang massanya (B), kemudian biodiesel hasil proses transesterifikasi *in situ* juga ditimbang

massanya (A). Rendemen biodiesel (Y) hasil proses transesterifikasi *in situ* dihitung dengan persamaan:

$$Y = \frac{A}{B \times C} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

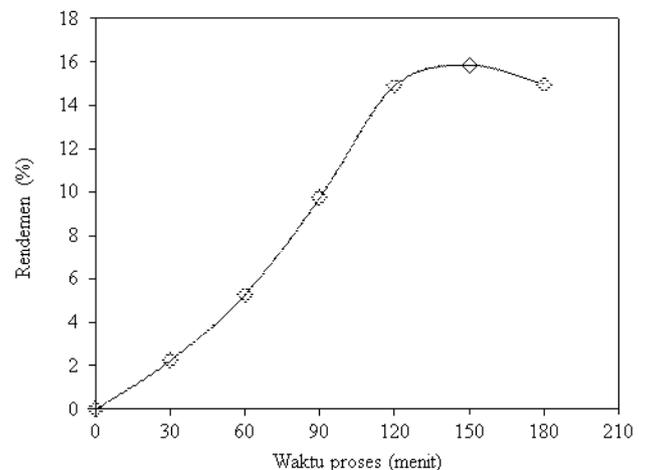
Dimana C adalah kandungan minyak dalam biji jarak pagar. Hasil pengujian kandungan minyak sesuai SNI 01-2891-1992 diketahui kandungan minyak pada biji jarak pagar yang digunakan sebesar 23,3%.

Analisis komposisi produk biodiesel dilakukan di Laboratorium Kimia Analisa Politeknik Negeri Lhokseumawe dengan alat Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer (GC-MS) QP2010 Plus, Shimadzu. Proses analisis menggunakan helium sebagai gas pembawa (*carrier gas*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu Proses terhadap Rendemen Biodiesel

Gambar 2 menunjukkan hubungan rendemen biodiesel terhadap waktu proses pada proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar menggunakan kavitas hidrodinamik. Proses transesterifikasi *in situ* dilakukan pada rasio volume metanol terhadap berat biji jarak pagar 19 (mL/g) tanpa menggunakan *co-solvent* heksana. Waktu proses sangat mempengaruhi rendemen biodiesel yang dihasilkan. Semakin lama waktu proses maka semakin besar pula rendemen biodiesel yang dihasilkan. Hal ini disebabkan semakin lama waktu proses maka semakin lama pula proses ekstraksi dan transesterifikasi berlangsung. Semakin lama waktu ekstraksi maka semakin banyak pula jumlah minyak yang dapat diekstrak dari biji jarak. Bersamaan dengan itu, semakin lama waktu transesterifikasi maka akan memberikan kesempatan kepada molekul-molekul antar reaktan untuk semakin lama bertumbukan.

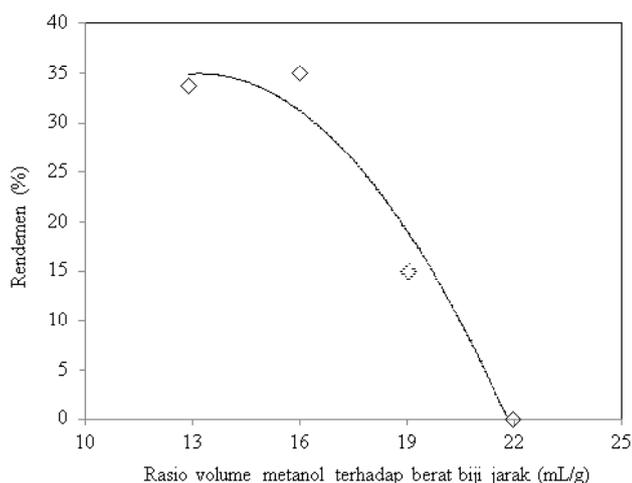


Gambar 2. Pengaruh waktu proses terhadap rendemen biodiesel

Reaksi transesterifikasi adalah reaksi bolak-balik (*reversible*) dimana apabila sudah terjadi kesetimbangan, reaksi akan bergeser ke kiri sehingga akan memperkecil jumlah produk yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesetimbangan reaksi terjadi pada kisaran waktu 120 hingga 150 menit. Penambahan waktu proses yang lebih lama dari 150 menit dapat menyebabkan berkurangnya rendemen biodiesel. Hal ini disebabkan terjadinya reaksi balik pada saat proses transesterifikasi berlangsung. Reaksi balik ini dapat menyebabkan berkurangnya jumlah biodiesel yang dihasilkan dan terjadinya reaksi penyabunan (Leung dkk., 2010).

Pengaruh Jumlah Biji Jarak Pagar terhadap Rendemen Biodiesel

Hasil penelitian menunjukkan rendemen biodiesel tertinggi sebesar 35% yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar menggunakan kavitasasi hidrodinamik tanpa penambahan *co-solvent* diperoleh pada penggunaan perbandingan volume metanol terhadap berat biji jarak sebesar 16 (mL/g). Jika dibandingkan dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya maka rendemen yang diperoleh dari penelitian ini relatif lebih rendah. Penggunaan metanol yang memiliki kandungan air cukup tinggi menjadi penyebab utama rendemen biodiesel yang diperoleh rendah. Kelemahan proses berbasis katalis basa adalah bahan baku minyak harus bebas air dan asam lemak bebas. Adanya air menyebabkan terjadinya hidrolisis produk ester yang terbentuk menghasilkan sabun (Ma dkk., 1998; Zhang dkk., 2003). Kartika dkk. (2011) memperoleh rendemen sebesar 71% pada transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar dengan kadar air 0,5%, ukuran partikel bahan 35 mesh, perbandingan metanol terhadap biji jarak (v/b) sebesar 6:1, konsentrasi KOH 0,1 mol/L pereaksi, kecepatan pengadukan 800 rpm serta suhu dan waktu reaksi masing-masing 60°C dan 4 jam.



Gambar 3. Pengaruh rasio volume metanol terhadap berat biji jarak yang digunakan terhadap rendemen biodiesel

Georgogianni dkk. (2008) melakukan transesterifikasi *in situ* pada biji bunga matahari menggunakan katalis NaOH 2% pada suhu 60°C dan kecepatan pengadukan 600 rpm. Rendemen biodiesel yang diperoleh sebesar 95% dengan perbandingan metanol terhadap bahan (v/b) sebesar 10:1. Sementara itu, Qian dkk. (2008) melakukan transesterifikasi *in situ* biji kapas dan mendapatkan rendemen biodiesel sebesar 98% dengan konsentrasi NaOH 0,1 mol/L, perbandingan molar metanol terhadap minyak 135:1 (setara dengan perbandingan metanol terhadap biji kapas (v/b) sebesar 6,6:1), serta suhu dan waktu reaksi masing-masing 40°C dan 3 jam.

Pengaruh rasio volume metanol terhadap berat biji jarak terhadap rendemen biodiesel dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya peningkatan rendemen biodiesel yang sangat signifikan dari 14,9 menjadi 35% pada saat rasio volume metanol terhadap berat biji jarak diturunkan dari 19 menjadi 16 (jumlah biji jarak yang digunakan bertambah dari 42 menjadi 50 g). Namun, rendemen biodiesel yang diperoleh cenderung tetap saat rasio volume metanol terhadap berat biji jarak diturunkan lagi menjadi 13 (jumlah biji jarak yang digunakan bertambah menjadi 62 g). Hal ini disebabkan daya larut metanol terhadap minyak jarak yang terbatas. Kemampuan metanol yang digunakan untuk mengekstrak minyak diperkirakan sudah optimum pada saat penggunaan rasio volume metanol terhadap berat biji jarak 16. Bertambahnya biji jarak yang digunakan (yang berarti bertambahnya jumlah minyak yang berpotensi untuk diekstrak dan dikonversi menjadi biodiesel) tidak diimbangi dengan kemampuan metanol untuk mengekstrak minyak dalam biji jarak dan mengkonversinya menjadi biodiesel sehingga tidak terjadi peningkatan rendemen biodiesel. Sementara itu, produk biodiesel tidak terbentuk pada penggunaan rasio volume metanol terhadap berat biji jarak sebesar 22 karena terbentuknya sabun. Hal ini disebabkan pada kondisi ini, proses ekstraksi minyak jarak berjalan lebih lambat sehingga katalis kalium hidroksida lebih dahulu bereaksi dengan metanol untuk membentuk sabun.

Perbandingan jumlah alkohol terhadap minyak merupakan salah satu parameter penting dalam proses transesterifikasi. Berdasarkan stoikiometri reaksi, dalam reaksi transesterifikasi diperlukan tiga mol alkohol per mol minyak untuk menghasilkan tiga mol biodiesel dan satu mol gliserin. Mengingat reaksi transesterifikasi merupakan reaksi bolak-balik maka diperlukan jumlah reaktan yang berlebih untuk mendapatkan produk dengan jumlah yang maksimal. Pada penelitian ini, reaktan yang jumlahnya berlebih dalam sistem reaksi adalah metanol. Jumlah metanol yang berlebih pada reaksi transesterifikasi dibutuhkan untuk menggeser kesetimbangan ke arah kanan sehingga rendemen biodiesel meningkat. Namun, diperlukan penggunaan jumlah metanol yang tepat untuk mendapatkan rendemen biodiesel yang

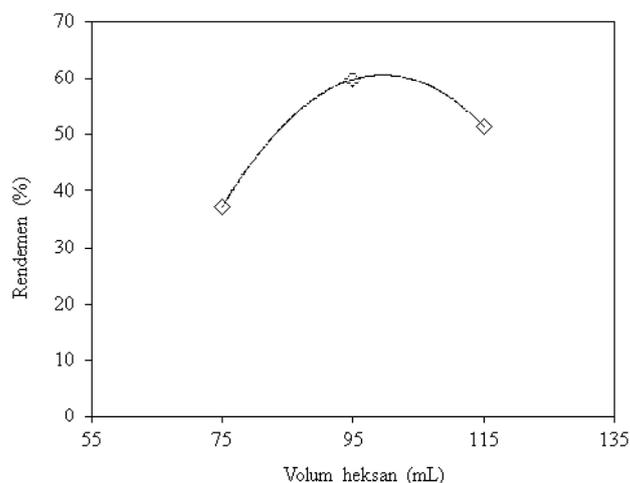
maksimum. Hal ini disebabkan jumlah metanol yang berlebih juga akan memberikan kerugian antara lain pemisahan ester dari lapisan gliserol menjadi lebih sulit dan kemungkinan katalis kalium hidroksida larut dalam alkohol yang berlebih (Komintarachat dan Chuepeng, 2010).

Metanol juga berfungsi sebagai pelarut untuk ekstraksi minyak dari biji jarak dalam proses transesterifikasi *in situ*. Metanol dapat digunakan sebagai pelarut untuk mengekstrak komponen-komponen yang terdapat dalam biji jarak, namun, trigliserida yang dapat diekstrak jumlahnya terbatas karena kelarutan trigliserida dalam metanol yang kecil. Hal ini menyebabkan bertambahnya biji jarak yang digunakan tidak memberikan peningkatan rendemen biodiesel yang dihasilkan. Kelarutan trigliserida yang kecil dalam metanol disebabkan metanol merupakan pelarut polar, sedangkan trigliserida sebagian besar adalah senyawa non-polar yang memiliki molekul hidrokarbon rantai panjang. Namun, senyawa-senyawa lain dalam biji jarak berpotensi dapat larut dalam metanol, misalnya fosfolipid, sterol, fenol, dan vitamin. Selain itu, kandungan air dalam metanol menyebabkan kelarutan trigliserida semakin berkurang. Berdasarkan hal ini, *co-solvent* heksan dapat ditambahkan untuk meningkatkan jumlah minyak yang diekstrak dan meningkatkan *miscibility* dari fase minyak dan metanol untuk mempercepat laju reaksi transesterifikasi.

Pengaruh Penambahan *Co-solvent* terhadap Rendemen Biodiesel

Pengaruh penambahan *co-solvent* heksana terhadap rendemen biodiesel yang diperoleh pada penggunaan perbandingan volume metanol terhadap berat biji jarak sebesar 19 (mL/g) disajikan pada Gambar 4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *co-solvent* menghasilkan rendemen biodiesel yang lebih besar bila dibandingkan dengan tanpa *co-solvent* sehingga dapat disimpulkan penambahan *co-solvent* terbukti dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi dan meningkatkan laju reaksi transesterifikasi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, rendemen biodiesel mencapai maksimum pada penambahan volume heksan sebanyak 95 mL (setara dengan perbandingan berat heksan terhadap minyak sebesar 6,2:1) yaitu sebesar 60%. Qian dkk. (2010) melaporkan bahwa jumlah optimum produk biodiesel diperoleh pada perbandingan berat heksan terhadap minyak sebesar 3:1. Penambahan *co-solvent* dengan jumlah yang tepat dapat meningkatkan laju reaksi transesterifikasi secara signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *co-solvent* lebih dari 95 mL akan menyebabkan berkurangnya laju reaksi transesterifikasi. Hal ini diduga disebabkan terjadinya efek dilusi pada *reagent*. Sebaliknya, ketika jumlah *co-solvent* yang ditambahkan kurang dari 95

mL maka rendemen biodiesel juga akan menurun. Hal ini disebabkan *immiscibility* dari minyak dan metanol. Selain itu, heksan sebagai pelarut non-polar juga dapat melarutkan sejumlah metanol sehingga heksan dapat digunakan sebagai *co-solvent* dalam reaksi transesterifikasi membentuk biodiesel untuk mempercepat laju reaksi (Kim dkk., 2004).



Gambar 4. Pengaruh volum heksan yang digunakan terhadap rendemen biodiesel

Perbandingan Proses

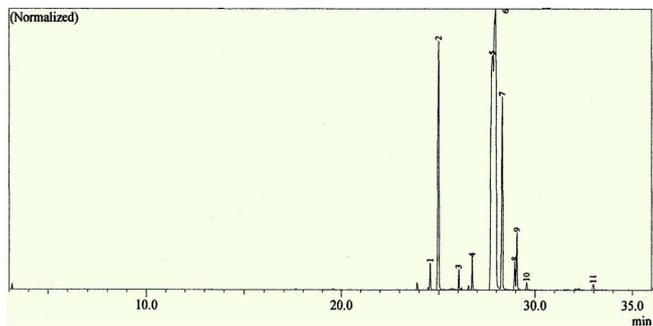
Perbandingan nilai rendemen biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* menggunakan kavitas hidrodinamik dan tanpa kavitas hidrodinamik dengan menggunakan pengadukan mekanik ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 terlihat bahwa rendemen biodiesel yang diperoleh dari proses transesterifikasi *in situ* menggunakan kavitas hidrodinamik lebih besar dibandingkan proses tanpa kavitas hidrodinamik. Hal ini menunjukkan penggunaan teknik kavitas hidrodinamik dapat meningkatkan laju reaksi dan menggeser kesetimbangan reaksi sehingga menghasilkan rendemen biodiesel yang lebih tinggi. Selain itu, kelebihan-kelebihan yang dimiliki proses berbasis kavitas hidrodinamik jika dibandingkan dengan pengaduk mekanik adalah lebih murah, konsumsi energi yang lebih kecil dan mudah dalam tahap *scale up*, membuat proses kavitas hidrodinamik lebih prospektif untuk diaplikasikan. Fenomena kavitas hidrodinamik dapat dijelaskan dalam tahapan berikut: (i) terbentuknya gelembung kavitas melalui dinamika aliran fluida; (ii) terbentuk dan pecahnya gelembung kavitas yang akan mengganggu batas antar fasa; (iii) terbentuknya emulsi mikro minyak dan metanol sehingga menghilangkan batas fasa antar minyak dan metanol. Semakin banyak gelembung kavitas yang terbentuk maka semakin luas antarmuka yang terbentuk (Ji dkk., 2006).

Tabel 1. Perbandingan proses kavitasi hidrodinamik dan pengaduk mekanik

Proses	Rendemen biodiesel (%)
Transesterifikasi <i>in situ</i> menggunakan pengaduk mekanik	9,5
Transesterifikasi <i>in situ</i> menggunakan kavitasi hidrodinamik	14,9

Hasil Analisis GC-MS

Ion kromatogram biodiesel hasil analisis GC-MS ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil analisis menunjukkan bahwa produk biodiesel yang diperoleh mengandung 4 (empat) komponen utama dengan metil oleat sebagai komponen terbesar. Adapun komponen-komponen utama tersebut berturut-turut adalah metil oleat (36%), metil linoleat (30%), metil palmitat (16%) dan metil stearat (11%). Hasil analisis ini menunjukkan kesesuaian komposisi produk biodiesel dengan komposisi minyak jarak yang telah dilaporkan oleh beberapa peneliti (Husin dkk., 2011; Liu dkk., 2012). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa biodiesel yang dihasilkan merupakan hasil transesterifikasi minyak jarak.



Gambar 5. Ion kromatogram biodiesel

KESIMPULAN

Proses transesterifikasi *in situ* menggunakan kavitasi hidrodinamik dapat dilakukan untuk produksi biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan rendemen biodiesel tertinggi yang dihasilkan dari proses transesterifikasi *in situ* biji jarak pagar menggunakan kavitasi hidrodinamik tanpa penambahan *co-solvent* adalah sebesar 35% diperoleh pada penggunaan rasio metanol terhadap biji jarak (mL/g) sebesar 16. Penggunaan *co-solvent* menghasilkan rendemen biodiesel yang lebih besar bila dibandingkan dengan sistem tanpa *co-solvent*. Rendemen biodiesel mencapai 60% pada penambahan heksan sebanyak 95 mL. Sementara itu, rendemen biodiesel yang diperoleh dari proses transesterifikasi *in situ* menggunakan kavitasi hidrodinamik lebih besar dibandingkan proses menggunakan pengaduk mekanik. Hasil analisis GC-MS menunjukkan

komponen terbesar dalam produk biodiesel adalah metil oleat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi dan Universitas Syiah Kuala melalui Hibah Bersaing tahun 2012 serta Indonesia Toray Science Foundation melalui Science Technology Research Grant 2011.

DAFTAR PUSTAKA

Agarwal, A.K. dan Das, L.M. (2001). Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power* **123**: 440-447.

Georgogianni, K.G., Kontominas, M.G., Pomonis, P.J., Avlonitis, D. dan Gergis, V. (2008). Conventional and *in situ* transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel. *Fuel Processing Technology* **89**: 503-509.

Hengwen, H., Weilang, C. dan Jingchang, Z. (2005). Preparation of biodiesel from soybean oil using supercritical methanol and CO₂ as co-solvent. *Process Biochemistry* **40**: 3148-3151.

Ji, J., Wang, J., Li, Y., Yu, Y. dan Xu, Z. (2006). Preparation of biodiesel with the help of ultrasonic and hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics* **44**: e411-e414.

Husin, H., Mahidin dan Marwan (2011). Studi penggunaan katalis abu sabut kelapa sawit, abu tandan sawit dan K₂CO₃ untuk konversi minyak jarak menjadi biodiesel. *Reaktor* **13**: 254-261.

Kartika, I.A., Yuliani, S., Ariono, D. dan Sugiarto (2011). Transesterifikasi *in situ* biji jarak: Pengaruh kadar air dan ukuran partikel bahan terhadap rendemen dan kualitas biodiesel. *Agritech* **31**: 242-249.

Kaul, S., Porwal, J. dan Garg, M.O. (2010). Parametric study of Jatropha seeds for biodiesel production by reactive extraction. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **87**: 903-908.

Kelkar, M.A., Gogate, P.R. dan Pandit, A.B. (2008). Intensification of esterification of acids for synthesis of biodiesel using acoustic and hydrodynamic cavitation. *Ultrasonics Sonochemistry* **15**: 188-194.

Kim, H.J., Kang, B.S., Kim, M.J., Park, Y.M., Kim, D.K., Lee, J.S. dan Lee, K.Y. (2004). Transesterification of

- vegetable oil to biodiesel using heterogeneous base catalyst. *Catalysis Today* **93–95**: 315–320.
- Kiss, A.A., Omota, F., Dimian, A.C. dan Rothenberg, G. (2006). The heterogeneous advantage: biodiesel by catalytic reactive distillation. *Topics in Catalysis* **40**: 141-150.
- Komintarachat, C. dan Chuepeng, S. (2010). Methanol-based transesterification optimization of waste used cooking oil over potassium hydroxide catalyst. *American Journal of Applied Science* **7**: 1073-1078.
- Kumar, A. dan Sharma, S. (2008). An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. *Industrial Crops and Products* **28**: 1-10.
- Leung, Y.C., Wu, X. dan Leung, H.K. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy* **87**: 1083-1095.
- Liu, Y., Lu, H., Jiang, W., Li, D., Liu, S. dan Liang, B. (2012). Biodiesel production from crude *Jatropha curcas* L. oil with trace acid catalyst. *Chinese Journal of Chemical Engineering* **20**: 740-746.
- Ma, F., Clements, L.D. dan Hanna, M.A. (1998). The effects of catalysts, free fatty acids and water on transesterification of beef tallow. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* **41**: 1261-1264.
- Pal, A., Verma, A., Kachhwaha, S.S. dan Maji, S. (2010). Biodiesel production through hydrodynamic cavitation and performance testing. *Renewable Energy* **35**: 619-624.
- Qian, J., Shi, H. dan Yun, Z. (2010). Preparation of biodiesel from *Jatropha curcas* L. oil produced by two-phase solvent extraction. *Bioresource Technology* **101**: 7025–7031.
- Qian, J., Wang, F., Liu, S. dan Yun, Z. (2008). In situ alkaline transesterification of cotton seed oil for production of biodiesel and non toxic cotton seed meal. *Bioresource Technology* **99**: 9009-9012.
- Shuit, S.H., Lee, K.T., Kamaruddin, A.H. dan Yusup, S. (2010). Reactive extraction of *Jatropha curcas* L. seed for production of biodiesel: Process optimization study. *Environmental Science and Technology* **44**: 4361-4367.
- Siatis, N.G., Kimbaris, A.C., Pappas, C.S., Tarantilis, P.A. dan Polissiou, M.G. (2006). Improvement of biodiesel production based on the application of ultrasound: Monitoring of the procedure by FTIR Spectroscopy. *Journal of the American Oil Chemists' Society* **83**: 53-57.
- Stavarache, C., Vinatoru, M., Nishimura, R. dan Maeda, Y. (2005). Fatty acids methyl esters from vegetable oil by means of ultrasonic energy. *Ultrasonics Sonochemistry* **12**: 367-372.
- Zhang, Y., Dube', M.A., McLean, D.D. dan Kates, M. (2003). Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. *Bioresource Technology* **28**: 1-16.