

TRANSESTERIFIKASI MINYAK DEDAK PADI SECARA IN-SITU DENGAN BANTUAN GELOMBANG MIKRO

Yulia Tri Rahkadima* dan Qurrota A'yuni

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Nahdlatul Ulama Sidoarjo

*e-mail: yuliarahkadima@gmail.com

Abstract

Rice bran as rice milling waste is very promising to be used as raw material of oil producer such as biodiesel oil. The production process by using of microwaves has been studied in this research. The production process was carried out in-situ where the extraction process of rice bran oil and the biodiesel formation reaction occurred simultaneously in microwave radiation. Rice bran was obtained from Lamongan area with IR 64 type. The reaction was carried out in modified microwaves with variation of operating conditions on reaction times (10, 30 and 50 min) and weight ratio of rice bran to methanol (1:4, 1:8, 1:12, 1:16 and 1:20). The results obtained were then analyzed by product yield and free fatty acid content. The optimum condition was obtained in the highest yield of the product with the lowest free fatty acid. The results showed that the optimum condition was obtained at reaction time of 30 minutes with the ratio of rice bran:methanol at 1:12.

Keywords: Microwave, In-situ, Rice Bran Oil, Transesterification.

Abstrak

Dedak padi sebagai limbah penggilingan padi sangat menjanjikan untuk dijadikan bahan baku penghasil minyak diantaranya yaitu minyak biodiesel. Proses produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak dedak padi dengan bantuan gelombang mikro dan katalis basa telah dipelajari dalam penelitian ini. Proses produksi dilakukan secara in situ dimana proses ekstraksi minyak dedak padi dan reaksi pembentukan biodiesel terjadi secara simultan dalam radiasi gelombang mikro. Dedak padi diperoleh dari daerah Lamongan dengan jenis IR 64. Reaksi dilakukan dalam microwave yang telah dimodifikasi dengan variasi kondisi operasi yang meliputi waktu reaksi (10, 30 dan 50 menit) dan ratio berat dedak padi terhadap metanol (1:4, 1:8, 1:12, 1:16 dan 1:20). Hasil yang diperoleh kemudian dianalisis yield produk dan kadar asam lemak bebasnya. Kondisi optimum diperoleh pada saat yield produk tertinggi dengan asam lemak bebas terendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh pada waktu reaksi 30 menit dengan ratio dedak padi:metanol sebesar 1:12.

Kata kunci: Gelombang mikro, In-situ, Minyak dedak padi, Transesterifikasi.

1. PENDAHULUAN

Penelitian energi terbarukan mendapat perhatian yang terus meningkat

dalam beberapa tahun terakhir. Alasan utama untuk evolusi ini adalah kekhawatiran keamanan energi, ekonomi

dan lingkungan. Dilaporkan bahwa konsumsi minyak bumi sekarang 10^5 lebih cepat dari produksi alamnya (Satyanarayana dkk, 2011) dan pada tingkat konsumsi ini, cadangan bahan bakar fosil dunia akan berkurang pada tahun 2050 (Demirbas, 2009). Selain itu, konsumsi bahan bakar diperkirakan meningkat 60% atau lebih dalam 25 tahun ke depan (Rittmann, 2008). Untuk mengurangi ketergantungan pada sumber bahan bakar fosil dan impor dari negara-negara kaya minyak dan menjaga kelestarian lingkungan, banyak negara telah berkomitmen untuk meningkatkan produksi energi terbarukan dan/atau pengurangan emisi gas rumah kaca di tingkat nasional dan internasional (Fabbri dkk, 2007).

Dari berbagai macam sumber energi terbarukan yang ada seperti geotermal dan solar energi, biodiesel adalah salah satu energi terbarukan yang menjanjikan untuk dikembangkan mengingat bahwa sebagian besar energi dikonsumsi di sektor transportasi dan industri dalam bentuk liquid (Gude, dkk, 2013). Biodiesel adalah energi terbarukan yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi dimana disusun oleh metil atau etil ester yang diperoleh dengan mereaksikan trigliserida dan alkohol, dan memiliki karakteristik seperti minyak diesel. Keseluruhan proses transesterifikasi adalah urutan dari tiga reaksi berturut-turut dan reversibel, di mana digliserida dan monogliserida terbentuk sebagai zat antara, menghasilkan satu molekul ester di setiap langkah. Sesuai stoikiometri reaksi membutuhkan 1 mol trigliserida dan 3 mol alkohol. Namun, jumlah alkohol berlebih digunakan untuk meningkatkan hasil alkil ester dengan menggeser

ekuilibrium terhadap pembentukan ester dan memungkinkan pemisahan fasa dari gliserol yang terbentuk sebagai produk sampingan (Gude dkk, 2013). Biodiesel memiliki kelebihan antara lain mengurangi emisi rumah kaca, lebih rendah menghasilkan emisi gas yang berbahaya, serta dapat diuraikan dan *non toxic* (Gude dkk, 2013). Dua masalah utama dalam proses produksi biodiesel adalah pemilihan bahan baku dan proses produksi yang murah sehingga layak secara ekonomi.

Penggunaan minyak pangan dapat menyebabkan tingginya biaya produksi biodiesel. Total biaya produksi pembuatan biodiesel adalah 60–70% (Haas dkk, 2004) atau 75–88% (Bozbas, 2008 dan Dorado dkk, 2006) untuk pengadaan bahan baku. Pemanfaatan sampah agrikultur sebagai bahan baku pembuatan energi alternatif marak dikembangkan dalam satu dekade terakhir ini. Hal ini dikarenakan dengan pemanfaatan bahan yang tidak bernilai ekonomis tinggi sebagai bahan baku akan dapat menurunkan biaya produksi pembuatan energi alternatif secara signifikan.

Salah satu cara untuk mengurangi biaya produksi adalah menggunakan bahan baku yang murah seperti dedak padi. Dedak padi merupakan bahan baku biodiesel yang menjanjikan, kandungan lipid dalam dedak padi bisa mencapai 18% (Hata dkk, 2008), 15-23% (Zullaikah dkk, 2005). Metode produksi biodiesel secara umum dapat menggunakan metode pemanasan konvensional atau dengan tekanan dan suhu tinggi seperti kondisi sub kritis ataupun super kritis. Katalis homogen basa seperti natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), dan

natrium metoksida (CH_3ONa) adalah katalis yang umum digunakan dalam produksi biodiesel.

Pemilihan metode tergantung dari pemilihan bahan baku yang digunakan. Pada metode konvensional, jika menggunakan bahan baku dengan kandungan asam lemak bebas tinggi bisa menggunakan katalis asam untuk mempercepat berlangsungnya reaksi, sementara itu untuk bahan baku dengan kandungan asam lemak bebas yang rendah dapat menggunakan bantuan katalis basa untuk mempercepat konversi trigliserida menjadi metil ester asam lemak. Metode sub/super kritis membutuhkan energi dan biaya yang besar sehingga masih tidak ekonomis untuk dikembangkan secara industri.

Proses produksi biodiesel dengan menggunakan radiasi gelombang mikro akhir-akhir ini marak dikembangkan. Hal ini berkaitan dengan kemampuan gelombang mikro yang dapat menyelesaikan reaksi kimia dalam waktu yang sangat singkat. Iradiasi gelombang *microwave* adalah iradiasi elektromagnetik dengan rentang frekuensi 0,3-300 GHz. Mereka berada pada spektrum elektromagnetik antara gelombang infra merah dan gelombang radio dengan panjang gelombang antara 0,01 dan 1 m. *Microwave* komersial disetujui untuk aplikasi domestik dapat beroperasi pada frekuensi 2,45 GHz untuk menghindari gangguan pada frekuensi telekomunikasi dan telepon seluler, sementara itu untuk aplikasi industri adalah 915 dan 2450 MHz. Sebagian besar percobaan kimia menggunakan gelombang mikro dilakukan pada frekuensi 2450 MHz (panjang gelombang yang sesuai adalah

12,24 cm). Salah satu alasannya adalah bahwa mendekati frekuensi ini, penyerapan energi gelombang mikro dengan cairan adalah maksimal. Interaksi bahan dielektrik dengan gelombang mikro mengarah ke apa yang umumnya digambarkan sebagai pemanasan dielektrik karena polarisasi zat (Gude dkk, 2013).

Energi yang terkait dengan gelombang mikro memiliki energi yang lebih rendah dari energi gerak Brown yang tidak cukup kuat untuk memutuskan ikatan kimia. Oleh karena itu gelombang mikro tidak bisa menginduksi reaksi kimia. Pengaruh energi *microwave* pada reaksi kimia atau biokimia bersifat termal dan non-termal. Gelombang mikro, sebagai sumber energi, menghasilkan panas dari interaksi dengan bahan ditingkat molekuler tanpa mengubah struktur molekul.

Pemanasan dengan menggunakan *microwave* menawarkan beberapa kelebihan dibandingkan dengan pemanasan konvensional seperti pemanasan non-kontak (mengurangi *overheating* permukaan material), perpindahan energi bukannya perpindahan panas, berkurangnya gradien termal, material selektif dan pemanasan volumetrik, *start-up* dan berhenti yang cepat dan membalikkan efek termal, yaitu panas mulai dari bagian dalam bodi material (Gude dkk, 2013). Pemanfaatan gelombang mikro juga memiliki kelebihan yang lain diantaranya adalah pemanasan dan pendinginan yang cepat, murah karena tidak membutuhkan energi yang besar, proses yang mudah dikontrol dan pemanasan yang merata (Gude dkk, 2013).

Mekanisme pemanasan *microwave* sangat kompleks. Pada pemanasan konvensional begitu juga metode superkritik, panas ditransfer pada volume *sample* digunakan untuk meningkatkan suhu pada permukaan *vessel* diikuti oleh material internal. Energi yang sangat besar yang diberikan pada sumber energi konvensional banyak hilang ke lingkungan melalui konduksi di material dan arus konveksi. Efek pemanasan pada metode konvensional adalah heterogen dan tergantung pada termal konduktivitas material, panas spesifik dan densitas yang menghasilkan suhu permukaan yang lebih tinggi menyebabkan terjadinya pemindahan panas dari permukaan luar ke dalam sampel. Sebagai hasilnya suhu sampel tidak seragam dan terjadi gradien suhu lebih tinggi. Pemanasan dengan *microwave* menunjukkan bahwa terjadi peningkatan laju pemanasan dan pendinginan. Sementara untuk pemanasan konvensional, laju pemanasan dan pendinginan lebih lambat (Gude dkk, 2013).

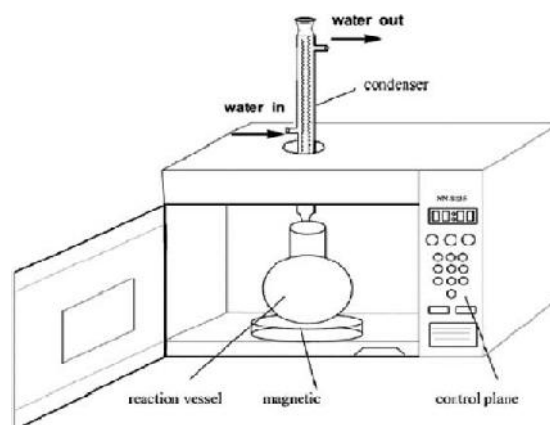
Secara umum proses produksi biodiesel dari dedak padi dengan kehadiran katalis basa melalui dua tahapan yaitu proses ekstraksi dan proses reaksi transesterifikasi. Metode ini tidak efektif dilakukan karena membutuhkan waktu yang lama, energi yang besar, menghasilkan *yield* ekstraksi yang rendah serta membutuhkan pelarut organik yang banyak (Wang dan Weller, 2006). Untuk mengatasi masalah tersebut dikembangkan metode in-situ. Metode in-situ merupakan salah satu metode yang diterapkan dalam proses pembuatan biodiesel dengan melakukan ekstraksi langsung pada sumber bahan baku yang mengandung minyak atau lemak.

Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pemanfaatan teknologi gelombang mikro dalam proses ekstraksi dan reaksi transesterifikasi minyak dedak padi dengan katalis basa, NaOH, secara in-situ dalam proses pembuatan biodiesel.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Proses Produksi Biodiesel

Pada penelitian ini digunakan dedak padi jenis IR 64 dari Kabupaten Lamongan sebagai bahan baku. Sebelum digunakan, dedak padi dilakukan penyaringan terlebih dahulu untuk mendapatkan dedak padi yang seragam dan bebas impurities. Penyimpanan dedak padi dilakukan dalam lemari pendingin untuk menjaga kadar asam lemak bebas di dalam bahan baku. Hal ini bertujuan untuk menjaga keseragaman bahan baku yang dipakai. Selain dedak padi, bahan-bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah metanol, n-heksana dan NaOH yang diperoleh PT Brataco di Surabaya.



Gambar 1. Reaktor Microwave, diadaptasi dari Chen dkk, 2012.

Reaktor yang digunakan dalam reaksi transesterifikasi dengan gelombang mikro adalah satu set *microwave* yang telah dimodifikasi, dimana di dalamnya

diletakkan labu reaksi 250 ml yang terhubung dengan kondensor dan termokopel sebagai pengontrol suhu (Gambar 1).

Reaksi transesterifikasi minyak dedak padi dilakukan dengan metode *in situ* dimana proses ekstraksi minyak dedak padi dan reaksi transesterifikasi akan jadi secara simultan dengan kehadiran katalis basa. Dedak padi sebanyak 4 gram dicampurkan ke dalam metanol dengan perbandingan rasio berat 1:4, 1:8, 1:12, 1:16 dan 1:20. Katalis basa yang digunakan adalah NaOH dengan berat 0,6% w/w dari dedak padi. Masing-masing direaksikan dengan waktu reaksi 10; 30; dan 50 menit. Minyak hasil transesterifikasi selanjutnya dihitung *yield*-nya dan dianalisis kadar asam lemak bebas yang terkandung di dalamnya melalui metode titrasi.

2.2 Analisis

Analisis Asam Lemak Bebas atau Free Fatty Acid (FFA) dilakukan dengan metode titrasi sesuai dengan *American Oil Chemists' Society (AOCS) official method Ca 5a-40* yang telah dimodifikasi seperti pada penelitian Rukunudin dkk, (1998). Sebanyak $\pm 0,1$ gram minyak dan etanol 0,107 ml dimasukkan ke dalam erlenmeyer 25 ml. Selanjutnya larutan dipanaskan hingga suhu 50°C disertai pengadukan. Indikator PP dimasukkan sebanyak 3 tetes. Titrasi dilakukan menggunakan larutan NaOH 0,0044 N hingga larutan berubah menjadi merah jambu.

Adapun rumus untuk menentukan nilai FFA adalah sebagai berikut:

$$FFA (\%) = \frac{Volume\ Alkali\ (mL) \times Normalitas\ Alkali \times 28,2}{Berat\ Sampel\ (g)}$$

3. HASIL DAN DISKUSI

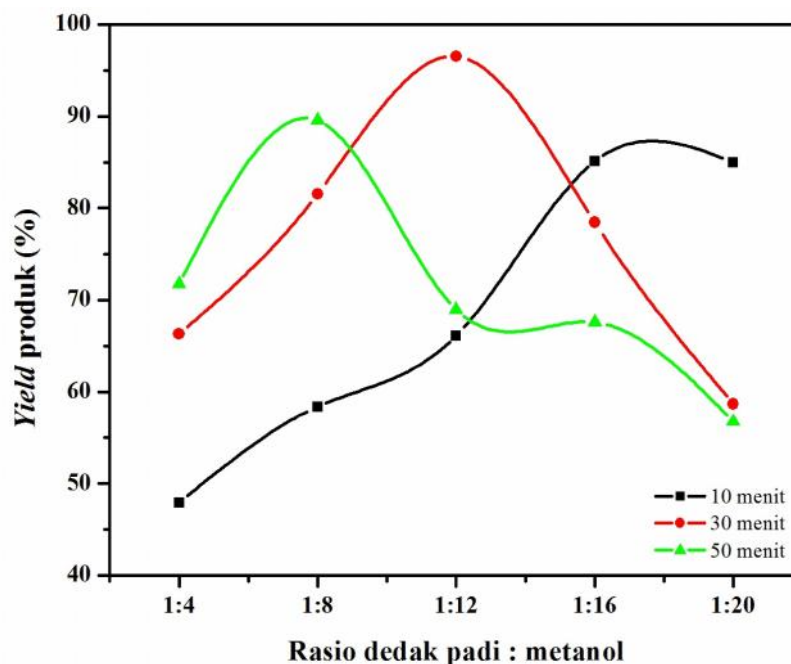
Kandungan minyak dedak padi sangat bervariasi, bergantung pada iklim dan daerah tempat padi ditanam (Pourali, dkk., 2009). Pada penelitian ini digunakan dedak padi jenis IR 64 dari Kabupaten Lamongan sebagai bahan baku dimana kandungan minyak dedak padi dianalisis menggunakan metode ekstraksi konvensional menggunakan pelarut n-heksana selama 8 jam dengan hasil sebesar 14,68%. Hal ini sesuai dengan penelitian Hata dkk. (2008) dan Zullaikah dkk. (2005) yang menyatakan bahwa kandungan minyak dedak padi berkisar antara 10-25%. Kandungan minyak ini diperoleh dengan menggunakan metode ekstraksi konvensional menggunakan sokhlet dan pelarut n-heksana selama 5 jam. Sementara itu kandungan asam lemak bebas di dalam minyak sebesar 35,56% dari minyak yang diperoleh.

Secara umum, metanol dipilih sebagai reaktan alkohol dalam produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dengan bantuan gelombang mikro. Methanol diketahui memiliki kapasitas penyerapan *microwave* yang tinggi dan termasuk pelarut organik dengan polaritas tinggi. Oleh karena itu campuran katalis-minyak-metanol dalam reaksi transesterifikasi dapat ditingkatkan dengan interaksi gelombang mikro melalui polarisasi dipolar dan konduksi ionik (Gude dkk, 2013). Jumlah pelarut atau ratio pelarut terhadap minyak adalah faktor terpenting dalam efisiensi konversi atau perolehan *yield* biodiesel. Jumlah pelarut lebih tinggi dibutuhkan untuk meningkatkan kelarutan dan kontak antara molekul alkohol dan trigliserida (Musa, 2016). Selain itu dalam proses *in-situ*, jumlah reaktan berlebih dibutuhkan

karena selain sebagai reaktan, metanol juga bertindak sebagai pelarut untuk mengekstrak minyak yang ada dalam dedak padi. Pengaruh jumlah pelarut terhadap perolehan *yield* produk biodiesel mentah ditunjukkan pada Gambar 2. Biodiesel mentah adalah biodiesel hasil proses transesterifikasi yang belum melalui proses purifikasi untuk memenuhi standar biodiesel.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa pada waktu reaksi 30 menit, kenaikan rasio berat dedak padi:metanol akan menaikkan pula *yield* produk yang dihasilkan sampai pada rasio 1:12. Pada rasio berat 1:4, biodiesel mentah yang diperoleh sebesar 66,3% kemudian

mengalami kenaikan secara signifikan menjadi 96,54% pada rasio berat 1:12. Sedangkan kenaikan rasio berat diatas 1:12, yaitu pada rasio berat 1:16 dan 1:20 menyebabkan penurunan prosentase biodiesel mentah masing-masing menjadi 78,45% dan 58,69%. Penurunan ini dapat disebabkan oleh semakin kompleksnya proses pemisahan gliserol dan biodiesel pada penggunaan pelarut yang sangat berlebih. Menurut Musa (2016), Metanol berlebih menyebabkan meningkatnya kelarutan gliserol dalam produk. Pada waktu reaksi 30 menit dapat dikatakan bahwa rasio berat optimum untuk menghasilkan produk tertinggi adalah 1:12.



Gambar 2. Kurva *Yield* Produk Transesterifikasi terhadap Rasio Dedak Padi:Metanol dengan Waktu Reaksi 10, 30, dan 50 Menit

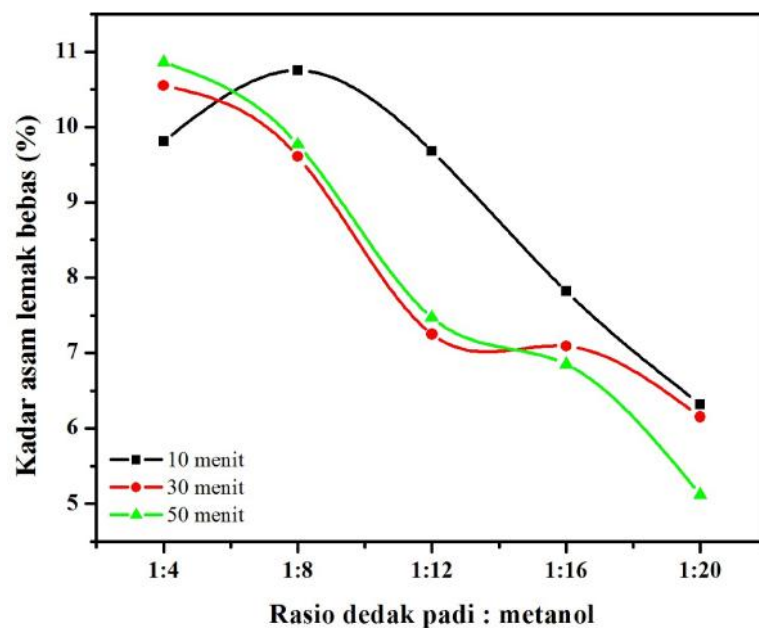
Sementara itu dengan waktu reaksi yang lebih lama, pada rasio berat dedak padi:metanol 1:8 memberikan prosentase *yield* produk tertinggi yaitu sebesar 89.57%. Kenaikan jumlah pelarut menyebabkan menurunnya perolehan

produk. Prosentase produk menurun secara signifikan menjadi 56.77% saat rasio berat yang digunakan 1:20. Ketika reaksi berlangsung pada waktu yang singkat yaitu 10 menit, maka diperlukan rasio berat yang lebih besar untuk

memperoleh hasil yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan bantuan radiasi gelombang mikro, dengan waktu lebih singkat maka dibutuhkan jumlah metanol yang lebih banyak jika dibandingkan dengan waktu yang lebih lama jika ingin memperoleh prosentase biodiesel mentah terbaik. Dengan menggunakan bantuan pemanasan gelombang mikro, reaksi transesterifikasi dapat berjalan efektif dengan waktu reaksi lebih singkat jika dibandingkan dengan pemanasan konvensional. Hal ini mungkin disebabkan oleh pemanasan dengan bantuan gelombang *microwave* memberikan pemanasan yang lebih merata dibandingkan dengan pemanasan konvensional. Kandungan asam lemak

bebas yang ada dalam minyak dapat dikonversi menjadi metil ester asam lemak (biodiesel) melalui reaksi esterifikasi. Pengaruh rasio berat dedak padi:metanol terhadap kandungan asam lemak bebas dapat dilihat pada Gambar 3.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar rasio berat dedak padi terhadap pelarut yang digunakan, maka akan semakin sedikit kandungan asam lemak bebas di dalam produk. Hal ini karena asam lemak bebas akan bereaksi dengan metanol menjadi biodiesel. Pada waktu reaksi 30 menit, kandungan asam lemak bebas menurun secara signifikan pada rasio berat 1:4 ke rasio berat 1:20 yaitu dari 10,55% menjadi 6,15%. Pola serupa juga ditunjukkan pada waktu reaksi 50 menit.



Gambar 3. Kurva Kadar Asam Lemak Bebas terhadap Rasio Dedak Padi:Metanol

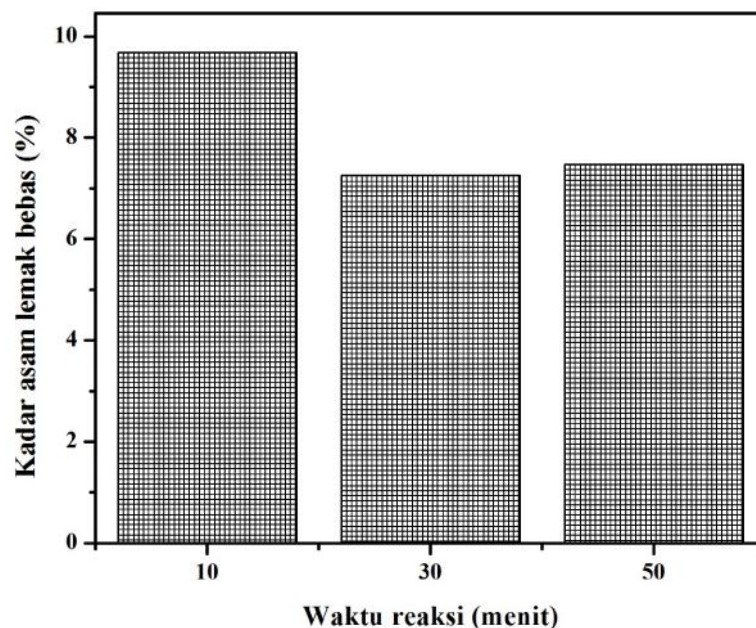
Pada waktu reaksi 30 menit terjadi penurunan kadar asam lemak bebas yang sangat sedikit ketika rasio berat dedak padi:metanol 1:12 menuju 1:16 yaitu dari 7,25% menjadi 7,09% dengan *yield* produk masing-masing 96,54% dan

81,55%. Sehingga dapat dikatakan bahwa penurunan kadar asam lemak bebas diatas 1:12 tidaklah sebanding dengan *yield* produk yang dihasilkan pada saat rasio berat 1:12. Dari data optimum *yield* produk yang dihasilkan yaitu pada rasio

berat 1:12, maka dibuat histogram prosentase kadar asam lemak bebas dengan waktu reaksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Menurut Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada rasio berat 1:12, waktu optimum yang diperlukan untuk mendapatkan asam lemak bebas terendah adalah pada waktu reaksi 30 menit. Tingginya asam lemak bebas menjadi perhatian khusus karena kekhawatiran

terjadinya reaksi penyabunan karena katalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah katalis basa. Menurut Rasyid dan Anwar (2008), proses penyabunan akan terjadi ketika asam lemak bebas berada dalam kondisi basa, namun hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan radiasi gelombang mikro dapat mempercepat reaksi transesterifikasi dan mencegah terjadinya proses penyabunan.



Gambar 4. Histogram Kadar Asam Lemak Bebas pada Rasio Berat Dedak Padi:Metanol Sebesar 1:12.

4. KESIMPULAN

Produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak dedak padi secara in-situ dengan bantuan gelombang mikro telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gelombang mikro berhasil mempercepat proses transesterifikasi. Reaksi dilakukan dengan adanya katalis basa NaOH 0.6 wt% dengan suhu reaksi 60°C. Prosentase biodiesel mentah tertinggi yaitu 96,54% dengan kadar asam lemak bebas sebesar 7,25% yang diperoleh pada kondisi

operasi selama 30 menit dengan rasio berat dedak padi:metanol sebesar 1:12.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada Kementerian Ristekdikti melalui dana hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun anggaran 2017 yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bozbas, K. 2008. Biodiesel as an alternative motor fuel: Production

- and policies in the European Union. *Renew. Sust. Energy. Rev.* 12, 542-552.
- Chen, K.S.; Lin, Y.C.; Hsu, K.H.; Wang, H.K. 2012. Improving Biodiesel Yields from Waste Cooking Oil by Using Sodium Methoxide and A Microwave Heating System. *Energy*, Vol 38 (1): 151–156.
- Demirbas. 2009. A: Global Renewable Energy Projections. *Energy Sources*, Part B, Vol. 4: 212–224.
- Dorado, M.P., Cruz F., Palomar J.M., Lopez F.J. 2006. An Approach to Economics of Two Vegetable Oil-Based Biofuels in Spain. *Renew. Energy*, Vol. 31: 1231-1237
- Fabrizi D, Bevoni V, Notari M, Rivetti F. 2007. Properties of A Potential Biofuel Obtained from Soybean Oil by Transmethylation with Dimethyl Carbonate. *Fuel*, Vol. 86: 690–697.
- Gude, V.G., Patil, P, Martinez-Guerra, E, Deng, S., Nirmalakhandan, N. 2013. Review Microwave Energy Potential for Biodiesel Production. *Sustainable Chemical Processes*, Vol. 1: 55.
- Haas M. J., K. M. Scott, W. N. Marmer and T. A. Foglia. 2004. In situ Alkaline Transesterification: An Effective Method for the Production of Fatty Acid Esters from Vegetable Oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, Vol. 81: 83–89
- Hata, S.; Wiboonsirikul, J.; Maeda, A.; Kimura, Y.; Adachi, S., 2008. Extraction of Defatted Rice Bran by Subcritical Water Treatment, *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 40: 44-45.
- Musa, I.,A. 2016. The Effects of Alcohol to Oil Molar Ratios and the Type of Alcohol on Biodiesel Production Using Transesterification Process: *Egyptian Journal of Petroleum*, Vol. 25: 21-31.
- Pourali, Omid. Asghari,F.S., Yoshida,H. 2009. Sub-critical Water Treatment of Rice Bran to Produce Valuable Materials. *Food chemistry*, Vol. 115: 1-7.
- Rashid U. and Anwar, F. 2008, Production of Biodiesel Through Base-Catalyzed Transesterification of Sunflower Oil Using an Optimized Protocoll. *Energy Fuels*, Vol. 22: 1306-1312.
- Rittmann. 2008. RE: Opportunities for Renewable Bioenergy Using Microorganisms. *Biotechnol Bioengr*, Vol. 100: 203–212.
- Satyanarayana KG, Mariano AB, Vargas JVC. 2011. A review on Microalgae, A Versatile Source for Sustainable Energy and Materials. *Int J Energy Res*, Vol. 35: 291–311.
- Wang L, Weller CL .2006. Recent Advances in Extraction of Nutraceuticals From Plants. *Trends Food Sci Techn*, Vol. 17: 300–312.
- Zullaikah, S. Lai, C.C. Vali, S.R dan Ju, Y.H. 2005. A Two-Step Acid-Catalyzed Process for The Production of Biodiesel From Rice Bran Oil”, *Bioresource Technology*, Vol. 96: 1889–1896.