

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 8, No.2, Agustus 2020



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam *invited paper* yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, *review* perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, *technical paper* hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta *research methodology* berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB
Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syiahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti (Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc Food Research Center Irlandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, IPB University)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, IPB University)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, IPB University)
Agus Ghautsun Niam (Scopus ID: 57205687481, IPB University)
Administrasi : Khania Tria Tifani (IPB University)

Penerbit: Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor bekerjasama dengan Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA).

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@apps.ipb.ac.id
Website: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah naskah pada penerbitan Vol. 8, No. 2 Agustus 2020. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr. Leopold O. Nelwan, S.TP, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Prof.Dr.Ir. Usman Ahmad, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Dr.Ir. Soni Solistia Wirawan, M.Eng (BPPT), Prof.Dr.Ir. Sutrisno M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University), Ir. Siti Mariana Widayanti, M.Si, (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University).

Technical Paper

**Analisis Energi pada Produksi Biodiesel dengan Reaktor
Berpengaduk Statik Sistem Kontinu**

Energy Analysis on Biodiesel Production Using Continuous Static Mixing Reactor

Inge Scorpi Tulliza, Departemen Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin.
E-mail: ingeliza@gmail.com

Armansyah Halomoan Tambunan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University.
E-mail: ahtambun@apps.ipb.ac.id

Edy Hartulistiyoso, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University.
E-mail: edyhartulistiyoso@gmail.com

Dadan Kusdiana, Kementerian Energi dan Sumber Daya Manusia Republik Indonesia.
E-mail: dadankusdiana@gmail.com

ABSTRACT

Energy analysis of biodiesel production technology is needed to get the effectiveness of the method or technology used to produce biodiesel. This study aims to conduct energy analysis in the process of biodiesel production with a continuous type static stirred reactor in order to achieve biodiesel conversion values according to standards. The use of static stirred reactors is only able to convert palm oil into FAME of 84.97% (w / w) with catalysts 0.3% (w/w), and 93.05% (w/w) with catalysts 0.5% (w/w), which only using 5 modules. To achieve biodiesel results according to SNI-7182 (20018), it is necessary to add 2 modules (catalyst 0.3%) and one module (catalyst 0.5%). Meanwhile, based on the energy ratio, the use of a 0.5% catalyst using a static stirred reactor is able to give better energy ratio due to higher yield of the process.

Keywords: *static mixer reactor, energy ratio, biodiesel, catalyst, number of modules*

ABSTRAK

Analisis energi terhadap teknologi produksi biodiesel sangat diperlukan untuk mendapatkan gambaran keefektifan metoda atau teknologi yang digunakan untuk memproduksi biodisel. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis energi pada proses produksi biodiesel dengan reaktor berpengaduk statis tipe kontinu agar mencapai nilai konversi biodiesel sesuai standar. Penggunaan reaktor berpengaduk statik hanya mampu mengkonversi minyak sawit menjadi FAME sebesar 84.97% (w/w) dengan katalis 0.3% (w/w), dan 93.05% (w/w) dengan katalis 0.5% (w/w), yang mana hanya menggunakan 5 modul. Untuk mencapai hasil biodiesel sesuai SNI-7182(20018) maka diperlukan penambahan 2 modul (katalis 0.3%) dan satu modul (katalis 0.5%). Sedangkan jika dilihat dari rasio energinya, maka penggunaan katalis 0.5% dengan menggunakan reaktor berpengaduk static mampu memberi rasio energi yang lebih baik karena hasil proses yang lebih tinggi.

Kata Kunci : reaktor berpengaduk statik, rasio energi, biodisel, katalis, jumlah modul

Diterima: 11 November 2019 ; Disetujui: 19 Juni 2020

Pendahuluan

Biodiesel dihasilkan dari minyak nabati atau lemak hewani dari monoalkil ester rantai panjang yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi. Kelebihan dari biodiesel, selain dapat diperbaharui, tidak beracun, ramah lingkungan dan merupakan bahan bakar minyak pengganti bahan bakar yang berasal dari fosil. Biodiesel merupakan bahan yang dapat diperbaharui yang diperoleh dari bahan nabati atau dari limbah minyak nabati ataupun lemak hewani (Naderloo et al. 2017).

Proses Transesterifikasi umumnya menggunakan dua metode untuk memproduksi biodiesel yaitu katalitik dan non-katalitik. Katalis yang digunakan dapat berupa katalis asam dan enzim untuk bahan umpan dengan kandungan FFA tinggi, serta katalis basa untuk bahan umpan dengan kandungan FFA rendah (Kusdiana dan Saka 2001). Produksi biodiesel umumnya menggunakan metode katalitik secara *batch*, dengan suhu proses transesterifikasi sekitar 65°C, katalis yang digunakan adalah KOH 1% dari minyak yang diumpankan, serta menggunakan *blade agitator* untuk pengadukan (Tambunan 2015).

Beberapa peneliti mengembangkan berbagai metode untuk memproduksi biodiesel antara lain: teknologi *supercritical methanol* (Saka and Kusdiana 2006), penggunaan *ultrasounds* (Wu et al. 2007, Stavarache et al. 2007), penggunaan *bubble column* reaktor pada tekanan atmosfer (Joelianingsih et al. 2008), *microchannel device* (Santacesaria et al. 2012), serta penggunaan *oscillatory flow reactors* (Reyes et al. 2010). Penggunaan teknologi lainnya dan penggabungan beberapa teknologi juga dilakukan oleh Somnuk et al. (2017) antara lain *plug flow reactor* (PF), *static mixer reactor* (SM), *ultrasound clamp reactor* (US), dan gabungan antara *static mixer* dengan *ultrasound reactor* (SM/US).

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian tentang produksi biodiesel lebih diarahkan pada pengembangan teknologi proses yang lebih efisien agar biaya produksi dapat ditekan hingga mencapai tingkat keekonomiannya. Proses alternatif dibutuhkan, dengan memperhatikan penggunaan energi yang rendah, lebih efisien dan mudah digunakan, biaya murah, konservasi energi yang tinggi dan ramah terhadap lingkungan (Valentin et al. 2014). Salah satu komponen utama biaya produksi biodiesel adalah biaya energi proses. Intensifikasi selama proses pengadukan sangat diperlukan untuk menyelesaikan beberapa masalah yang terjadi dalam proses produksi. Pengadukan pada proses produksi biodiesel membutuhkan asupan energi yang cukup besar karena sifat *methanol* dan minyak yang sulit bercampur (*immiscible*). Salah satu teknologi alternatif untuk produksi biodiesel yang dapat dikembangkan adalah dengan menggunakan reaktor berpengaduk statik. Penggunaan pengaduk

statik diharapkan dapat mengurangi asupan energi untuk pengadukan selama proses.

Analisis rasio energi (RE) terhadap berbagai metoda dan teknologi produksi biodiesel sangat diperlukan untuk mendapatkan gambaran keefektifan metoda atau teknologi yang digunakan. Yadav et al. (2010) menyatakan rasio energi merupakan perbandingan antara energi yang dikandung oleh produk (output) dengan energi yang digunakan dalam proses produksi. Meskipun demikian, berbagai definisi RE juga dapat digunakan, seperti perbandingan antara energi yang terkandung pada produk dengan penjumlahan antara energi yang terkandung pada bahan umpan dan energi yang diperlukan untuk proses. Berdasarkan definisi tersebut, nilai RE yang lebih besar dari satu dianggap baik karena memberi surplus energi. Sigalingging (2008) menggunakan definisi bahwa RE sebagai perbandingan antara kandungan energi biodiesel dengan total energi dari bahan umpan dan proses. Berdasarkan definisi tersebut diperoleh nilai RE untuk metoda produksi non-katalitik dengan *superheated methanol vapor* (SMV) sebesar 0.84 dan nilai RE untuk metoda katalis sebesar 0.98 dengan kapasitas reaktor 200 mL. Tambunan et al. (2012) menyarankan bahwa dengan mendaur ulang panas dengan menggunakan alat penukar panas pada metoda SMV rasio energi dapat ditingkatkan dari 0.84 ke 1.03. Sandouqa dan Al-Hamamre (2018), memperoleh nilai Net Energi Rasio sebesar 2.6 untuk memproduksi biodiesel dengan menggunakan minyak lidah buaya sebagai bahan umpan.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis rasio energi pada proses produksi biodiesel dengan reaktor berpengaduk statik tipe kontinu. Hasil dari analisis tersebut diharapkan dapat digunakan untuk menggambarkan keefektifan reaktor berpengaduk statik terhadap penggunaan katalis untuk menghasilkan biodiesel.

Metode Penelitian

Penelitian ini bersifat komparatif dalam melakukan analisis rasio energi produksi biodiesel. Analisis rasio energi produksi biodiesel dengan reaktor berpengaduk statik dilakukan berdasarkan data eksperimental yang diperoleh dengan menggunakan reaktor pengaduk statik sistem kontinu. Diagram skematis prototipe reaktor berpengaduk statik yang digunakan untuk eksperimen ditunjukkan pada Gambar 1. Reaktor terdiri dari 5 modul, dan setiap modul terdiri dari 12 elemen pengaduk statik. Elemen pengaduk statik terbuat dari plat stainless steel (SS-304) dengan panjang = 5.4 cm dan diameter = 3.6 cm yang dipuntir dengan sudut 180°, dan 12 elemen tersebut dikemas dalam tabung reaktor (modul). Modul diisolasi untuk mencegah hilangnya panas

Tabel 1. Perubahan kandungan FAME dan laju aliran energi yang terbawa pada aliran massa bahan dan produk di sepanjang reaktor berpengaduk statik.

Modul		FAME (%)	E _{produk} (KJ/s)	FAME (%)	E _{bahan} (KJ/s)	E _{tot} (KJ/s)
1	Katalis 0.3%	11.23%	694.73	88.77%	3597.17	4291.91
2		22.27%	1377.84	77.73%	3149.73	4527.56
3		29.20%	1806.43	70.80%	2868.99	4675.42
4		53.71%	3322.72	46.29%	1875.78	5198.50
5		84.97%	5256.58	15.03%	609.05	5865.64
6*		95.96%	5936.47	0.46%	163.71	6100.18
7*		99.51%	6156.09	0.49%	19.86	6175.94
1	Katalis 0.5%	24.23%	1498.96	75.77%	3070.38	4569.35
2		52.95%	3275.70	47.05%	1906.58	5182.28
3		86.74%	5366.08	13.26%	537.33	5903.41
4		89.34%	5526.93	10.66%	431.97	5958.90
5		93.05%	5756.45	6.95%	281.63	6038.08
6*		98.98%	6123.30	1.02%	41.33	6164.63

*Penambahan modul untuk mencapai hasil FAME sesuai SNI-7182 (2018) minimal 96.5%

dari produk yang bereaksi ke lingkungan sekitarnya. Bahan umpan yang digunakan adalah minyak sawit *Refine Bleached Deodorized Palm Olein* (RBDPO) dan methanol. Minyak dan methanol dipompa dari tangki yang berbeda dengan laju aliran yang sesuai dengan rasio molar (6:1).

Katalis KOH yang dibutuhkan untuk perlakuan ialah 0.3% (w/w) dan 0.5% (w/w), katalis dilarutkan pada methanol di tangki methanol dan dialirkan ke reaktor menggunakan pompa dengan daya 0.2 kW, sedangkan minyak sawit dialirkan dari tangki minyak menggunakan pompa dengan daya 0.74 kW. Pemanas yang digunakan untuk memanaskan minyak umpan dalam tangki minyak berbentuk *U-Shape* dengan daya 1000 Watt, sedangkan pemanas untuk mempertahankan suhu proses adalah berupa selimut (*band heater*) dengan daya 900 watt.

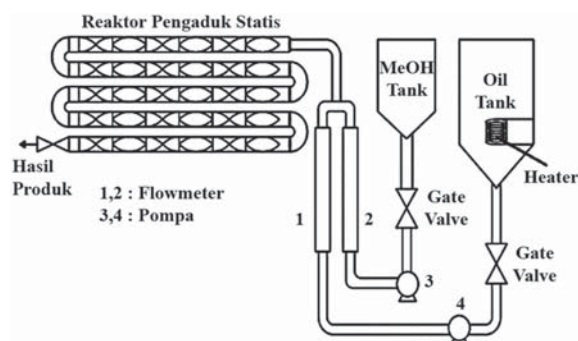
Rasio energi dihitung berdasarkan persamaan 1. Yang mana E_o merupakan energi output (produk), dan E_i merupakan energi input (bahan). Pemilihan perhitungan rasio energi tersebut didasarkan bahwa energi proses pada setiap perlakuan (katalis 0.3% dan 0.5%) ialah sama, sehingga hanya perlu melibatkan energi bahan (minyak sawit, methanol) dan energi produk (FAME). Produk samping biodiesel yaitu gliserol, tidak diperhitungkan dalam perhitungan rasio energi. Hal ini disebabkan output yang diinginkan hanya biodiesel, bukan energi produk secara keseluruhan. Sedangkan pengujian nilai kadar FAME diukur dengan standar metode uji EN341. Sedangkan

$$E_r = \frac{E_o}{E_i} \tag{1}$$

Hasil dan Pembahasan

Perubahan kandungan FAME yang terukur pada akhir tiap modul reaktor berpengaduk statik tipe kontinu ditunjukkan pada Tabel 1. Peningkatan konversi FAME sesuai dengan penambahan jumlah modul yang dilalui menunjukkan sebuah keberlangsungan proses secara kontinu di sepanjang reaktor. Nilai konversi FAME pada modul terakhir adalah sebesar 84.97% (w/w) dengan katalis 0.3% (w/w), dan 93.05% (w/w) dengan katalis 0.5% (w/w). Hasil tersebut belum mencapai SNI-7182 (2018), yang mana dalam standar tersebut ditetapkan sebesar 96.5%.

Tabel tersebut juga menunjukkan perubahan laju aliran energi yang terbawa oleh aliran massa bahan (uFAME) dan produk (FAME) di sepanjang reaktor. E_{bahan} semakin menurun disebabkan perhitungan E_{bahan} berdasarkan jumlah modul yang terlewati, artinya semakin lama bahan yang melewati modul akan berubah menjadi E_{produk}. Total laju aliran energi



Gambar 1. Diagram skematik alat berpengaduk statik sistem kontinu.

Tabel 2. Laju aliran energi pada tiap komponen bahan, proses dan produk hasil percobaan dengan reaktor berpengaduk-statik 5 modul.

Komponen Energi	Laju Aliran (liter/menit)	Nilai Kalor (kJ/kg)	Katalis 0.30%	Katalis 0.50%	Keterangan
RBDPO	9	36850	4.892	4.892	input
Metanol	2.350 ^a & 2.317 ^b	2300	0.714	0.704	input
Katalis	0.049 ^a & 0.082 ^b	261	1.18E-04	1.98E-04	input
FAME		37000	5.2566	5.7564	output

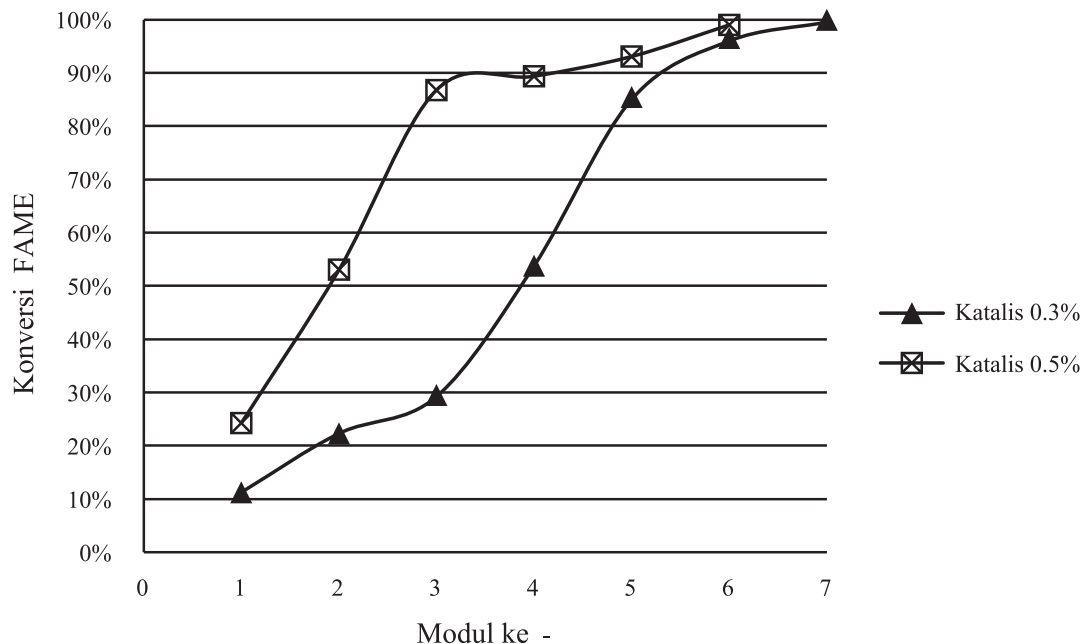
Keterangan: a = katalis 30%, b= katalis 50%

(E_{tot}) adalah jumlah dari energi bahan dan produk pada modul yang sama, yang juga meningkat seiring dengan peningkatan produk.

Sedangkan untuk memperoleh nilai konversi FAME yang sesuai SNI-7182 maka dilakukan simulasi penambahan jumlah modul berdasarkan persamaan 2 dan 3 (Tambunan *et al.* 2018). Hasil simulasi menunjukkan bahwa proses dengan katalis 0.3% (w/w) membutuhkan penambahan 2 modul (modul 6 dan 7) dan proses dengan katalis 0.5% (w/w) membutuhkan penambahan 1 modul (modul 6). Berdasarkan kondisi tersebut dapat dikatakan bahwa penggunaan katalis dapat dikompensasi dengan perubahan jumlah modul (Sari *et al.* 2016 dan Tambunan *et al.* 2018). Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 tersebut juga menjelaskan bahwa terjadi peningkatan laju nilai konversi FAME terbesar pada modul ke 3 menuju ke 4, baik pada katalis 0.3% dan 0.5%. Hal ini menunjukkan bahwa pada modul tersebut proses reaksi methanol dengan minyak sawit mulai berlangsung secara signifikan.

Berdasarkan Nitamiwati *et al.* (2018), keberadaan elemen pengaduk di dalam pipa reaktor berpengaduk statis dapat meningkatkan keseragaman vortisitas aliran, sehingga terjadi gerakan acak. Keseragaman vortisitas disepanjang reaktor pengaduk statik memberi peluang ketercampuran molekul-molekul reaktan yang lebih baik, dan meningkatkan peluang terjadinya reaksi antar molekul reaktan. Simulasi menggunakan lima skenario laju aliran massa pada kisaran 5-20 L/menit untuk minyak dan 0.6-2.4 L/menit untuk metanol menunjukkan bahwa pada laju aliran massa yang lebih rendah terjadi keseragaman vortisitas yang lebih baik dan menghasilkan kadar FAME yang lebih tinggi.

Pada Tabel 2 menunjukkan data penggunaan energi selama proses serta kandungan energi bahan umpan dan produk, yang merupakan hasil pengukuran dengan menggunakan reaktor berpengaduk-statik dengan 5 modul. Aliran massa bahan terdiri atas RBDPO dan metanol, aliran massa produk terdiri atas FAME dan bahan yang tidak terkonversi menjadi FAME (uFAME),



Gambar 2. Hubungan modul reaktor berpengaduk statik dengan konversi FAME.

sedangkan aliran energi proses berasal dari listrik untuk menggerakkan pompa dan untuk pemanasan. Energi dari katalis tidak diikuti dalam perhitungan rasio energi karena tidak ikut bereaksi dan tidak mengalami perubahan selama proses.

Gambar 3 menunjukkan rasio energi yang dihitung berdasarkan persamaan 1 menggunakan data hasil penelitian dengan 5 modul. Rasio energi pada penggunaan katalis 0.3% (w/w), menunjukkan nilai sebesar 0.937, sedangkan pada penggunaan katalis 0.5% ialah sebesar 1.03. Nilai konversi lebih dari 1 menunjukkan bahwa biodiesel tersebut layak untuk diproduksi. Pada reaktor berpengaduk statik, nilai konversi dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah modul. Seperti ditunjukkan pada Tabel 1, untuk penggunaan katalis 0.3% (w/w), nilai konversi dapat mencapai 99.51% dengan penambahan 2 modul pengaduk statik. Penambahan hanya 1 modul pada reaksi dengan katalis 0.3% (w/w) tidak mencapai nilai konversi yang diperlukan untuk memenuhi SNI-7182 (2018). Penggunaan katalis 0.5% (w/w) hanya memerlukan penambahan 1 modul pengaduk statik untuk mencapai nilai konversi 98.98%, sehingga telah memenuhi SNI-7182 (2018).

Laju aliran energi pada masing-masing komponen bahan, proses dan produk berdasarkan data simulasi kebutuhan modul ditunjukkan pada Tabel 3. Laju aliran energi listrik yang diperlukan oleh pompa dihitung berdasarkan penambahan pipa akibat penambahan jumlah modul. Kebutuhan energi listrik untuk pemanasan dianggap sama dengan pada saat penggunaan 5 modul karena kebutuhan panas untuk peningkatan suhu ke suhu operasi yang sama dianggap tidak berubah.

Tabel 3. Laju aliran energi pada tiap komponen bahan, proses dan produk dengan jumlah pengaduk statik hasil simulasi.

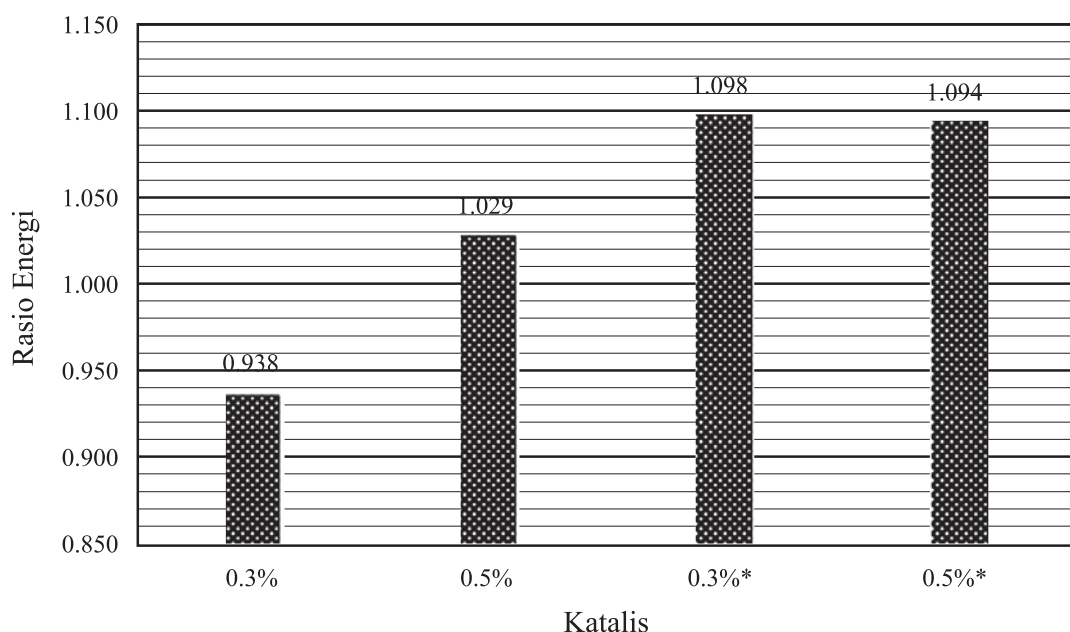
Laju aliran Energi (MJ/s)	Katalis 0.30% ¹⁾	Katalis 0.50% ²⁾	Keterangan
RBDPO	4.892	4.892	input
Metanol	0.714	0.704	input
Katalis	1.18E-04	1.98E-04	input
FAME	6.156	6.123	output

Catatan: ¹ jumlah pengaduk statik: 7 modul

² jumlah pengaduk statik: 6 modul

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa nilai konversi FAME ialah sebesar 84.97% (w/w) dengan katalis 0.3 % (w/w), dan 93.05% (w/w) dengan katalis 0.5% (w/w), yang mana hanya menggunakan 5 modul. Untuk mencapai hasil biodiesel sesuai SNI-7182(20018) maka dilakukan simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa proses dengan katalis 0.3% (w/w) membutuhkan penambahan 2 modul (modul 6 dan 7) dan proses dengan katalis 0.5% (w/w) membutuhkan penambahan 1 modul (modul 6). Sedangkan jika dilihat dari rasio energinya, maka penggunaan katalis 0.5% dengan menggunakan reaktor berpengaduk static mampu menghasilkan rasio energi yang lebih baik akibat hasil reaksi yang lebih tinggi.



Gambar 3. Rasio Energi pada penggunaan katalis 0.3 dan 0.5%.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang sudah mendukung penelitian ini dalam Penelitian Hibah Kompetensi tahun ketiga sesuai kontrak nomor: 157/SP2H/PL/DI.LITABMAS/2/2015 Tanggal 5 februari 2015.

Daftar Pustaka

- Joelianingsih, H. Maeda, H. Nabetani, Y. Sagara, T.H. Soerawidjaya, A.H.K. Tambunan, Abdullah. 2008. Biodiesel fuels from palm oil via the noncatalytic transesterification in a bubble column reactor at atmospheric pressure: a kinetic study. *Renewable Energy*. 33(7): 1629-1636.
- Kusdiana, D., S. Saka. 2001. Metil esterification of free fatty acids of rapeseed oil as treated in supercritical methanol. *J Chem Eng Japan*. 34(3): 383-387.
- Naderloo, L, J. Hossein, M. Mostafaei. 2017. Modeling the energy ratio and productivity of biodiesel with different reactor dimensions and ultrasonic power using ANFIS. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70:56-64
- Nitamiwati, N.P.D, A.H. Tambunan, L.P.E. Nugroho. 2018. Simulasi Pencampuran Reaktan Untuk Produksi Biodiesel Pada Reaktor Berpengaduk Statik. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 28(3): 252-261
- Reyes, J., P. Malverde, Melin P, J.D. Bruijn. 2010. Biodiesel production in a jet flow stirred reactor. *Fuel* 89:3093-3098.
- Saka, S., D. Kusdiana, E. Minami. 2006. Non-catalytic biodiesel fuel production with supercritical methanol technologies. *Journal of Scientific and Industrial Research* 65:420-425.
- Sandouqa, A., Z. Al-Hamamre. 2018. Energy Analysis of Biodiesel production from Jojoba Seed Oil. *Renewable Energy* 2018. Accepted manuscript journal.
- Santacesaria, H., M.Di. Serio, R. Tesser, R. Turco, Tortorelli, V. Russo. 2012. Biodiesel Process Intensification in Very Simple Microchannel Device. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 52 (2012) 47-54.
- Sari, S.P., A.H. Tambunan, dan L.P.E. Nugroho, 2016. Penggunaan pengaduk statik untuk pengurangan kebutuhan katalis dalam produksi biodiesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* Vol 26, No 3 (2016)
- Sigalingging, R. 2008. Analisis Energi dan Eksergi pada Produksi Biodiesel Berbahan Baku CPO (*Crude Palm Oil*). [Tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Somnuk, Krit., T. Prasit, G. Prateepchaikul. 2017. Effects of mixing technologies on continuous methyl ester production: Comparison of using plug flow, static mixer, and ultrasound clamp. *Energy Conversion and Management* 140: 91-97
- Stavarache, C., M. Vinatoru, Y. Maeda. 2007. Aspects of ultrasonically assisted transesterification of various vegetable oil with methanol. *Ultrasonics Sonochemistry* 14:380-386
- Tambunan, A.H., Furqon, Joelianingsih, T. Araki, H. Nabetani. 2012. Analisis Rasio Energi Daur Ulang Panas pada Produksi Biodiesel Secara Non-Katalitik. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, Agustus Vol. 17 (2): 70-76
- Tambunan, A.H., 2015. Metoda Eksergi Pada Perancangan Sistem Termal Untuk Industri Pertanian. Laporan Penelitian LPPM IPB.
- Tambunan, A.H., N.P.D. Nitamiwati, L.P.E. Nugroho. 2018. Potential Catalyst Reduction by Enhancement of Mixing using static mixing reactor for biodiesel production. *Asean Conference Biomass Science*. 2018.
- Valentin, P., J. S. Puigcasas, G.B. Surroca, J. Bonet, E. Alexandra. B. Ruiz, A. Tuluc, J. Llorens. 2014. Process intensification in biodiesel production with energy reduction by pinch analysis. *Energy* (2014) 1-15
- Wu, P., Y. Yang, J. Colucci, E. Grulke. 2007. Effect of ultrasonication on droplet size in biodiesel mixtures. *American oil chemist society* 84:877-884
- Yadav, A., O. Singh, N. Kumar. 2010. Evaluation of energy ratios for karanja and neem biodiesel life cycle. *S-JPScle. S-JPSET*. 1(1): 55-59.