

Produksi Biodiesel tanpa Gliserol dari Minyak Kelapa Sawit dengan Variasi Massa *Co-solvent* dan Waktu Reaksi

Biodiesel Production without Glycerol from Palm Oil with Variations in Co-solvent Mass and Reaction Time

Elvianto Dwi Daryono*, Angga Puji Prasetyo, Syaiful Bahri, Eliya Maya Sista
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang
Jalan Bendungan Sigura-gura No. 2, Malang, 65145, Indonesia

*Email: elviantodaryono@lecturer.itn.ac.id

Abstrak

Bahan bakar dari minyak bumi semakin berkurang persediannya seiring dengan bertambahnya industri dan jumlah penduduk. Sumber energi alternatif terbarukan yang potensial untuk menggantikan BBM adalah biodiesel. Proses pembuatan biodiesel yang umum dilakukan adalah proses transesterifikasi dengan produk sampingnya gliserol yang proses pemisahannya sulit. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode interesterifikasi, yaitu dengan mengganti gugus metil alkohol dengan gugus metil dari metil asetat dengan produk samping triasetin. Kondisi operasi proses adalah massa minyak kelapa sawit 250 gram, massa katalis KOH 1% wt. minyak, suhu reaksi 60 °C, kecepatan pengadukan 800 rpm, massa *co-solvent* metil ester (0, 5, 10, 15, 20% wt. minyak) dan waktu reaksi (30 menit, 60 menit, 90 menit). Hasil dari penelitian yang telah dilakukan didapat yield tertinggi dengan penambahan *co-solvent* metil ester sebanyak 20% berat minyak pada waktu reaksi 30 menit yaitu sebesar 92,43%. Produk biodiesel yang dihasilkan memenuhi SNI 7182:2015 yaitu nilai angka asam < 0,5 mg-KOH/g.

Kata kunci: biodiesel, interesterifikasi, *co-solvent*

Abstract

Petroleum fuels are increasingly reduced in line with the increasing industry and population. A potential alternative renewable energy source to replace fuel is biodiesel. The process of making biodiesel that is commonly done is the process of transesterification with glycerol byproducts which is difficult to separate. The method used in this study is the method of interesterification, namely by replacing the methyl alcohol group with a methyl group from methyl acetate with triacetin byproducts. The operating conditions of the process are 250 grams of palm oil mass, 1% wt KOH catalyst mass, oil, reaction temperature 60 °C, stirring speed 800 rpm, mass of co-solvent methyl ester (0, 5, 10, 15, 20% wt. oil) and reaction time (30 minutes, 60 minutes, 90 minutes). The results of the research have been obtained the highest yield with the addition of co-solvent methyl ester of 20% by weight of oil in the reaction time of 30 minutes is 92.43 %. The biodiesel product produced meets SNI 7182:2015 which is an acidic value <0.5 mg-KOH/g.

Keywords: biodiesel, interesterification, *co-solvent*

Pendahuluan

Kebutuhan metil ester semakin meningkat tiap tahun karena merupakan *raw material* yang penting bagi industri kimia. Metil ester saat ini telah digunakan untuk membuat minyak diesel sebagai bahan bakar alternatif. Metil ester termasuk bahan oleokimia dasar, turunan dari trigliserida (minyak atau lemak) yang dapat dihasilkan melalui proses esterifikasi, transesterifikasi, dan interesterifikasi. Bahan baku pembuatan metil ester antara lain minyak kelapa sawit, minyak kelapa, minyak jarak, minyak kedelai, minyak biji pepaya dan lainnya.

Biodiesel adalah bahan bakar mesin diesel yang terbuat dari bahan-bahan *renewable* dengan komposisi senyawa alkil ester. Kelebihan biodiesel antara lain yaitu tidak menimbulkan polusi, dan dapat digunakan tanpa modifikasi mesin diesel. Biodiesel dapat diperoleh dari minyak tumbuhan yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui seperti minyak nabati, lemak binatang, dan minyak goreng bekas/jelantah, melalui esterifikasi dan atau transesterifikasi [1].

Persediaan kelapa sawit sebagai bahan utama pembuatan biodiesel sangat berpotensi dari tahun ke-tahun, mengingat jumlah yang melimpah. Menurut

data dari Direktorat Jenderal Perkebunan produksi minyak sawit pada tahun 2016 sebesar 33.500.691 ton dan luas area perkebunan sebesar 11.672.861 hektar. Produksi dan luas area perkebunan setiap tahun mengalami peningkatan, sehingga Indonesia berpotensi dapat meningkatkan jumlah produksi *biofuel* khususnya biodiesel [2].

Proses umum yang dilakukan untuk pembuatan biodiesel adalah transesterifikasi, dimana dihasilkan produk samping gliserol yang proses pemisahnya relatif sulit. Standar biodiesel Indonesia mensyaratkan kandungan gliserol bebas pada biodiesel maksimal 0,02% massa [3]. Dalam industri biodiesel, langkah pemisahan bisa dikurangi dengan menghasilkan biodiesel melalui proses tanpa pembentukan gliserol atau produk samping air. Salah satu pilihan menarik adalah mensintesis biodiesel melalui reaksi interesterifikasi minyak nabati dengan menggunakan metil atau etil asetat sebagai reaktan dan bukan alkohol berantai pendek. Interesterifikasi kimiawi minyak dengan metil/etil asetat akan menghasilkan metil ester (biodiesel) dan triasetin, sedangkan gliserol tidak akan diproduksi dalam reaksi ini. Kandungan 10% triasetin pada biodiesel masih menghasilkan biodiesel yang memenuhi kualitas [4]. Triasetin dikenal sebagai bahan bakar bio-aditif yang dapat meningkatkan kualitas bahan bakar dalam hal viskositas, stabilitas oksidasi, dan arus awan serta memiliki fungsi sebagai agen anti-knocking untuk bahan bakar diesel [5]. *By product* proses interesterifikasi yaitu triasetin, harga jualnya lebih tinggi dibandingkan gliserol [6].

Permasalahan utama dalam reaksi interesterifikasi adalah kelarutan trigliserida dan metil asetat yang terbatas. Reaksi satu fase dapat dibentuk dengan menambahkan pelarut yang dapat meningkatkan kelarutan minyak, pelarut tersebut disebut sebagai *co-solvent* [7]. Penelitian yang telah dilakukan selama ini menggunakan *co-solvent* dengan harga yang relatif mahal dan perlu proses separasi pada akhir reaksi dengan pemanasan. Hal ini tentunya akan menambah biaya produksi biodiesel itu sendiri. Maka untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menggunakan metil ester sebagai *co-solvent*, yang akan menghemat biaya produksi karena tidak perlu proses pemisahan *co-solvent* di akhir reaksi [8].

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan dengan proses yang sama tetapi tidak menggunakan *co-solvent*, dengan kondisi optimum pada penelitian tersebut diperoleh pada konsentrasi katalis KOH 1%, rasio mol metil asetat-minyak jarak 6:1, suhu reaksi pada 60°C dan waktu reaksi selama 1 jam, dengan *yield* biodiesel sebesar 87,63% [1]. Pada penelitian interesterifikasi trigliserida, mendapatkan *yield* metil oleat 83% pada suhu reaksi 120°C, rasio mol metil asetat:minyak = 20:1, katalis feri sulfat 7,5%, waktu reaksi 12 jam dengan menggunakan *co-solvent* metil miristat 7,7 g/L [9].

Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui massa *co-solvent* metil ester yang optimal dalam

proses pembuatan biodiesel menggunakan metode interesterifikasi serta mengetahui waktu reaksi yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang optimal.

Teori

Metil Ester (Biodiesel)

Metil ester adalah senyawa ester yang terbentuk dari asam lemak yang berasal dari tumbuhan maupun hewan yang bereaksi dengan alkohol. Proses konvensional yang banyak dilakukan untuk pembuatan metil ester adalah proses transesterifikasi, karena bisa menghasilkan *yield* yang relatif tinggi dalam waktu yang singkat. Tetapi kelemahannya adalah dengan adanya produk samping gliserol. Metode tanpa produk samping gliserol untuk menghasilkan biodiesel adalah interesterifikasi, yaitu mereaksikan minyak/lemak dengan alkil asetat dengan produk samping triasetin [10]. Metil ester umumnya diproduksi dari *refined vegetable oil* (minyak murni) melalui proses transesterifikasi dan interesterifikasi. Proses tersebut untuk mengubah trigliserida dari minyak/lemak menjadi alkil ester asam lemak.

Biodiesel merupakan bahan bakar minyak yang dapat diperbaharui. Bahan bakar minyak ini berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui seperti tumbuhan dan hewan [11]. Biodiesel mempunyai sifat fisik yang menyerupai solar sehingga bisa langsung digunakan dalam segala perbandingan.

Minyak Kelapa Sawit (CPO (*Crude Palm Oil*))

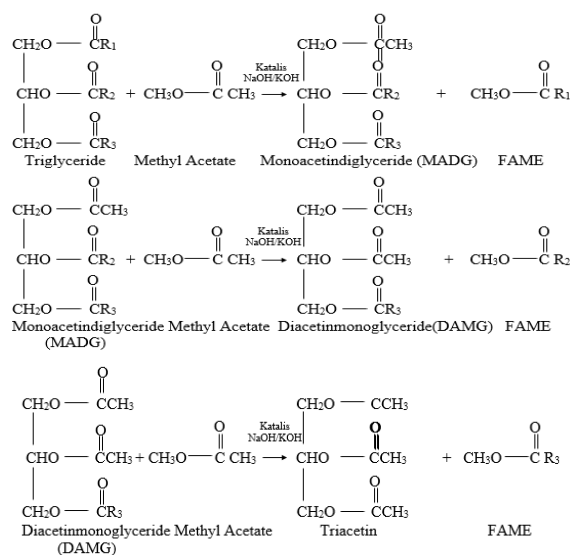
Produksi minyak kelapa sawit di Indonesia meningkat dari tahun ke tahun, dan Indonesia merupakan penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Minyak kelapa sawit diekspor dalam bentuk CPO. Kandungan utama dalam minyak kelapa sawit adalah trigliserida sekitar 93%. Kandungan gliserida lainnya adalah digliserida 4,5% dan monogliserida 0,9%. Minyak kelapa sawit juga mengandung *impurities* lain yaitu FFA dan gum. Minyak kelapa sawit kemasan mempunyai kadar FFA 0,124% dan kadar air 0,0496% [12]. Kandungan dan komposisi asam lemak penyusun minyak kelapa sawit ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan asam lemak dalam CPO [13]

Jenis asam lemak	Komposisi (%)
Asam Laurat (C12:0)	>0,5
Asam Miristat (C14:0)	0,5-2,0
Asam Palmitat (C16:0)	39,3-47,5
Asam Palmitoleat (C16:1)	>0,6
Asam Stearat (C18:0)	3,5-6,0
Asam Oleat (C18:1)	36,0-44,0
Asam Linoleat (C18:2)	9,0-12,0
Asam Linolenat (C18:3)	>0,5
Asam Arakidat (C20:0)	>0,1
Asam Gadoleinat (C20:1)	>0,4

Interesterifikasi

Interesterifikasi minyak dan lemak dengan metil/etil asetat sangat menarik karena bisa bersamaan mensintesis biodiesel dan bahan bakar bio-aditif. Reaksi interesterifikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 1. adalah reaksi yang bersifat reversibel dengan tiga tahapan reaksi [5]. Pada reaksi interesterifikasi terjadi pertukaran gugus antara dua senyawa ester dengan bantuan katalis. Katalis yang digunakan bisa bersifat homogen (NaOH, KOH), bio-katalis, katalis heterogen dan tanpa katalis. Reaksi biodiesel ini dilakukan menggunakan substrat yang berasal dari minyak nabati sebagai sumber trigliserida dan dilakukan melalui rute non-alkohol yaitu menggunakan metil asetat.



Gambar 1. Reaksi Interesterifikasi

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembuatan biodiesel dengan metode interesterifikasi adalah:

1. Suhu

Pada umumnya reaksi dapat dijalankan pada suhu mendekati titik didih metil asetat (50-60°C) pada tekanan atmosfer. Laju reaksi akan naik bersamaan dengan dengan kenaikan suhu reaksi. Jika suhu semakin tinggi, maka akan semakin banyak energi yang dapat digunakan oleh reaktan untuk mencapai energi aktivasi. Hal ini menyebabkan fraksi tumbukan antar molekul reaktan semakin besar untuk kemudian melakukan reaksi, sehingga laju reaksi meningkat. Penggunaan temperatur reaksi 60°C pada reaksi interesterifikasi untuk menghindari menguapnya semua metil asetat yang bertitik didih 57°C [1].

2. Waktu reaksi

Waktu reaksi berbanding lurus dengan jumlah produk yang dihasilkan. Jika reaksi telah mencapai kesetimbangan, penambahan waktu reaksi tidak akan berpengaruh tetapi malah justru menurunkan jumlah produk yang dihasilkan khususnya pada reaksi reversibel. Pada interesterifikasi minyak jarak pagar dengan etil asetat mendapatkan yield 14% pada waktu reaksi 6 jam [5].

3. Katalis

Fungsi katalis adalah mempercepat reaksi dengan menurunkan energi aktivasi tanpa menggeser letak kesetimbangan reaksi. Tanpa katalis, reaksi Interesterifikasi baru dapat berjalan pada suhu sekitar 250°C. Katalis selain untuk mempercepat reaksi juga untuk menurunkan kondisi operasi. Dengan katalis basa reaksi dapat berjalan pada suhu kamar, sedangkan katalis asam pada umumnya memerlukan suhu reaksi diatas 100 °C. Katalis asam cair yang biasa digunakan, misalnya asam sulfat, asam klorida, dan asam sulfonat. Pada interesterifikasi minyak jelantah, mendapatkan yield kasar 87,63% dengan menggunakan katalis KOH 1% dan waktu reaksi 60 menit [1].

4. Pengadukan

Pengadukan bertujuan untuk mendapatkan campuran reaksi yang homogen. Dengan pengadukan akan mempercepat laju perpindahan massa. Pada interesterifikasi minyak bunga matahari mendapatkan fraksi massa FAME 5% pada suhu reaksi 50°C dan kecepatan pengaduk 600 rpm [10].

5. Perbandingan reaktan

Stoikiometri reaksi interesterifikasi memerlukan 3 mol metil asetat untuk setiap mol trigliserida untuk menghasilkan 3 mol ester asam dan 1 mol triasetin. Supaya reaksi interesterifikasi bergeser ke arah produk maka digunakan *excess* metil asetat atau dengan segera memisahkan salah satu produk hasil reaksi. Lebih banyak metil asetat yang digunakan, maka semakin memungkinkan reaktan untuk bereaksi lebih cepat. Pada interesterifikasi minyak kelapa sawit dengan bio-katalis, mendapatkan konversi 82% dengan rasio mol TG:metil asetat = 1:12 dan waktu reaksi 50 jam [6].

Metodologi Penelitian

Bahan

Bahan yang digunakan yaitu minyak kelapa sawit (Sunco), metil asetat (p.a), methanol (p.a), natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), *aquadest*, indikator PP, HCl 1 N dan asam fosfat.

Prosedur Penelitian

Penentuan Kadar Air

Menimbang minyak sebanyak 10 gram, dan memasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 30 menit. Mendinginkan pada desikator hingga mencapai suhu kamar dan menghitung kadar air minyak kelapa sawit dengan persamaan (1).

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{massa awal} - \text{massa akhir}}{\text{massa awal}} \times 100\% \quad (1)$$

Uji FFA [13]

Menimbang 20 gram minyak dalam *erlenmeyer*. Memanaskan minyak sampai suhu 65°C, Memasukkan etanol 96% sebanyak 50 mL dan 3 tetes indikator PP ke dalam *erlenmeyer*. Mendinginkan larutan pada suhu kamar dan menitrasi larutan dengan larutan KOH 0,1 N sampai terjadi perubahan warna

menjadi pink. Mencatat volume titrasi yang dibutuhkan dan menyatakan asam lemak bebas sebagai % FFA. Perhitungan % FFA menggunakan persamaan (2) yaitu:

$$\% \text{ FFA} = \frac{m_{\text{KOH}} \times N_{\text{KOH}} \times B_{\text{M asam lemak}}}{\text{massa sampel} \times 1000} \times 100\% \quad (2)$$

Jika hasil FFA > 2% maka dilakukan proses esterifikasi sampai bahan baku mempunyai FFA < 2%. Jika FFA < 2% maka dapat melakukan proses transesterifikasi dan interesterifikasi.

Tahap Pembuatan *Co-solvent* [14]

Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan menimbang minyak 250 gram, katalis NaOH 1% berat minyak, kecepatan pengadukan 100 rpm, waktu reaksi 1 jam, suhu reaksi 60°C, dan rasio molar minyak:metanol = 1:6. Menambahkan HCl 1 N pada hasil reaksi untuk menetralkan katalis dan memasukkan ke dalam corong pemisah selama ±12 jam supaya terpisah menjadi 2 lapisan. Lapisan atas adalah metil ester yang akan digunakan sebagai *co-solvent*.

Tahap Interesterifikasi

Menyiapkan minyak kelapa sawit sebanyak 250 g, kemudian mencampurkan minyak kelapa sawit dan *co-solvent* dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Mencampurkan KOH 1% dan metil asetat kedalam labu leher tiga dan dipanaskan sampai suhu 60°C. Memasukkan campuran minyak dan *co-solvent* ke dalam labu leher tiga saat suhu telah tercapai. Memanaskan dan mengaduk campuran tersebut pada temperatur 60°C dengan waktu 30, 60, dan 90 menit dengan kecepatan pengadukan 800 rpm serta massa *co-solvent* 0, 5, 10, 15, 20% dari berat minyak. Hasil reaksi kemudian ditambahkan asam pospat untuk menetralkan katalis dan dimasukkan ke alat centrifuge untuk pemisahan.

Tahap pemurnian

Menyiapkan dan memasukkan biodiesel yang sudah terbentuk ke dalam tabung centrifuge. Mengatur kecepatan putaran alat centrifuge dengan kecepatan 1500 rpm dan lama waktu 1 menit. Setelah 1 menit akan terbentuk 2 lapisan yaitu lapisan atas adalah metil ester, minyak sisa reaksi, metil asetat sisa reaksi dan sedikit air serta lapisan bawah yaitu triasetin, garam kalium fosfat hasil reaksi netralisasi KOH dan air. Lapisan atas kemudian dilakukan destilasi pada suhu 110°C untuk menghilangkan metil asetat sisa reaksi dan air yang terikut. Langkah terakhir adalah menyaring produk metil ester yang masih kelihatan keruh dengan kertas saring sehingga didapatkan metil ester yang jernih.

Tahap analisa

Produk biodiesel yang didapatkan dilakukan analisa densitas, angka asam dan komposisi metil ester dengan menggunakan GC.

Menentukan Yield Kasar

Perhitungan yield kasar dihitung dengan persamaan (3).

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Massa hasil reaksi}}{\text{Massa minyak awal}} \times 100\% \quad (3)$$

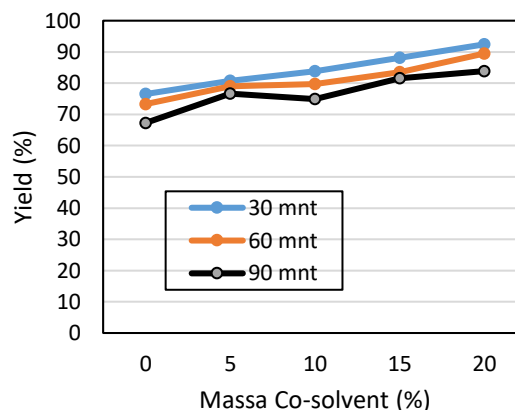
Hasil dan Pembahasan

Dari hasil analisa awal didapatkan konsentrasi FFA minyak awal adalah 0,1569%, kadar air minyak awal 0,015% dan densitas minyak awal 0,91 g/ml.

Tabel 2. Data densitas dan angka asam metil ester

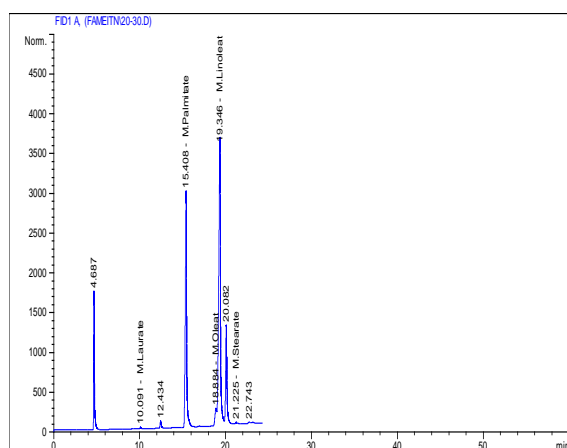
Massa <i>Co-Solvent</i> (%)	Waktu Reaksi (menit)	Densitas (g/cm ³)	Angka Asam (mg-KOH/g)
0	30	0,9	0,29
	60	0,9	0,28
	90	0,9	0,29
5	30	0,9	0,30
	60	0,9	0,28
	90	0,9	0,28
10	30	0,9	0,29
	60	0,9	0,29
	90	0,9	0,28
15	30	0,9	0,29
	60	0,9	0,30
	90	0,9	0,29
20	30	0,9	0,28
	60	0,9	0,30
	90	0,9	0,29

Pada Tabel 2 didapatkan nilai densitas yang tidak sesuai dengan standar SNI (0,85-0,89 g/cm³) [3] pada semua variasi waktu reaksi dan penambahan *co-solvent*. Hal ini dikarenakan terdapatnya kandungan minyak yang belum bereaksi sehingga densitas metil ester masih mendekati densitas minyak awal yaitu 0,91 g/ml. Untuk nilai angka semua memenuhi SNI yaitu maks. 0,5 mg-KOH/g [3].



Gambar 2. Hubungan antara yield (%) dan massa *co-solvent* (%) terhadap waktu reaksi (menit)

Pada Gambar 2. terlihat bahwa yield tertinggi didapat pada penambahan *co-solvent* 20% massa minyak dengan waktu reaksi 30 menit yaitu sebesar 92,43%. Ini sesuai dengan dengan teori bahwa terjadi peningkatan yield seiring dengan penambahan *co-solvent*. Ini dikarenakan sifat *co-solvent* yang mampu meningkatkan kelarutan reaktan sehingga membentuk satu fase. Dengan terbentuknya satu fase maka reaksi akan cepat berjalan dan produk metil ester akan cepat terbentuk. Penelitian sebelumnya mendapatkan yield kasar 87,63% dengan waktu reaksi 60 menit [1]. Gambar 3. Menunjukkan kromatogram metil ester pada kondisi optimum yaitu dengan penambahan *co-solvent* metil ester 20% pada waktu reaksi 30 menit.



Gambar 3. Kromatogram metil ester pada waktu reaksi 30 menit dengan penambahan *co-solvent* 20%

Tabel 3. Hasil analisa GC komposisi metil ester pada waktu reaksi 30 menit dengan penambahan *co-solvent* 20%

Metil Ester	Komposisi (%)
Metil laurat	0,67
Metil palmitat	66,67
Metil oleat	6,08
Metil linoleat	26,32
Metil stearat	0,17

Tabel 3 menunjukkan komposisi metil ester pada kondisi optimum proses interesterifikasi yaitu dengan penambahan *co-solvent* metil ester 20% pada waktu reaksi 30 menit. Komposisi metil ester terbesar yang didapat adalah metil palmitat 66,67% dan ini sesuai dengan komposisi asam lemak minyak kelapa sawit terbesar yaitu asam palmitat.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian pembuatan biodiesel menggunakan metode interesterifikasi dengan variasi massa *co-solvent* dan waktu reaksi, didapatkan kesimpulan bahwa *co-solvent* dapat mempengaruhi pembentukan metil ester. Yield tertinggi didapat pada

penambahan *co-solvent* metil ester 20% berat minyak dengan waktu reaksi 30 menit yaitu sebesar 92,43%. Produk biodiesel memenuhi SNI untuk angka asam yaitu < 0,5 mg-KOH/g.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Jurusan Teknik Kimia dan juga staf laboratorium Bioenergi Institut Teknologi Nasional Malang yang telah mendukung dan memberikan fasilitas penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] I. Hartono, R., Listiadi, A.P., Bayupramana, "Intensifikasi Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Metode Interesterifikasi dan Pemurnian Dry Washing," *J. Teknol. Pengelolaan Limbah*, vol. 16, no. 3, pp. 49–56, 2013, [Online]. Available: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/jtpl/article/view/1235>.
- [2] Directorate General of Plantation, "Statistik Perkebunan Indonesia 2014-2016: Kelapa sawit," *Tree Crop Estate Stat. Indones.*, no. December 2015, p. 79, 2015, [Online]. Available: [http://ditjenbun.pertanian.go.id/tinymcpuk/gambar/file/statistik/2016/SAWIT 2014-2016.pdf](http://ditjenbun.pertanian.go.id/tinymcpuk/gambar/file/statistik/2016/SAWIT%202014-2016.pdf).
- [3] SNI 7182:2015, "Standar Nasional Indonesia 7182:2015," *Standar Nas. Indones. 71822015*, no. 1, pp. 1–88, 2015.
- [4] A. Casas, J. R. Ruiz, M. J. Ramos, and Á. Pérez, "Effects of triacetin on biodiesel quality," *Energy and Fuels*, vol. 24, no. 8, pp. 4481–4489, 2010, doi: 10.1021/ef100406b.
- [5] R. D. Kusumaningtyas, R. Pristiyani, and H. Dewajani, "A new route of biodiesel production through chemical interesterification of jatropha oil using ethyl acetate," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 9, no. 6, pp. 627–634, 2016.
- [6] H. Hermansyah, S. Marno, R. Arbianti, T. S. Utami, and A. Wijanarko, "Interesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Dengan Terimobilisasi," *J. Tek. Kim. Indones.*, vol. 8, no. 1, pp. 24–32, 2009.
- [7] Muyassaroh, E. D. Daryono and M. I. Hudha, "Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar dengan Variasi Penambahan Co-Solvent Dan Waktu Reaksi," *Tek. Kim.*, vol. 7, no. 1, pp. 8–11, 2012.
- [8] E. D. Daryono and E. J. Sinaga, "Transesterifikasi palm oil dengan variasi massa co-solvent dan waktu reaksi," *Pros. Sentia*, vol. 8, no. 2, pp. 13–16, 2016, [Online]. Available: [http://sentia.polinema.ac.id/index.php/SENTIA 2016/article/view/126](http://sentia.polinema.ac.id/index.php/SENTIA2016/article/view/126).
- [9] Y. Tian, J. Xiang, C. C. Verni, and L. Soh, "Fatty acid methyl ester production via ferric sulfate catalyzed interesterification," *Biomass and Bioenergy*, vol. 115, no. November 2017, pp. 82–87, 2018, doi: 10.1016/j.biombioe.2018.04.013.
- [10] A. Casas, M. J. Ramos, and Á. Pérez, "New

- trends in biodiesel production: Chemical interesterification of sunflower oil with methyl acetate,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, no. 5, pp. 1702–1709, 2011, doi: 10.1016/j.biombioe.2011.01.003.
- [11] S. P. Kuncahyo, A. Zuhdi, “Analisa Prediksi Bahan Baku Biodiesel sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel di Indonesia,” *J. Tek. POMITS*, vol. 2, no. 1, p. B-62-B-66, 2013, doi: 10.11113/jt.v56.60.
- [12] E. J. Daryono, E.D. Sinaga, “Transesterification of Palm Oil with NaOH Catalyst Using Co-solvent Methyl Ester,” *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 9, no. 12, pp. 570–575, 2016.
- [13] H. A. Hasibuan, “The Study of Quality and Characteristic on Indonesian Palm Oil and Its Fractionation Products,” *J. Stand.*, vol. 14, no. 1, pp. 13–21, 2012, doi: 10.31153/js.v14i1.51.
- [14] P. Chitra, P. Venkatachalam, and A. Sampathrajan, “Optimisation of experimental conditions for biodiesel production from alkali-catalysed transesterification of *Jatropha curcus* oil,” *Energy Sustain. Dev.*, vol. 9, no. 3, pp. 13–18, 2005, doi: 10.1016/S0973-0826(08)60518-9.