

---

**Pengaruh Kadar Air dalam Minyak Kemiri Sunan pada Tahap Esterifikasi dengan Katalis Asam Sulfat**

*Effect of Moisture Content in Kemiri Sunan Oil on Esterification Stage with Sulfuric Acid Catalyst*

**Haryono, Juliandri, Rustaman**

*Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Bandung-Sumedang Km.21, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat  
Email: haryono@unpad.ac.id*

---

**Abstract**

Kemiri sunan oil is non-food oil. Kemiri sunan oil can be a potential raw material for biodiesel synthesis. Kemiri sunan oil has relatively high free fatty acid content so that before the transesterification stage, it is necessary to lower the levels of free fatty acids through an esterification reaction. In esterification, the moisture content in oil and fat as raw material for biodiesel affects the conversion rate of free fatty acids into biodiesel, so this needs to be studied. The purpose of this study was to study the effect of the moisture content in kemiri sunan oil on the conversion of free fatty acids into biodiesel at the esterification stage. The moisture content in kemiri sunan oil was varied through the evaporation step at 105°C for 1, 1.5 and 2 hours' time variations. Kemiri sunan oil with various moisture content was further esterified at 60°C, the mole ratio of oil to methanol was 1:6, the reaction time was 1.5 hours, and 1%(v/v) was catalyzed by 98% sulfuric acid. The results showed that the less moisture content in kemiri sunan oil, the less free fatty acid content was present in the biodiesel from the esterification results. This shows that the less moisture content in kemiri sunan oil at the esterification stage, the higher the conversion of free fatty acids to methyl esters or biodiesel. The highest conversion of free fatty acids into biodiesel of 91.89% was achieved when esterification was carried out on kemiri sunan oil with the lowest moisture content, namely 0.15%.

**Keyword:** *biodiesel, esterification, kemiri sunan oil, moisture content*

**Abstrak**

Minyak kemiri sunan merupakan minyak non pangan. Oleh karena itu minyak kemiri sunan dapat menjadi bahan baku potensial untuk sintesis biodiesel. Minyak kemiri sunan memiliki kandungan asam lemak bebas relatif tinggi sehingga sebelum tahap transesterifikasi, minyak kemiri sunan perlu diturunkan kadar asam lemak bebasnya terlebih dahulu melalui reaksi esterifikasi. Pada esterifikasi, kadar air dalam minyak dan lemak sebagai bahan baku biodiesel mempengaruhi tingkat konversi asam lemak bebas menjadi biodiesel, sehingga hal tersebut perlu dipelajari. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh kadar air dalam minyak kemiri sunan pada pengkonversian asam lemak bebas menjadi biodiesel pada tahap esterifikasi. Kadar air dalam minyak kemiri sunan divariasikan melalui tahap evaporasi pada suhu 105°C pada variasi waktu 1, 1,5 dan 2 jam. Minyak kemiri sunan dengan kadar air bervariasi selanjutnya diesterifikasi pada suhu 60°C, rasio mol minyak terhadap metanol 1:6, waktu reaksi 1,5 jam, dan katalis asam sulfat 98% sebanyak 1% (v/v). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin sedikit kadar air pada minyak kemiri sunan, semakin sedikit pula kadar asam lemak bebas terdapat di dalam biodiesel dari hasil esterifikasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin sedikit kadar air di dalam minyak kemiri sunan pada tahap esterifikasi, konversi asam lemak bebas menjadi metil ester atau biodiesel semakin tinggi. Konversi asam lemak bebas menjadi biodiesel tertinggi sebesar 91,89% dicapai ketika esterifikasi dilakukan terhadap minyak kemiri sunan dengan kadar air terendah, yaitu 0,15%.

**Kata kunci:** *biodiesel, esterifikasi, minyak kemiri sunan, kadar air*

---

**PENDAHULUAN**

Konsumsi energi di Indonesia masih cenderung tergantung pada jenis energi dari minyak dan gas bumi. Konsumsi energi final di Indonesia pada tahun 2018 sebesar 875 juta SBM (Setara Barel Minyak). Total konsumsi energi nasional tersebut didominasi pemenuhannya oleh energi jenis BBM (bahan bakar

minyak), yaitu sekitar 39% (BPPT, 2020). Minyak bumi sebagai bahan baku produksi BBM secara umum masih dipandang sebagai sumber daya alam tak terbarukan. Masyarakat yang berkembang pesat membutuhkan energi yang harus bersih dalam segala aspek, dan dengan memanfaatkan sumber daya hayati lokal, seperti sekam padi untuk memproduksi panas dan gas sintesis (Haryono dkk., 2021), dan

biodiesel. Karena meningkatnya penggunaan bahan bakar minyak di sektor otomotif dan industri, dalam beberapa tahun terakhir, dunia mulai menghadapi masalah berat seperti pencemaran lingkungan, penipisan lapisan ozon, pemanasan global. Karena karakteristik oksidasi dan sifat pelumas yang baik, biodiesel menarik perhatian dunia sebagai bahan bakar alternatif (Firoz, 2017).

Biomassa merupakan salah satu sumber energi paling penting yang bersifat terbarukan dan berkelanjutan (Firoz, 2017). Pemrosesan terhadap biomassa tersebut akan menghasilkan salah satu jenis bahan bakar terbarukan, yaitu biodiesel. Biodiesel secara umum adalah metil ester dari asam lemak rantai panjang. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati, lemak hewan, atau sumber-sumber lainnya seperti limbah minyak goreng (Amin, 2019). Namun, dalam memproduksi biodiesel dibutuhkan biaya yang tinggi, yaitu sekitar 88% dari total biaya produksi berasal dari biaya bahan bakunya, sehingga bahan baku minyak jelantah dan minyak nabati non-pangan dapat menjadi alternatif karena harganya murah (Nabgan *et al.*, 2022). Salah satu sumber energi hayati potensial di Indonesia karena merupakan minyak non-pangan adalah minyak kemiri sunan (*Aleurites trisperma* Blanco), atau juga dikenal sebagai kemiri China atau jarak Bandung. Biji kemiri sunan mengandung minyak sekitar 45-50% (Pranowo *et al.*, 2013) dengan produktivitas pohon kemiri sunan dapat mencapai 250 kg biji/pohon/tahun (Syakir & Karmawati, 2014). Pada minyak kemiri sunan terdapat sekitar 50% asam  $\alpha$ -eleostearat yang bersifat racun, sehingga menjadikan minyak kemiri sunan tidak dapat dikonsumsi (Nurjanah *et al.*, 2019). Oleh karena itu pemanfaatannya sebagai bahan baku pada pembuatan biodiesel akan sangat menguntungkan. Pemakaian minyak pangan pada pembuatan biodiesel akan meningkatkan biaya produksi dan berdampak negatif terhadap rantai makanan (Vedharaj *et al.*, 2013).

Pada tahap esterifikasi, minyak nabati atau lemak harus bebas air. Air dalam jumlah berlebih pada reaksi esterifikasi akan cenderung menghasilkan asam lemak bebas (ALB) dibandingkan metil ester, karena keberadaan air akan menggeser reaksi menuju ke arah reaksi hidrolisis minyak atau lemak menjadi ALB, dan mengurangi laju reaksi pembentukan metil ester secara signifikan (Márkus *et al.*, 2018). Kadar air di dalam minyak atau lemak pada sintesis biodiesel dengan katalis homogen harus dijaga kurang dari 0,6% (Amin, 2019). Pada kenyataannya, minyak kemiri sunan memiliki kadar air bervariasi. Slamet dkk. (2018) melaporkan bahwa minyak kemiri sunan memiliki kadar air 9,6%. Kadar

air dari minyak kemiri sunan pada penelitian lain dilaporkan sebanyak 21% (Abduh *et al.*, 2019) dan 0,51% (Haryono dkk., 2020). Perbedaan kadar air dari minyak kemiri sunan tersebut disebabkan oleh berbagai faktor, seperti iklim lingkungan, cara dan kondisi penyimpanan biji kemiri sunan, dan metode ekstraksi minyak (Ali *et al.*, 2014).

Pada reaksi kimia, katalis berperan untuk mempercepat laju reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasi. Katalis asam, basa, dan enzimatis dapat dimanfaatkan pada sintesis biodiesel. Katalis asam lebih dipilih jika minyak sebagai bahan baku mengandung sejumlah besar asam lemak bebas, dan sebaliknya berlaku untuk katalis basa. Pemakaian katalis basa pada minyak dengan kadar asam lemak bebas tinggi mengakibatkan terjadinya reaksi penyabunan sehingga perolehan biodiesel menjadi rendah dan menyebabkan kesulitan pada tahap pemurnian biodiesel (Kolhe *et al.*, 2017). Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh kadar air dalam minyak kemiri sunan pada tahap pengkonversian asam lemak bebas menjadi biodiesel pada tahap esterifikasi dengan katalis asam sulfat.

## METODE

Penelitian dilakukan dalam 5 tahap perlakuan, yaitu: karakterisasi minyak kemiri sunan (diperoleh dari Cimahi, Jawa Barat) awal, pemvariasian kadar air dari minyak kemiri sunan melalui evaporasi air berdasarkan variasi lama evaporasi, penentuan kadar air dari setiap variasi lama evaporasi, esterifikasi minyak kemiri sunan dari setiap variasi kadar air, dan penentuan kadar ALB akhir.

### Karakterisasi minyak kemiri sunan

Karakterisasi minyak kemiri sunan dilakukan untuk menentukan bilangan asam, kadar ALB, kadar air, densitas, dan viskositas awal dari minyak kemiri sunan. Penentuan bilangan asam, kadar air, densitas, dan viskositas dilakukan berdasarkan metode menurut van Gerpen *et al.* (2004). Sedangkan kadar ALB dihitung dengan Persamaan (1). Kadar ALB dari sampel minyak kemiri awal yang terhitung selanjutnya diberi simbol ALB<sub>1</sub>. Massa molar asam lemak dari minyak kemiri sunan ditentukan dengan memanfaatkan data sekunder dari hasil analisis dengan KGSM (Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa). Massa molar kemiri sunan ditentukan sebesar 227,64 g/mol (Nurjanah *et al.*, 2019).

$$\text{Kadar ALB} = \text{BA} \times \frac{M_{\text{Asam Lemak}}}{10 \cdot M_{\text{KOH}}} \quad [1]$$

dengan: BA = bilangan asam (mg KOH/g), M = massa molar (g/mol), kadar ALB (%), 10 = faktor konversi.

**Pemvariasian dan penentuan kadar air dari minyak kemiri sunan dengan evaporasi air**

Pada tahap memperoleh minyak kemiri sunan dengan kadar air bervariasi, terhadap minyak kemiri sunan dengan kadar air tertentu dilakukan evaporasi air. Minyak kemiri sunan dengan kadar air awal terspesifikasi dievaporasi di dalam oven pengering (Thermoline, Australia) pada suhu 105°C selama 1, 1,5, dan 2 jam. Setelah evaporasi, kadar air pada minyak kemiri sunan dari setiap variasi lama evaporasi tersebut kemudian dianalisis dengan metode gravimetri. Sampel minyak kemiri sunan dengan berat awal tertentu dipanaskan di dalam oven pada suhu 105°C sampai diperoleh berat konstan. Kadar air dihitung dengan Persamaan (2).

$$KA = \frac{w_0 - w_f}{w_0} \times 100\% \quad [2]$$

Dimana W = berat (g); subscript 0 dan f masing-masing adalah berat awal dan akhir pengeringan.

**Esterifikasi minyak kemiri sunan dan penentuan kadar ALB akhir**

Pengaruh kadar air pada minyak kemiri sunan terhadap kinerja tahap esterifikasi dilakukan pada kondisi reaksi: rasio mol minyak terhadap metanol (99,6%, Merck) sebesar 1:6, suhu 60°C, dan selama 1,5 jam. Reaksi dibantu dengan katalis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (98%, Merck) sebanyak 1% (v/v). Setelah esterifikasi, metanol sisa di dalam produk dipisahkan dengan cara distilasi. Sedangkan katalis dipisahkan dengan pencucian menggunakan aquades, kemudian dilakukan dekantasi dalam corong pisah. Lapisan atas dari produk di dalam corong pisah merupakan produk fase minyak yang mengandung biodiesel. Produk fase minyak setelah dipisahkan dari fase airnya kemudian dikeringkan dengan evaporasi pada suhu 105°C sampai dicapai berat konstan (sekitar 1-2,5 jam), selanjutnya dianalisis bilangan asamnya. Berdasarkan perubahan bilangan asam antara sebelum dan setelah esterifikasi, derajat konversi pembentukan metil ester dari ALB pada tahap esterifikasi ini dapat dihitung dengan Persamaan (3).

$$DK \text{ ALB} = \frac{ALB_1 - ALB_2}{ALB_1} \times 100\% \quad [3]$$

dengan: DK ALB = derajat konversi ALB (%),  
 ALB<sub>1</sub> = bilangan asam dari minyak kemiri sunan sebelum esterifikasi (mg KOH/g),  
 ALB<sub>2</sub> = bilangan asam dari fase minyak setelah esterifikasi (mg KOH/g).

**Karakteristik minyak kemiri sunan awal**

Hasil karakterisasi terhadap minyak kemiri sunan awal atau sebelum mengalami perlakuan pemvariasian kadar air dan tahap esterifikasi serta perbandingannya dengan hasil penelitian sebelumnya ditampilkan pada Tabel 1. Karakteristik minyak kemiri sunan pada penelitian ini 117ethanol sedikit berbeda dibandingkan dengan karakteristik minyak kemiri sunan dari penelitian sebelumnya. Haryono dkk. (2020) melaporkan bahwa bilangan asam, kadar ALB, densitas dan viskositas pada suhu 40°C, dan kadar air dari minyak kemiri sunan berturut-turut 25,25 mg KOH/g, 12,5%, 0,93 g/mL, 21,19 mm<sup>2</sup>/s, dan 0,51%. Bilangan asam (dan kadar ALB) minyak kemiri sunan pada penelitian ini sekitar 6,1% lebih tinggi, demikian pula untuk parameter densitas. Namun untuk parameter viskositas dan kadar air, nilai kedua parameter tersebut pada minyak kemiri sunan pada penelitian ini sedikit lebih rendah. Perbedaan densitas dan viskositas minyak kemiri sunan dari kedua hasil penelitian tersebut dipengaruhi oleh perbedaan jenis dan komposisi asam lemak penyusunnya (Sanford *et al.*, 2009). Minyak yang tersusun dari asam lemak tak jenuh lebih dominan daripada asam lemak jenuh cenderung memiliki viskositas lebih rendah. Persentase ikatan rangkap dua pada asam lemak tak jenuh penyusun minyak berkontribusi signifikan terhadap peningkatan densitas dari minyak. Sedangkan perbedaan bilangan asam atau kadar ALB dapat dipengaruhi oleh berbagai 117ethan, seperti aktivitas enzim lipase pada minyak (Su'i, 2012), cara dan kondisi penyimpanan minyak, dan perlakuan selama ekstraksi minyak (Ali *et al.*, 2014; Akter, 2017). Keberadaan enzim lipase di dalam minyak akan mengkatalisasi reaksi hidrolisis trigliserida dari minyak menjadi ALB. Oleh karena itu semakin meningkat aktivitas enzim lipase yang terkandung di dalam minyak akan meningkatkan kadar ALB dari minyak. Pengaruh penyimpanan minyak terhadap kadar ALB berhubungan dengan kemungkinan terabsorpsinya uap air di udara (kelembaban) oleh minyak melalui pori-pori dari material penyimpan. Keberadaan air dengan dibantu aktivitas katalis lipase di dalam minyak dan suhu penyimpanan akan memicu terjadinya pembentukan ALB dari hidrolisis trigliserida minyak. Perlakuan panas terhadap bahan baku minyak sebelum tahap ekstraksi minyak dilaporkan berpengaruh signifikan terhadap penghambatan aktivitas enzim lipase dalam pembentukan ALB.

### Pengaruh lama evaporasi terhadap kadar air minyak kemiri sunan

Minyak kemiri sunan dengan kadar air awal 0,23% setelah dievaporasi dengan variasi lama evaporasi 1, 1,5, dan 2 jam memiliki kadar air berturut-turut menjadi 0,21, 0,18, dan 0,15%. Semakin lama evaporasi terhadap kandungan air dari minyak kemiri sunan, semakin banyak air yang berhasil dipisahkan sehingga kadar air dalam minyak kemiri sunan semakin sedikit. Oleh karena itu, minyak kemiri sunan sebagai bahan baku pada tahap esterifikasi memiliki 4 variasi kadar air, yaitu 0,15, 0,18, 0,21, dan 0,23%.

Tabel 1. Karakteristik minyak kemiri sunan awal dan perbandingannya dengan penelitian sebelumnya

Parameter uji	Nilai	
	Penelitian ini	Haryono dkk. (2020)
Bilangan asam (mg KOH/g)	26,89	25,25
Kadar ALB (%)	13,34	12,50
Densitas pada 40°C (g/mL)	0,95	0,93
Viskositas pada 40°C (mm <sup>2</sup> /s)	19,78	21,19
Kadar air (%)	0,23	0,51

### Pengaruh kadar air dalam minyak kemiri sunan terhadap bilangan asam sisa

Pada sintesis biodiesel melalui tahap transesterifikasi dengan katalis basa homogen, tahap esterifikasi dilakukan untuk menurunkan kadar ALB dari minyak atau lemak (Knothe *et al.*, 2005). Namun keberadaan air di dalam minyak atau lemak dapat menurunkan kinerja reaksi esterifikasi. Keberadaan air tersebut mempengaruhi kesetimbangan reaksi esterifikasi pada konversi ALB menjadi metil ester atau biodiesel. Pada esterifikasi, air dapat mempersulit pengurangan jumlah kadar ALB pada minyak ke kadar yang diinginkan (Huang & Chang, 2010). Pada esterifikasi dengan katalis asam, air memiliki pengaruh lebih kritis dibandingkan dengan ketika digunakan katalis basa (Atadashi *et al.*, 2012). Pengaruh variasi kadar air pada minyak kemiri sunan terhadap bilangan asam sisa dari fase minyak hasil esterifikasi ditampilkan pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan bahwa peningkatan kadar air di dalam minyak kemiri sunan akan berdampak terhadap semakin tingginya bilangan asam atau kadar ALB di dalam fase minyak dari produk esterifikasi. Hal tersebut berarti keberadaan air di dalam minyak kemiri sunan menyebabkan pengurangan efektivitas tahap konversi ALB menjadi metil ester.

Reaksi esterifikasi asam lemak bebas dengan katalis asam ditampilkan pada Gambar 2 (Liu *et al.*, 2006).

Secara termodinamika, berdasarkan persamaan reaksi esterifikasi pada Gambar 2, reaksi tersebut merupakan reaksi dalam kesetimbangan (reaksi dapat balik). Sesuai dengan prinsip Le Chatelier tentang pergeseran arah reaksi dalam kesetimbangan, peningkatan konsentrasi produk akan mengakibatkan reaksi bergeser ke arah kiri atau pembentukan 118ethano reaktan. Oleh karena itu, peningkatan kadar air di dalam minyak kemiri sunan pada penelitian ini, pada saat reaksi esterifikasi diselenggarakan, akan semakin menggeser arah reaksi ke penguraian metil ester menjadi asam lemak bebas 118ethano dengan laju semakin cepat, sehingga kadar asam lemak bebas pada produk reaksi akan semakin banyak pula (Silva *et al.*, 2019). Selain itu secara kinetika reaksi, Liu *et al.* (2006) telah melaporkan bahwa aktivitas asam sulfat sebagai katalis pada reaksi esterifikasi sangat dihambat oleh keberadaan air. Aktivitas katalis asam sulfat mengalami penurunan 90% seiring dengan peningkatan kadar air sebagai akibat pelarutan proton katalitik dari katalis oleh air. Hal tersebut berdampak pada terganggunya secara signifikan interaksi efektif molekuler antar proton katalitik dengan reaktan (118ethanol dan asam lemak bebas) sehingga laju reaksi esterifikasi mengalami perlambatan.

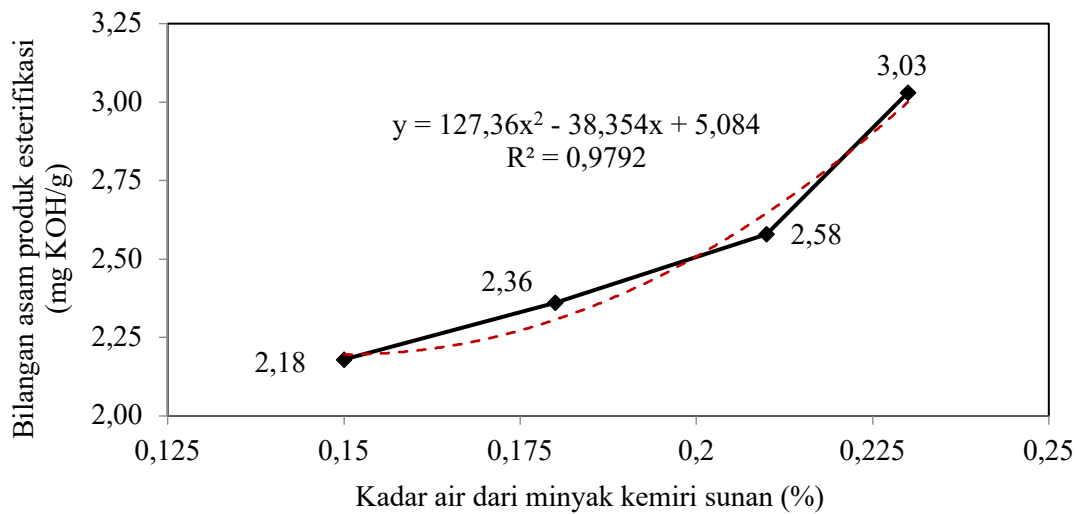
### Pengaruh kadar air dalam minyak kemiri sunan terhadap tingkat konversi pada tahap esterifikasi

Pengaruh variasi kadar air pada minyak kemiri sunan terhadap tingkat konversi ALB menjadi metil ester ditampilkan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin meningkatnya kadar air dalam minyak kemiri sunan menyebabkan derajat konversi ALB mengalami penurunan. Nilai derajat konversi dihitung dengan Persamaan (3) yang merepresentasikan persentase ALB terkonversi menjadi metil ester selama reaksi esterifikasi. Dengan demikian, semakin tinggi kadar ALB di dalam produk esterifikasi seiring dengan semakin banyaknya kadar air di dalam reaktan minyak kemiri sunan, menunjukkan semakin sedikitnya ALB yang berhasil dikonversi menjadi metil ester.

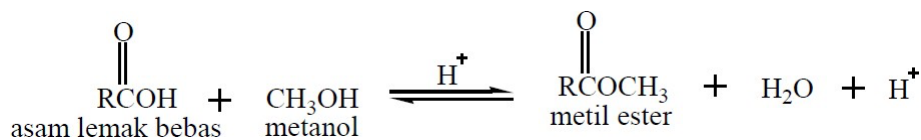
Oleh karena itu kecenderungan hubungan antara kadar air di dalam minyak kemiri sunan terhadap derajat konversi ALB akan berbanding terbalik dengan kecenderungan hubungan antara kadar air di dalam minyak kemiri sunan terhadap nilai bilangan asam atau kadar ALB dari produk esterifikasi. Derajat konversi ALB menjadi metil ester turun sekitar 3,54% sebagai dampak peningkatan kadar air di dalam minyak kemiri sunan dari 0,15 sampai 0,23%. Penurunan derajat konversi tersebut merupakan dampak langsung dari menurunnya konstanta laju reaksi esterifikasi sehingga laju reaksi juga mengalami penurunan. Liu *et al.* (2006)

melaporkan bahwa pada esterifikasi asam lemak bebas berupa asam asetat oleh 119ethanol dengan bantuan katalis asam sulfat pada suhu 60°C, peningkatan kadar air di dalam asam asetat dari 0,5

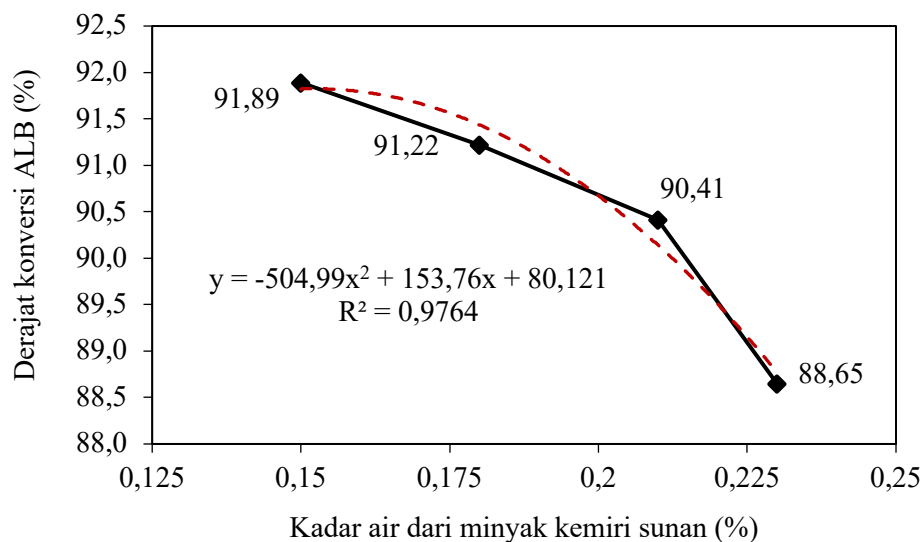
menjadi 9,5 M (molar, dimana 1 M = 1 mol/liter) berakibat terhadap penurunan konstanta laju reaksi esterifikasi dari 0,68 menjadi 0,07 M<sup>-1</sup> menit<sup>-1</sup> M<sub>katalis</sub><sup>-1</sup>.



**Gambar 1.** Pengaruh kadar air dari minyak kemiri sunan terhadap bilangan asam sisa pada produk esterifikasi



**Gambar 2.** Reaksi esterifikasi antara asam lemak bebas dengan 119ethanol berkatalis asam



**Gambar 3.** Pengaruh kadar air dari minyak kemiri sunan terhadap derajat konversi ALB menjadi metil ester pada tahap esterifikasi

## KESIMPULAN

Kadar air yang terdapat pada minyak kemiri sunan berpengaruh terhadap kinerja tahap esterifikasi sebagai salah tahap sintesis biodiesel. Semakin banyak kadar air di dalam minyak kemiri sunan, bilangan asam atau kadar ALB dari fase minyak produk esterifikasi akan semakin banyak pula, serta mengakibatkan semakin turunnya derajat konversi ALB menjadi metil ester atau biodiesel. Hasil yang didapat semakin kecil kadar air maka semakin besar konversi asam lemak bebas menjadi metil ester. Berdasarkan nilai derajat konversi ALB menjadi metil ester, dapat disimpulkan bahwa kadar air di dalam minyak kemiri sunan sebesar 0,15% merupakan kondisi terbaik pada reaksi esterifikasi ALB oleh metanol, dengan dicapai derajat konversi sebesar 91,89%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abduh, M. Y., Syaripudin, Putri, L. W., & Manurung, R. (2019). Effect of storage time on moisture content of Reutealis trisperma seed and its effect on acid value of the isolated oil and produced biodiesel. *Energy Reports*, 5, 1375–1380.
- Akter, S. (2017). Effect of Storage Life of Rice Bran on the Quality of Oil. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 5(1), 11–15.
- Ali, M. R., Rahman, M. M., & Ahammad, K. U. (2014). Effect of relative humidity, initial seed moisture content and storage container on soybean seed quality. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 39(3), 461–469.
- Amin, A. (2019). Review of diesel production from renewable resources: Catalysis, process kinetics and technologies. *Ain Shams Engineering Journal*, 10(4), 821–839. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.001>
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Abdul Aziz, A. R., & Sulaiman, N. M. N. (2012). The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3456–3470.
- BPPT. (2020). *Outlook Energi Indonesia 2020*.
- Firoz, S. (2017). A review: Advantages and Disadvantages of Biodiesel. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 04(11), 530–535.
- Haryono, Solihudin, Rustaman, & Ernawati, E. E. (2021). Pemanfaatan Panas Gasifikasi Sekam Padi sebagai Media Pemanas Ruangan Anakan Ayam di Desa Pasawahan Garut. *ETHOS: Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(1), 143–150.
- Haryono, Yuliyati, Y. B., Noviyanti, A. R., Rizal, M., & Nurjanah, S. (2020). Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Kemiri Sunan dengan Katalis Heterogen Silika Terimpregnasi Kalsium Oksida (CaO/SiO<sub>2</sub>). *Penelitian Hasil Hutan*, 38(1), 11–24.
- Huang, Y. P., & Chang, J. I. (2010). Biodiesel production from residual oils recovered from spent bleaching earth. *Renewable Energy*, 35(1), 269–274.
- Knothe, G., Gerpen, J. V., & Krahl, J. (2005). *The Biodiesel Handbook*. : AOCS Press.
- Kolhe, N. S., Gupta, A. R., & Rathod, V. K. (2017). Production and Purification of Biodiesel Produced from Used Frying Oil. *Resource-Efficient Technologies*, 3, 198–203.
- Liu, Y., Lotero, E., & Goodwin, J.G. (2006). Effect of Water on Sulfuric Acid Catalyzed Esterification. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 245(1–2), 132–140.
- Márkus, Z., Bélafi-Bakó, K., Tóth, G., Nemestóthy, N., & Gubicza, L. (2018). Effect of Chain Length and Order of the Alcohol on Enzyme Activity During Enzymatic Esterification in Organic Media. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 45(2), 35–39.
- Nabgan, W., Jalil, A.A., Nabgan, B., Jadhav, A.H., Ikram, M., Ul-Hamid, A., Aliab, M.W., and Hassanab, N.S. (2022). Sustainable biodiesel generation through catalytic transesterification of waste sources: a literature review and bibliometric survey. *RSC Adv.*, 12, 1604–1627.
- Nurjanah, S., Kramadibrata, A. M., Muhaemin, M., Hendarto, Herwanto, T., Saukat, M., Rosalinda, S., Prijatna, D., Pratama, M. H. B., Mandarwati, E., Daradjat, W., & Haryono. (2019). Study on Different Capacity of Transesterification Process in Biodiesel Production from Kemiri Sunan (Reutealis trisperma). *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 248(1), 1–15. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/248/1/012019>
- Pranowo, D., Syakir, M., Prastowo, B., Herman, M., Aunillah, A., & Sumanto. (2013). *Pembuatan biodiesel dari kemiri sunan (Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) dan pemanfaatan hasil samping*. IAARD Press.
- Sanford, S., White, J., & Shah, P. (2009). Feedstock and biodiesel characteristics report. In *Renewable Energy Group Inc.* (Issue 2009). [http://www.biodiesel.org/reports/20091117\\_g en-398.pdf](http://www.biodiesel.org/reports/20091117_g en-398.pdf)
- Silva, M. G., Oliveira, G. S., Carvalho, J. C. R., Nobre, L. R. P., Deus, M. S., Jesus, A. A.,

- 
- Oliveira, J. A., & Souza, D. F. S. (2019). Esterification of oleic acid in a semi-batch bubble reactor for biodiesel production. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 36(1), 299–308.
- Slamet, S., Purwanto, P., Anggoro, D. D., & Hermawan. (2018). Enhancing Biodiesel from Kemiri Sunan Oil Manufacturing using Ultrasonics. *E3S Web of Conferences*, 31.
- Su'i, M. (2012). Hidrolisis Minyak Kelapa oleh Enzim Lipase dari Kentos Kelapa. *Agritech*, 32(2), 149–153.
- Syakir, M., & Karmawati, E. (2014). Tanaman Perkebunan Penghasil Bahan Bakar Nabati. In *Badan Litbang Pertanian*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (n.d.). Biodiesel Analytical Methods. *National Renewable Energy Laboratory, August 2002 - January 2004*, 100. <http://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36240.pdf>
- Vedharaj, S., Vallinayagam, R., Yang, W. M., Chou, S. K., Chua, K. J. E., & Lee, P. S. (2013). Experimental investigation of kapok (Ceiba pentandra) oil biodiesel as an alternate fuel for diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 75, 773–779. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.042>