

# Pengaruh Variasi Temperatur dan Putaran Pada Proses *Partial Hydrogenation* Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Stabilitas Oksidasi

M. R. Ridho, I K. G. Wirawan, dan A. Ghurri  
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

## Abstrak

*Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel karena keduanya mempunyai sifat fisik dan kimia yang hampir sama. Selain itu biodiesel bersifat biodegradabilitas, tidak beracun, tidak mengandung belerang dan apabila dicampur dengan bahan bakar solar dapat mengurangi emisi gas buang dari hasil pembakaran. Biodiesel yang diproduksi memiliki persyaratan sebelum digunakan salah satu persyaratan tersebut adalah stabilitas oksidasi. Stabilitas oksidasi merupakan salah satu kriteria penting pada kualitas bahan bakar sebagai bahan bakar yang mengandung oksigen, stabilitas biodiesel lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar solar. Stabilitas oksidasi dipengaruhi oleh jumlah ikatan tak jenuh yang terdapat dalam struktur penyusun biodiesel. Ikatan tak jenuh terbagi lagi menjadi ikatan tak jenuh tunggal dan ikatan tak jenuh ganda. Biodiesel dengan kandungan ikatan tak jenuh ganda yang tinggi akan membuat stabilitas oksidasi rendah. Pada penelitian ini proses *partial hydrogenation* digunakan untuk memutuskan ikatan rangkap yang ada pada biodiesel sehingga mendapatkan nilai stabilitas oksidasi yang baik dengan memvariasikan temperatur 70°C, 80°C, dan 90°C dengan putaran 250 rpm, 500 rpm, dan 750 rpm. *Partial hydrogenation* dapat meningkatkan nilai stabilitas oksidasi pada biodiesel, dimana sebelum dilakukan proses *partial hydrogenation* nilai stabilitas oksidasi sebesar 6 menit sedangkan setelah dilakukan proses *partial hydrogenation* nilai stabilitas oksidasi mengalami peningkatan. Nilai stabilitas oksidasi yang paling optimal setelah dilakukan proses *partial hydrogenation* yaitu pada variasi temperatur 70°C dengan putaran 750 rpm nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan sebesar 81 menit. Akan tetapi nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan belum memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh SNI 2015 yaitu sebesar 480 menit*

*Kata kunci: Biodiesel, Stabilitas Oksidasi, Partial Hydrogenation*

## Abstract

*Biodiesel is an alternative fuel that can be used in diesel engines because both have almost the same physical and chemical properties. In addition, biodiesel is biodegradable, non-toxic, does not contain sulfur and when mixed with diesel fuel can reduce exhaust emissions from combustion. Biodiesel produced has requirements before used one of these requirements is oxidation stability. Oxidation stability is one of the important criteria for fuel quality as a fuel containing oxygen, biodiesel stability is lower compared to diesel fuel. Oxidation stability is influenced by the number of unsaturated bonds found in the structure of biodiesel. Unsaturated bonds are subdivided into monounsaturated esters and polyunsaturated esters. Biodiesel with high polyunsaturated ester content will make oxidation stability low. In this research *partial hydrogenation* process is used to obtain good oxidation stability results by varying the temperature 70°C, 80°C, and 90°C with rotation 250 rpm, 500 rpm, and 750 rpm. *Partial hydrogenation* can increase the value of oxidation stability in biodiesel, where before the *partial hydrogenation* process is carried out the oxidation stability value is 6 minutes whereas after the *partial hydrogenation* process is carried out the oxidation stability value increases. The most optimal oxidation stability value after the *partial hydrogenation* process is done at a temperature variation of 70°C with a rotation of 750 rpm oxidation stability value obtained is 81 minutes. However, the oxidation stability value obtained did not meet the requirements set by SNI 2015 that is 480 minutes.*

*Keywords: Biodiesel, Oxidation Stability, Partial Hydrogenation*

## 1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel karena keduanya mempunyai sifat fisik dan kimia yang hampir sama. Selain itu biodiesel bersifat biodegradabilitas, tidak beracun, tidak mengandung belerang dan apabila dicampur dengan bahan bakar solar dapat mengurangi emisi gas buang dari hasil pembakaran.

Pencampuran bahan bakar diesel dan biodiesel minyak jelantah terhadap emisi gas buang menghasilkan pengurangan CO, CO<sub>2</sub>, dan HC pada putaran rendah, sedangkan pada putaran tinggi menghasilkan nilai yang berfluktuasi serta menimbulkan opasitas asap [1].

Minyak jelantah dan minyak nabati *nonedible* merupakan salah satu upaya untuk memproduksi

biodiesel menggunakan bahan baku yang lebih murah dan tidak digunakan sebagai bahan makanan. Minyak jelantah memiliki harga yang lebih murah apabila dijadikan sebagai alternatif pengganti minyak nabati. Minyak jelantah banyak tersebar diberbagai tempat bahkan di seluruh dunia sebagai limbah yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Selain itu, minyak jelantah telah mengalami perubahan baik secara fisika maupun kimia serta bersifat karsinogenik bagi tubuh manusia jika tetap digunakan. Dengan memanfaatkan minyak jelantah sebagai pengganti bahan bakar, maka akan mengurangi masalah lingkungan dan kesehatan serta memberi keuntungan ekonomis jika diproduksi menjadi biodiesel [2].

Biodiesel yang diproduksi memiliki persyaratan sebelum digunakan. Standar Nasional Indonesia (2015) telah menetapkan syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam produksi biodiesel antara lain: massa jenis, viskositas kinematik, angka setana, titik nyala, titik kabut, residu karbon, kadar air, fosfor, belerang, angka asam, gliserol bebas, gliserol total, kadar ester metil, monogliserida, angka iodium dan stabilitas oksidasi [3].

Salah satu kriteria penting pada bahan bakar biodiesel adalah stabilitas oksidasi [4]. Stabilitas oksidasi merupakan ketahanan biodiesel untuk tidak mengalami degradasi oksidatif dikarenakan adanya udara dan dipercepat oleh panas, cahaya, dan logam. Hasil oksidasi dapat berupa asam yang akan mengkorosi komponen seperti saluran dan tangki bahan bakar. Oksidasi biodiesel juga menghasilkan padatan atau polimer yang akan memblok pada nozzle, filter dan tangki bahan bakar. Salah satu cara yang telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan melakukan *partial hydrogenation* pada biodiesel.

Melihat dari latar belakang yang telah dipaparkan, maka penulis mengambil judul penelitian tentang “Pengaruh Variasi Temperatur dan Putaran Pada Proses *Partial Hydrogenation* Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Stabilitas Oksidasi” dengan metode *catalytic transfer hydrogenation* (CTH). Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi yang optimal dalam melakukan proses *hydrogenation partial* biodiesel dari minyak jelantah sehingga mendapatkan stabilitas oksidasi yang baik. Beberapa batasan masalah yang diambil dalam penelitian kali ini adalah :

1. Biodiesel yang digunakan adalah biodiesel dari minyak jelantah yang telah diproduksi sebelumnya oleh Yayasan Lengis Hijau.
2. Metode yang digunakan Catalytic Transfer Hydrogenation (CTH).
3. Temperatur yang diatur pada magnetic stirrer.
4. Katalis yang digunakan yaitu Aluminium Oksida ( $Al_2O_3$ ).
5. Hidrogen donor yang digunakan isopropil alkohol 99% ( $C_3H_7-OH$ ).

6. Data yang dicari hanya stabilitas oksidasi.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel sebagai pengganti atau pencampur bahan bakar solar karena keduanya mempunyai sifat fisik dan kimia yang hampir sama. Pada dasarnya biodiesel dapat digunakan sebagai bahan bakar, namun viskositasnya cukup tinggi untuk digunakan dalam mesin diesel biasa. Biodiesel dihasilkan dari bahan alami yang terbarukan seperti minyak nabati dan hewani, beberapa bahan baku untuk pembuatan biodiesel antara lain kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, tebu dan beberapa jenis tumbuhan lainnya.

Kandungan asam lemak pada biodiesel terdiri dari asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) dan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acid*) dalam minyak nabati yang merupakan bahan baku dari biodiesel menyebabkan bahan bakar biodiesel sedikit kurang stabil dibandingkan dengan bahan bakar solar. Biodiesel memiliki sifat melarutkan. Hal ini menyebabkan suatu permasalahan, dimana apabila digunakan pada mesin diesel yang sebelumnya telah lama menggunakan solar dan didalam tankinya telah terbentuk kerak dan sedimen, maka biodiesel akan melarutkan kerak dan sedimen tersebut, sehingga dapat menyumbat saringan dan saluran bahan bakar. Oleh karenanya, dianjurkan untuk mengubah filter bahan bakar dalam 600-800 mil pertama saat beralih ke campuran biodiesel [5].

### 2.2 Stabilitas Oksidasi

Stabilitas oksidasi merupakan salah satu kriteria penting pada kualitas bahan bakar. Stabilitas oksidasi dipengaruhi oleh jumlah ikatan tak jenuh yang terdapat dalam biodiesel. Ikatan tak jenuh terbagi lagi menjadi ikatan tak jenuh tunggal (*monounsaturated ester*) dan ikatan tak jenuh ganda (*polyunsaturated ester*). Biodiesel dengan kandungan ikatan tak jenuh ganda (*polyunsaturated ester*) yang tinggi akan membuat stabilitas oksidasi rendah. Oksidasi pada biodiesel dapat menghasilkan senyawa hasil dekomposisi berupa asam, aldehid, ester, keton, peroksida, maupun alkohol, yang dapat mempengaruhi karakteristik biodiesel maupun aktivitas pembakaran dalam mesin. Degradasi oksidatif selama penyimpanan yang lama dapat terjadi karena adanya udara, panas, cahaya, dan zat prooksidan. Hasil oksidasi dapat berupa asam yang akan mengkorosi komponen seperti saluran dan tangki bahan bakar.

Hasil stabilitas oksidasi biodiesel menunjukkan bahwa berapa lama biodiesel akan tahan terhadap reaksi oksidasi. Semakin baik stabilitas oksidasi biodiesel, maka ketahanan biodiesel tersebut dari degradasi yang disebabkan reaksi oksidasi semakin

baik. Kestabilan oksidasi biodiesel tidak hanya menurut Standar Nasional Indonesia 2015, namun syarat kestabilan oksidasi biodiesel memiliki berbagai standar seperti pada tabel 1 [6].

**Tabel 1. Syarat Kestabilan Oksidasi Biodiesel Menurut Berbagai Standar**

Jenis Standar	Nilai Kestabilan Oksidasi (jam)
SNI 7182:2015	8
EN 14214	6
ASTM D-6751	3
WWFC 2009	10

Hasil stabilitas oksidasi biodiesel menunjukkan bahwa berapa lama biodiesel akan tahan terhadap reaksi oksidasi. Semakin baik stabilitas oksidasi biodiesel, maka ketahanan biodiesel tersebut dari degradasi yang disebabkan reaksi oksidasi semakin baik. Kestabilan oksidasi biodiesel tidak hanya menurut Standar Nasional Indonesia 2015, namun syarat kestabilan oksidasi biodiesel memiliki berbagai standar seperti pada tabel 1 [6].

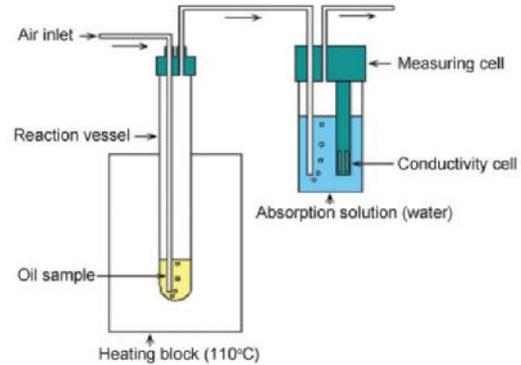
### 2.3 Partial Hydrogenation

*Partial hydrogenation* merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan kestabilan oksidasi dari biodiesel. *Partial hydrogenation* memiliki prinsip yang sederhana dan cenderung lebih ekonomis dibandingkan metode lain. Prinsipnya adalah memutus ikatan rangkap dari asam lemak tak jenuh sehingga dapat menurunkan resiko terjadinya reaksi oksidasi. *Partial hydrogenation* mengubah asam lemak tak jenuh menjadi asam lemak jenuh yang. Untuk mengurangi jumlah ikatan rangkap tak jenuh ganda (*polyunsaturated ester*) misalnya metil linoleat C 18:2 dan metil linolenat C 18:3 dihidrogenasi menjadi ikatan rangkap tak jenuh tunggal (*monounsaturated ester*) metil oleat C 18:1 [7]. Selama reaksi *partial hydrogenation* berlangsung, beberapa molekul asam lemak tak jenuh yang berkonfigurasi cis mengalami penyusunan ulang menjadi trans yang bentuknya lebih linear dan lebih stabil secara termodinamika. Bahan baku yang mengandung komponen asam lemak jenuh tinggi mempunyai stabilitas oksidasi yang lebih baik [8]. Tetapi, apabila kandungan asam lemak jenuhnya tinggi dalam bahan baku akan memberikan sifat alir yang lebih rendah terutama pada suhu rendah. Adapun variabel yang mempengaruhi proses *partial hydrogenation* adalah temperatur, waktu, kecepatan pengadukan, jumlah katalis, tipe katalis, hidrogen, kualitas bahan baku [9].

### 2.4 Metode Rancimat

Metode Rancimat merupakan alat yang dibuat untuk penentuan stabilitas oksidasi pada minyak atau lemak. Pengukuran stabilitas oksidasi minyak dan lemak dapat dilakukan dengan efektif dan efisien. Cara Pengukuran Stabilitas Oksidasi yaitu, selama

pengukuran berlangsung aliran udara dikontakan sebesar 1 - 25 L/h pada sampel minyak atau lemak yang ditempatkan pada bejana tertutup, blok pemanas dikondisikan pada temperatur 50 – 220 °C dan, perubahan konduktivitas diatur pada 1 – 400  $\mu\text{S}/\text{cm}$  untuk mengukur hasil waktu induksi nantinya. Cara pengujian metode rancimat dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1. Cara Pengujian Metode Rancimat**

Reaksi oksidasi minyak dan lemak membentuk peroksida sebagai produk utama oksidasi. Sedangkan produk sampingnya terbentuk setelah seluruh asam lemak terdegradasi termasuk asam organik molekul pendek. Senyawa ini dialirkan melalui udara menuju ke bejana yang terisi oleh air distilasi, selanjutnya perubahan konduktivitas akan diukur secara kontinyu. Kandungan asam organik akan terdeteksi melalui kenaikan konduktivitas.

## 3. Metode Penelitian

### 3.1 Variabel

Variabel-variabel yang ditentukan pada penelitian ini adalah variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

#### 3.1.1 Variabel bebas

- Temperatur yang digunakan pada penelitian ini yaitu: 70°C, 80°C, dan 90°C yang diatur pada *magnetic stirrer*.
- Putaran pengadukan yang digunakan pada penelitian ini yaitu : 250 rpm, 500 rpm, dan 750 rpm yang diatur pada *magnetic stirrer*.

#### 3.1.2 Variabel terikat

Variabel terikat pada penelitian kali ini adalah Stabilitas Oksidasi yang dihasilkan dari proses *partial hydrogenation*.

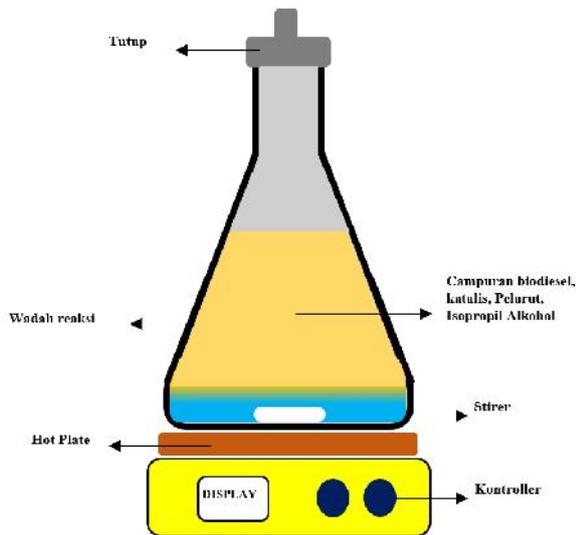
#### 3.1.3 Variabel kontrol

- Biodiesel yang digunakan sebanyak 350 g.
- Katalis yang digunakan sebanyak 5% w/w.
- Hidrogen donor yang digunakan sebanyak 120 g.
- Pelarut yang digunakan sebanyak 180 g.

e. waktu yang digunakan pada penelitian ini selama 60 menit.

### 3.2 Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian dapat dilihat pada gambar 2. untuk melakukan proses *partial hydrogenation* biodiesel dengan metode *catalytic transfer hydrogenation* (CTH).



Gambar 2. Instalasi Penelitian

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hasil Penelitian

Pada penelitian ini data stabilitas oksidasi biodiesel sebelum dilakukan proses *partial hydrogenation* yang didapatkan yaitu 6 (menit) sedangkan data stabilitas oksidasi biodiesel setelah dilakukan proses *partial hydrogenation* ditampilkan pada tabel 2 sesuai dengan variasi temperatur dan putaran yang telah ditentukan.

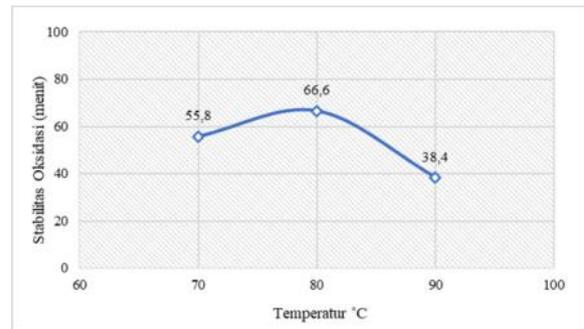
Tabel 2. Data Stabilitas Oksidasi

No.	Temperatur (°C)	Putaran (rpm)	Stabilitas Oksidasi (menit)
1	70	250	55,8
2	70	500	66,6
3	70	750	81
4	80	250	66,6
5	80	500	31,8
6	80	750	48,6
7	90	250	38,4
8	90	500	36
9	90	750	36,6

### 4.2 Pembahasan Data

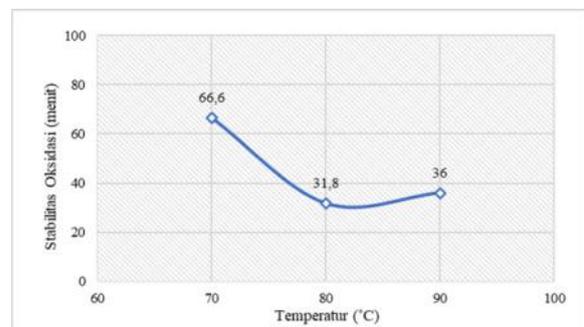
Data pada penelitian ini mendapatkan hasil stabilitas oksidasi tertinggi pada variasi temperatur

70°C dengan putaran 750 rpm sedangkan data yang paling terendah didapatkan pada variasi 80°C dengan putaran 500 rpm. Pada penelitian ini biodiesel yang digunakan mendapatkan hasil stabilitas oksidasi yang belum memenuhi standar SNI 2015 sebesar 480 menit walaupun sudah dilakukan proses *partial hydrogenation*. Adapun grafik pengaruh temperatur pada putaran 250, 500, dan 750 rpm nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3, 4, dan 5.



Gambar 3. Grafik pengaruh temperatur pada putaran 250 rpm terhadap stabilitas oksidasi

Pada putaran 250 rpm dengan temperatur 70, 80, dan 90°C hasil stabilitas oksidasi mengalami fluktuasi pada temperatur 70°C hasil stabilitas oksidasi 55,8 menit, pada variasi temperatur 80°C hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit dan variasi temperatur 90°C mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 38,4 menit.

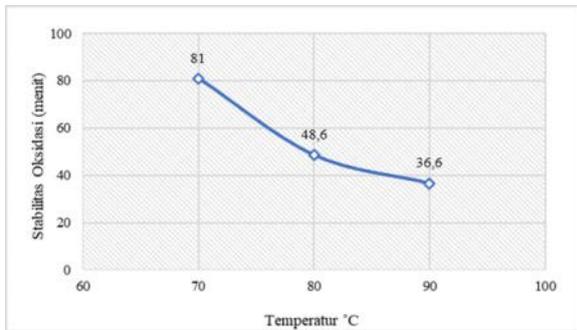


Gambar 4. Grafik pengaruh temperatur pada putaran 500 rpm terhadap stabilitas oksidasi

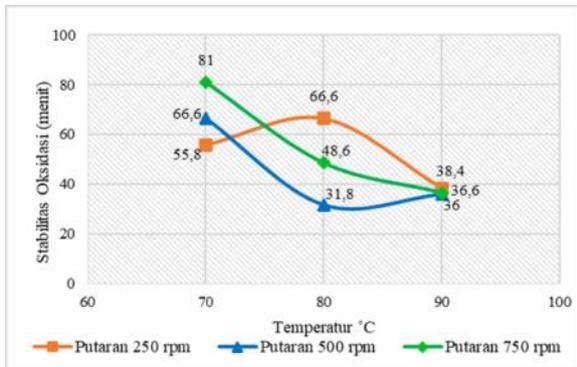
Pada putaran 500 rpm dengan temperatur 70, 80, dan 90°C hasil stabilitas oksidasi mengalami fluktuasi pada temperatur 70°C hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit, pada variasi temperatur 80 °C hasil stabilitas oksidasi 31,8 menit dan variasi temperatur 90°C mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 36 menit.

Pada putaran 500 rpm dengan temperatur 70, 80, dan 90 °C hasil stabilitas oksidasi mengalami fluktuasi pada temperatur 70°C hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit, pada variasi temperatur 80°C hasil stabilitas oksidasi 31,8 menit dan variasi temperatur 90°C mendapatkan hasil stabilitas

oksidasi 36 menit. Pada gambar 6 merupakan gabungan grafik pengaruh temperatur pada putaran 250, 500, dan 750 rpm terhadap stabilitas oksidasi.

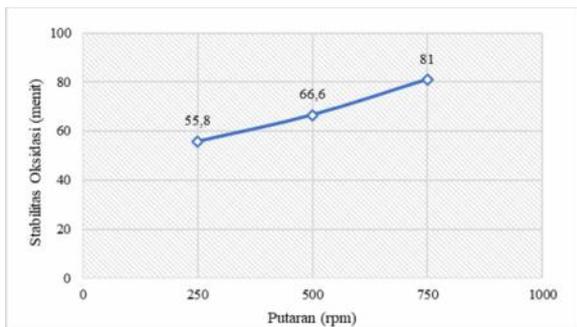


**Gambar 5.** Grafik pengaruh temperatur pada putaran 750 rpm terhadap stabilitas oksidasi



**Gambar 6.** Gabungan grafik pengaruh temperatur pada putaran 250, 500, dan 750 rpm terhadap stabilitas oksidasi

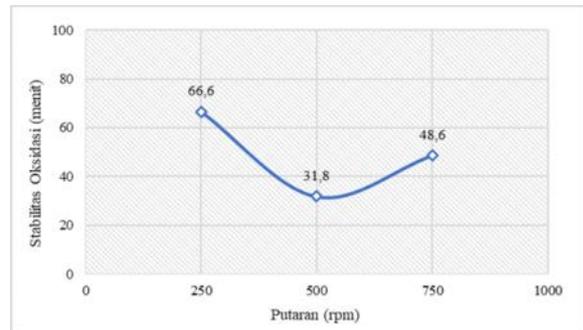
Sedangkan grafik pengaruh putaran terhadap nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 7, 8, dan 9 berikut.



**Gambar 7.** Grafik pengaruh putaran pada temperatur 70 °C terhadap stabilitas oksidasi

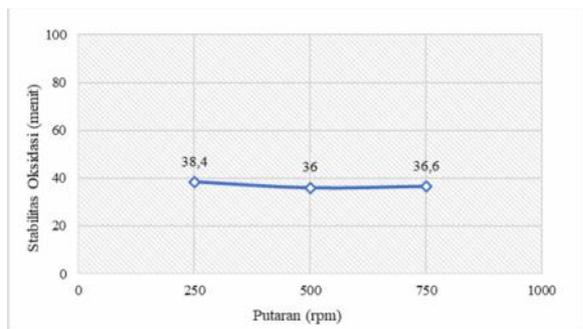
Pada temperatur 70°C dengan putaran 250, 500, dan 750 rpm hasil stabilitas oksidasi mengalami peningkatan, pada putaran 250 rpm hasil stabilitas oksidasi 55,8 menit, pada variasi putaran 500 rpm hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit dan variasi

putaran 750 rpm mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 81 menit.



**Gambar 8.** Grafik pengaruh putaran pada temperatur 80 °C terhadap stabilitas oksidasi

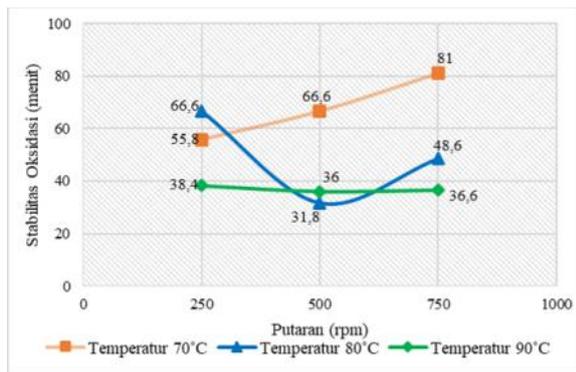
Pada temperatur 80°C dengan putaran 250, 500, dan 750 rpm hasil stabilitas oksidasi berfluktuasi, pada putaran 250 rpm hasil stabilitas oksidasi 66,6 menit, pada variasi putaran 500 rpm hasil stabilitas oksidasi 37,8 menit dan variasi putaran 750 rpm mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 48,6 menit.



**Gambar 9.** Grafik pengaruh putaran pada temperatur 90 °C terhadap stabilitas oksidasi

Pada temperatur 90°C dengan putaran 250, 500, dan 750 rpm hasil stabilitas oksidasi berfluktuasi, pada putaran 250 rpm hasil stabilitas oksidasi 38,4 menit, pada variasi putaran 500 rpm hasil stabilitas oksidasi 36 menit dan variasi putaran 750 rpm mendapatkan hasil stabilitas oksidasi 36,6 menit. Pada gambar 4.8 merupakan gabungan grafik pengaruh putaran pada temperatur 70, 80, dan 90°C terhadap stabilitas oksidasi yang didapatkan.

Apabila dilihat pada kedua grafik baik dari segi temperatur maupun putaran hasil stabilitas oksidasi banyak mengalami fluktuasi, hal ini dikarenakan setelah dilakukan proses *partial hydrogenation* ikatan asam lemak tak jenuh rangkap ganda dari C 18:2 dan C 18:3 menjadi C 18:1, dimana komposisi asam lemak C 18:1 terbagi menjadi cisC 18:1 dan transC 18:1 semakin banyak komposisi asam lemak yang berubah menjadi trans stabilitas oksidasi dari biodiesel semakin baik hal ini dikarenakan asam lemak trans memiliki konfigurasi yang lebih lurus daripada asam lemak cis.



**Gambar 10. Gabungan grafik pengaruh putaran pada temperatur 70, 80, dan 90°C terhadap stabilitas oksidasi**

Pada penelitian ini semakin tinggi temperatur pada proses *partial hydrogenation* nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan cenderung menurun hal ini dikarenakan telah melewati temperatur titik didih isopropil alkohol 82,5°C sehingga stabilitas oksidasi yang didapatkan kurang optimal. Selain itu putaran juga berpengaruh pada proses *partial hydrogenation* hal ini dikarenakan tingkat ketidakjenuhan biodiesel menurun seiring dengan kecepatan putaran [8].

## 5. Simpulan

Pada penelitian ada beberapa kesimpulan yang didapat antara lain:

1. Pengaruh temperatur pada putaran 250, 500, dan 750 rpm terhadap stabilitas oksidasi pada proses *partial hydrogenation* dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur dan putaran nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan cenderung semakin menurun.
2. Pengaruh putaran pada temperatur 70, 80, dan 90°C terhadap stabilitas oksidasi pada proses *partial hydrogenation* dapat disimpulkan bahwa pada temperatur 70°C semakin tinggi putaran nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan semakin baik, sedangkan pada temperatur 80°C dan 90°C semakin tinggi putaran nilai stabilitas oksidasi cenderung menurun.
3. *Partial hydrogenation* dapat meningkatkan nilai stabilitas oksidasi pada biodiesel dimana sebelum dilakukan proses *partial hydrogenation* nilai stabilitas oksidasi sebesar 6 menit sedangkan setelah dilakukan proses *partial hydrogenation* nilai stabilitas oksidasi mengalami peningkatan
4. Nilai stabilitas oksidasi yang didapatkan belum memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh SNI 2015 yaitu sebesar 480 menit sedangkan nilai stabilitas oksidasi yang paling tinggi didapatkan sebesar 81 menit walaupun telah dilakukan proses *partial hydrogenation*.

## Daftar Pustaka

- [1] I. K. G. Wirawan, A. Ghurri, and W. N. Septiadi, 2019, *The effect of biodiesel-diesel fuel blending on exhaust gas emissions*, *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 2, pp. 542–550.
- [2] A. Wibowo, A. O. Viani, and H. Rustamaji, 2017, *Transesterifikasi Minyak Jelantah Menggunakan Continuous Microwave Biodiesel Reactor*, pp. 19–25.
- [3] Badan Standarisasi Nasional, 2015, *Standar Nasional Indonesia 7182:2015*, Jakarta.
- [4] R. Fajar, S. Yubaidah, and M. Ma, 2009, *Strategi Formulasi Biodiesel Jatropha Untuk Memenuhi Spesifikasi WWFC 2009: Teknik Blending Dengan Biodiesel Sawit Dan Rekayasa Kimia ( Partial Hydrogenation )*, pp. 1–5.
- [5] Mahfud, 2018, *Biodiesel: Perkembangan Bahan Baku Dan Teknologi*, Surabaya.
- [6] M. I. Joelianingsih, Alghifari and F. M. Antika, 2016, *Sintesis biodiesel dari minyak kemiri sunan dengan katalis homogen melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara bertahap*, vol. 23, pp. 1–11.
- [7] E. Sukjit *et al.*, 2019, *Improvement of the tribological behaviour of palm biodiesel via partial hydrogenation of unsaturated fatty acid methyl esters*, vol. 426–427, pp. 813–818.
- [8] G. Wei, Z. Liu, L. Zhang, and Z. Li, 2018, *Catalytic upgrading of Jatropha oil biodiesel by partial hydrogenation using Raney-Ni as catalyst under microwave heating*, *Energy Convers. Manag.*, vol. 163, pp. 208–218.
- [9] R. D. O'Brien, 2009, *Fats and Oils*, Third Edition, United States of America.

