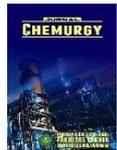


	<p>JURNAL CHEMURGY</p> <p>E-ISSN 2620-7435</p> <p>Available online at http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK</p>	 <p>SINTA Accreditation No. 200/M/KPT/2020</p>
---	--	---

OPTIMALISASI PROSES EKSTRAKSI MINYAK BIJI NYAMPLUNG MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY* (RSM)

OPTIMIZATION OF THE NYAMPLUNG SEEDS OIL EXTRACTION PROCESS USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)

Ahmad Moh. Nur^{1*}, Hairul Huda¹, Rif'an Fathoni¹

¹Department of Chemical Engineering, Engineering Faculty, Mulawarman University
Jl. Sambaliung No. 9, Gunung Kelua, Samarinda, Indonesia

*email : ahmadmohnur@ft.unmul.ac.id

(Received: 2022, 12, 01; Reviewed: 2022, 12, 01; Accepted: 2022, 12, 25)

Abstrak

Tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) merupakan tanaman yang sangat potensial untuk sumber bahan bakar yang dapat dikembangkan di Indonesia. Kandungan minyak biji nyamplung yaitu 60-75%. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses ekstraksi minyak dari biji nyamplung dengan menggunakan pelarut heksana pada berbagai kondisi operasi dan mendapatkan kondisi operasi ekstraksi yang optimum. Pada tahapan proses, akan dilakukan ekstraksi dengan menggunakan pelarut heksan dengan beberapa variasi operasi yaitu suhu ekstraksi (35-45°C); waktu ekstraksi (4-6 jam); kecepatan pengaduk (200-600 rpm), proses optimalisasi ekstraksi minyak dari biji nyamplung dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Minyak yang diperoleh kemudian dikarakterisasi melalui beberapa analisa yaitu rendemen, bilangan asam, densitas dan viskositas. Berdasarkan hasil penelitian, optimalisasi proses ekstraksi minyak biji nyamplung menghasilkan rendemen minyak 52,43% yang diperoleh pada suhu 40°C, waktu ekstraksi 5 jam dan kecepatan pengaduk 500 rpm. Optimalisasi dengan tujuan memaksimalkan respon rendemen minyak diperoleh rendemen 55,33% pada suhu 45°C, waktu ekstraksi 6 jam dan kecepatan pengaduk 600 rpm. Optimalisasi setiap mutu minyak tidak menghasilkan model yang signifikan terhadap respon. Mutu minyak hasil optimalisasi rendemen adalah bilangan asam 10,51 mgKOH/g, densitas 0,94 g/ml, dan viskositas 4,47 cP.

Kata Kunci: nyamplung, minyak, optimasi, *response surface methodology*

Abstract

Nyamplung (Calophyllum inophyllum L.) is a plant with great potential as a fuel source that can be developed in Indonesia. The oil content of nyamplung seeds is 60-75%. This study aims to optimize the process of extracting oil from nyamplung seeds using hexane solvent at various operating conditions and obtain optimum extraction operating conditions. In the process stage, extraction will be carried out using hexane solvent with several operating variations, namely extraction temperature (35-45°C); extraction time (4-6 hours); stirring speed (200-600 rpm), the process of optimizing oil extraction from nyamplung seeds was carried out using the Response Surface Methodology (RSM). The oil obtained was then characterized

through several analyzes, namely yield, acid number, density and viscosity. Based on the research results, optimization of the nyamplung seed oil extraction process resulted in an oil yield of 52.43% which was obtained at 40°C, 5 hours of extraction time and 500 rpm of stirrer speed. Optimization with the aim of maximizing the oil yield response was obtained 55.33% yield at 45°C, 6 hours extraction time and 600 rpm stirrer speed. Optimization of each oil quality does not produce a significant model response. The quality of the oil resulting from the optimization of the yield is an acid number of 10.51 mgKOH/g, a density of 0.94 g/ml, and a viscosity of 4.47 cP.

Keywords: *calophyllum*, oil, optimization, response surface methodology

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk yang disertai dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat berdampak pada makin meningkatnya kebutuhan rumah tangga. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan bahan bakar minyak juga semakin meningkat. Di seluruh dunia, bahan bakar minyak merupakan sumber energi dengan konsumsi terbesar dibanding sumber energi lainnya. Kebutuhan bahan bakar minyak meningkat seiring meningkatnya populasi dan semakin berkembangnya teknologi, akan tetapi cadangan minyak bumi yang berasal dari fosil semakin menipis karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui. Konsumsi bahan bakar energi semakin membengkak hingga membuat Indonesia tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan energi dari negerinya sendiri. Cadangan minyak bumi Indonesia terus menurun dari 5,9 miliar barel pada tahun 1995 menjadi 3,7 miliar barel pada akhir 2015. Produksi minyak bumi saat ini meningkat dan tidak ada penemuan cadangan minyak bumi baru, maka diperkirakan dalam kurung waktu 11 tahun lagi cadangan minyak bumi Indonesia akan habis (BPPT, B. P, 2017). Perkiraan ini terbukti dengan sering terjadi kelangkaan BBM di beberapa daerah di Indonesia. Ketergantungan Indonesia terhadap minyak bumi perlu dikurangi bahkan dihilangkan. Masalah ini dapat diatasi dengan mengembangkan sumber-sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dalam hal ini adalah minyak nabati. Salah satu tanaman yang prospektif untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku *biofuel* adalah tanaman nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.). Minyak dari biji nyamplung mempunyai potensi besar untuk dikembangkan sebagai bahan baku beberapa produk, karena pemanfaatannya tidak akan bersaing dengan kebutuhan bahan pangan. Salah satu yang telah berkembang adalah bahan baku untuk biofuel karena memiliki kandungan minyak yang besar pada biji kering yaitu 60-75% (Dalvi dkk., 2012). Penelitian yang dilakukan oleh Kartika dkk, (2017) mendapatkan rendemen minyak sebesar 58,2% dengan metode ekstraksi menggunakan pelarut heksana.

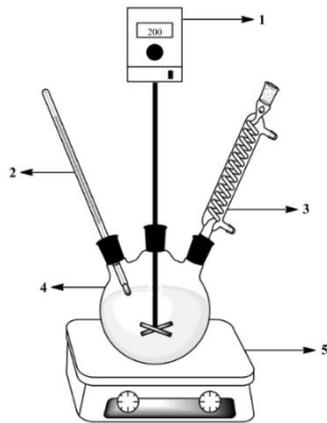
Bahan bakar nabati dapat diproduksi dengan beberapa tahap yaitu dengan mengekstraksi minyak dari bahan penghasil minyak. Ekstraksi minyak dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti ekstraksi secara mekanis dan kimia (Ketaren, 2012). Metode paling umum digunakan dalam ekstraksi minyak nyamplung adalah ekstraksi minyak secara mekanis atau pengepresan. Minyak yang dihasilkan dari metode ini berwarna hitam dan kental. Hal ini disebabkan proses ekstraksi secara mekanis (pengepresan) kurang selektif dalam mengekstraksi zat-zat yang terkandung dalam biji nyamplung. Berbeda dengan ekstraksi secara kimia, proses ekstraksi ini menggunakan pelarut yang sifatnya lebih selektif dibandingkan dengan ekstraksi secara mekanis (Bhuiya dkk., 2015). Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses ekstraksi minyak dari biji nyamplung dengan menggunakan pelarut heksana pada berbagai kondisi operasi dan mendapatkan kondisi operasi ekstraksi yang optimum.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan yakni, mengeringkan buah nyamplung hingga kadar airnya mencapai 10-15%. Selanjutnya buah dikupas untuk memisahkan cangkang dari bijinya. Biji kemudian digiling menggunakan blender untuk memperkecil ukurannya. Kemudian melakukan percobaan ekstraksi minyak dengan menggunakan pelarut heksana. Kemudian melakukan pemisahan antara biji nyamplung dengan fraksi heksana. Fraksi heksana dievaporasi untuk menguapkan heksana dan mendapatkan minyak. Selanjutnya minyak yang diperoleh dikarakterisasi sifat fisikokimianya.

2.1 ALAT DAN BAHAN

Alat utama yang digunakan untuk ekstraksi minyak dan resin berupa labu leher tiga kapasitas 2 L yang dilengkapi dengan kondensor, motor pengaduk, termometer dan pemanas. Berikut rangkaian alatnya:



Keterangan Alat:

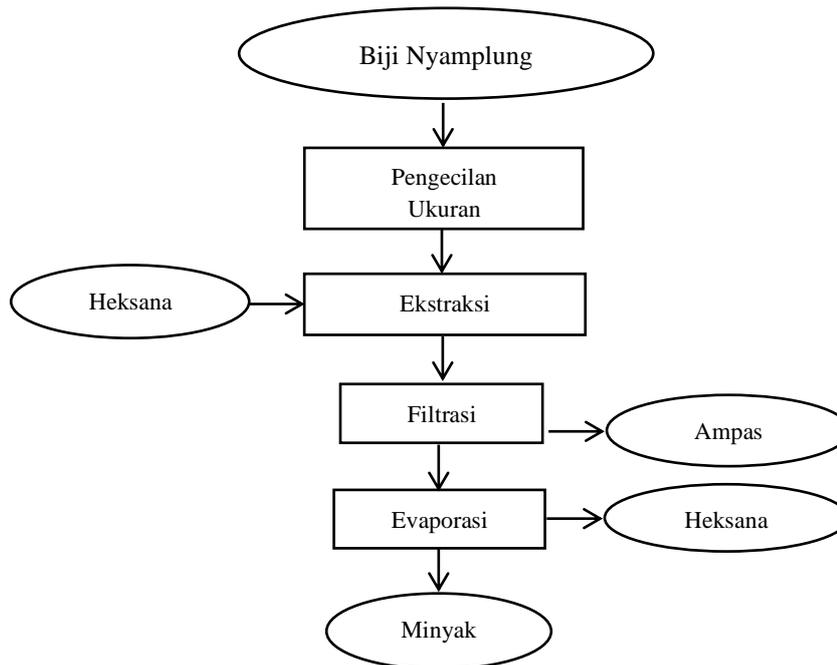
1. Motor pengaduk
2. Termometer
3. kondensor
4. Labu leher tiga
5. Hot Plate

Gambar 1. Rangkaian alat percobaan

Bahan yang dibutuhkan adalah buah nyamplung yang sudah dikeringkan menggunakan sinar matahari selama 10 hari dan Heksana 98%.

2.2 CARA KERJA

Berikut ini diagram alir ekstraksi minyak:



Gambar 2 Diagram alir ekstraksi minyak

2.2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan dilakukan dengan beberapa tahap. Pertama, merangkai alat yang telah disediakan di laboratorium. Kedua, cangkang dari buah nyamplung secara manual dipisahkan dari biji. Bahan baku berupa buah nyamplung dikeringkan selama kurang lebih 10 hari hingga mendapatkan biji dengan kadar air sekitar 10-15%, kemudian digiling untuk mengecilkan ukurannya menggunakan penggiling listrik (blender) selama 15 menit.

2.2.2 Ekstraksi

Bahan baku yang telah melalui tahap persiapan dimasukkan ke dalam reaktor, kemudian ditambahkan heksana dengan rasio bahan terhadap heksana (b/v) yang digunakan adalah 1:5. Proses ekstraksi dilakukan dalam reaktor (labu leher tiga) yang kapasitasnya 2 L yang dilengkapi dengan pengaduk, pemanas dan kondensor. Kondisi operasi yaitu suhu 35-45 °C, waktu reaksi selama 4-6 jam, dan kecepatan pengaduk 200-600 rpm.

2.2.3 Pemisahan

Setelah proses ekstraksi selesai, campuran didinginkan sampai suhu kamar, kemudian filtrat dipisahkan dari ampas menggunakan penyaring vakum. Setelah itu, dilanjutkan pada proses evaporasi untuk memisahkan minyak dari heksana.

2.2.4 Karakterisasi

Minyak yang diperoleh kemudian dikarakterisasi melalui beberapa analisa. Analisa yang dilakukan yaitu rendemen, bilangan asam, densitas dan viskositas.

2.2.5 Rancangan Percobaan

Percobaan dirancang agar data yang dihasilkan dapat diolah menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM). Pada penelitian ditetapkan tiga variabel bebas yaitu suhu (X_1), waktu (X_2) dan kecepatan pengaduk (X_3).

Tabel 1. Variabel-variabel kondisi proses center

Variabel	Kode	Satuan	Tarf		
			-1	0	+1
Suhu	X_1	°C	35	40	45
Waktu	X_2	Jam	4	5	6
Kecepatan pengaduk	X_3	rpm	200	400	600

2.3 VARIASI PERCOBAAN

Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah suhu ekstraksi (35-45°C), waktu ekstraksi (4-6 jam), dan kecepatan pengaduk (200-600 rpm), optimasi proses ekstraksi minyak dari biji nyamplung dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 OPTIMALISASI RENDEMEN MINYAK

Rendemen minyak yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 46,18-55,96%. Berdasarkan hasil analisis *sequential*, *lack of fit*, *adjusted R²*, dan *predicted R²* menggunakan *design expert 11* (Tabel 2), model yang direkomendasikan untuk mengoptimalisasi kondisi proses dengan respon rendemen adalah model linier.

Tabel 2. Nilai parameter-parameter optimasi untuk respon rendemen minyak

Parameter	<i>Sequential P-value</i>	<i>Lack of Fit P-value</i>	<i>Adjusted R²</i>	<i>Predicted R²</i>	Keterangan
Linear	0,0281	0,2042	0,3164	0,0104	Cocok
2FI	0,3228	0,2075	0,3504	-0,6009	
Quadratic	0,9979	0,1016	0,1587	-1,7448	
Cubic	0,2657	0,0688	0,3442	-22,7211	

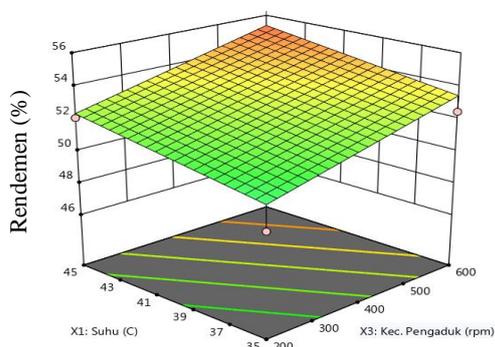
Tabel 2 menunjukkan bahwa model linier memiliki nilai *sequential* yang signifikan ($P < 0,05$) sebesar 0,0281, sedangkan untuk model-model yang lainnya nilai *sequential* memberikan hasil yang tidak signifikan ($P > 0,05$) (Montgomery, 2001). Hal tersebut menunjukkan bahwa model linier lebih cocok dibandingkan dengan model-model lainnya. Hal tersebut didukung dengan nilai *lack of fit* yang tidak signifikan dan lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan nilai *lack of fit* dari model kuadratik ataupun model kubik. Nilai *adjusted R²* menunjukkan kontribusi faktor regresi terhadap respon. Semakin tinggi nilai *adjusted R²*, maka semakin besar kontribusi atau pengaruh faktor terhadap respon. *Predicted R²* digunakan untuk menentukan kesesuaian nilai *adjusted R²* yang diperoleh, dimana semakin kecil selisih antara *adjusted R²* dengan *Predicted R²* maka nilai *adjusted R²* tersebut semakin baik. Berdasarkan tabel 2 dapat dilihat bahwa selisih antara *adjusted R²* dengan *predicted R²* yang paling rendah, hal ini menegaskan bahwa model linier menunjukkan tingkat signifikansi yang tinggi dibandingkan usulan model lainnya. Berikut adalah persamaan model polinomial linier yang diperoleh:

$$y_1 = 36,539 + 0,189X_1 + 0,966X_2 + 0,0074X_3 \quad (1)$$

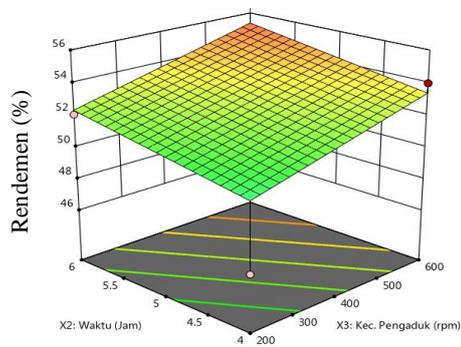
Keterangan:

- y1 = Nilai respon rendemen minyak (%)
- X1 = suhu (C)
- X2 = waktu (jam)
- X3 = kecepatan pengaduk (rpm)

Berdasarkan hasil analisis signifikansi pengaruh variabel-variabel terhadap respon diperoleh hasil bahwa variabel kecepatan pengaduk yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon rendemen minyak. Variabel-variabel yang lain (suhu dan waktu) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap rendemen minyak. Gambar 3a dan 3b menunjukkan kontur pengaruh kecepatan pengaduk terhadap rendemen pada berbagai suhu dan waktu.



Gambar 3a. Kontur pengaruh kecepatan pengaduk dan suhu terhadap rendemen



Gambar 3b. Kontur pengaruh kecepatan pengaduk dan waktu terhadap rendemen

Gambar 3a dan 3b menunjukkan hasil rendemen minyak meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan pengaduk. Pengaruh kecepatan pengaduk signifikan terhadap rendemen minyak, karena semakin tinggi kecepatan pengaduk maka laju transfer massa semakin meningkat pula seiring dengan distribusi partikel bahan dalam pelarut lebih cepat. Laju transfer massa akan mulai melambat dan berhenti seiring dengan tercapainya kondisi kesetimbangan di dalam larutan (Sayyar dkk., 2009).

Gambar 3a dan 3b juga dapat diketahui pengaruh faktor suhu dan waktu terhadap rendemen. Semakin tinggi suhu reaksi maka akan meningkatkan rendemen minyak, peningkatan suhu pada umumnya dapat menyebabkan pori-pori padatan mengembang sehingga laju difusi pelarut ke dalam pori-pori bahan padat atau dinding sel dan pelarutan zat terlarut oleh pelarut di dalam sel meningkat sehingga mengakibatkan rendemen dapat ditingkatkan dengan peningkatan suhu ekstraksi. Selain itu, suhu yang lebih tinggi juga dapat mempercepat laju difusi sehingga proses difusi ekstraksi dapat berjalan lebih cepat (Margaretta dkk., 2011). Akan tetapi, menurut Kartika dkk., (2017) penggunaan suhu sebesar 40°C sudah cukup optimal untuk mengekstraksi minyak dari biji nyamplung.

Pengaruh suhu dapat diketahui melalui hasil persamaan linier yang diperoleh, dimana suhu memiliki koefisien faktor yang positif terhadap respon rendemen minyak, artinya nilai positif tersebut menandakan kesesuaian antara peningkatan faktor dan respon. Semakin tinggi nilai faktor maka akan semakin tinggi pula respon yang dihasilkan.

Waktu ekstraksi adalah lamanya proses yang digunakan pada proses ekstraksi tersebut, dimana berhubungan dengan banyaknya konversi minyak di dalam biji nyamplung menjadi minyak. Semakin lama waktu ekstraksi maka rendemen minyak yang dihasilkan akan semakin meningkat. Hal tersebut sesuai yang dilakukan Margareta dkk. (2011) bahwa semakin lama waktu ekstraksi, maka rendemen yang dihasilkan akan semakin tinggi karena semakin banyak minyak yang larut dalam heksana sampai tercapai kondisi kesetimbangan. Akan tetapi, menurut Kartika dkk. (2017) pada waktu ekstraksi 5 jam rendemen minyak yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan waktu ekstraksi 7 jam. Hal ini menandakan bahwa kondisi kesetimbangan telah tercapai dan minyak dapat diekstraksi secara optimal pada waktu ekstraksi 5 jam. Kondisi kesetimbangan dalam ekstraksi adalah keadaan dimana zat terlarut yang ada dalam bahan tidak dapat larut lagi dalam pelarut dan konsentrasi minyak dalam larutan tetap sama sebelum mengalami penurunan (Bangkit dan Sirait, 2012). Ketika konsentrasi minyak dalam pelarut (heksana) sudah maksimal, maka pelarut tidak mampu lagi untuk mengikat minyak, baik yang berada di dinding maupun di dalam sel (Sayyar dkk., 2009).

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *design expert 11*, rendemen minyak optimum yang diperoleh adalah 55,33% diperoleh pada suhu 45°C, waktu ekstraksi 6 jam dan kecepatan pengaduk 600 rpm.

3.2 OPTIMALISASI BILANGAN ASAM MINYAK

Bilangan asam minyak yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 5,11-21,97 mgKOH/g. Berdasarkan hasil analisis *sequential*, *lack of fit*, *adjusted R²*, dan *predicted R²* menggunakan *design expert 11* (Tabel 3), model yang direkomendasikan untuk mengoptimasi kondisi proses dengan respon bilangan asam adalah model linier.

Tabel 3. Nilai parameter-parameter optimasi untuk respon bilangan asam

Parameter	<i>Sequential p-value</i>	<i>Lack of Fit p-value</i>	<i>Adjusted R²</i>	<i>Predicted R²</i>	Keterangan
Linear	0,0348	< 0,0001	0,2965	-0,088	Cocok
2FI	0,9251	< 0,0001	0,1639	-1,6519	
Quadratic	0,7209	< 0,0001	0,0431	-2,9168	
Cubic	0,0514	< 0,0001	0,5995	-26,669	

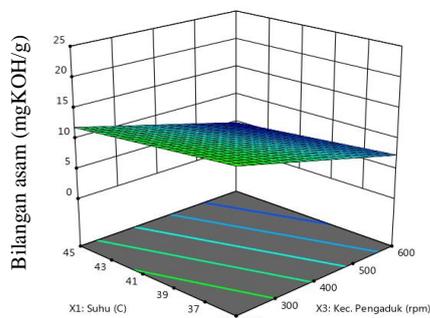
Tabel 3 menunjukkan bahwa model linier memiliki nilai *sequential* yang signifikan ($P < 0,05$) sebesar 0,0348, sedangkan untuk model-model yang lainnya nilai *sequential* memberikan hasil yang tidak signifikan ($P > 0,05$). Hal tersebut menunjukkan bahwa model linier lebih cocok dibandingkan dengan model-model lainnya. Hal tersebut didukung dengan selisih antara *Adjusted R²* dengan *Predicted R²* paling rendah diantara model lainnya sehingga menegaskan bahwa model linier menunjukkan tingkat signifikansi yang tinggi dibandingkan usulan model lainnya. Berikut adalah persamaan model polinomial linier yang diperoleh:

$$y_2 = 34,152 - 0,255X_1 - 1,192X_2 - 0,018X_3 \quad (2)$$

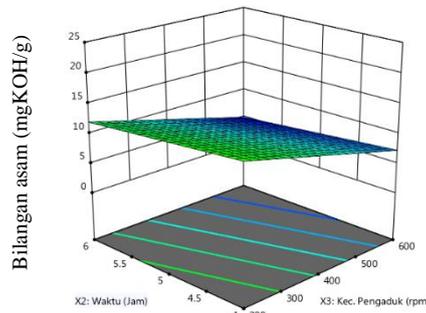
Keterangan:

- y_2 = Nilai respon bilangan asam minyak (mgKOH/g)
- X_1 = suhu (C)
- X_2 = waktu (jam)
- X_3 = kecepatan pengaduk (rpm)

Hasil analisis signifikansi pengaruh variabel-variabel terhadap respon diperoleh hasil bahwa variabel kecepatan pengaduk yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon bilangan asam minyak. Variabel-variabel yang lain (suhu dan waktu) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap bilangan asam minyak. Gambar 4a dan 4b menunjukkan kontur pengaruh kecepatan pengaduk terhadap bilangan asam pada berbagai suhu dan waktu.



Gambar 4a. Kontur pengaruh kecepatan pengaduk dan suhu terhadap bilangan asam



Gambar 4b. Kontur pengaruh kecepatan pengaduk dan waktu terhadap bilangan asam

Gambar 4a dan 4b menunjukkan bahwa bilangan asam minyak menurun seiring dengan peningkatan kecepatan pengaduk. Pengaruh kecepatan pengaduk signifikan terhadap bilangan asam minyak, karena peningkatannya mempercepat kelarutan senyawa-senyawa asam ke dalam pelarut dan mencegah pengendapan bahan pada dasar tangki reaktor, sehingga kesetimbangan menjadi lebih cepat tercapai. Semakin rendah bilangan asam minyak maka semakin tinggi mutu minyak yang dihasilkan. Minyak dengan bilangan asam rendah lebih stabil sehingga umur simpannya lebih lama (Nwabueze dan Okocha, 2008). Minyak yang stabil tidak mudah bereaksi dengan keadaan sekitarnya, seperti udara, cahaya dan panas sehingga tidak mudah rusak (Kartika dkk., 2017).

Gambar 4a dan 4b juga dapat diketahui pengaruh faktor suhu dan waktu terhadap bilangan asam. Semakin tinggi suhu dan waktu ekstraksi maka bilangan asam yang diperoleh semakin menurun. Hal tersebut dapat diketahui melalui hasil persamaan linier yang diperoleh, dimana untuk suhu dan waktu ekstraksi memiliki koefisien faktor bernilai negatif, artinya bilangan asam menurun ketika suhu dan waktu ekstraksi ditingkatkan. Hal yang sama dilakukan Kartika dkk. (2017) yaitu bilangan asam minyak nyamplung menurun dengan meningkatkan suhu dan waktu reaksi.

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *design expert 11*, bilangan asam minyak optimum yang didapatkan adalah 4,79 mgKOH/g diperoleh pada suhu 45°C, waktu ekstraksi 6 jam dan kecepatan pengaduk 600 rpm.

3.3 OPTIMALISASI DENSITAS MINYAK

Densitas minyak yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 0,923-0,99 g/ml. Berdasarkan hasil analisis *sequential*, *lack of fit*, *adjusted R²*, dan *predicted R²* menggunakan *design expert 11* (Tabel 4), model yang direkomendasikan untuk mengoptimasi kondisi proses dengan respon densitas adalah model linier.

Tabel 4. Nilai parameter-parameter optimasi untuk respon densitas minyak

Parameter	<i>Sequential p-value</i>	<i>Lack of Fit p-value</i>	<i>Adjusted R²</i>	<i>Predicted R²</i>	Keterangan
Linear	0,0158	0,0014	0,3669	0,1013	Cocok
2FI	0,4008	0,0012	0,3736	-0,6962	
Quadratic	0,0576	0,0028	0,6027	-0,5246	
Cubic	0,0591	0,0055	0,8251	-8,9099	

Tabel 4 menunjukkan bahwa model linier memiliki nilai *sequential* yang signifikan ($P < 0,05$) sebesar 0,0158, sedangkan untuk model-model yang lainnya nilai *sequential* memberikan hasil

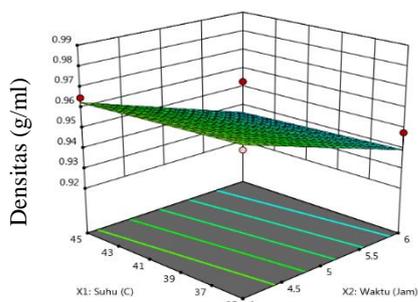
yang tidak signifikan ($P > 0,05$). Hal tersebut menunjukkan bahwa model linier lebih cocok dibandingkan dengan model-model lainnya. Hal tersebut didukung dengan selisih antara *Adjusted R²* dengan *Predicted R²* paling rendah diantara model lainnya sehingga menegaskan bahwa model linier menunjukkan tingkat signifikansi yang tinggi dibandingkan usulan model lainnya. Berikut adalah persamaan model polinomial linier yang diperoleh:

$$y_3 = 1,035 - 3,5 \times 10^{-4} X_1 - 1,3 \times 10^{-2} X_2 - 5,34 \times 10^{-6} X_3 \quad (3)$$

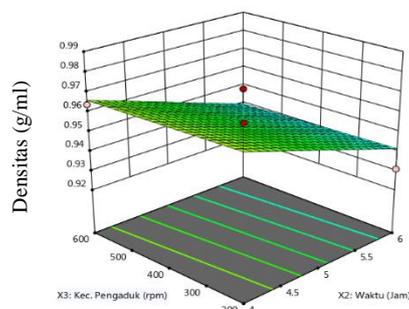
Keterangan:

- y_3 = Nilai respon densitas minyak (g/ml)
- X_1 = suhu (C)
- X_2 = waktu (jam)
- X_3 = kecepatan pengaduk (rpm)

Hasil analisis signifikansi pengaruh variabel-variabel terhadap respon diperoleh hasil bahwa variabel waktu yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon densitas minyak. Variabel-variabel yang lain (suhu dan kecepatan pengaduk) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap densitas minyak. Gambar 5a dan 5b menunjukkan kontur pengaruh waktu terhadap densitas pada berbagai suhu dan kecepatan pengaduk.



Gambar 5a. Kontur pengaruh waktu dan suhu terhadap densitas



Gambar 5b. Kontur pengaruh waktu dan kecepatan pengaduk terhadap densitas

Gambar 5a dan 5b menunjukkan bahwa densitas minyak menurun seiring dengan peningkatan waktu ekstraksi. Pengaruh waktu ekstraksi signifikan terhadap densitas minyak, namun peningkatannya tidak terlalu signifikan. Berdasarkan hasil penelitian Kartika dkk. (2018) yang menyatakan bahwa pengaruh waktu ekstraksi terhadap densitas minyak tidak signifikan karena semakin tinggi waktu ekstraksi maka densitas minyak yang dihasilkan relative konstan. Semakin rendah densitas minyak maka semakin tinggi mutu minyak yang dihasilkan. Minyak dengan densitas tinggi maka mutunya semakin rendah karena hal tersebut menunjukkan zat-zat pengotor yang terkandung dalam minyak tersebut semakin banyak (Kartika dkk., 2017).

Gambar 5a dan 5b juga dapat diketahui pengaruh faktor suhu dan kecepatan pengaduk terhadap densitas minyak. Semakin tinggi suhu dan kecepatan pengaduk maka densitas minyak yang diperoleh semakin menurun. Hal tersebut dapat diketahui melalui hasil persamaan linier yang diperoleh, dimana untuk suhu dan kecepatan pengaduk memiliki koefisien faktor bernilai negatif, artinya densitas minyak menurun ketika suhu dan kecepatan pengaduk ditingkatkan. Berdasarkan hasil analisis menggunakan *design expert 11*, densitas minyak optimum yang diperoleh adalah 0,94 g/ml diperoleh pada suhu 35°C, waktu ekstraksi 6 jam dan kecepatan pengaduk 600 rpm

3.4 OPTIMALISASI VISKOSITAS MINYAK

Viskositas minyak yang dihasilkan pada penelitian ini sebesar 5,11-21,97 cP . Berdasarkan hasil analisis *sequential*, *lack of fit*, *adjusted R²*, dan *predicted R²* menggunakan *design expert 11* (Tabel 5), model yang direkomendasikan untuk mengoptimasi kondisi proses dengan respon viskositas adalah model kuadrat.

Tabel 5. Nilai parameter-parameter optimasi untuk respon viskositas minyak

Parameter	Sequential <i>p-value</i>	Lack of Fit <i>p-value</i>	Adjusted <i>R</i> ²	Predicted <i>R</i> ²	Keterangan
Linear	0,0604	< 0,0001	0,2419	-0,0905	
2FI	0,2102	< 0,0001	0,3331	-0,9825	
Quadratic	0,1033	< 0,0001	0,5198	-0,9076	Cocok
Cubic	0,0462	0,0002	0,8066	-11,7759	

Model kuadratik merupakan model yang paling sesuai dalam menggambarkan pengaruh antara faktor-faktor dengan respon viskositas minyak. Berikut adalah persamaan model polinomial linier yang diperoleh:

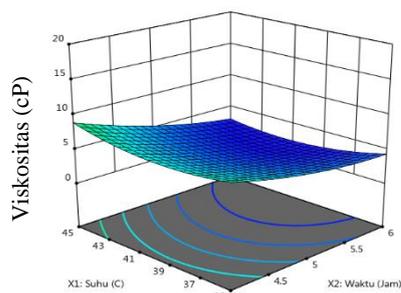
$$y_4 = 113,4 - 3,232X_1 - 10,159X_2 - 0,060X_3 - 0,117X_1X_2 - 7,3 \times 10^{-4}X_1X_3 + 0,011X_2X_3 + 0,051X_1^2 + 0,801X_2^2 + 3,5 \times 10^{-5}X_3^2 \quad (4)$$

Keterangan:

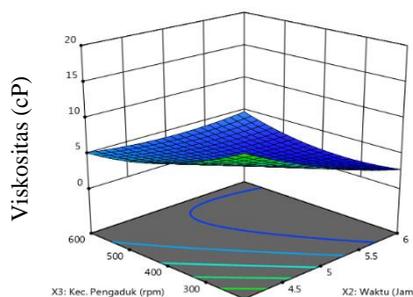
- y_4 = Nilai respon viskositas minyak (cP)
- X_1 = suhu (C)
- X_2 = waktu (jam)
- X_3 = kecepatan pengaduk (rpm)

Model kuadratik menghasilkan konsekuensi yaitu melibatkan interaksi antar faktor satu sama lainnya (interaksi antara suhu-waktu proses, suhu-kecepatan pengaduk, dan waktu proses-kecepatan pengaduk).

Berdasarkan hasil analisis signifikansi pengaruh variabel-variabel terhadap respon diperoleh hasil bahwa variabel waktu ekstraksi yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon viskositas minyak. Hasil analisis terhadap nilai P menunjukkan bahwa waktu ekstraksi dan interaksi antara waktu ekstraksi dengan kecepatan pengaduk memberikan hasil yang signifikan dibanding faktor-faktor dan interaksi-interaksi lainnya ($P < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa tingkat viskositas minyak nyamping yang terbentuk selama ekstraksi dipengaruhi oleh waktu ekstraksi dan interaksinya dengan kecepatan pengaduk (kombinasi pengaturan antara waktu ekstraksi yang berlangsung dengan kecepatan pengaduk yang diperlukan). Gambar 6a dan 6b menunjukkan kontur pengaruh waktu terhadap viskositas pada berbagai suhu dan kecepatan pengaduk.



Gambar 6a. Kontur pengaruh waktu dan suhu terhadap viskositas



Gambar 6b. Kontur pengaruh waktu dan kecepatan pengaduk terhadap viskositas

Gambar 6a dan 6b dapat dilihat bahwa viskositas minyak menurun seiring dengan peningkatan waktu ekstraksi. Pengaruh waktu ekstraksi signifikan terhadap viskositas minyak, namun peningkatannya tidak terlalu signifikan. Berdasarkan hasil penelitian Kartika dkk. (2018) yang menyatakan bahwa pengaruh waktu ekstraksi terhadap viskositas minyak tidak signifikan karena semakin tinggi waktu ekstraksi maka viskositas minyak yang dihasilkan relative konstan. Semakin rendah viskositas minyak maka semakin tinggi mutu minyak yang dihasilkan. Minyak dengan

viskositas tinggi maka mutunya semakin rendah karena hal tersebut menunjukkan zat-zat pengotor yang terkandung dalam minyak tersebut semakin banyak (Kartika dkk., 2017).

Gambar 6a dan 6b juga dapat diketahui pengaruh faktor suhu dan kecepatan pengaduk terhadap densitas minyak. Semakin tinggi suhu dan kecepatan pengaduk maka viskositas minyak yang diperoleh semakin menurun. Hal tersebut dapat diketahui melalui hasil persamaan linier yang diperoleh, dimana untuk suhu dan kecepatan pengaduk memiliki koefisien faktor bernilai negatif, artinya densitas minyak menurun ketika suhu dan kecepatan pengaduk ditingkatkan. Hasil analisis menggunakan *design expert 11*, viskositas minyak optimum yang diperoleh adalah 2,79 cP diperoleh pada suhu 41,45°C, waktu ekstraksi 5,6 jam dan kecepatan pengaduk 354 rpm.

3.5 OPTIMALISASI MUTU MINYAK

Parameter mutu minyak yang diuji adalah rendemen minyak, bilangan asam, densitas, dan viskositas. Rendemen minyak yang diperoleh pada penelitian adalah 46,18-55,96%, rendemen tersebut tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Kartika dkk. (2017) yaitu 58,2%. Bilangan asam minyak yang diperoleh pada penelitian ini adalah 5,11-21,97 mgKOH/g, nilai tersebut didukung oleh hasil penelitian Arumugam dan Ponnusami (2014) yang menyatakan bahwa bilangan asam minyak nyamplung berkisar 6-75 mg KOH/g. Densitas minyak yang diperoleh pada penelitian ini berkisar 0,923-0,99 g/ml, nilai tersebut mendekati hasil penelitian (Kartika dkk., 2018) yaitu 0,89-0,91 g/ml. Viskositas minyak yang diperoleh dalam penelitian sebesar 5,11-21,97 cP.

3.6 OPTIMALISASI DAN VALIDASI TERHADAP KONDISI PROSES OPTIMUM

Berikut tabel pembatas optimalisasi kondisi proses ekstraksi minyak:

Tabel 6. Pembatas optimalisasi kondisi proses ekstraksi minyak

Parameter	Goal	Lower	Upper
Suhu (C)	<i>In range</i>	35	40
Waktu ekstraksi (jam)	<i>In range</i>	4	6
Kecepatan pengadukan (rpm)	<i>In range</i>	200	600
Rendemen minyak (%)	<i>Maximize</i>	46,18	55,96
Bilangan asam minyak (mgKOH/g)	<i>None</i>	5,11	21,97
Densitas minyak (g/ml)	<i>None</i>	0,923	0,99
Viskositas minyak (cP)	<i>None</i>	5,11	21,97

Tabel 7. Nilai optimum hasil optimalisasi minyak

Respon	Nilai
Rendemen minyak (%)	52,43
Bilangan asam minyak (mgKOH/g)	8,992
Densitas minyak (g/ml)	0,953
Viskositas minyak (cP)	6,575

Validasi bertujuan untuk melihat kesesuaian hasil prediksi berdasarkan model dengan kondisi aktual. Kondisi proses yang diterapkan pada validasi ini yaitu suhu 40°C, waktu ekstraksi 5 jam dan kecepatan pengadukan 500 rpm. Perbandingan hasil prediksi dan validasi dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8. Perbandingan nilai prediksi dan validasi hasil optimasi

Respon	Prediksi	Validasi	Perbedaan (%)
Rendemen minyak (%)	52,43	51,09	2,55
Bilangan asam minyak (mgKOH/g)	8,992	10,51	16,88
Densitas minyak (g/ml)	0,953	0,94	1,39
Viskositas minyak (cP)	6,575	4,47	32,01

Perbedaan (%) merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk melihat ketepatan hasil validasi yang diperoleh terhadap hasil prediksi. Semakin kecil nilai perbedaan maka nilai validasi

semakin mendekati nilai prediksi. Nilai perbedaan yang baik adalah <5% yang menunjukkan tingkat ketepatan hasil validasi terhadap prediksi >95%. Respon dengan nilai perbedaan <5% yaitu rendemen minyak, dan densitas minyak, sedangkan respon dengan nilai perbedaan >5% yaitu bilangan asam minyak. Meskipun terdapat respon dengan nilai perbedaan >5%, nilai tersebut masih dapat diterima karena nilai validasi setiap respon masih berada pada rentang *prediction interval* (PI) yang direkomendasikan *software design expert*, dapat dilihat pada tabel 9 berikut:

Tabel 9. Perbandingan nilai validasi terhadap *prediction interval* (PI)

Respon	Validasi	95% PI	
		Lower	Upper
Rendemen minyak (%)	51,09	50,15	60,50
Bilangan asam minyak (mgKOH/g)	10,51	1,22	20,44
Densitas minyak (g/ml)	0,94	0,92	0,98
Viskositas minyak (cP)	4,47	2,16	10,1

4. KESIMPULAN

Optimalisasi proses ekstraksi minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) menggunakan pelarut heksana menghasilkan rendemen minyak 52,43% yang diperoleh pada suhu 40°C, waktu ekstraksi 5 jam dan kecepatan pengaduk 500 rpm. Optimalisasi bertujuan untuk memaksimalkan respon rendemen minyak diperoleh rendemen 55,33% pada suhu 45°C, waktu ekstraksi 6 jam dan kecepatan pengaduk 600 rpm. Optimalisasi mutu minyak menghasilkan model yang signifikan terhadap respon. Mutu minyak hasil optimalisasi untuk rendemen minyak adalah bilangan asam minyak 10,51 mgKOH/g, densitas minyak 0,94 g/ml, dan viskositas minyak 4,47 cP.

DAFTAR PUSTAKA

- Arumugam, A., dan Ponnusami, V. (2014) '*Biodiesel production from Calophyllum inophyllum oil using lipase producing Rhizopus oryzae cells immobilized within reticulated foams*', *Renewable Energy*, 64, 276–282.
- Bangkit, P.S.T., dan Sirait, R. (2012). Penentuan kondisi keseimbangan unit *leaching* pada produksi eugenol dari daun cengkeh. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1 (1), 10-14.
- Bhuiya, M. M. K., Rasul, M. G., Khan, M. M. K., Ashwath, N., Azad, A. K., dan Mofijur, M. (2015) '*Optimisation of Oil Extraction Process from Australian Native Beauty Leaf Seed (Calophyllum Inophyllum)*', *Energy Procedia*, 75, 56–61.
- BPPT, B. P. (2017) '*Outlook Energi Indonesia 2017: Intisiatif Pengembangan Teknologi Energi Bersih*', Jakarta: PTSEIK.
- Dalvi, S., Sonawane, S., dan Pokharkar, R. (2012) '*Preparation of biodiesel of undi seed with in-situ transesterification*', *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies* 20:175-182
- Kartika, I. A., Dwi Kurnia Sari, D., Febriani Pahan, A., Suparno, O., dan Ariono, D. (2017) '*Ekstraksi Minyak Dan Resin Nyamplung Dengan Campuran Pelarut Heksan-Etanol*', *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 27 (2), 161–171.
- Kartika, I. A., Cerny, M., Vandenbossche, V., Rigal, L., Sablayrolles, C., Vialle, C., Suparno, O., Ariono, D., dan Evon, P. (2018) '*Direct Calophyllum oil extraction and resin separation with a binary solvent of n-hexane and methanol mixture*', *Fuel*, 221, 159–164.
- Ketaren, s. (2012) '*Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*', Jakarta: UI-Press.
- Margaretta, S., Handayani, S. D., Indraswati, N., dan Hindarso, H. (2011) '*Ekstraksi Senyawa Phenolic Pandanus Amaryllifolius Roxb. Sebagai Antioksidan Alami*', *Widya Teknik*, 10, 21-30.
- Montgomery. (2001) '*Design and Analysis Experiment (5 ed.)*', New York: John Wiley and son.
- Nwabueze, T. U., dan Okocha, K. S. (2008) '*Extraction performances of polar and non-polar solvents on the physical and chemical indices of African breadfruit (Treculia africana) seed oil*', *African Journal of Food Science*, 2, 119–125.

Sayyar, S., Abidin, Z. Z., Yunus, R., dan Muhammad, A. (2009) '*Extraction of Oil from Jatropha Seeds-Optimization and Kinetics*', *American Journal of Applied Sciences*, 6 (7), 1390–1395.