

OPTIMASI PROSES EKSTRAKSI MINYAK DAN RESIN NYAMPLUNG DENGAN PELARUT BINER MENGGUNAKAN *RESPONSE SURFACE METHOD*

OPTIMIZATION OF CALOPHYLLUM OIL AND RESIN EXTRACTION PROCESS WITH BINARY SOLVENT USING RESPONSE SURFACE METHOD

Ika Amalia Kartika^{1*}, Ikbal Fataya¹, Muhamad Yunus¹, Nancy Dewi Yuliana²

¹Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga P.O. Box 220, Bogor 16002, Jawa Barat, Indonesia
Email :ikaamalia@apps.ipb.ac.id

²Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Dramaga P.O. Box 220, Bogor 16002, Jawa Barat, Indonesia

Makalah: Diterima 9 Desember 2021; Diperbaiki 7 Februari 2022; Disetujui 22 Februari 2022

ABSTRACT

Calophyllum seeds are potential to be used as raw material for vegetable oil production due to their high oil content. In addition, Calophyllum seeds contain resin consisting of beneficial phenolic compounds for health. The objective of this research was to optimize the oil and resin extraction from Calophyllum seeds on a pilot scale using binary solvent. The analyses of temperature, extraction time and stirring speed effects on the oil and resin yields were carried out using the central composite design, and the variables were optimized using the response surface method. The result of oil yield optimization showed that the best model was the quadratic model. The optimum oil yield (59%) was obtained at temperature of 49.4 °C, extraction time of 5.3 h, and stirring speed of 385 rpm. The result of resin yield optimization showed that the best model was the mean model with average value of 15% for all extraction conditions tested. Model validation at this extraction condition resulted actual oil (60%) and resin (13%) yields conformed passably to their prediction. In addition, the oil and resin obtained from this model validation had good characteristics, and matched the predicted results.

Keywords: binary extraction, Calophyllum, oil, optimization, resin, response surface method

ABSTRAK

Biji nyamplung sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku minyak nabati karena kadar minyaknya yang tinggi. Biji nyamplung juga mengandung resin dengan kandungan senyawa-senyawa fenolik yang bermanfaat untuk kesehatan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimasi ekstraksi minyak dan resin dari biji nyamplung pada skala pilot dengan menggunakan pelarut biner. Analisis pengaruh suhu, waktu ekstraksi dan kecepatan pengadukan pada rendemen minyak dan resin dilakukan menggunakan *central composite design*, dan variabel-variabelnya dioptimasi menggunakan *response surface method*. Hasil optimasi rendemen minyak diperoleh model terbaik yaitu kuadratik. Rendemen minyak optimum (59%) diperoleh pada suhu 49,4 °C, waktu ekstraksi 5,3 jam, dan kecepatan pengadukan 385 rpm. Hasil optimasi rendemen resin diperoleh model terbaik yaitu *mean* dengan nilai rata-rata sebesar 15% untuk seluruh kondisi proses ekstraksi yang diuji. Validasi model pada kondisi proses ekstraksi optimum menghasilkan rendemen minyak sebesar 60% dan resin sebesar 13% dimana hasil ini cukup sesuai dengan hasil prediksinya. Selain itu, minyak dan resin yang diperoleh dari validasi model ini memiliki karakteristik yang baik, dan cocok dengan hasil prediksinya.

Kata kunci: ekstraksi biner, minyak, nyamplung, optimasi, resin, *response surface method*

PENDAHULUAN

Biji nyamplung memiliki kandungan minyak yang tinggi mencapai 75% (basis kering) dan kandungan resin mencapai 29% (basis kering) (Amalia Kartika *et al.*, 2018). Minyak nyamplung dapat digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel, biokerosin, biobensin, sabun, minyak urut, dan lain-lain. Minyak nyamplung tergolong *non edible*, sehingga pemanfaatan minyak nyamplung tidak bersaing dengan kepentingannya untuk pangan.

Resin yang berasal dari nyamplung memiliki tekstur sangat kental dan berwarna hijau kehitaman. Menurut Liu *et al.* (2015), resin nyamplung ini dapat digunakan untuk mengobati *odontalgia* dan pendarahan gusi. Resin nyamplung mengandung kumarin yang memiliki manfaat sebagai antioksidan, anti kanker, anti bakteri, analgesik, dan dapat berfungsi untuk meningkatkan kekebalan tubuh (Leksono *et al.*, 2014). Selain kumarin, senyawa-senyawa lainnya yang umum ditemukan dalam resin nyamplung adalah kalofiloid, flavonoid, inofilum A-E, triterpen, keton, asam kalofinat dan begonia,

xanton, serta fenol dan polifenol (Dweck dan Meadows, 2002).

Ekstraksi biji nyamplung yang telah dilakukan adalah ekstraksi secara mekanik atau pengempaan mekanik dan ekstraksi menggunakan pelarut. Ekstraksi biji nyamplung melalui proses ekstraksi secara mekanik menggunakan *screw press* menghasilkan rendemen minyak-resin sebesar 62,5% pada kadar air biji 1,7%, debit umpan 5 kg/h, kecepatan rotasi *screw* 25 rpm, dan suhu 75°C (Indartono *et al.*, 2019). Ekstraksi biji nyamplung menggunakan pengempa hidrolis menghasilkan rendemen minyak-resin sekitar 58%, dan produk yang dihasilkan berwarna hijau (Widiastuti *et al.*, 2019). Ekstraksi biji nyamplung menggunakan pelarut biner (campuran heksan-metanol) menghasilkan rendemen minyak 62% dan rendemen resin 15% (Kartika *et al.*, 2021). Minyak yang diekstraksi menggunakan pelarut biner ini memiliki warna kuning jernih karena minyak yang dihasilkan telah terpisah dari resin. Proses ekstraksi menggunakan pelarut biner mampu menghasilkan rendemen minyak yang lebih tinggi. Proses ekstraksi menggunakan pelarut biner juga menghasilkan minyak nyamplung yang lebih murni, karena minyak yang dihasilkan sudah terpisah dari resin.

Faktor-faktor yang mempengaruhi rendemen dan mutu minyak dan resin nyamplung yang dihasilkan pada proses ekstraksi menggunakan pelarut biner adalah waktu, suhu, kecepatan pengadukan, dan rasio pelarut terhadap bahan (Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2017, 2019a, 2021). Peningkatan waktu ekstraksi dan rasio pelarut terhadap bahan berbanding lurus dengan peningkatan rendemen hingga kondisi kesetimbangan tercapai. Peningkatan suhu dapat meningkatkan solubilitas pelarut dan memperbesar pori-pori bahan, sehingga proses ekstraksi berlangsung lebih optimal (Masud dan Puspitasari, 2017). Kecepatan pengadukan mempengaruhi perpindahan massa komponen-komponen. Semakin tinggi kecepatan pengadukan maka turbulensi cairan meningkat akibatnya kontak antar bahan dan pelarut semakin intensif dan perpindahan massa komponen-komponen pun semakin tinggi (Prihandana *et al.*, 2012).

Kondisi proses ekstraksi biji nyamplung dengan pelarut biner yang menghasilkan rendemen minyak nyamplung tertinggi adalah pada waktu sekitar 5 jam dan kecepatan pengadukan sekitar 400 rpm (Kartika *et al.*, 2021), dengan suhu sekitar 50 °C (Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2019a). Rasio pelarut (campuran heksan-metanol) terhadap bahan terbaik yang menghasilkan rendemen minyak nyamplung tertinggi adalah 5:2:1 (v/v/b) (Kartika *et al.*, 2019a). Pada penelitian-penelitian tersebut, pengaruh waktu ekstraksi, suhu, dan kecepatan pengadukan secara simultan pada proses ekstraksi biji nyamplung dengan pelarut biner belum dianalisis dengan komprehensif, dan variabel-variabel tersebut

belum dioptimasi. Optimasi ketiga variabel tersebut perlu dilakukan untuk memaksimalkan rendemen minyak dan resin, serta untuk mengefisienkan kondisi proses ekstraksi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasi suhu, waktu, dan kecepatan pengadukan pada proses ekstraksi minyak dan resin dari biji nyamplung dengan menggunakan pelarut biner. *Response surface method* (RSM) diterapkan dalam mengoptimasi dan menganalisis pengaruh variabel-variabel tersebut.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah nyamplung yang diperoleh dari kawasan sekitar pantai Carita Banten, dan buah nyamplung ini sudah tersimpan dalam gudang selama \pm 1 tahun pada suhu ruang. Bahan kimia yang digunakan adalah heksan teknis (kemurnian 98%, Brataco Chemical) dan metanol teknis (kemurnian 98%, Brataco Chemical), serta bahan kimia lainnya untuk analisa sampel dimana bahan kimia dengan *analytical grade* ini dipasok oleh Sigma-Aldrich, Indonesia. Alat yang digunakan untuk ekstraksi adalah reaktor 10 L yang dilengkapi pengaduk, pengatur suhu, unit pendingin yang terdiri dari pendingin tegak dan sirkulator air pendingin. Alat-alat lainnya yang digunakan adalah *blender*, pompa vakum, corong pisah, *rotary vacuum evaporator*, oven, serta berbagai peralatan gelas lainnya.

Metode

Biji nyamplung dipisahkan dari cangkangnya kemudian dikeringkan dalam oven pengering pada suhu 50-65 °C selama 48-72 jam hingga kadar airnya <5%. Selanjutnya biji kering ditimbang sebanyak 1 kg dan dikemas menggunakan plastik polietilen, sampai biji tersebut digunakan.

Ekstraksi minyak dan resin dari biji nyamplung terdiri dari pengecilan ukuran biji, ekstraksi minyak menggunakan pelarut, dan pemisahan minyak dari resin. Pengecilan ukuran biji nyamplung dilakukan menggunakan *blender*. Biji nyamplung dicampur dengan metanol 1:1 (b/v) dan dikecilkan ukurannya selama 10 menit untuk mendapatkan ukuran partikel biji sekitar 20 mesh. Ekstraksi minyak menggunakan pelarut dilakukan menggunakan reaktor dengan kapasitas 10 L. Metode ekstraksi yang digunakan adalah maserasi yang dilengkapi dengan sistem pemanasan, pengadukan dan refluks pelarut. Campuran biji dan metanol hasil pengecilan ukuran dimasukkan ke dalam reaktor dan ditambahkan heksan dan metanol (5:1, v/v). Menurut Burke (1984), indeks polaritas heksan dan metanol masing-masing adalah sebesar 0,1 dan 5,1. Pencampuran heksan dan metanol dengan perbandingan 5:2 (v/v) pada proses ekstraksi ini menghasilkan pelarut biner dengan indeks polaritas sekitar 1,53. Proses ekstraksi dilakukan dengan

variasi waktu (4, 5 dan 6 jam), variasi suhu (40, 50 dan 60 °C), dan variasi kecepatan pengadukan (200, 400 dan 600 rpm). Setelah proses ekstraksi selesai, campuran filtrat dan ampas didinginkan hingga suhu ruang.

Filtrat dan ampas dipisahkan menggunakan *vacuum filter*. Filtrat terdiri dari campuran fraksi heksan-minyak dan metanol-resin. Kemudian dilakukan pemisahan antara fraksi heksan-minyak dan metanol-resin menggunakan corong pemisah. Evaporasi dilakukan terhadap masing-masing fraksi menggunakan *rotary vacuum evaporator* sehingga diperoleh minyak dan resin. Selanjutnya minyak dan resin dipanaskan dalam oven dengan suhu 105 °C selama 1 jam untuk menguapkan sisa pelarut yang masih terdapat dalam minyak dan resin. Rendemen minyak dan resin dihitung menggunakan rumus: rendemen (%) = [bobot minyak atau resin (g)/bobot biji kering (g)] × 100.

Minyak nyamplung yang diperoleh dalam penelitian ini dikarakterisasi sifat fisiko-kimianya dengan menganalisis viskositas menggunakan viskosimeter Oswald, densitas, kadar total *volatile matter*, kadar abu, bilangan asam, bilangan penyabunan, bilangan iod, kadar bahan tak tersabunkan, aktivitas antioksidan, dan analisis kualitatif senyawa-senyawa fitokimia (Harborne, 1996). Sifat fisiko-kimia resin dianalisis melalui pengujian kadar total *volatile matter*, bilangan asam, kadar total fenol (metode *Folin-Ciocalteu* yang diadaptasi dari Agbor *et al.* (2014)), aktivitas antioksidan (metode DPPH yang diadaptasi dari Nariya *et al.* (2013)), dan analisis kualitatif senyawa-senyawa fitokimia (Harborne, 1996).

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian adalah *central composite design* dengan tiga variabel bebas yaitu suhu, waktu ekstraksi dan kecepatan pengadukan seperti pada Tabel 1, sedangkan variabel tidak bebas atau responnya adalah rendemen minyak dan resin. Penetapan nilai tengah untuk variabel-variabel bebas tersebut didasarkan atas rendemen minyak terbaik yang diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya. Menurut Kartika *et al.* (2021), rendemen minyak tertinggi pada proses ekstraksi biji nyamplung dengan pelarut biner diperoleh pada waktu sekitar 5 jam dan kecepatan pengadukan sekitar 400 rpm, dengan suhu sekitar 50°C (Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2019a).

Data yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan *software Design Expert 11.0 Trial*

untuk mengetahui pengaruh linier, kuadrat dan interaksi dari variabel-variabel bebas terhadap respon, serta untuk menganalisis ragamnya (ANOVA). Percobaan ini terdiri dari 17 *run* dengan 3 ulangan pada titik pusat (*center point*).

Pada *response surface method* (RSM), kondisi proses optimum ditentukan berdasarkan model terbaik dan analisis ragam (ANOVA). Model terbaik ditentukan berdasarkan nilai SMSS (*sequential model sum of squares*) yang signifikan atau terendah (*p-value* < 0,05), nilai R² dan *adjusted-R²* tertinggi, nilai *lack of fit* yang tidak signifikan (*p-value* > 0,05), serta PRESS (*prediction residual error of sum square*) terendah (Montgomery, 2001). Setelah diperoleh kondisi proses optimum berdasarkan model terbaik, selanjutnya dilakukan validasi terhadap kondisi proses optimum tersebut. Validasi ini bertujuan untuk mengukur tingkat ketepatan hasil validasi terhadap hasil prediksinya dimana tingkat ketepatan hasil validasi yang baik adalah lebih dari 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Biji nyamplung melalui tahap pengeringan terlebih dahulu sebelum dilakukan proses ekstraksi minyak dan resin. Pada penelitian ini, biji nyamplung dikeringkan selama 48-72 jam dengan suhu 50-65 °C. Kadar air biji nyamplung kering yang dihasilkan adalah 2,6%. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Kartika *et al.*, 2021), kandungan minyak dalam biji nyamplung pada kadar air tersebut adalah 67,7% (basis kering). Pengeringan bertujuan untuk menghambat kerusakan biji nyamplung akibat aktivitas mikroorganisme dan memaksimalkan rendemen minyak dan resin. Menurut Fadhlullah *et al.* (2015), rendemen minyak nyamplung yang dihasilkan menggunakan biji dengan kadar air rendah mampu meningkatkan rendemen dua kali lebih banyak dibandingkan menggunakan biji dengan kadar air tinggi (≥ 20%). Adanya air yang bersifat polar dapat menghambat kontak antara pelarut heksan yang bersifat non polar dengan minyak. Selain itu, kandungan air dalam bahan yang minim dapat memfasilitasi proses ekstraksi karena pelarut dapat dengan mudah melarutkan zat terlarut dari bahan dengan kandungan air yang minim. Sebaliknya kandungan air dalam bahan yang tinggi mengurangi kemampuan pelarut untuk melarutkan zat terlarut dari bahan karena perbedaan polaritas antara air dan zat terlarut (Amalia Kartika *et al.*, 2018).

Tabel 1. Hubungan perlakuan dan kode perlakuan

Perlakuan	Satuan	Kode Perlakuan				
		-1,68	-1	0	1	1,68
Suhu	°C	33,2	40	50	60	66,8
Waktu	jam	3,32	4	5	6	6,68
Kecepatan	rpm	64	200	400	600	736

Dalam proses ekstraksi minyak dan resin nyamplung menggunakan pelarut biner (Amalia Kartika *et al.*, 2018), sistem pelarut dapat meningkatkan fluiditas minyak dan resin, memecahkan membran sel dan melarutkan minyak dan resin sehingga minyak dan resin dapat dikeluarkan dengan mudah dari dalam sel tersebut. Rendemen minyak nyamplung yang dihasilkan pada penelitian ini sekitar 49-60% (Tabel 2), dan hasil analisis datanya (Tabel 3) menunjukkan bahwa model kuadratik memiliki SMSS dengan *p-value* yang signifikan ($< 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa model kuadratik signifikan terhadap respon rendemen minyak. Nilai *p-value lack of fit* model ini tidak signifikan ($> 0,05$), dan ini memastikan bahwa model

kuadratik adalah model yang paling sesuai. Nilai R^2 model kuadratik adalah 0,8512, artinya 85,12% variabel-variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini mempengaruhi respon rendemen minyak sedangkan 14,88% adalah pengaruh variabel lain yang tidak diterapkan dalam penelitian ini seperti jumlah pelarut dan rasio pelarut biner terhadap bahan.

Hasil penelitian sebelumnya (Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2019a) menunjukkan bahwa rasio pelarut biner (campuran heksan-metanol) terhadap bahan berpengaruh secara signifikan terhadap rendemen minyak nyamplung dimana peningkatan variabel bebas ini akan meningkatkan rendemen minyak nyamplung.

Tabel 2. Rendemen dan sifat fisiko-kimia minyak yang dihasilkan dari proses ekstraksi biji nyamplung pada berbagai perlakuan

Suhu (°C)	Waktu (jam)	Kecepatan pengadukan (rpm)	Rendemen minyak (%)	Kadar total volatile matter (%)	Kadar abu (%)	Densitas pada 25°C (g.cm ⁻³)	Viskositas pada 40°C (cSt)	Bilangan asam (mg KOH.g ⁻¹)	Bilangan an penya bunan (mg KOH.g ⁻¹)	Bilangan iod (mg iod.g ⁻¹)
40	4	200	53,83	2,10	0,02	0,87	40,00	27,33	212,9	74,70
40	4	600	55,58	3,28	0,01	0,87	32,84	42,55	194,7	67,96
40	6	200	54,37	4,63	0,01	0,91	21,16	33,35	233,0	73,51
40	6	600	56,26	6,44	0,02	0,90	19,23	24,26	213,5	76,25
50	5	400	58,69	2,59	0,00	0,91	32,90	21,09	194,8	75,39
50	5	400	57,01	3,84	0,03	0,90	33,46	18,22	229,1	76,15
50	5	400	60,37	6,92	0,01	0,91	16,16	39,84	263,4	76,90
60	4	200	55,42	3,03	0,05	0,91	27,61	20,11	258,7	78,62
60	4	600	49,14	1,24	0,01	0,88	36,40	25,05	215,6	79,98
60	6	200	57,34	4,03	0,01	0,90	19,73	20,15	235,4	78,51
60	6	600	53,87	5,52	0,04	0,90	17,39	40,00	221,0	77,58
33,2	5	400	54,67	1,21	0,01	0,88	36,24	29,15	198,4	79,90
66,8	5	400	53,42	3,62	0,01	0,88	36,56	27,27	232,2	80,89
50	3,32	400	50,79	0,47	0,02	0,87	53,12	29,46	225,2	75,97
50	6,68	400	54,32	0,44	0,01	0,88	41,13	29,89	250,2	80,90
50	5	64	52,64	0,49	0,02	0,88	41,83	29,95	225,5	76,68
50	5	736	52,41	0,80	0,01	0,88	38,60	37,43	225,9	69,08

Tabel 3. Nilai parameter-parameter penentuan model terbaik untuk respon rendemen minyak

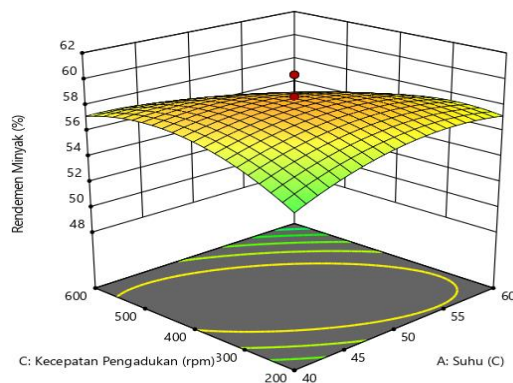
Model	SMSS (p-value)	R ²	Adjusted R ²	PRESS	Lack of fit (p-value)	Keterangan
Linier	0,4949	0,1627	-0,0305	154,47	0,2671	
2FI	0,3617	0,3833	0,0132	115,46	0,2666	
Kuadratik	0,0145	0,8512	0,6598	109,64	0,6033	Cocok
Kubik	0,9643	0,8722	0,3185	2234,27	0,2000	

Nilai *adjusted-R²* model kuadratik memiliki nilai yang paling mendekati nilai *R²*-nya yaitu sebesar 0,6598, dan hal ini semakin menegaskan bahwa model kuadratik adalah model yang paling sesuai. Nilai PRESS model kuadratik adalah yang terendah, artinya model kuadratik memiliki kemampuan memprediksi respon yang paling baik dengan tingkat *error* terendah. Jadi, model kuadratik adalah model terbaik untuk respon rendemen minyak (Y) dan variabel-variabel bebas suhu (A), waktu ekstraksi (B), kecepatan pengadukan (C), dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = -21,93 + 1,19A + 14,62B + 6,6 \times 10^{-2}C + 6,8 \times 10^{-2}AB - 8,4 \times 10^{-4}AC + 1,8 \times 10^{-3}BC - 1,2 \times 10^{-2}A^2 - 1,77B^2 - 4,46 \times 10^{-5}C^2$$

Rendemen minyak nyamplung optimum berdasarkan model kuadratik tersebut adalah 58,7%, yang diperoleh pada suhu 49,4 °C, waktu ekstraksi 5,3 jam, dan kecepatan pengadukan 385 rpm. Hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan variabel-variabel yang berpengaruh signifikan adalah pengaruh kuadratik suhu (*A²*), kuadratik waktu (*B²*), kuadratik kecepatan pengadukan (*C²*), dan interaksi suhu dan kecepatan pengadukan (*AC*). Namun demikian pengaruh signifikan dari variabel-variabel tersebut bersifat negatif terhadap rendemen minyak. Artinya rendemen minyak akan semakin rendah apabila suhu, waktu, dan kecepatan pengadukan dikuadratkan, dan interaksi suhu dan kecepatan pengadukan ditingkatkan (Gambar 1). Phenomena seperti ini juga teramati oleh Kartika *et al.* (2021).

Suhu dan kecepatan pengadukan yang tinggi dapat mempengaruhi fasa pelarut (Dewi *et al.*, 2014). Peningkatan suhu dan kecepatan pengadukan selain dapat mempercepat proses evaporasi pelarut, hal ini juga dapat menyebabkan bentuk fasa pelarut lebih banyak berbentuk gas pada saat proses ekstraksi berlangsung, akibatnya kontak antara pelarut dan bahan tidak maksimal dan menyebabkan rendemen yang dihasilkan lebih rendah.



Gambar 1. Respon permukaan 3D dan kontur pengaruh suhu dan kecepatan pengadukan terhadap rendemen minyak nyamplung

Pengaruh linier suhu (A), waktu (B), dan kecepatan pengadukan (C) adalah positif terhadap rendemen minyak. Semakin tinggi waktu dan kecepatan pengadukan, rendemen minyak akan meningkat hingga tercapai kondisi kesetimbangan namun pengaruh kedua variabel ini tidak signifikan, dan fenomena ini juga teramati oleh Kartika *et al.* (2021). Menurut Geankoplis (1993) perpindahan massa akan terjadi jika konsentrasi antara zat terlarut dalam bahan dan pelarut berbeda, dan perpindahan tersebut akan berakhir ketika konsentrasi zat terlarut pada keduanya telah seimbang walaupun waktu ekstraksi diperpanjang dan kecepatan pengadukan ditingkatkan.

Peningkatan kelarutan dan kecepatan transfer massa minyak ke dalam pelarut, serta penurunan viskositas minyak dan tegangan permukaan pelarut dapat terjadi apabila suhu yang lebih tinggi diterapkan dalam proses ekstraksi sehingga minyak lebih mudah terekstraksi (Amalia Kartika *et al.*, 2018). Peningkatan suhu juga dapat meningkatkan pelarutan zat terlarut oleh pelarut di dalam sel dan laju difusi pelarut ke dalam pori-pori bahan padat atau dinding sel akibat mengembangnya pori-pori padatan (Evon *et al.*, 2007). Lebih jauh, peningkatan suhu dapat mempercepat proses ekstraksi akibat adanya percepatan laju difusi (Margaretta *et al.*, 2011), dan meningkatkan efisiensinya akibat energi kinetiknya meningkat sehingga zat terlarut yang terkandung di dalam sel meningkat solubilitasnya dalam pelarut dan pemisahan zat terlarut yang terikat oleh daya tarik antar molekul menjadi lebih mudah (Ashgari *et al.*, 2011). Namun demikian pengaruh linier dan positif suhu dalam penelitian ini tidak signifikan terhadap peningkatan rendemen minyak nyamplung, seperti yang teramati oleh Amalia Kartika *et al.* (2018).

Rendemen resin nyamplung yang dihasilkan pada penelitian ini sekitar 10-26% (Tabel 4), dan hasil analisis datanya (Tabel 5) menunjukkan bahwa model terbaik untuk respon rendemen resin adalah model *mean*. Hal ini didasarkan atas nilai *p-value* SMSS-nya yang paling rendah ($< 0,0001$) dibandingkan dengan model-model lainnya. Nilai respon yang diperoleh adalah 15,0. Hal ini berarti rendemen resin nyamplung yang dihasilkan untuk setiap kondisi proses ekstraksi yang diuji adalah sama, yaitu 15,0% (Gambar 2). Variabel-variabel bebas suhu (A), waktu ekstraksi (B) dan kecepatan pengadukan (C) tidak berpengaruh terhadap rendemen resin nyamplung. Phenomena ini bertolak belakang dengan yang teramati oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2021) dimana suhu, waktu dan kecepatan pengadukan berpengaruh secara signifikan terhadap rendemen resin nyamplung. Hal ini mungkin dapat disebabkan karena pada seluruh kondisi proses ekstraksi yang diuji pada penelitian ini rendemen resin sudah mencapai nilai optimalnya sehingga kondisi proses ekstraksi pada suhu dan kecepatan pengadukan yang rendah, serta

waktu ekstraksi yang pendek sudah dapat mengekstraksi resin secara optimal. Hal ini tentunya akan menguntungkan apabila dilihat dari aspek biaya produksi untuk proses ekstraksi tersebut.

Parameter mutu minyak nyamplung yang dianalisis datanya pada penelitian ini adalah kadar total *volatile matter*, kadar abu, densitas, viskositas, bilangan asam, bilangan penyabunan dan bilangan iod. Sedangkan untuk resin adalah kadar total *volatile matter*, bilangan asam, kadar total fenol, dan aktivitas antioksidan.

Kadar total *volatile matter* minyak nyamplung yang diperoleh pada penelitian ini adalah sekitar 0,4-7%, dan hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, yaitu 1,4-6% (Yunus, 2019). Kadar total *volatile matter* minyak nyamplung ditentukan oleh proses penguapan atau evaporasi pelarut. Semakin baik proses evaporasinya,

maka kadar total *volatile matter* atau sisa pelarut akan semakin rendah. Pada penelitian ini, proses evaporasi pelarut berjalan kurang efisien, sehingga perlu perlakuan lain untuk menurunkan kadar total *volatile matter* minyak nyamplung, contohnya seperti adsorpsi menggunakan bentonit teraktivasi (Anwar *et al.*, 2016).

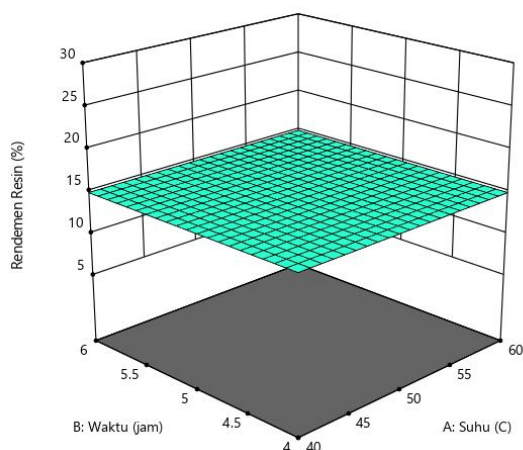
Hasil analisis ragam menunjukkan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh terhadap kadar total *volatile matter* minyak nyamplung, artinya nilainya konstan untuk seluruh kondisi proses ekstraksi yang diuji pada besaran 2,98%. Kondisi proses ekstraksi biji nyamplung yang tidak mempengaruhi kadar total *volatile matter* minyak nyamplung yang dihasilkan juga teramati oleh Yunus (2019).

Tabel 4. Rendemen dan sifat fisiko-kimia resin nyamplung yang dihasilkan dari proses ekstraksi biji nyamplung pada berbagai perlakuan

Suhu (°C)	Waktu (jam)	Kecepatan pengadukan (rpm)	Rendemen resin (%)	Kadar total <i>volatile matter</i> (%)	Kadar total fenol (% GAE)	Aktivitas antioksidan (mg.g ⁻¹)	Bilangan asam (mg KOH.g ⁻¹)
40	4	200	12,93	3,22	5,17	2,67	115,03
40	4	600	20,83	2,46	4,57	2,59	108,06
40	6	200	10,17	1,40	7,27	2,54	135,34
40	6	600	10,00	4,39	8,61	2,37	131,16
50	5	400	12,32	2,49	8,02	2,19	95,51
50	5	400	12,31	2,39	6,62	2,63	94,65
50	5	400	12,34	1,88	9,48	2,41	115,27
60	4	200	13,15	2,88	9,03	3,27	104,49
60	4	600	20,87	2,10	4,65	3,16	108,79
60	6	200	11,01	3,58	6,33	3,09	109,92
60	6	600	12,74	2,39	7,80	2,94	137,65
33,2	5	400	15,95	3,93	5,35	3,06	73,00
66,8	5	400	16,83	4,24	4,99	3,03	85,38
50	3,32	400	13,34	3,86	2,94	3,20	109,67
50	6,68	400	26,17	3,26	4,65	3,13	97,83
50	5	64	13,55	3,81	3,08	3,16	118,49
50	5	736	19,72	4,27	5,35	3,14	107,96

Tabel 5. Nilai parameter-parameter penentuan model terbaik untuk respon rendemen resin

Model	SMSS (p-value)	R ²	Adjusted R ²	PRESS	Lack of fit (p-value)	Keterangan
Mean	< 0,0001					Cocok
Linier	0,4455	0,1797	-0,0096	482,99	<0,0001	
2FI	0,7762	0,2617	-0,1813	893,29	<0,0001	
Kuadratik	0,7589	0,3692	-0,4417	1546,68	<0,0001	
Kubik	0,2574	0,8460	0,1787	10984,73	<0,0001	



Gambar 2. Respon permukaan 3D dan kontur pengaruh suhu dan waktu terhadap rendemen resin nyamplung

Kadar abu minyak nyamplung yang diperoleh pada penelitian ini adalah sekitar 0-0,05%, dan hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang diperoleh dari penelitian sebelumnya ($< 0,05\%$) (Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2021). Dibandingkan dengan minyak nyamplung yang diperoleh dari proses ekstraksi secara mekanik (Kartika *et al.* 2010), kadar abu minyak nyamplung yang diperoleh dari proses ekstraksi dengan pelarut biner nilainya jauh lebih rendah ($< 0,05\%$ versus $> 0,2\%$). Rendahnya kadar abu ini menunjukkan rendahnya kadar pengotor pada minyak nyamplung tersebut. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa hanya interaksi antara waktu dan kecepatan pengadukan saja yang berpengaruh signifikan terhadap kadar abu minyak nyamplung, artinya hanya penurunan interaksi waktu dan kecepatan pengadukan saja yang dapat menurunkan kadar abu minyak nyamplung.

Densitas minyak nyamplung yang diperoleh pada penelitian ini berkisar antara $0,87-0,91 \text{ g.cm}^{-3}$ pada suhu $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Hasil ini sesuai dengan yang diperoleh oleh peneliti-peneliti sebelumnya (Kartika *et al.*, 2017, 2021; Amalia Kartika *et al.*, 2018) dimana densitas minyak nyamplung pada suhu $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ berkisar antara $0,86-0,93 \text{ g.cm}^{-3}$. Densitas dipengaruhi oleh komponen asam lemak penyusun minyak dan zat-zat pengotor seperti sisa pelarut, resin, serta zat pengotor lainnya. Semakin tinggi densitas minyak maka semakin rendah mutu minyak dikarenakan semakin banyaknya kandungan pengotor (Kartika *et al.*, 2017). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa suhu, waktu dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap densitas minyak nyamplung. Artinya densitas minyak nyamplung stabil dengan peningkatan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan. Hal ini juga teramati oleh Kartika *et al.* (2021) dimana kondisi proses ekstraksi tidak mempengaruhi densitas minyak nyamplung.

Viskositas minyak nyamplung yang diperoleh pada penelitian ini adalah sekitar 16-54 cSt pada suhu $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Viskositas minyak nyamplung yang dihasilkan pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2021) pada suhu pengujian yang sama (20-35 cSt). Faktor yang mempengaruhi viskositas adalah suhu, gaya tarik antar molekul, dan ukuran serta jumlah molekul terlarut (Lubis, 2018). Penyimpanan buah nyamplung selama ± 1 tahun di dalam gudang kemungkinan menyebabkan trigliserida yang terkandung dalam biji nyamplung teroksidasi, sehingga asam-asam lemak tidak jenuh berubah menjadi asam-asam lemak jenuh. Hal ini yang menyebabkan viskositas minyak yang dihasilkannya pun menjadi lebih tinggi, seperti yang dijelaskan oleh Kartika *et al.* (2021) dimana trigliserida dengan bilangan iod lebih rendah umumnya mempunyai viskositas lebih tinggi. Hal ini dapat dibuktikan dari bilangan iod minyak nyamplung yang diperoleh dalam penelitian ini (68-81 mg iod.g⁻¹) yang lebih rendah daripada yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, yaitu 86-138 mg iod.g⁻¹ (Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2021).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa suhu, waktu dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap viskositas dan bilangan iod minyak nyamplung. Artinya viskositas dan bilangan iod minyak nyamplung stabil dengan peningkatan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan. Hal ini juga teramati oleh peneliti sebelumnya (Kartika *et al.*, 2021) dimana kondisi proses ekstraksi tidak mempengaruhi viskositas dan bilangan iod minyak nyamplung.

Bilangan penyabunan minyak nyamplung yang diperoleh pada penelitian ini adalah sekitar 194-264 mg KOH.g⁻¹, dan hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, yaitu 208-263 mg KOH.g⁻¹ (Kartika *et al.*, 2021). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa suhu, waktu dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap bilangan penyabunan minyak nyamplung. Artinya bilangan penyabunan minyak nyamplung stabil dengan peningkatan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan. Hal ini juga teramati oleh peneliti sebelumnya (Kartika *et al.*, 2021) dimana kondisi proses ekstraksi tidak mempengaruhi bilangan penyabunan minyak nyamplung.

Bilangan asam minyak nyamplung yang diperoleh pada penelitian ini adalah sekitar 18-43 mg KOH.g⁻¹. Bilangan asam minyak nyamplung yang dihasilkan pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan yang diperoleh oleh Kartika *et al.* (2021), yaitu sekitar 45-55 mg KOH.g⁻¹. Namun, nilainya lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Kartika *et al.* (2017) dan Amalia Kartika *et al.* (2018), yaitu 6-20 mg KOH.g⁻¹. Lama penyimpanan buah

nyamplung dapat menyebabkan jumlah asam lemak bebas meningkat akibat hidrolisis minyak dan aktifitas enzim. Buah nyamplung yang digunakan pada penelitian ini telah tersimpan dalam gudang selama ± 1 tahun sehingga kandungan asam lemak bebasnya meningkat selama penyimpanan.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa suhu, waktu dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap bilangan asam minyak nyamplung. Artinya bilangan asam minyak nyamplung stabil dengan peningkatan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan. Hal ini juga teramati oleh peneliti sebelumnya (Kartika *et al.*, 2021) dimana kondisi proses ekstraksi tidak mempengaruhi bilangan asam minyak nyamplung.

Bilangan asam resin nyamplung yang diperoleh pada penelitian ini adalah sekitar 73-138 mg KOH.g⁻¹, dan nilainya ini lebih rendah dibandingkan dengan yang diperoleh dari penelitian sebelumnya (Kartika *et al.*, 2017, 2021; Amalia Kartika *et al.*, 2018), yaitu sekitar 105-195 mg KOH.g⁻¹. Bilangan asam resin nyamplung dipengaruhi oleh kandungan asam-asam organik pada resin. Berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya, keasaman resin yang sangat tinggi karena resin nyamplung banyak mengandung asam kalofilat (*calophyllic acid*), asam begonia dan kalofinat, fenol dan polifenol, senyawa-senyawa turunan asam sinamat (Liu *et al.*, 2015), serta asam benzoat (Prabakaran dan Britto, 2012). Sifat asam dan senyawa-senyawa tersebut yang polar dan larut dalam metanol menyebabkannya mudah diekstraksi oleh metanol. Asam kalofilat (*calophyllic acid*) merupakan asam organik yang memiliki aktivitas antibiotik (Dweck dan Meadow, 2002). Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa suhu, waktu dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap bilangan asam resin nyamplung. Artinya bilangan asam resin nyamplung stabil dengan peningkatan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan.

Kadar total *volatile matter* resin nyamplung yang diperoleh pada penelitian ini adalah sekitar 1,4-4,4%. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa waktu, suhu, dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar total *volatile matter* resin nyamplung. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, tinggi rendahnya kadar total *volatile matter* dalam bahan sangat dipengaruhi oleh efektivitas proses penguapan pelarutnya. Dalam penelitian ini, proses penguapan pelarut menggunakan *vacuum evaporator* belum maksimal sehingga kadar total *volatile matter* resin relatif masih tinggi.

Kadar total fenol resin nyamplung yang diperoleh pada penelitian adalah sekitar 2,9-9,5%, dan hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, yaitu 3,7-5,5%

(Amalia Kartika *et al.*, 2018; Kartika *et al.*, 2021). Kadar total fenol resin dipengaruhi oleh kandungan senyawa-senyawa fenolik, seperti kumarin yang memiliki khasiat sebagai antioksidan, anti inflamasi, anti kanker, anti mikroba, dan anti koagulan (Liu *et al.*, 2015). Namun demikian, kadar total fenol resin yang relatif tinggi ini tidak didukung oleh aktivitas antioksidannya yang relatif rendah (2,19-3,27 mg ekuivalen asam askorbat.g⁻¹), dan nilainya jauh lebih rendah dari yang diperoleh oleh Kartika *et al.* (2021), yaitu 9-14 mg ekuivalen asam askorbat.g⁻¹. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh senyawa-senyawa fenolik tersebut telah mengalami kerusakan akibat oksidasi sehingga aktivitas antioksidannya menjadi menurun.

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa suhu, waktu dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kadar total fenol resin nyamplung dan aktivitas antioksidannya. Artinya kadar total fenol resin nyamplung dan aktivitas antioksidannya stabil dengan peningkatan suhu, waktu dan kecepatan pengadukan. Hal ini juga teramati oleh peneliti sebelumnya (Kartika *et al.*, 2021) dimana kondisi proses ekstraksi tidak mempengaruhi kadar total fenol nyamplung dan aktivitas antioksidannya.

Menurut Harborne (1996), fenol adalah senyawa kimia alami yang mempunyai cincin aromatik dengan satu atau dua gugus hidroksil. Flavanoid, tanin, terpenoid dan alkaloid adalah contoh senyawa-senyawa fenol. Fenol mudah terdegradasi oleh panas sehingga penggunaan suhu yang tinggi dapat menurunkan kadar total fenol (Spigno *et al.*, 2007), namun pada penelitian ini kadar total fenol resin terjaga stabil dengan peningkatan suhu. Demikian juga dengan aktivitas antioksidannya. Berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya (Madani dan Mokrani, 2016; Zlotek *et al.*, 2016), senyawa-senyawa fenolik lebih banyak terekstraksi oleh pelarut dengan polaritas lebih rendah seperti aseton dan metanol dibandingkan air. Selain itu, penggunaan pelarut biner (campuran polar dan non polar) pada ekstraksi resin dari biji nyamplung memungkinkan senyawa-senyawa fenolik lebih banyak terekstraksi dibandingkan menggunakan pelarut polar saja karena polaritas pelarut biner lebih rendah daripada pelarut polar (Kartika *et al.*, 2019b).

Rendemen dan mutu minyak dan resin nyamplung yang diperoleh dari hasil validasi model pada kondisi proses ekstraksi yang optimum cukup baik, dan sebagian besar nilainya relatif sama dengan yang diprediksi oleh model (Tabel 6). Hal ini menunjukkan bahwa model optimasi suhu, waktu dan kecepatan pengadukan untuk memaksimalkan proses ekstraksi minyak dan resin nyamplung menggunakan pelarut biner, serta pemisahan kedua fraksi ini berhasil menemukan kecocokan dengan hasil validasinya.

Tabel 6. Rendemen dan karakteristik minyak dan resin nyamplung yang dihasilkan dari validasi kondisi proses ekstraksi optimum (49,4 °C, 5,3 jam dan 385 rpm)

Parameter	Nilai Validasi	Nilai Prediksi Model
MINYAK:		
Rendemen (%)	59,7	58,7
Kadar total <i>volatile matter</i> (%)	2,88	2,98
Kadar abu (%)	0,02	0,02
Densitas (g.cm ⁻³) pada suhu 25 °C	0,85	0,91
Viskositas (cSt) pada suhu 40 °C	27,90	30,58
Bilangan asam (mg KOH.g ⁻¹)	21,95	29,07
Bilangan penyabunan (mg KOH.g ⁻¹)	226,9	226,6
Bilangan iod (mg iod.g ⁻¹)	76,66	76,51
Kadar bahan tak tersabunkan (%)	1,67	na
Aktivitas antioksidan (mg ekuivalen asam askorbat.g ⁻¹)	1,08	na
Fitokimia		
- Flavonoid	Negatif	na
- Tanin	Negatif	na
- Saponin	Negatif	na
RESIN:		
Rendemen (%)	13,1	15,0
Kadar total <i>volatile matter</i> (%)	6,39	3,09
Bilangan asam (mg KOH.g ⁻¹)	115,84	108,71
Kadar total fenol (% GAE)	5,94	6,11
Aktivitas antioksidan (mg ekuivalen asam askorbat.g ⁻¹)	2,57	2,44
Fitokimia		
- Flavonoid	Negatif	na
- Alkaloid	Negatif	na
- Tanin	Negatif	na
- Saponin	Negatif	na
- Quinon	Negatif	na
- Steroid	Negatif	na
- Triterpenoid	Negatif	na

na: *not available*

Selain viskositas dan bilangan asamnya yang lebih rendah, minyak yang dihasilkan dari validasi model ini mempunyai kadar bahan tak tersabunkan lebih besar daripada yang diperoleh dari ekstraksi secara mekanik (1,67% *versus* 0,24%) (Kartika *et al.*, 2010). Bahan-bahan tak tersabunkan dapat berupa senyawa-senyawa tokoferol, sterol, pigmen, dan vitamin. Bahan-bahan tak tersabunkan tersebut dapat berfungsi sebagai antioksidan, dan hal ini dapat dilihat dari aktivitas antioksidan minyak nyamplung yang diperoleh dalam penelitian ini (Tabel 6). Meskipun aktivitas antioksidan minyak lebih rendah daripada resin (1,08 *versus* 2,57 mg ekuivalen asam askorbat.g⁻¹), tetapi hal ini menguntungkan untuk aplikasi minyak sebagai bahan bakar nabati atau kosmetika. Kandungan senyawa-senyawa fitokimia, seperti flavonoid, alkaloid, tanin, saponin, quinon, steroid dan triterpenoid, terdeteksi negatif baik dalam minyak maupun resin nyamplung. Hal ini

menegaskan bahwa minyak dan resin nyamplung yang terkandung dalam biji nyamplung kemungkinan sudah teroksidasi selama penyimpanan sehingga senyawa-senyawa tersebut tidak terdeteksi. Pengujian minyak dan resin nyamplung menggunakan *gas chromatography* (GC) atau *thin layer chromatography* (TLC) perlu dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk memastikan kandungan senyawa-senyawa fitokimia tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Optimasi kondisi proses ekstraksi minyak dan resin dari biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) menggunakan campuran pelarut heksan dan metanol menghasilkan rendemen minyak 59% dan resin 15% pada suhu 49,4 °C, waktu ekstraksi 5,3 jam, dan kecepatan pengadukan 385 rpm. Suhu, waktu,

dan kecepatan pengadukan berpengaruh signifikan terhadap rendemen minyak tetapi tidak berpengaruh signifikan terhadap rendemen resin. Suhu, waktu, dan kecepatan pengadukan tidak berpengaruh signifikan terhadap mutu minyak dan resin. Validasi model pada kondisi proses ekstraksi optimum menghasilkan rendemen minyak sebesar 60% dan resin sebesar 13% dimana hasil ini cukup sesuai dengan hasil prediksinya. Minyak memiliki karakteristik yang cukup baik, yaitu densitas $0,85 \text{ g.cm}^{-3}$, viskositas $27,9 \text{ cSt}$, bilangan asam $21,95 \text{ mg KOH.g}^{-1}$, bilangan iod $76,8 \text{ mg iod.g}^{-1}$, bilangan penyabunan $273,8 \text{ mg KOH.g}^{-1}$, aktivitas antioksidan $1,08 \text{ mg ekuivalen asam askorbat.g}^{-1}$, $2,88\%$ kadar total *volatile matter*, $0,02\%$ kadar abu, $1,67\%$ kadar bahan tak tersabunkan, *trace* kadar air dan sedimen. Resin memiliki kadar total fenol sebesar $5,94\% \text{ GAE (gallic acid equivalent)}$, aktivitas antioksidan $2,57 \text{ mg ekuivalen asam askorbat.g}^{-1}$, dan bilangan asam $115,84 \text{ mg KOH.g}^{-1}$.

Saran

Sebelum hasil penelitian ini dapat diterapkan di industri, perlu dilakukan validasi terhadap kondisi optimum proses ekstraksi minyak dan resin nyamplung dengan pelarut biner ini pada skala pra industri, dan juga studi kelayakannya. Studi tentang model bisnis aplikasi minyak dan resin nyamplung ini untuk bahan bakar nabati, kosmetika dan farmasi juga perlu dilakukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Deputi Bidang Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset dan Teknologi-Badan Riset dan Inovasi atas bantuan dana (Hibah Kompetitif Penelitian Terapan) untuk pelaksanaan penelitian ini sesuai dengan Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian Tahun 2021 Nomor: 1/E1/KP.PTNBH/2021 tanggal 8 Maret 2021.

DAFTAR PUSTAKA

Agbor G, Vinson J, Donnelly PE. 2014. Folin-Ciocalteu reagent for polyphenolic assay. *International Journal of Food Science, Nutrition and Dietetics* 3(8): 147-156.

Amalia Kartika I, Cerny M, Vandenbossche V, Rigal L, Sablayrolles C, Vialle C, Suparno O, Ariono D, Evon Ph. 2018. Direct *Calophyllum* oil extraction and resin separation with a binary solvent of *n*-hexane and methanol mixture. *Fuel* 221: 159-164.

Anwar RN, Sunarto W, dan Kusumastuti E. 2016. Pemanfaatan bentonit teraktivasi asam klorida untuk pengolahan minyak goreng bekas. *Indonesian Journal of Chemical Science* 5(3): 190-194.

Ashgari J, Ondruschka B, Mazaheritehrani M. 2011. Extraction of bioactive chemical compounds

from the medicinal asian plants by microwave irradiation. *Journal of Medicinal Plants Research* 5(4):495-506.

- Burke J. 1984. *Solubility Parameters: Theory and Application*. The American Institute for Conservation.
- Dewi SR, Izza N, Agustiningrum DA, Indriani DW, Sugiarto Y, Maharani DM, Yulianingsih R. 2014. Pengaruh suhu pemasakan nira dan kecepatan pengadukan terhadap kualitas gula merah tebu. *Jurnal Teknologi Pertanian* 15(3): 149-158.
- Dweck AC dan Meadows T. 2002. Tamanu (*Calophyllum inophyllum*) - The African, Asian, Polynesian and Pacific Panacea. *International Journal of Cosmetic Science* 24: 1-8.
- Evon P, Vandenbossche V, Pontalier PY, Rigal L. 2007. Direct extraction of oil from sunflower seeds by twin-screw extruder according to an aqueous extraction process: Feasibility study and influence of operating conditions. *Industrial Crops and Products* 26: 351-359.
- Fadhullullah M, Widiyanto SNB, Elvi Restiawaty E. 2015. The potential of nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) seed oil as biodiesel feedstock: Effect of seed moisture content and particle size on oil yield. *Energy Procedia* 68: 177-185.
- Harborne JB. 1996. *Metode Fitokimia: Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan*. Cetakan Kedua. Terjemahan. Padmawinata K dan Soediro I. Bandung: Penerbit ITB.
- Indartono YS, Heriawan H, dan Kartika IA. 2019. Innovative and flexible single screw press for the oil extraction of *Calophyllum* seeds. *Research in Agricultural Engineering* 65(3): 91-97.
- Kartika IA, Fathiyah S, Desrial, Purwanto YA. 2010. Pemurnian minyak nyamplung dan aplikasinya sebagai bahan bakar nabati. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 20(2):122-129.
- Kartika IA, Sari DDK, Pahan AF, Suparno O, Ariono D. 2017. Ekstraksi minyak dan resin nyamplung dengan campuran pelarut heksan-etanol. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 27(2): 161-171.
- Kartika IA, Bernia OTO, Sailah I, Prakoso T, Purwanto TP. 2019a. A binary solvent for the simultaneous *Calophyllum* oil-resin extraction and purification. *Research in Agricultural Engineering* 65(2): 63-69.
- Kartika IA, Rabbani RI, dan Yuliana ND. 2019b. Potensi cangkang buah nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) sebagai sumber alami resin. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 29(3): 269-277.
- Kartika IA, Cerny M, Vandenbossche V, Evon Ph, Trisunaryanti W, Mukti RR, Hartati, Yuliana ND, Sailah I. 2021. Optimisation

- of concurrent *Calophyllum* oil-resin extraction and separation. *Research in Agricultural Engineering* 67(2): 84-91.
- Leksono B, Hendrati RL, Windyarini E, Hasnah T. 2014. Variation of biofuel potential of 12 *Calophyllum inophyllum* populations in Indonesia. *Indonesian Journal of Forestry Research* 1(2): 127-138.
- Liu W, Liu Y, Chen Z, Chiou W, Tsai Y, Chen C. 2015. Calophyllolide content in *Calophyllum inophyllum* at different stage of maturity and its osteogenic activity. *Molecules* 20(7): 12314-12327.
- Lubis NA. 2018. Pengaruh kekentalan cairan terhadap waktu jatuh benda menggunakan *falling ball method*. *Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi* 2(2): 26-32.
- Madani K dan Mokrani A. 2016. Effect of solvent, time, temperature on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Separation and Purification Technology* 162: 68-76.
- Margaretta S, Handayani SD, Indraswati N, Hindarso H. 2011. Ekstraksi senyawa phenolik *Pandanus amaryllifolius* Roxb sebagai antioksidan alami. *Widya Teknik* 10(1): 21-30.
- Masud F dan Puspitasari. 2017. Studi pendahuluan ekstraksi bertingkat minyak biji mangga arumanis (*Mangifera indica*) menggunakan pelarut n-heksan dan etanol. *Journal INTEK* 4(1):42-48.
- Montgomery DC. 2001. *Design and Analysis of Experimental 5th Edition*. New York: John Wiley and Son.
- Nariya PB, Bhalodia NR, Shukla VJ, Acharya R, Nariya MB. 2013. *In vitro* evaluation of antioxidant activity of *Cordia dichotoma* (Forst f.) bark. *AYU* 34:124-8.
- Prabakaran K dan Britto SJ. 2012. Biology, agroforestry and medicinal value of *Calophyllum inophyllum* L. (clusiacea): A review. *International Journal of Natural Product Research* 1(2): 24-33.
- Prihandana RR, Hariansyah, dan Burhanudin S. 2012. Penentuan koefisien perpindahan massa ekstraksi minyak biji nyamplung dengan menggunakan ekstraktor berpengaduk. *Prosiding Seminar Nasional Sains Matematika Informatika dan Aplikasinya III*. Lampung, Indonesia. 28-29 Juni 2012.
- Spigno G, Tramelli L, Faveri DMD. 2007. Effects of extraction time temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of Food Engineering* 81: 200-208.
- Widiastuti H, Pratiwi M, Neonufa GF, Soerawidjaja TH, Prakoso T. 2019. Comparative study of nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) kernel oil obtained from mechanical and chemical extraction for biofuel production. *Jurnal Rekayasa Proses* 13(2): 81-87.
- Yunus M. 2019. Optimasi proses ekstraksi minyak dan resin dari biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) [Skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Zlotek U, Mikulska S, Nagajek M, Swieca M. 2016. The effect of different solvents and number of extraction steps on the polyphenol content and antioxidant capacity of basil leave (*Ocimum basilicum* L.) extracts. *Saudi Journal of Biological Science*. 23: 628-633.