

**OPTIMASI EKSTRAKSI MINYAK BSFL (*HERMETIA ILLUCENS*)
DENGAN METODE MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION
(MAE) SEBAGAI BAHAN BAKU BIODIESEL**

***OPTIMIZATION OF BSFL (*HERMETIA ILLUCENS*) OIL
EXTRACTION USING MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION
(MAE) METHOD AS BIODIESEL RAW MATERIAL***

**Novianti Adi Rohmanna^{1*}, Indah Fitriana Subekti², Panji Deoranto²,
Muhammad Arwani³, Zuliyana Agus Nur Muchlis Majid⁴, Arie Febrianto
Mulyadi², dan Nur Hidayat²**

¹ Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat,
Kalimantan Selatan

² Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jawa Timur

³ Jurusan Agroindustri Teknologi, Universitas Nadhlatul Ulama Indonesia, Jakarta

⁴ Prodi Budidaya Tanaman Perkebunan, Politeknik Hasnur, Kalimantan Selatan

*Email korespondensi: novianti.rohmanna@ulm.ac.id

Diterima 10-06-2023, diperbaiki 15-11-2023, disetujui 24-11-2023

ABSTRACT

Black soldier fly (BSF) is an insect to reduces organic matter and produces biomass insects with crude fat of 20.09% -28.89%. BSF larvae have a high lipid content compared to other flies as raw material for making biodiesel. This research aimed to determine the optimum condition of BSF's lipid extraction process using MAE. The method was the response surface method (RSM) central composite design (CCD) with two factors and three response variables. The research factors were extraction temperature (60, 75, and 90 0C) and extraction time (20, 30, and 40 minutes). Identification of the response variables measured were oil yield, free fatty acids (%FFA), and acid number of black soldier fly (BSF) larvae oil with limits according to SNI 7182:2015. The optimal solution resulted from the treatment level with an extraction temperature of 60 0C with an extraction time of 37.69 minutes. The higher temperature treatment significantly increased the oil yield, but on the other hand, it also increased the free fatty acid content and acid number in the larvae oil. The longer extraction time significantly increased the resulting oil yield but could also significantly increase the free fatty acid content and acid number. The predicted results for the optimal solution response to oil yield was 30.22%, free fatty acid was 3.26%, and the acid number was 6.48 mgKOH/g. The results generated from the data validation of each oil yield response was 29.28%, free fatty acid was 3.29% and the acid number was 6.54 mgKOH/g.

Keywords: *biodiesel, black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae, microwave-assisted extraction, response surface methodology*

ABSTRAK

Black soldier fly (BSF) merupakan salah satu jenis serangga pendegradasi limbah organik dan menghasilkan biomassa dengan lemak kasar sebesar 20,09%-28,89%. Larva BSF memiliki kandungan lipid yang tinggi dibandingkan dengan lalat lainnya dalam menjadi bahan baku

pembuatan biodiesel. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kondisi optimal proses ekstraksi lemak BSF menggunakan metode MAE (Microwave Assisted Extraction). Metode yang digunakan adalah *response surface method (RSM) central composite design (CCD)* dengan dua faktor dan tiga variabel respon. Faktor penelitian yang digunakan yaitu suhu ekstraksi (60, 75 dan 90 °C) dan lama waktu ekstraksi (20, 30 dan 40 menit). Identifikasi variabel respon yang diukur yaitu rendemen minyak, asam lemak bebas (%FFA) dan bilangan asam dari minyak larva *black soldier fly (BSF)* dengan batas sesuai SNI 7182:2015. Solusi optimal dihasilkan dari level perlakuan suhu ekstraksi 60 °C dengan lama ekstraksi 37,69 menit. Semakin tinggi perlakuan suhu yang diberikan dapat secara signifikan meningkatkan rendemen minyak, tetapi dilain sisi juga meningkatkan kadar asam lemak bebas dan bilangan asam pada minyak larva. Semakin panjang lama waktu ekstraksi yang digunakan dapat secara signifikan meningkatkan rendemen minyak yang dihasilkan, tetapi juga dapat secara signifikan dapat meningkatkan kadar asam lemak bebas dan bilangan asam. Hasil prediksi solusi optimal respon rendemen minyak diperoleh 30,22%, asam lemak bebas yaitu 3,26%, dan bilangan asam yaitu 6,48 mgKOH/g. Hasil aktual yang dihasilkan dari validasi data masing-masing respon rendemen minyak yaitu 29,28%, asam lemak bebas yaitu 3,29% dan bilangan asam yaitu 6,54 mgKOH/g.

Kata kunci: biodiesel, larva *black soldier fly (Hermetia illucens)*, *microwave-assisted extraction*, *response surface methodology*

PENDAHULUAN

Ampas tahu merupakan limbah organik dengan tingkat produksi cukup tinggi mencapai 1.024 juta ton/tahun (Sintawardani, 2011). Pada umumnya, limbah ampas tahu dimanfaatkan sebagai sumber pakan hewan. Ampas tahu mengandung nutrisi seperti protein (20,93%), lemak (10,31%), serat (21,43%) (Marlina & Askar, 2004), sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai substrat BSFL.

BSFL atau *black soldier fly larva (Hermetia illucens)* merupakan salah satu serangga pendegradasi limbah organik (Fauzi dan Muharram, 2019) dengan tingkat keefektifan yang cukup tinggi. BSFL menghasilkan biomassa yang tinggi akan protein dan lemak (Liu et al., 2018). Menurut Liu et al. (2018), kandungan lemak pada BSF mencapai sekitar 17-36% dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai alternatif bahan baku biodiesel (Giakoumis et al., 2019).

Kandungan lemak pada BSF juga diketahui mengandung sejumlah asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*: 55,9%) yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan baku yang berasal dari komoditas nabati seperti kedelai (16,3%);

minyak jelantah (10,4%); *rapeseed* (8,5%); dan tanaman jarak (20,8%) (Park et al., 2022). Penelitian Liu et al. (2018), menunjukkan bahwa kualitas lemak BSF dipengaruhi oleh beberapa factor seperti jenis substrat yang dikonsumsi. Penelitian Majid et al., (2023) menunjukkan kandungan lemak BSF yang diberikan pakan bungkil fermentasi yang dikombinasikan dengan sisa makanan mengandung lemak sekitar 25,73%, sedangkan menurut Rohmanna et al. (2023) BSF yang diberikan substrat limbah sisa makanan mengandung lemak sekitar 42,86 %.

Selain jenis makanan, kandungan dan kualitas lemak yang dihasilkan oleh BSF juga di pengaruhi oleh proses ekstraksi (Su et al., 2019). Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah menggunakan MAE (*microwave-assisted extraction*) (Hao et al., 2021). MAE merupakan metode ekstraksi deyang memanfaatkan gelombang mikro (Medina et al., 2015) dengan prinsip pemanasan berdasarkan tumbukan material polar dengan pelarut dan diatur oleh adanya fenomena konduksi ionik dan rotasi dipol yang terjadi secara simultan (Sajib et al., 2020). Penelitian Hao et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan metode ekstraksi MAE untuk

ekstraksi minyak larva BSF diperoleh rendemen lemak terekstraksi 20% lebih banyak dibandingkan menggunakan metode soxhlet. Keunggulan dari proses ekstraksi ini adalah memiliki kendali temperatur yang baik dibanding pemanasan secara konvensional (Yulianti et al., 2014), lama waktu ekstraksi menjadi lebih singkat, penggunaan energi dan jumlah pelarut yang lebih rendah, sehingga dapat mengurangi residu dan biaya persiapan serta efisiensi ekstraksi (Barqi, 2015). Akan tetapi belum ada penelitian lebih lanjut terkait kondisi optimum proses ekstraksi lemak BSF yang diberikan ampas tahu sebagai substrat serta kualitas lemak yang dihasilkan.

Berdasarkan fenomena tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan untuk menentukan kondisi optimum proses ekstraksi lemak BSF dengan substrat ampas tahu menggunakan MAE dengan memperhatikan lama waktu ekstraksi dan suhu ekstraksi serta pengaruhnya terhadap rendemen dan karakteristik lemak yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Pada proses ekstraksi, alat yang digunakan yaitu oven Memmert UN-53, instrumen MAE Anton Paar Multiwave 5000, timbangan analitik, gelas ukur, sendok, buret, pipet tetes, corong, ayakan 60 mesh, rotary vacuum evaporator IKA RV10, botol kaca, alumunium foil. Peralatan yang digunakan dalam analisis rendemen dan berat jenis yaitu piknometer 10 ml, pipet ukur dan thermometer. Kemudian dalam analisis kadar asam lemak bebas (FFA) menggunakan labu takar 1000 ml, beaker glass, hotplate stirrer, alat titrasi dan pipet tetes.

Penelitian ini menggunakan BSF sebagai bahan utama. Telur BSF diperoleh dari CV Maggo Banua Prima, Kalimantan Selatan. Ampas tahu sebagai sumber makanan BSF diperoleh dari UMKM

Tahu Adma, Malang, Indonesia. Bahan yang digunakan dalam ekstraksi yaitu pelarut n-heksana teknis (Sigma Aldrich) dan aquades. Bahan yang digunakan dalam pengujian parameter respon yaitu larutan KOH (Sigma Aldrich), indikator PP (Sigma Aldrich), kertas label, kertas saring, alumunium foil, dan alcohol (Sigma Aldrich).

Preparasi BSFL

Telur BSF diperoleh dari CV Maggo Banua Prima di tetaskan menggunakan media pur ayam hingga berusia 7 DOL (*day of larva*). Setelah hari ke 7, larva dipindahkan pada media pembiakan yaitu ampas tahu. Ampas tahu diperoleh dari UMKM Tahu Adma. Larva dibudidayakan pada suhu ruang selama 15 hari. Setelah berusia 15 hari BSF yang telah dipanen dicuci bersih menggunakan air mengalir. Sebelum melalui proses pengeringan, larva di inaktif terlebih dahulu dengan merendam larva kedalam air mendidih (100 °C) selama ± 5 menit. Larva selanjutnya ditiriskan ± 15 menit sebelum dilakukan proses pengeringan dan penepungan.

Pengeringan BSFL

Larva yang telah bersih selanjutnya akan dilakukan proses pengeringan. Proses pengeringan menggunakan oven dengan suhu 72 °C selama 12 jam. Larva yang sudah dikeringkan dalam oven kemudian dilakukan penimbangan sebagai berat kering. Larva kemudian di hancurkan menggunakan *blender* dan serbuk larva di ayak (ukuran 50 mesh). Serbuk disimpan pada suhu 4 °C untuk proses ekstraksi.

Proses Ekstraksi

Proses ekstraksi lemak larva BSF menggunakan metode *microwave assisted extraction* (MAE). Sebanyak 15 gram tepung BSF dimasukkan kedalam *vessel* dan di tambahkan pelarut n-heksana sebanyak 45 ml dengan perbandingan bahan dan pelarut sebesar 1:3 g/ml (Hao et

al., 2020). Proses ekstraksi dilakukan dengan memperhatikan suhu (60 °C, 75 °C dan 90 °C) dan lama waktu ekstraksi (20 menit, 30 menit dan 40 menit). Hasil ekstraksi yang diperoleh disaring dengan kertas saring agar terpisah dengan endapan. Kemudian dilakukan penguapan pelarut pada ekstrak dengan menggunakan *rotary vacuum evaporator* untuk memekatkan ekstrak minyak dengan suhu 45 °C, putaran 55 rpm, selama 15 menit. Tahapan ini dilakukan hingga tidak terdapat endapan pada labu pemisah dan diharapkan pada ekstrak sudah tidak mengandung pelarut.

Analisis

Lemak yang dihasilkan kemudian dilakukan beberapa analisis untuk menentukan kualitas lemak BSF yang dihasilkan. Adapun analisis tersebut meliputi rendemen, kadar asam lemak bebas, dan bilangan asam.

Analisis Rendemen

Perhitungan rendemen minyak larva BSF dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{berat minyak (g)}}{\text{berat bahan (g)}} \times 100\%$$

(SNI 06-3735: 1995)

Analisis Kadar Asam Lemak Bebas

Perhitungan kadar asam lemak bebas dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\% \text{ FFA} = \frac{BM \text{ asam lemak} \times N \times V}{W \times 1000} \times 100\%$$

Keterangan:

N = Normalitas KOH

V = Jumlah volume KOH dalam titrasi (ml)

W = berat sampel yang digunakan (mg)

BM = 25,6

(SNI 7182: 2015)

Bilangan Asam

Perhitungan bilangan asam dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Bil Asam} = \frac{(A-B) \times N \times 56,1}{W}$$

Keterangan:

A = volume alkali standar yang digunakan dalam titrasi

B = olume alkali standar yang digunakan dalam titrasi blanko

N = Normalitas konsentrasi alkali standar

W = berat sampel yang digunakan (mg)

(SNI 7182: 2015)

Analisis Statistika

Rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah RSM (*resum surface methods*) sehingga diperoleh respon metode ekstraksi lemak BSF yang optimal. Variabel respon yang diperoleh selanjutnya dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut Tukey. Pengolahan data menggunakan design expert (versi 13). Analisis data menggunakan analisis multiple regresi untuk memperoleh model optimasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Respon Rendemen Minyak

Hasil rendemen minyak larva black soldier fly (BSF) diperoleh dengan membandingkan minyak yang dihasilkan dengan serbuk larva BSF yang digunakan. Hasil rendemen minyak larva black soldier fly dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Rendemen Minyak Larva *Black Soldier Fly* (BSF)

No	Variabel Asli		Respon
	Suhu Ekstraksi (°C)	Lama ekstraksi (Menit)	Rendemen Minyak (%)
1.	60	20	23,94
2.	90	20	26,44
3.	60	40	29,79
4.	90	40	29,65
5.	53,79	30	31,57
6	96,21	30	32,17
7.	75	15,86	25,12
8.	75	44,14	31,64
9.	75	30	26,71
10.	75	30	25,13
11.	75	30	27,45
12.	75	30	27,23
13.	75	30	27,59

Hasil pengolahan data yang diperoleh dari sistem komputasi *Design*

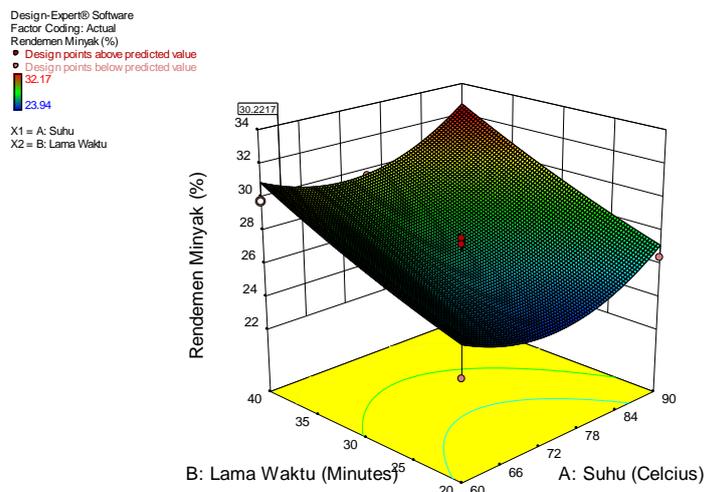
Expert, analisis pemilihan model berdasarkan *Sequential Model Sum of Square*, uji *Lack of Fit* dan *Model Summary Statistics*. Hasil analisis varians menunjukkan nilai *P-value* untuk uji *lack of fit* adalah 0,1229 ($0,1229 > 0,05$). Hasil tersebut menunjukkan bahwa model dapat menggambarkan respons data rendemen minyak dari larva black soldier fly (BSF). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model ini efektif dalam memprediksi kondisi ekstraksi lemak BSF untuk mencapai rendemen minyak yang optimal.

Hasil respon Rendemen Minyak menunjukkan model yang dipilih sistem yaitu model kuadratik dengan nilai PRESS (*prediction residual error of sum square*) paling minimal yaitu 95,23. Nilai PRESS yang semakin kecil pada sistem menunjukkan semakin kecil juga kesalahan data dalam sistem (Galwey, 2007). Dalam hasil ragam ANOVA dalam respon rendemen minyak yang disarankan digunakan dalam sistem yaitu model kuadratik. Dari analisis ragam yang dilakukan diperoleh persamaan polinomial variabel kode dengan faktor suhu ekstraksi (X_1) dan lama waktu ekstraksi (X_2) atas respon rendemen minyak (Y_1) yaitu sebagai berikut:

Persamaan polinomial dalam variabel kode:

$$Y_1 = 26,81 + 0,78X_1 + 2,65X_2 + 0,01X_1X_2 + 2,06X_1^2 + 0,30X_2^2$$

Pada persamaan polinomial yang diperoleh dari sistem diketahui koefisien pada perlakuan lama waktu ekstraksi (X_2) memiliki nilai yang lebih besar daripada perlakuan suhu ekstraksi (X_1). Hal tersebut memaparkan pada respon rendemen minyak ini lebih dipengaruhi oleh faktor lama waktu ekstraksi (X_2). Kemudian nilai R-kuadrat (*R-squared*) pada model kuadratik yaitu 0,829, besaran nilai yang mendekati nilai 1 maka korelasi antar variabel juga semakin kuat (Muktiadji dan Kamage, 2009). Pada penelitian Sawanda et al. (2014) yang menyatakan bahwa lama waktu ekstraksi akan berbanding lurus dengan rendemen minyak yang dihasilkan. Semakin lama waktu dalam tahapan ekstraksi meningkatkan miscibilitas minyak dalam senyawa pelarut, sehingga mendukung adanya perpindahan massa antar fase. Korelasi variabel suhu dan lama waktu ekstraksi pada respon rendemen disajikan pada grafik 3-dimensi yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Korelasi variabel suhu dan lama waktu ekstraksi pada respon rendemen

Berdasarkan grafik kurva (Gambar 1) yang disajikan, identifikasi pola kemiringan yang lebih ekstrim yaitu pada faktor lama waktu ekstraksi (X_2) sehingga menunjukkan pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan dengan faktor suhu ekstraksi (X_1) terhadap respon. Pada Gambar 1. menunjukkan dalam rentang suhu 66-78 °C tidak menunjukkan adanya kenaikan signifikan pada kurva, kenaikan dalam grafik mulai tampak pada rentang suhu diatas 78 °C. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan Gharibzahedi dan Altintas (2022), rendemen minyak ulat kandang (*Alphitobius diaperinus* L) optimal sebesar 88,08% diperoleh pada suhu 83,64°C. Pada penelitian Siow et al. (2021) rendemen minyak ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) tertinggi sebesar 37,54% didapatkan dari suhu ekstraksi 74°C. dan kapasitas ekstraksi maksimum dicapai pada suhu 80 °C. Pada perlakuan suhu ekstraksi dibawah 60 °C, dimungkinkan pada suhu tersebut difusi minyak dari matriks menuju pelarut belum terjadi secara maksimal, sehingga saat dilakukan penaikan suhu matriks sel dapat terpecah dan minyak dapat terekstrak dengan optimal.

Analisis Respon Asam Lemak Bebas

Kadar asam lemak bebas diukur melalui metode titrasi alkalimetri, dan kemudian dilakukan perhitungan. Tabel 3 menunjukkan hasil dari pengukuran asam lemak bebas pada minyak larva black soldier fly.

Data yang dianalisis melalui sistem komputasi Design Expert mencakup pemilihan model berdasarkan Sequential Model Sum of Square, uji Lack of Fit, dan Model Summary Statistics. Hasil analisis varians menunjukkan nilai P-value untuk uji Lack of Fit sebesar 0,0714 ($0,0714 > 0,05$), menunjukkan bahwa model mampu menggambarkan data respon FFA. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model yang dihasilkan sesuai untuk memprediksi

kondisi proses ekstraksi lemak BSF yang menghasilkan FFA yang optimal.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Asam Lemak Bebas Minyak Larva Black Soldier Fly (BSF)

No	Variabel Asli		Respon
	Suhu Ekstraksi (°C)	Lama ekstraksi (Menit)	FFA (%)
1.	60	20	3,22
2.	90	20	3,39
3.	60	40	3,27
4.	90	40	3,33
5.	53,79	30	3,24
6.	96,21	30	3,52
7.	75	15,86	3,20
8.	75	44,14	3,38
9.	75	30	3,27
10.	75	30	3,28
11.	75	30	3,26
12.	75	30	3,28
13.	75	30	3,27

Hasil respon asam lemak bebas menunjukkan model yang dipilih sistem yaitu model kuadratik dengan nilai PRESS (*prediction residual error of sum square*) paling minimal yaitu 0,016. Nilai PRESS yang semakin kecil pada sistem menunjukkan semakin kecil juga kesalahan data dalam sistem (Galwey, 2007). Hasil ragam ANOVA dalam respon asam lemak bebas dalam sistem disarankan menggunakan model kuadratik dengan nilai P signifikan. Dari analisis ragam yang dilakukan diperoleh persamaan polinomial variabel kode dengan faktor suhu ekstraksi (X_1) dan lama waktu ekstraksi (X_2) atas respon asam lemak bebas (Y_2) yaitu sebagai berikut.

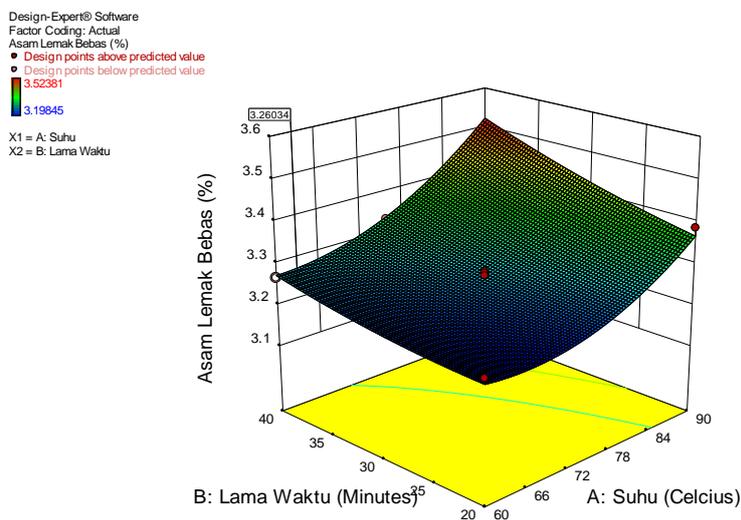
Persamaan polinomial dalam variabel kode:t

$$Y_2 = 3,27 + 0,10X_1 + 0,05X_2 + 0,023X_1X_2 + 2,06X_1^2 + 0,012X_2^2$$

Pada persamaan polinomial yang diperoleh dari sistem diketahui koefisien pada perlakuan suhu ekstraksi (X_1) memiliki nilai yang lebih besar daripada

perlakuan lama waktu ekstraksi (X_2) dan interaksi antara kedua faktor (X_1X_2). Dari koefisien dapat diartikan pada respon kandungan asam lemak bebas minyak BSF ini lebih dipengaruhi oleh faktor suhu ekstraksi (X_1). Kemudian nilai R-kuadrat (R-squared) pada model kuadratik yaitu 0,982, besaran nilai yang mendekati nilai 1 maka korelasi antar variabel juga semakin kuat (Muktiadji & Kamage, 2009). Hal tersebut sesuai dengan penelitian Mubarak et al. (2017), adanya pengaturan suhu dan lama waktu yang tinggi dalam proses ekstraksi menyebabkan terjadinya peningkatan kadar asam lemak bebas pada minyak yang dihasilkan. Kombinasi pengaturan suhu dalam proses

berpengaruh pada frekuensi gelombang mikro yang diberikan. Semakin besar kombinasi suhu dalam operasi adanya konduksi ionik dalam bahan juga menjadi tinggi yang berdampak pada semakin tinggi energi panas yang dihasilkan secara internal. Dengan pengaturan lama waktu yang semakin panjang juga akan menyebabkan akumulasi energi panas yang lebih besar sehingga dapat menyebabkan terjadinya oksidasi pada bahan. Korelasi variabel suhu dan lama waktu ekstraksi pada respon asam lemak bebas dapat diidentifikasi melalui grafik 3-dimensi yang disajikan pada Gambar 2. berikut.



Gambar 2. Grafik Korelasi variabel suhu dan lama waktu ekstraksi pada respon asam lemak bebas

Berdasarkan grafik kurva (Gambar 2) yang disajikan, diidentifikasi dari pola kelengkungan menunjukkan faktor suhu ekstraksi (X_1) menunjukkan pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan faktor lama waktu ekstraksi (X_2) terhadap respon asam lemak bebas. Seperti pada Gambar 2. kenaikan nilai asam lemak bebas tampak lebih ekstrim pada suhu di atas 78 °C. Sampel minyak yang memiliki kandungan asam lemak tak jenuh pada pemanasan dalam suhu tinggi rentan mengalami dekomposisi oksidatif, hal tersebut dikarenakan ikatan rangkap pada asam

lemak mudah berikatan dengan oksigen (Gumilar et al, 2009). Hal tersebut sesuai dengan penelitian Fuente et al. (2022), dalam proses ekstraksi minyak kepala ikan air tawar tampak terjadi peningkatan kandungan asam lemak bebas pada perlakuan suhu operasi ekstraksi di atas 75 °C. Adanya akumulasi energi panas dari radiasi gelombang mikro yang diterima bahan dalam proses ekstraksi selain mempercepat proses terikatnya bahan spesifik pada pelarut, juga dapat memicu terjadinya proses oksidasi yang lebih cepat. Adanya reaksi kimia berupa

oksidasi berdampak dalam kenaikan kandungan asam lemak bebas dalam minyak. Pada Gambar 2. pada faktor lama waktu ekstraksi menunjukkan tidak ada kenaikan kadar asam lemak bebas yang cukup ekstrim. Hal tersebut dapat terjadi akibat akumulasi energi panas dari radiasi gelombang mikro yang berinteraksi dalam bahan belum mencapai titik jenuh yang akan berpengaruh pada pembentukan asam lemak bebas pada minyak selama proses ekstraksi berlangsung (Azmir et al, 2014).

Hasil penelitian ini diperoleh nilai kadar asam lemak bebas pada minyak larva BSF berkisar pada 3,20% hingga 3,52%. Hasil asam lemak bebas dari penelitian ini lebih rendah apabila dibandingkan dengan kandungan asam lemak bebas yang diperoleh Yang et al, (2014), dari ekstraksi minyak lalat domestik (*house fly*) dengan metode maserasi dan pelarut petroleum ether selama 24 jam diperoleh nilai asam lemak bebas sebesar 4,79%. Walaupun demikian, kandungan asam lemak bebas dari minyak larva yang dihasilkan jika dibandingkan dengan standar bahan baku biodiesel masih dalam kategori lebih besar dari standar yang ditetapkan yaitu 2% (SNI 7182: 2015). Dengan demikian diperlukan tahapan esterifikasi yaitu pengikatan asam lemak dengan pemberian katalis asam kuat agar terbentuk ester dan dapat menurunkan kadar asam lemak bebas pada bahan sebelum proses transesterifikasi dilakukan.

Analisis Respon Bilangan Asam

Hasil respon bilangan asam diperoleh dengan metode titrasi alkalimetri yang kemudian dilakukan perhitungan berdasarkan nilai asam lemak bebas dari bahan. Hasil bilangan asam minyak larva *black soldier fly* dapat dilihat pada Tabel 4.

Hasil pengolahan data yang diperoleh dari sistem komputasi *Design Expert*, analisis pemilihan model berdasarkan *Sequential Model Sum of*

Square, uji *Lack of Fit* dan *Model Summary Statistics*.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Bilangan Asam Minyak Larva *Black Soldier Fly* (BSF)

No	Variabel Asli		Respon
	Suhu Ekstraksi (°C)	Lama ekstraksi (Menit)	Bilangan Asam (mgKOH/g)
1.	60	20	6,40
2.	90	20	6,73
3.	60	40	6,49
4.	90	40	6,62
5.	53,79	30	6,44
6.	96,21	30	7,00
7.	75	15,86	6,35
8.	75	44,14	6,72
9.	75	30	6,50
10.	75	30	6,52
11.	75	30	6,48
12.	75	30	6,51
13.	75	30	6,49

Hasil analisis varians menunjukkan nilai *P-value* untuk uji *lack of fit* adalah 0,0714 ($0,0714 > 0,05$), sehingga mengindikasikan bahwa model dapat mendeskripsikan data respon bilangan asam sehingga dapat disimpulkan bahwa model yang didapat cocok digunakan untuk memprediksikan kondisi proses ekstraksi lemak BSF yang menghasilkan bilangan asam yang optimum.

Hasil respon bilangan asam menunjukkan model yang dipilih sistem yaitu model kuadratik dengan nilai PRESS (*prediction residual error of sum square*) paling minimal yaitu 0,063. Nilai PRESS yang semakin kecil pada sistem menunjukkan semakin kecil juga kesalahan data dalam sistem (Galwey, 2007). Dalam analisis ragam (ANOVA) yang menggunakan sistem komputasi *Design Expert* menunjukkan pengaruh beda nyata dari faktor-faktor dengan menunjukkan nilai probabilitas dibawah 5% (Siagian & Sugiarto, 2000). Hasil ragam ANOVA dalam respon bilangan asam menunjukkan jika model yang dipilih dalam program yaitu model kuadratik dengan nilai standar deviasi 0,030 yang menunjukkan keragaman data

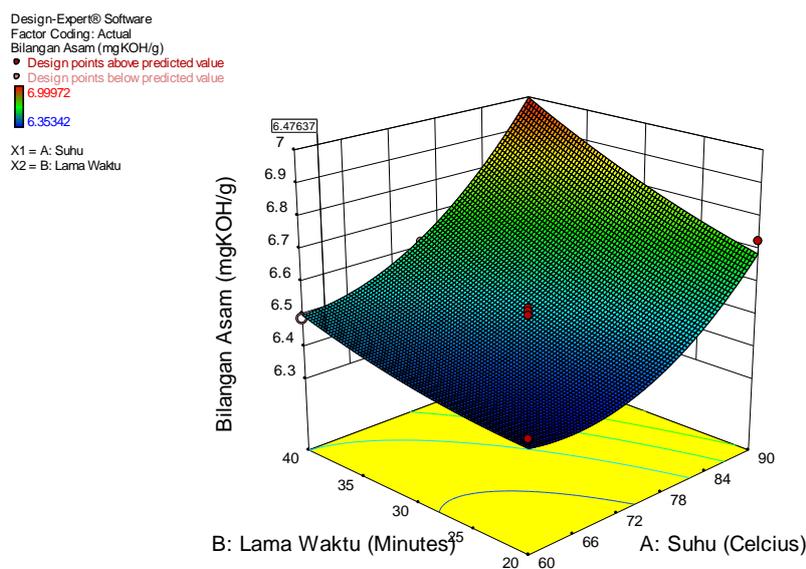
yang lebih rendah dibandingkan dengan model lainnya. Dari analisis ragam yang dilakukan diperoleh persamaan polinomial variabel kode dengan faktor suhu ekstraksi (X_1) dan lama waktu ekstraksi (X_2) atas respon bilangan asam (Y_3) yaitu sebagai berikut.

Persamaan polinomial dalam variabel kode:

$$Y_3 = 6,50 + 0,20X_1 + 0,11X_2 + 0,046X_1X_2 + 0,12X_1^2 + 0,025X_2^2$$

Pada persamaan polinomial yang diperoleh dari sistem diketahui koefisien pada perlakuan suhu ekstraksi (X_1) memiliki nilai yang lebih besar daripada perlakuan lama waktu ekstraksi (X_2) maupun pada interaksi kedua faktor (X_1X_2). Hal tersebut memaparkan pada

respon bilangan asam minyak BSF ini lebih dipengaruhi oleh faktor suhu ekstraksi (X_1). Kemudian nilai R-kuadrat (*R-squared*) pada model kuadratik yaitu 0,9824, besaran nilai yang mendekati nilai 1 maka korelasi antar variabel juga semakin kuat (Muktiadji & Kamage, 2009). Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian Widiyanto et al. (2015), bahwa proses pengolahan minyak hati ikan pari mondol dengan suhu yang semakin tinggi menyebabkan semakin tinggi terbentuknya asam lemak bebas sehingga meningkatkan nilai bilangan asam pada minyak yang dihasilkan. Korelasi variabel suhu dan lama waktu ekstraksi pada respon bilangan asam dapat diidentifikasi melalui grafik 3-dimensi yang disajikan pada Gambar 3. berikut.



Gambar 3. Grafik Korelasi variabel suhu dan lama waktu ekstraksi pada respon bilangan asam

Berdasarkan grafik kurva yang disajikan (Gambar 3), diidentifikasi dari pola kelengkungan menunjukkan faktor suhu ekstraksi (X_1) menunjukkan pengaruh yang lebih signifikan dibandingkan faktor lama waktu ekstraksi (X_2) terhadap respon bilangan asam. Berdasarkan grafik kurva diatas menunjukkan faktor suhu ekstraksi pada

setiap kenaikan level suhu yang digunakan menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap respon angka asam. Kenaikan bilangan asam tampak lebih ekstrim pada suhu diatas 78 °C. Adanya akumulasi energi panas yang diterima bahan dalam proses ekstraksi selain mempercepat proses terikatnya bahan spesifik pada

pelarut, juga dapat memicu terjadinya proses oksidasi yang lebih cepat.

Gugus karbonil hidrofilik yang terdapat dalam asam lemak bebas memiliki kemampuan untuk beragregasi, yang dapat mengakibatkan penurunan tegangan permukaan minyak. Kondisi tersebut dapat meningkatkan laju difusi oksigen pada minyak dan menyebabkan dekomposisi minyak. (Lui et al, 2020). Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rollins et al. (1986), proses oksidasi asam lemak tak jenuh tampak terbentuk pada suhu pemanasan diatas 65 °C, dan terbentuk senyawa hidroperoksida yang selanjutnya terjadi dekomposisi lanjutan dan membentuk senyawa alkohol, aldehyd dan hidrokarbon yang merupakan indikator adanya penurunan kualitas dari minyak yang diujikan. Pada penelitian Aziz et al. (2019), adanya peningkatan suhu dalam sistem menyebabkan penurunan viskositas minyak dan berpengaruh ada daya larut air dalam minyak dan meningkatkan laju reaksi pemecahan seyawa trigliserida oleh air yang meghasilkan asam lemak bebas dan gliserol. Terbentuknya asam lemak bebas pada bahan berpengaruh pada bilangan asam pada minyak yang digunakan (Suroso, 2013).

Hasil penelitian ini diperoleh nilai bilangan asam minyak larva berkisar pada 6,35 mgKOH/g hingga 7,00 mgKOH/g. Kemudian adanya pemberian faktor suhu ekstraksi dan lama waktu ekstraksi pada titik jenuh dapat meningkatkan nilai

bilangan asam dari minyak larva *black soldier fly* (BSF). Hasil bilangan asam yang diperoleh dalam penelitian lebih rendah dibandingkan dengan bilangan asam dari penelitian Yang et al. (2014) dalam ekstraksi dengan metode maserasi larva lalat domestik (*house fly*) dengan pelarut *petroleum ether* oleh diperoleh bilangan asam sebesar 21,61 mgKOH/g. Walaupun demikian, bilangan asam dari minyak larva yang dihasilkan jika dibandingkan dengan standar bahan baku biodiesel masih belum memenuhi standar yang ditetapkan yaitu 0,4 mgKOH/g (SNI 7182: 2015). Dengan demikian diperlukan tahapan esterifikasi yaitu pengikatan asam lemak dengan pemberian katalis asam kuat agar terbentuk ester dan dapat menurunkan kadar asam lemak bebas sehingga dapat menurunkan bilangan asam pada bahan sebelum proses transesterifikasi dilakukan.

Hasil Solusi Optimal Respon Pada Central Composite Design (CCD)

Dalam optimasi menggunakan *Design Expert* sebagai instrumen, adapun solusi optimum yang ditunjukkan dengan kriteria pada tiap faktor dan respon. Kriteria yang diimplementasikan disesuaikan agar proses optimasi dapat mencapai tujuan yang diharapkan yaitu maksimasi respon rendemen, dan minimasi pada respon asam lemak bebas dan bilangan asam. Adapun batasan dalam optimasi data yang dilakukan disajikan pada Tabel 5. berikut.

Tabel 5. Batasan Optimasi Pada *Response Surface Methodology*

Parameter	Tujuan	Batasan Bawah	Batasan Atas	SK
A: Suhu Ekstraksi	<i>In range</i>	60	90	3
B: Lama Waktu Estraksi	<i>In range</i>	20	40	3
Rendemen Minyak (%)	maksimasi	23,94	32,17	4
Asam Lemak Bebas (%)	minimasi	3,20	3,52	5
Bilangan Asam (mgKOH/g)	minimasi	6,35	7,00	5

Pada prediksi respon rendemen minyak untuk nilai terendah yaitu sebesar 26,48% dan prediksi nilai tertinggi yaitu 35,38%. Pada prediksi respon asam lemak bebas untuk prediksi nilai terendah yaitu sebesar 3,23% dan prediksi nilai tertinggi yaitu 3,32%. Pada prediksi respon bilangan asam untuk prediksi nilai terendah yaitu sebesar 6,41 mgKOH/g dan prediksi nilai tertinggi yaitu 6,59 mgKOH/g. Kemudian hasil solusi optimasi yang diperoleh dari program *Design Expert* yaitu disajikan dalam Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil Solusi Optimal Pada *Response Surface Methodology*

Parameter	Standar Prediksi
Suhu Ekstraksi (°C)	60 °C
Lama Waktu Ekstraksi (menit)	37,68 menit
Rendemen Minyak (%)	30,22%
Asam Lemak Bebas (%)	3,26%
Bilangan Asam (mgKOH/g)	6,48 mgKOH/g
<i>Desirability</i>	0,796
Keterangan	<i>Selected</i>

Diketahui solusi optimal yang diperoleh dari percobaan pada program *Design Expert* yaitu pada suhu ekstraksi 60 °C, lama waktu ekstraksi yaitu 37,68 menit, dan menghasilkan respon rendemen minyak larva sebesar 30,22%, respon asam lemak bebas yaitu 3,26%, dan respon bilangan asam sebesar 6,48 mgKOH/g. Nilai desirabilitas dari hasil optimal yang diperoleh yaitu 0,796. *Desirability* atau desirabilitas merupakan nilai yang digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan program dalam mencapai tujuan berdasarkan tolok ukur yang ditetapkan pada hasil akhir. Nilai desirabilitas yang ditunjukkan yaitu pada interval 0 hingga 1, nilai desirabilitas yang

mendekati nilai 1 dapat diartikan jika solusi yang dihasilkan dalam sistem maka keluaran yang dihasilkan mendekati predikat sempurna (Khuri, 2006).

Validasi dan Verifikasi Solusi Optimal Hasil Prediksi

Verifikasi dilakukan untuk mengkonfirmasi prediksi kondisi optimum dari suhu ekstraksi dan lama waktu proses ekstraksi. Dalam tahapan ini dilakukan pengulangan penelitian seperti yang dilakukan sebelumnya dengan mengimplementasi titik optimal yang diestimasi oleh program. Setelah diperoleh respon kemudian dilakukan perbandingan antara hasil solusi yang ditetapkan terhadap hasil pengulangan. Adapun verifikasi hasil optimum disajikan dalam Tabel 7. berikut.

Menurut Tabel 7. diketahui hasil respon aktual menunjukkan terdapat perbedaan nilai pada hasil prediksi program dengan verifikasi aktual. Dari data yang disajikan dalam Tabel 7. dapat disimpulkan, hasil validasi parameter yang dilakukan masih dalam interval yang diberikan pada prediksi model sehingga model yang digunakan merupakan valid. Hal tersebut juga didukung dengan nilai akurasi dimana simpangan hasil prediksi menunjukkan nilai <5% sehingga tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dan tepat untuk diimplementasikan optimasi (Widjarnarko, 2017). Menurut SNI 7182: 2015 standar bahan baku biodiesel yaitu kandungan asam lemak bebas maksimal 2% dan bilangan asam pada minyak yaitu maksimal 0,4 mgKOH/g. Sehingga hasil ekstraksi minyak larva *black soldier fly* (BSF) belum memenuhi standar apabila digunakan secara langsung dalam proses pengolahan menjadi biodiesel. Perlu dilakukan *pre-treatment* yaitu proses esterifikasi yang dilanjutkan dengan proses transesterifikasi.

Tabel 7. Perbandingan Hasil Prediksi Model Dengan Verifikasi Aktual

Parameter	Prediksi Terendah	Prediksi	Prediksi Tertinggi	Hasil Validasi	Selisih	Akurasi
Rendemen Minyak (%)	26,02	30,22	34,43	29,28	0,94	96,88 %
Asam Lemak Bebas (%)	3,22	3,26	3,30	3,29	0,03	99,09 %
Bilangan Asam (mgKOH/g)	6,39	6,48	6,56	6,54	0,06	99,15 %

KESIMPULAN

Hasil optimasi penelitian menunjukkan proses ekstraksi dengan metode microwave assisted extraction larva black soldier fly yang optimal dihasilkan pada suhu ekstraksi 60°C dan lama waktu ekstraksi 37,68 menit. Kualitas minyak larva black soldier fly yang diperoleh dalam kondisi optimal menunjukkan rendemen minyak sebesar 30,22%, kandungan asam lemak bebas sebesar 3,26%, dan bilangan asam sebesar 6,48 mgKOH/g. Dari hasil optimal tersebut dilakukan uji verifikasi dan mendapatkan hasil respon rendemen minyak yaitu sebesar 29,28%, kandungan asam lemak bebas yaitu sebesar 3,29% dan kandungan bilangan asam yaitu sebesar 6,54 mgKOH/g. Pada kombinasi perlakuan suhu dan lama waktu ekstraksi menghasilkan nilai rendemen minyak, asam lemak bebas dan bilangan asam yang optimal sehingga diharapkan dapat diimplementasikan dalam produksi biodiesel dari minyak larva black soldier fly (BSF).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh LPDP dan DIKTI melalui skema hibah riset keilmuan tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, I., Nurbayti, S., & Suwandari, J. (2019). Pembuatan Gliserol Dengan Reaksi Hidrolisis Minyak

Goreng Bekas. *Chemistry Progress*, 6(1),1-11

Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., & Sahena, F. Jahurul, M. H. A. (2014). Optimization of Oil Yield of *Phaleria macrocarpa* Seed Using Response Surface Methodology and Its Fatty Acids Constituents

Barqi WS. (2015). Pengambilan Minyak Mikroalga *Chlorella* sp. dengan Metode Microwave Assisted Extraction. *Jurnal Bahan Terbarukan*, 4(1), 34-41.

Djamaludin, H, & Chamidah, A. (2021). Kualitas Ekstrak Minyak Mikroalga *Spirulina* sp. dengan Metode Ekstraksi Yang Berbeda. *Prosiding Simposium Nasional Kelautan dan Perikanan. Makassar*, 5 Juni.

Fauzi, M., & Muharram, L. (2019). Karakteristik Bioreduksi Sampah Organik oleh Maggot BSF (Black Soldier Fly) pada Berbagai Level Instar. *Journal of Science, Technology and Entrepreneur*, 1(2), 134-139.

Fuente, B., Pinela, J., Mandim, F., Heleno, S. A., Ferreira, I. C., Barba, F. J., & Barros, L. (2022). Nutritional and Bioactive Oils from Salmon (*Salmo salar*) Side Streams Obtained by Soxhlet and Optimized Microwave-Assisted

- Extraction. *Food Chemistry*, 386, 132778
- Galwey, N. W. (2014). *Introduction to Mixed Modelling: Beyond Regression and Analysis of Variance*. John Wiley & Sons.
- Gharibzahedi, S. M. T., & Altintas, Z. (2022). Ultrasound-Assisted Alcoholic Extraction of Lesser Mealworm Larvae Oil: Process Optimization, Physicochemical Characteristics, and Energy Consumption. *Antioxidants*, 11(10), 1943. <https://doi.org/10.3390/antiox11101943>
- Giakoumis, E. G., & Sarakatsanis, C. K. (2019). A comparative assessment of biodiesel cetane number predictive correlations based on fatty acid composition. *Energies*, 12(3), 422.
- Gumilar, G., Zackiyah, M., Dwiyanti, G., & H. M. H. S. (2009). Pengaruh Pemanasan Terhadap Profil Asam Lemak Tak Jenuh Minyak Bekatul. *Jurnal Pengajaran MIPA*, 14(2), 143-150.
- Hao, M. J., Elias, N. H., Aminuddin, M. H., & Zainalabidin, N. (2021). Microwave-Assisted Extraction of Black Soldier Fly Larvae (BSFL) Lipid. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 765(1), 012057
- Hao, M. J., Elias, N. H., Aminuddin, M. H., & Zainalabidin, N. (2021). Microwave-assisted extraction of black soldier fly larvae (BSFL) lipid. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 765(1). <https://doi.org/10.1088/17551315/765/1/012057>
- Kostić, M. D., Joković, N. M., Stamenković, O. S., Rajković, K. M., Milić, P. S., & Veljković, V. B. (2013). Optimization of Hempseed Oil Extraction By N-Hexane. *Industrial Crops and Products*, 48, 133-143.
- Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Rehman, K., Li, W., & Zheng, L. (2017). Dynamic Changes of Nutrient Composition Throughout the Entire Life Cycle of Black Soldier Fly. *PLoS One*, 12(8), e0182601
- Liu, Y., Ramakrishnan, V. V., & Dave, D., (2020). Lipid Class and Fatty Acid Composition of Oil Extracted From Atlantic Salmon By-Products Under Different Optimization Parameters of Enzymatic Hydrolysis. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 30,101866
- Liu, Z., Minor, M., Morel, P. C. H., & Najar-Rodriguez, A. J. (2018a). Bioconversion of Three Organic Wastes by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*, 47(6), 1609–1617. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy141>
- Majid, Z. A. N. M., Rahmawati, L., & Rohmanna, N. A. (2023). Identifikasi profil asam amino dan lemak black soldier fly larvae menggunakan pakan bungkil dan sisa makanan. *Jurnal teknologi Industri Pertanian*. 33 (1): 41-49.
- Marlina, N. & Askar, S. (2004). Chemical Composition of some Agricultural Wastes, *Animal Research Center*, Bogor.
- Medina, A. L., da Silva MAO, de Sousa BH, Arruda MAZ, Marsaioli JA, &

- Bragagnolo N. (2015). Rapid Microwave Assisted Extraction of Meat Lipids. *Food Research International*, 78, 124-130.
- Mubarak, K., Natsir, H., Wahab, A. W., & Satrimafitrah, P. (2017). Analisis Kadar α -tokoferol (Vitamin E) Dalam Daun Kelor (*Moringa oleifera* Lam) Dari Daerah Pesisir dan Pegunungan Serta Potensinya Sebagai Antioksidan. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 3(1), 78-88.
- Muktiadji, N., & Kamage, R. (2009). Pengaruh Penjualan dan Profitabilitas Terhadap Pertumbuhan Perusahaan Studi Kasus Pada PT. Gudang Garam, Tbk. Dan PT. Bentoel Internasional Investama, Tbk. *Jurnal Ilmiah Ranggagading*, 9(1), 1-6.
- Rohmana, N. A., Maharani, D. M., Majid, Z. A. N. M. (2023). Analisis pertumbuhan dan kemampuan reduksi limbah larva tentara hitam *Hermetia illucens* pada solid decanter, ampas kelapa, ampas sagu, dan limbah sisa makanan. *Agrointek*. 17 (3).
- Rollins, Y., Troupel, M., Tuck, D. G., & Perichon, J. (1986). The Coupling of Organic Groups by The Electrochemical Reduction of Organic Halides: Catalysis by 2, 2'-Bipyridinenickel Complexes. *Journal of Organometallic Chemistry*, 303(1), 131-137.
- Sajib, M., Albers, E., Langeland, M., & Undeland, I. (2020). Understanding the Effect of Temperature and Time on Protein Degree of Hydrolysis and Lipid Oxidation During Ensilaging of Herring (*Clupea harengus*) Filleting Co-Products. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.
- Siagian, D. & Sugiarto. (2000). Metode Statistika Untuk Bisnis dan Ekonomi. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Silsia, D., Laili, S., & Magrisa, F. (2021). Rendemen dan Karakteristik Pektin Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus costaricensis*) Dengan Perbedaan Metode dan Waktu Ekstraksi. *Jurnal Agroindustri*, 11 (2), 120-132.
- Sintawardani, N. (2011). Socio-Economic Problems on Reducing the Wastewater Pollution from Tofu Processing in the Cibuntu Area, Indonesia, Research Center for Physics Indonesian Institute of Science.
- Siow, H. Sen, Sudesh, K., Murugan, P., & Ganesan, S. (2021). Mealworm (*Tenebrio molitor*) oil characterization and optimization of the free fatty acid pretreatment via acid-catalyzed esterification. *Fuel*, 299, 120905. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120905>
- SNI. (1988). Standar Nasional Indonesia 06-3735-1998 Standar Mutu Minyak Atsiri. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- SNI. (2015). Standar Nasional Indonesia 7182:2015 Biodiesel. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta
- Su, C. H., Nguyen, H. C., Bui, T. L., & Huang, D. L. (2019). Enzyme-assisted extraction of insect fat for biodiesel production. *Journal of Cleaner Production*, 223, 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.150>
- Suroso, A. S. (2013). Kualitas Minyak Goreng Habis Pakai Ditinjau Dari Bilangan Peroksida, Bilangan

- Asam dan Kadar Air. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*, 3(2),77-88.
- Widiyanto, I., Basakara, K. A., & Lia, U. K. (2013). Ekstraksi Oleoresin Kayu Manis (*Cinnamomum burmannii*): Optimasi Rendemen dan Pengujian Karakteristik *Mutu*. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 6(1), 7-16
- Yang, S., Li, Q., Gao, Y., Zheng, L., & Liu, Z. (2014). Biodiesel Production from Swine Manure Via Housefly Larvae (*Musca domestica* L.). *Renewable Energy*, 66, 222-227.
- Yulianti, D., Bambang, S., & Rini, Y. (2014). Pengaruh Lama Ekstraksi dan Konsentrasi Pelarut Etanol Terhadap Sifat Fisika-Kimia Ekstrak Daun Stevia (*Stevia rebaudiana bertonii* M.) Dengan Metode Microwave Assisted Extraction (MAE). *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 2(1), 35-41.