

# Pengaruh penggunaan microwave oven terhadap proses sterilisasi buah kelapa sawit

The effect of using microwave oven on the sterilization process of palm oil fruit

Eli Sovia<sup>1</sup>, Silvi Leila Rahmi<sup>1</sup>, Dewi Fortuna<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Prodi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi.

<sup>2</sup> Prodi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi.

Email\*): dewifortuna@unja.ac.id

Received:  
15 November 2023

Revised:  
21 March 2024

Accepted:  
25 March 2024

Published:  
27 March 2024

DOI:  
10.29303/jrpb.v12i1.585

ISSN 2301-8119, e-ISSN  
2443-1354

Available at  
<http://jrpb.unram.ac.id/>

**Abstract:** The sterilization of oil palm fresh fruit bunch (FFB) purpose is to deactivate the lipase enzyme, soften the fruit pulp, and loosen the fruit from the bunch, an important process affecting oil quality. Palm oil mills generally require around 410-455 tonnes of water to produce steam in the sterilization process using boiling vessels and produce 36 tonnes of liquid waste. One way to reduce liquid waste is the development of the use of microwaves. Research on the use of microwaves in palm fruit sterilization will be the basis for developing microwave designs that are suitable for the CPO industry with capacities of hundreds or thousands of tonnes. The aim of this research was to determine the effect of microwave oven sterilization time on the characteristics of oil palm fruit. This research used a completely randomized design with 7 treatment levels and 4 replications to obtain 28 experimental units. The treatment used was sterilization using a boiling vessel (T0) and the sterilization time for oil palm fruit using a microwave oven: 3, 5, 7, 9, 11 and 13 minutes will be analyzed using SPSS at 5% level. Based on the results of the research that has been carried out, it can be concluded that sterilization of oil palm fruit using boiling vessels and microwave ovens have a significant effect on sterilization temperature, water content, yield, Free Fatty Acid, Deterioration of Bleachability Index (DOBI) and carotene. The best treatment is sterilization of oil palm fruit using a microwave oven for 7 minutes with sterilization temperature parameters 94.06°C, water content 0.55%, yield 17.81%, FFA 0.51%, DOBI 3.88nm and carotene 675.52ppm.

**Keywords:** FFA; temperature; time; yield

**Abstrak:** Sterilisasi tandan buah segar (TBS) kelapa sawit bertujuan untuk menonaktifkan enzim lipase, melunakkan daging buah dan melepaskan buah dari tandannya yang merupakan salah satu proses penting yang mempengaruhi kualitas minyak. Pabrik kelapa sawit umumnya membutuhkan air sekitar 410-455 ton untuk menghasilkan uap *steam* pada proses sterilisasi menggunakan bejana rebusan dan menghasilkan limbah cair sebanyak 36 ton. Salah satu cara untuk mengurangi limbah cair adalah pengembangan penggunaan gelombang mikro. Penelitian penggunaan microwave pada sterilisasi buah sawit akan menjadi dasar untuk pengembangan desain microwave yang sesuai bagi industri CPO dengan kapasitas ratusan atau ribuan ton. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu sterilisasi dengan microwave oven terhadap karakteristik buah kelapa sawit. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 7 taraf perlakuan dan 4 kali ulangan sehingga diperoleh 28 satuan percobaan. Perlakuan yang digunakan adalah sterilisasi menggunakan bejana rebusan (T0) dan lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan microwave oven yaitu 3,5,7,9,11 dan 13 menit dan hasilnya dianalisis menggunakan SPSS pada tingkat kepercayaan 95%. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan bejana rebusan dan microwave oven berpengaruh nyata terhadap suhu sterilisasi, kadar air, rendemen, Asam Lemak Bebas, Deterioration of Bleachability Index (DOBI) dan karoten.

Perlakuan terbaik terdapat pada sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan microwave oven selama 7 menit dengan parameter suhu sterilisasi 94,06°C, kadar air 0,55%, rendemen 17,81%, Asam Lemak Bebas 0,51%, Deterioration of Bleachability Index 3,88nm dan karoten 675,52ppm.

**Kata kunci:** ALB; rendemen; suhu; waktu

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Indonesia merupakan negara produsen kelapa sawit nomor satu di Asia dengan produksi sebanyak 46,82 juta ton pada tahun 2022 (BPS, 2023). Buah kelapa sawit menghasilkan minyak kelapa sawit kasar (*crude palm oil*) dan minyak inti sawit kasar (*crude palm kernel oil*) yang tahap pengolahan dimulai dari penerimaan tandan buah segar (TBS), sterilisasi, perontokan, pelumatan dan ekstraksi minyak dan klarifikasi (Pakdeechot, 2021). Sterilisasi merupakan salah satu tahap pengolahan kelapa sawit yang penting karena membantu pelepasan inti dari cangkang, melunakkan buah sawit, dan menghentikan aktivitas enzim (Chang *et al.*, 2015).

Pabrik kelapa sawit umumnya berkapasitas 60 ton/jam tandan buah segar (TBS) yang membutuhkan air sekitar 410-455 ton untuk menghasilkan uap *steam* pada proses sterilisasi menggunakan bejana rebusan dan menghasilkan limbah cair sebanyak 36 ton (Hock *et al.*, 2020; Liew *et al.*, 2015; Muria *et al.*, 2020). Limbah cair yang dihasilkan mengandung nitrogen total, nitrogen amonia, padatan tersuspensi, minyak dan lemak yang sangat beracun dan menjadi salah satu sumber utama pencemaran lingkungan (Cheng *et al.*, 2011). Limbah cair tersebut harus diolah terlebih dahulu agar memenuhi standar untuk dibuang ke lingkungan dan biaya eksternal yang dibutuhkan cukup tinggi yaitu sebesar Rp. 146.194.433/tahun dengan limbah total yang dihasilkan 2,5 juta ton per ton minyak yang dihasilkan (Prasetia *et al.*, 2016; Utami *et al.*, 2018).

Salah satu cara untuk mengurangi limbah cair pada sterilisasi adalah pengembangan penggunaan gelombang mikro (Chang *et al.*, 2015; Law *et al.*, 2018). Penelitian penggunaan microwave pada sterilisasi buah sawit akan menjadi dasar untuk pengembangan desain microwave yang sesuai bagi industri CPO dengan kapasitas ratusan atau ribuan ton. Penggunaan *microwave oven* pada sterilisasi tidak menggunakan uap, menghasilkan minyak dengan kadar asam lemak bebas yang rendah, ramah lingkungan dan waktu yang dibutuhkan sangat singkat (14-17 menit) (Sarah *et al.*, 2018; Sarah & Taib, 2013). Menurut Sarah, (2018) daya *microwave oven*, waktu sterilisasi, dan bobot buah sawit varietas Dura berpengaruh pada kehilangan air buah sawit, dimana semakin tinggi daya *microwave oven*, semakin lama waktu dan semakin rendah bobot akan meningkatkan kehilangan air buah sawit. Kadar air pada buah sawit akan berkurang apabila daya *microwave oven* yang digunakan semakin tinggi. Kehilangan kadar air meningkat apabila bobot buah sawit kecil dengan waktu sterilisasi yang lama (Sarah, 2018b). Daya dan suhu sangat mempengaruhi tingkat inaktivasi enzim karena semakin tinggi daya dan suhu akan mempercepat inaktivasi enzim (Sarah *et al.*, 2014).

Menurut Sarah (2018b) perlakuan terbaik pada sterilisasi TBS menggunakan microwave oven adalah dengan bobot TBS sebesar 354,28g dengan daya *microwave oven* sebesar 633,97 W dan waktu selama 18,73 menit menghasilkan kadar air TBS sebesar 32,09%. Sedangkan menurut Kumaradevan, (2015) perlakuan terbaik pada sterilisasi TBS menggunakan daya pada *microwave oven* sebesar 1.199,63W/kg selama 18,73 menit menghasilkan tingkat penghancuran enzim lipase tercepat dengan laju penghancuran sekitar 0,146 $\mu$ /mL dan konsentrasi asam lemak bebas (ALB) sebesar 0,48% lebih rendah dari standar minimum 5% (Kumaradevan *et al.*, 2015; Sarah *et al.*, 2014). (Cheng *et al.*, 2011) melakukan penelitian untuk melihat karakteristik minyak sawit yang dihasilkan dengan proses sterilisasi menggunakan

*microwave oven*, dan menyimpulkan bahwa sterilisasi menggunakan *microwave oven* menghasilkan minyak sawit dengan komposisi asam lemak yang berbeda dengan minyak sawit dari proses konvensional. Perbedaan komposisi asam lemak tersebut juga akan berpengaruh pada sifat fisik dan kimia minyak sawit. Namun penelitian tersebut menggunakan durasi 1-4 menit, dan belum diketahui bagaimana pengaruh sterilisasi menggunakan *microwave oven* dengan durasi waktu yang lebih lama.

## Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lama sterilisasi menggunakan *microwave oven* terhadap karakteristik minyak kelapa sawit.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah buah kelapa sawit varietas Tenera dengan tingkat kematangan masak (F-2, F-3 dan F-4) dari stasiun sortasi di PT. Agro Mitra Madani, sedangkan bahan-bahan yang digunakan untuk analisa yaitu KOH pa (Merck), phenolphthalein indicator (Merck), isopropanol pa (Merck) dan etanol absolut pa (Merck). Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *microwave oven* Sharp R-728, oven (Memmert UN 55), alat pengepresan manual, timbangan analitik, termometer laser, *hot plate magnetic stirrer* (SSM 79-1), Spektrofotometer UV-Vis (Thermo scientific genesys 840-208100), piringan kaca *microwave oven*, Erlenmeyer, *beaker glass*, cawan porselen dan buret.

### Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Perlakuan yang digunakan adalah sterilisasi menggunakan bejana rebusan (T0) dan lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* (3, 5, 7, 9, 11 dan 13 menit) yang diulang sebanyak 4 kali ulangan. Parameter meliputi suhu sterilisasi, kadar air, rendemen, asam lemak bebas, *Deterioration of Bleachability Index* (DOBI), dan karoten. Data yang diperoleh dianalisis menggunakan uji Analisis Varian (ANOVA) dan jika perlakuan berpengaruh nyata maka dilanjutkan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMNRT) dengan tingkat kepercayaan 95%. Analisis data menggunakan aplikasi SPSS versi 16.0.

### Ekstrak Buah Kelapa Sawit

TBS diambil stasiun sortasi dengan kriteria tingkat kematangan masak dan buah kelapa sawit dipisahkan dari tandannya. Buah kelapa sawit segar sebanyak 500g diletakkan secara merata pada piring kaca *microwave oven* (d=25,5cm) dan dimasukkan ke dalam *microwave oven* kemudian disterilisasi pada *mode high* (900W) dengan lama sterilisasi sesuai pada perlakuan. Pada perlakuan bejana rebusan buah kelapa sawit diambil pada stasiun *thresher* sebanyak 500g setelah buah kelapa sawit disterilisasi selama 90 menit dengan tekanan 2,8-3kg/m<sup>2</sup>.

#### 1. Suhu Sterilisasi

Suhu ruang *microwave oven* setelah proses sterilisasi selesai diukur menggunakan termometer laser dengan cara menembakkan ke dalam ruangan *microwave oven*.

#### 2. Kadar Air (Sarah, 2018b)

Minyak kelapa sawit ditimbang sebanyak 10g ( $m_1$ ) dioven selama 24 jam pada suhu 105°C setelah itu didinginkan selama 30 menit dan ditimbang kembali ( $m_2$ ). Kadar air basis basah dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

$m_1$  = bobot minyak sawit awal (g)

$m_2$  = bobot minyak sawit setelah di oven (g)

**3. Rendemen Minyak Kelapa Sawit** (Pakdeechot, 2021)

Rendemen minyak kelapa sawit dihitung berdasarkan perbandingan antara bobot buah kelapa sawit segar ( $m_1$ ) dengan bobot minyak yang terekstrak ( $m_2$ ) dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$m_1$  = bobot buah kelapa sawit segar (g)

$m_2$  = bobot minyak buah kelapa sawit yang terekstrak (g)

**4. Asam Lemak Bebas (ALB)** (Pakdeechot, 2021; Zamanhuri, 2017)

Minyak kelapa sawit ditimbang sebanyak 3g (m), dilarutkan dengan 40mL isopropanol dan dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 135°C selama 1 menit. Setelah itu ditambahkan tiga tetes larutan fenolftalein dan dititrasi menggunakan KOH yang sudah diencerkan dan diketahui normalitasnya (N) sampai larutan menjadi merah (V). Rasio perhitungan konsentrasi terhadap volume minyak ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$\text{ALB (\%)} = \frac{V \times N \times (25,6)}{m} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

V = volume KOH (mL)

N = Normalitas KOH (N)

m = bobot minyak (g)

**5. DOBI** (Zamanhuri, 2021)

Minyak kelapa sawit 0,1g dilarutkan dalam 25mL etanol absolut dimasukkan ke dalam kuvet sampai  $\frac{3}{4}$  volume kuvet. Kuvet yang berisi minyak kelapa sawit dimasukkan ke dalam Spektrofotometer UV-Vis dengan pembacaan absorbansi pada 446 nm dan 269 nm. DOBI dapat dihitung pada Persamaan 4.

$$\text{DOBI} = \frac{\text{Absorbance } 446 \text{ nm}}{\text{Absorbance } 269 \text{ nm}} \dots\dots\dots (4)$$

**6. Karoten** (Harahap, 2020)

Minyak kelapa sawit 0,1g (w) dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25mL dan diencerkan dengan etanol, kemudian dimasukkan ke dalam kuvet dan diukur absorbansi spektrofotometri pada panjang 446nm (A). Nilai karoten dapat dihitung pada Persamaan 5.

$$\text{carotene(ppm)} = \frac{25 \times 383 \times -A}{w \times 100} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

A = Absorbansi (nm)

w = Bobot minyak (g)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Suhu Sterilisasi

Pengaruh lama sterilisasi buah kelapa sawit terhadap suhu sterilisasi buah kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan ANOVA, lama sterilisasi buah kelapa sawit berpengaruh nyata terhadap suhu sterilisasi buah kelapa sawit. Suhu sterilisasi buah kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* sebesar 77,42-122,90°C lebih rendah dibandingkan suhu sterilisasi buah kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan bejana rebusan sebesar 140°C.

**Tabel 1.** Suhu (°C) Sterilisasi Buah Kelapa Sawit

Lama sterilisasi (menit)	Suhu Sterilisasi (°C)
Bejana rebusan	140,00 ± 0,81 <sup>a</sup>
3	77,42 ± 5,08 <sup>b</sup>
5	85,59 ± 2,19 <sup>c</sup>
7	94,06 ± 2,04 <sup>cd</sup>
9	97,65 ± 2,48 <sup>d</sup>
11	109,30 ± 0,88 <sup>e</sup>
13	122,90 ± 15,41 <sup>f</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf nyata 5%.

Tabel 1 menunjukkan bahwa suhu sterilisasi buah kelapa sawit meningkat seiring dengan peningkatan lama sterilisasi buah kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven*. Sesuai dengan Cheng *et al.*, (2011); Chow & Ma, (2007); Keying *et al.*, (2009) semakin lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* akan menghasilkan suhu yang semakin tinggi. Menurut Cheng *et al.*, (2011) buah kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* pada daya 800W selama 4 menit menghasilkan suhu 157°C lebih tinggi daripada suhu sterilisasi selama 3 menit pada penelitian ini. Sedangkan penelitian Chow & Ma, (2007) sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* (800W) selama 5 menit mendapatkan suhu sebesar 89,94°C mendekati suhu pada lama sterilisasi 5 menit yaitu sebesar 85,59 °C. Menurut Sarah & Taib, (2013b) buah kelapa sawit yang disterilisasi sebanyak 500 g menggunakan *microwave oven* pada daya 599,82W selama 8,33 menit menghasilkan suhu sterilisasi buah kelapa sawit sebesar 82°C lebih rendah daripada sterilisasi selama 9 menit.

Tabel 1. menunjukkan sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan bejana rebusan selama 90 menit menghasilkan suhu sebesar 140°C. Suhu ini sesuai dengan penelitian Hadi *et al.*, (2016) sebanyak 265kg TBS disterilisasi menggunakan bejana rebusan selama 70 menit menghasilkan suhu sterilisasi buah kelapa sawit sebesar 140°C. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Junaidah *et al.*, (2015) sterilisasi TBS menggunakan bejana rebusan selama 20 menit menghasilkan suhu ruang sebesar 124,14°C, hal ini dipengaruhi oleh tekanan dan lama sterilisasi. Menurut Bonnie & Choo, (1999); Vollmer, (2004) sterilisasi menggunakan *microwave oven* menghasilkan energi yang terserap dari bahan sehingga memicu terjadinya eksitasi dan menyebabkan penguapan air dari sel buah kelapa sawit serta meningkatkan suhu selama sterilisasi. Menurut Clemens., (1998); Keying *et al.*, (2009) penyerapan radiasi gelombang mikro pada bahan meningkatkan kepadatan uap air di dalam ruang dan mempercepat transformasi energi gelombang mikro menjadi energi panas. Menurut Laghari.,

(2014); Merino-Pérez *et al.*, (2015) perpindahan panas konduktif terjadi karena adanya perputaran antara rotasi molekul air dan konduksi ionik dalam bahan sehingga menghasilkan panas yang seragam. Perpindahan konveksi terjadi ketika panas *microwave oven* merambat pada piringan sehingga panas tersebut diserap oleh bahan (Guzik *et al.*, 2022). Menurut Peishi & Pei., (1989) keseimbangan suhu menunjukkan hubungan jumlah yang teradsorpsi pada penguapan air selama waktu tertentu. Semakin banyak air yang diserap pada buah sawit segar akan menyebabkan peningkatan suhu pada mesocarp dan kernel (Cheng *et al.*, 2011). Suhu dan lama sterilisasi mempengaruhi terjadinya degradasi mutu pada buah kelapa sawit (Bonnie & Choo, 1999).

## 2. Kadar Air Minyak Kelapa Sawit

Pengaruh lama sterilisasi buah kelapa sawit terhadap karakteristik kadar air minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan ANOVA, lama sterilisasi buah kelapa sawit berpengaruh nyata terhadap kadar air minyak kelapa sawit. Kadar air minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* selama 3-13 menit sebesar 0,04-1,23% lebih rendah dibandingkan dari kadar air minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan bejana rebusan sebesar 4,45% .

**Tabel 2.** Kadar Air (%) Minyak Kelapa Sawit

Lama sterilisasi (menit)	Kadar Air Minyak (%)
Bejana rebusan	4,45 ± 1,19 <sup>a</sup>
3	1,23 ± 0,17 <sup>b</sup>
5	1,08 ± 0,09 <sup>b</sup>
7	0,55 ± 0,12 <sup>c</sup>
9	0,54 ± 0,09 <sup>c</sup>
11	0,20 ± 0,07 <sup>d</sup>
13	0,04 ± 0,04 <sup>d</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf nyata 5%.

Penurunan kadar air minyak kelapa sawit yang dihasilkan seiring dengan peningkatan lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven*. Sedangkan hasil kadar air buah kelapa sawit yang menggunakan sterilisasi uap bejana rebusan pada 30-40Psi dengan durasi antara 75-90 menit sebesar 4,119% lebih tinggi dibandingkan kadar air pada minyak kelapa sawit pada penelitian Cheng *et al.*, (2011) sebesar 3% dan pada penelitian Onwuka & Akaerue., (2006) kadar air minyak kelapa sawit berkisar 3,89%. Pada penelitian Nokkaew, (2014) kadar air buah kelapa sawit Tenera yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* (850W, 2 menit) menghasilkan kadar air buah kelapa sawit sebesar 8,49%. Menurut Cheng *et al.*, (2011) kadar air minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* (850W) selama 5 menit menghasilkan kadar air sebesar 0,05% lebih rendah dibandingkan kadar air sterilisasi buah kelapa selama 5 menit (1,08%) pada penelitian ini.

Menurut Peishi & Pei., (1989) terdapat tiga mekanisme utama perpindahan uap air internal yaitu aliran kapiler air bebas, pergerakan air terikat, dan perpindahan uap pada permukaan air bebas melalui rongga material. Menurut Laghari., (2014); Merino-Pérez *et al.*, (2015) gelombang mikro menyebabkan rotasi dipol dan konduksi ionik dalam bahan lignoselulosa sehingga menghasilkan panas yang seragam dalam waktu singkat. Menurut Sarah *et al.*, (2014) buah kelapa sawit yang mengandung kadar air akan menyerap energi dari

gelombang mikro dan energi tersebut diubah menjadi energi termal sehingga menyebabkan peningkatan suhu pada buah kelapa sawit. Sedangkan menurut Chow & Ma, (2007) suhu tinggi memicu terjadinya hidrolisis polisakarida dari air buah sehingga menyebabkan kekeringan pada buah. Menurut von Hippel & Morgan., (1955) kecepatan kehilangan air pada buah dapat dipengaruhi temperatur, sensitivitas sistem, ketebalan lapisan, dimensi dan bentuk kernel.

### 3. Rendemen Minyak Kelapa Sawit

Pengaruh lama sterilisasi buah kelapa sawit terhadap rendemen minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan ANOVA, lama sterilisasi buah kelapa sawit berpengaruh nyata terhadap rendemen minyak kelapa sawit. Rendemen minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* sebesar 9,35-17,81% lebih rendah dibandingkan rendemen minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan bejana rebusan sebesar 21,31%.

**Tabel 3.** Rendemen (%) Minyak Kelapa Sawit

Lama sterilisasi (menit)	Rendemen (%)
Bejana rebusan	21,31 ± 1,61 <sup>a</sup>
3	15,86 ± 2,23 <sup>bc</sup>
5	15,40 ± 1,94 <sup>bc</sup>
7	17,81 ± 1,41 <sup>ab</sup>
9	12,69 ± 3,96 <sup>c</sup>
11	10,49 ± 3,26 <sup>d</sup>
13	9,35 ± 2,96 <sup>d</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf nyata 5%.

Rendemen meningkat seiring peningkatan lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* pada lama sterilisasi 3-7 menit (15,85-17,81%) kemudian menurun pada lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* 9-13 menit (9,35-12,69%). Rendemen tertinggi minyak kelapa sawit menggunakan *microwave oven* terdapat pada lama sterilisasi 7 menit (17,81%). Lama sterilisasi buah kelapa sawit selama 11 menit (10,49%) tidak berbeda nyata terhadap lama sterilisasi 13 menit (9,35%). Rendemen minyak kelapa sawit sterilisasi menggunakan bejana rebusan sebesar 21,31% lebih rendah dibandingkan penelitian Pakdeechot., (2021) karena sterilisasi TBS menggunakan bejana rebusan selama 60 menit memperoleh rendemen minyak sebesar 26,72%. Hal ini dikarenakan minyak yang diekstrak dari bejana rebusan mengandung kadar air yang lebih tinggi.

Menurut Cheng *et al.*, (2011) buah kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* (850W) selama 4 menit menghasilkan rendemen minyak kelapa sawit sebesar 19,98% lebih tinggi daripada rendemen minyak kelapa sawit yang disterilisasi selama 5 menit (15,40%). Menurut Chow & Ma., (2007); Zamanhuri., (2017,2021) perbedaan rendemen ini disebabkan oleh perbedaan kadar air pada buah yang dikeringkan selama pemanasan menggunakan gelombang mikro menimbulkan getaran molekul air dalam sel buah kelapa sawit yang membuat perubahan struktur sel. Menurut Chow & Ma., (2007); Zamanhuri., (2021) perubahan struktur sel tersebut menyebabkan buah kelapa sawit keras sehingga sulit dipresing dan mempengaruhi kuantitas pada rendemen.

#### 4. Asam Lemak Bebas (ALB)

Pengaruh lama sterilisasi buah kelapa sawit terhadap karakteristik ALB minyak kelapa sawit dapat dilihat pada *Tabel 4*. Berdasarkan ANOVA, lama sterilisasi buah kelapa sawit berpengaruh nyata terhadap ALB minyak kelapa sawit. ALB minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* sebesar 0,48–0,55% lebih rendah dibandingkan ALB minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan bejana rebusan sebesar 2,47%.

**Tabel 4.** Asam Lemak Bebas (%) Minyak Kelapa Sawit

Lama sterilisasi (menit)	Asam Lemak Bebas (%)
Bejana rebusan	2,47 ± 0,41 <sup>a</sup>
3	0,54 ± 0,09 <sup>b</sup>
5	0,55 ± 0,20 <sup>b</sup>
7	0,51 ± 0,23 <sup>b</sup>
9	0,48 ± 0,14 <sup>b</sup>
11	0,48 ± 0,28 <sup>b</sup>
13	0,48 ± 0,16 <sup>b</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf nyata 5%.

Lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* selama 3-13 menit tidak berbeda nyata terhadap ALB minyak kelapa sawit. ALB cenderung menurun seiring peningkatan lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* (0,55-0,48%) sesuai dengan Keying et al., (2009); Sarah & Taib, (2013b) semakin lama waktu sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* semakin menurunkan konsentrasi ALB minyak kelapa sawit. ALB minyak kelapa sawit terendah terdapat pada lama sterilisasi buah kelapa sawit 9-13 menit (0,48%), hal ini sesuai dengan penelitian Sarah & Taib., (2013) sterilisasi buah kelapa sawit dengan *microwave oven* (1.199,63W; 500 g) mendapatkan ALB sebesar 0,48%. Menurut Keying et al., (2009); Sarah & Taib, (2013b) hal itu terjadi karena suhu yang tinggi selama peningkatan lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* dapat menonaktifkan enzim lipase sehingga mencegah terjadinya hidrolisis pada minyak buah kelapa sawit. Interaksi dari suhu dan kelembaban memainkan peran dalam proses inaktivasi termal karena semakin tinggi suhu akhir semakin besar menurunkan aktivitas lipase (Östbring et al., 2014).

ALB minyak kelapa sawit yang disterilisasi selama 90 menit menggunakan bejana rebusan sebesar 2,47% lebih besar dibandingkan dengan Pakdeechot., (2021) TBS yang sterilisasi menggunakan bejana rebusan pada tekanan 1,5 psi selama 60 menit menghasilkan ALB sebesar 0,95% dan penelitian Junaidah et al., (2015) TBS yang disterilisasi selama 50 menit mendapatkan ALB minyak kelapa sawit sebesar 0,67%. Menurut Ruswanto & Gunawan., (2018) meningkatnya kadar asam lemak bebas pada brondolan yang disterilisasi ini menunjukkan adanya proses kerusakan minyak melalui mekanisme proses hidrolisis, yang terjadi karena kerusakan minyak akibat kerusakan spontan minyak dalam mesocarp atau daging buah sawit. Menurut Nokkaew., (2014) ALB minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan bejana rebusan lebih tinggi dikarenakan minyak mengandung kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan terjadinya hidrolisis sedangkan menurut Ruswanto et al., (2020) ALB yang tinggi disebabkan oleh tingkat kematangan buah dan faktor penundaan pemrosesan (Tan et al., 2017).



Pada penelitian Zamanhuri., (2017) sterilisasi buah kelapa sawit sebanyak 200 g menggunakan *microwave oven* (800W) selama 2 menit menghasilkan ALB sebesar 4,08% lebih tinggi daripada ALB minyak kelapa sawit yang disterilisasi selama 3 menit (0,54%). Sedangkan menurut Cheng *et al.*, (2011) ALB minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* (850W) selama 5 menit menghasilkan ALB minyak kelapa sawit sebesar 0,26% lebih rendah daripada ALB minyak kelapa sawit pada penelitian ini. Menurut Sarah *et al.*, (2018); Sarah & Taib, (2013a) lama penundaan pemrosesan mengakibatkan hidrolisis bereaksi dengan air, minyak dan enzim lipase sehingga menghasilkan ALB lebih tinggi

Menurut Yahya *et al.*, (1998) keberadaan air dalam sistem reaksi transesterifikasi akan menimbulkan reaksi yang mempengaruhi integritas struktural, polaritas situs aktif, dan stabilitas protein pada enzim. Lipase juga mengkatalisis derivatisasi enantioselektif sejumlah reaksi esterifikasi (hidrolisis) dan transesterifikasi dalam pemecahan lemak pada minyak. Menurut Basheer *et al.*, (1995); Macrae & Hammond., (1985) reaksi hidrolisis kadar air mempengaruhi posisi kesetimbangan reaksi enzim dan mempengaruhi inaktivasi termo enzim (Reslow., 1988), bahkan ketika enzim terikat secara kovalen (Carta *et al.*, 1991). Menurut Zaks & Klivanov., (1988) panas meningkatkan residensi hidrolisis aktif pada enzim dan mengakibatkan kenaikan rantai dari molekul substrat ke permukaan enzim sehingga memberikan daya tarik dipolar terhadap ikatan lemak yang terpolarisasi lemah (Triantafyllou *et al.*, 1995).

### 5. Deterioration of Bleachability Index (DOBI)

Pengaruh lama sterilisasi buah kelapa sawit terhadap karakteristik DOBI minyak kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan ANOVA, lama sterilisasi buah kelapa sawit berpengaruh nyata terhadap DOBI minyak kelapa sawit. DOBI minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* sebesar 3,06-5,62nm lebih tinggi dibandingkan DOBI minyak kelapa sawit menggunakan bejana rebusan sebesar 2,56 nm.

**Tabel 5.** DOBI (nm) Buah Kelapa Sawit

Lama sterilisasi (menit)	DOBI (nm)
Bejana rebusan	2,56 ± 0,26 <sup>a</sup>
3	3,41 ± 0,58 <sup>ab</sup>
5	3,06 ± 1,17 <sup>b</sup>
7	3,88 ± 0,38 <sup>bc</sup>
9	5,62 ± 0,33 <sup>d</sup>
11	4,71 ± 0,46 <sup>cd</sup>
13	5,61 ± 0,57 <sup>d</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf nyata 5%.

DOBI mengalami penurunan seiring peningkatan lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* sampai pada lama sterilisasi buah kelapa sawit 5 menit (3,06nm). Namun, mengalami peningkatan pada lama sterilisasi buah kelapa sawit 7-9 menit (3,88-5,62nm) menurun kembali pada lama sterilisasi buah kelapa sawit 11 menit (4,71nm) dan terjadi peningkatan kembali pada lama sterilisasi buah kelapa sawit 13 menit (5,61nm). Perlakuan tertinggi pada penelitian ini terdapat pada lama sterilisasi buah kelapa sawit 9 menit (5,62nm).

Menurut Abdul, (2012); Jusoh et al., (2013) standar DOBI pada industri harus lebih tinggi 2,3 nm. Menurut Jusoh et al., (2013) sterilisasi TBS menggunakan bejana rebusan pada tingkat kematangan masak dengan suhu 109°C selama 20 menit menghasilkan nilai DOBI sebesar 3,06nm. Menurut Makky, (2020) sterilisasi TBS varietas Tenera menggunakan bejana rebusan pada tekanan 15-45Psi dengan suhu 100°C selama 90 menit menghasilkan nilai DOBI sebesar 3,78nm lebih tinggi dibandingkan sterilisasi nilai DOBI yang diperoleh dari penelitian ini. Menurut Ruswanto *et al.*, (2020) DOBI rendah disebabkan oleh kematangan buah sawit, kontaminasi minyak dengan kondensat dan sterilisasi yang berkepanjangan sehingga menyebabkan kerusakan oksidatif pada minyak akibat transfer panas dari sterilizer (steam). Menurut Tan., (2017) penurunan DOBI minyak sawit terjadi karena keterlambatan pengolahan dan lama proses sterilisasi kelapa sawit (Pootao & Kanjanapongkul, 2016).

Berdasarkan penelitian Nokkaew., (2014) buah kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* (850W) selama 2 menit menghasilkan DOBI minyak kelapa sawit sebesar 2,36nm lebih rendah daripada nilai DOBI yang disterilisasi selama 3 menit (3,41 nm). Menurut Makky, (2020) DOBI minyak kelapa sawit pada sterilisasi menggunakan *microwave oven* lebih rendah karena adanya pengaruh daya dan suhu yang berbeda pada setiap lama sterilisasi. Menurut Abdul., (2012); Jusoh *et al.*, (2013); Pootao & Kanjanapongkul., (2016) DOBI meningkat seiring dengan waktu pemanasan yang dipengaruhi oleh kematangan buah sawit dan stabilitas oksidatif pada suhu tinggi (120°C). Menurut Jusoh (2013) semakin tinggi DOBI, semakin tinggi kemungkinan adanya oksidasi dan degradasi minyak tersebut. Oleh karena itu, DOBI yang tinggi pada CPO menandakan adanya kerusakan atau oksidasi yang telah terjadi, yang dapat mempengaruhi kualitas dan daya tahan minyak tersebut. DOBI pada suhu pemanasan yang lebih dari 105°C dapat menurunkan kualitas minyak kelapa sawit.

## 6. Karoten

Pengaruh lama sterilisasi terhadap karakteristik karoten buah kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 6. Berdasarkan ANOVA, lama sterilisasi buah kelapa sawit berpengaruh nyata terhadap karoten minyak kelapa sawit. Karoten minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* selama 3-13 menit sebesar 200,01-866,25ppm lebih tinggi 674,73ppm dibandingkan karoten minyak kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan bejana rebusan sebesar 866,25ppm.

**Tabel 6.** Karoten (ppm) Minyak Kelapa Sawit

Lama sterilisasi (menit)	Karoten (ppm)
Bejana rebusan	191,52 ± 29,14 <sup>a</sup>
3	362,25 ± 63,43 <sup>b</sup>
5	502,26 ± 61,71 <sup>c</sup>
7	675,52 ± 28,52 <sup>d</sup>
9	866,25 ± 50,96 <sup>e</sup>
11	209,19 ± 94,19 <sup>a</sup>
13	200,01 ± 15,95 <sup>a</sup>

Keterangan: Notasi huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf nyata 5%.

Karoten minyak kelapa sawit meningkat seiring peningkatan lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* sampai 9 menit (866,25ppm), kembali menurun pada lama sterilisasi buah kelapa sawit 11 menit (209,19 ppm), dan meningkat pada lama sterilisasi buah kelapa sawit 13 menit (200,01ppm). Perlakuan tertinggi pada penelitian ini

terdapat pada lama sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* 9 menit (866,25ppm). Menurut Sivasothy et al., (2005) sterilisasi TBS menggunakan bejana rebusan selama 20-30 menit dengan tekanan 10Psi menghasilkan karoten sebesar 546ppm lebih tinggi dibandingkan karoten pada penelitian ini hal ini dikarenakan perbedaan tekanan *steam* dan cemaran buah kelapa sawit selama proses sterilisasi.

Pada penelitian Salamah & Sarah., (2019) sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* dengan daya 800W sebanyak 1.170g selama 2 menit menghasilkan karoten sebesar 404ppm lebih tinggi daripada nilai karoten yang disterilisasi selama 3 menit (362,25ppm). Menurut Marcus Karel, (2004); Zamanhuri, (2021) iradiasi gelombang mikro dengan waktu sterilisasi singkat pada tingkat daya tinggi menghasilkan minyak sawit karotenoid dengan antioksidan yang tinggi. Sedangkan menurut Chan et al., (2011); Cheng et al., (2011); Chow & Ma, (2007); Kha et al., (2013) sterilisasi menggunakan *microwave oven* dengan daya lebih dari 630W akan menyebabkan oksidasi. Menurut Marcus Karel., (2004); Nokkaew., (2014); Sarah., 2018a; Sarah & Taib, (2013a) sterilisasi menggunakan *microwave oven* dapat menghilangkan degradasi karotenoid dalam minyak sawit sehubungan dengan waktu reduksi enzim.

Berdasarkan penelitian Nokkaew, (2014) buah kelapa sawit yang disterilisasi menggunakan *microwave oven* dengan daya 850W selama 2 menit menghasilkan karoten minyak kelapa sawit sebesar 882,55ppm. Sedangkan pada penelitian Chow & Ma, (2007) sterilisasi TBS menggunakan *microwave oven* pada suhu 100°C selama 0,66 menit menghasilkan karoten sebesar 881ppm hampir sama dengan nilai karoten yang disterilisasi selama 9 menit (866,26ppm). Nokkaew & Punsuvon, (2014) menemukan karoten pada minyak kelapa sawit dipengaruhi oleh waktu mengekstrak buah kelapa sawit dan proporsi air yang digunakan dalam metode ekstraksi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan bejana rebusan dan *microwave oven* berpengaruh nyata terhadap suhu ruang, kadar air, rendemen, ALB, DOBI dan karoten. Perlakuan terbaik terdapat pada sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* selama 7 menit dengan parameter suhu ruang 94,06°C, kadar air 0,55%, rendemen 17,81%, ALB 0,51%, DOBI 3,88nm dan karoten 675,52ppm.

### Saran

Perlu dilakukan penurunan waktu dan daya saat sterilisasi buah kelapa sawit menggunakan *microwave oven* agar menghasilkan ekstrak yang bagus karena hal ini sangat berpengaruh pada kuantitas rendemen minyak buah kelapa sawit.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada perusahaan PT.Agro Mitra Madani yang telah memfasilitasi pelaksanaan penelitian.

## PENDANAAN

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal dari pihak mana pun.

## CONFLIC OF INTERST

Penulis menyatakan tidak ad konflik kepentingan dengan pihak mana pun.

## DAFTAR REFERENSI

- Ab Hadi, A. Bin, Wahab Mohammad, D. I. A., & Sobri Takriff, I. M. (2016). Determination of Optimum Sterilization Condition Based on Calculated Heat Transfer Rate for Palm Oil Mill Process. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(13), 8475–8480.
- Basheer, S., Mogi, K. -i, & Nakajima, M. (1995). Surfactant-Modified Lipase for the Catalysis of the Interesterification of Triglycerides and Fatty Acids. *Biotechnology and Bioengineering*, 45(3), 187–195. <https://doi.org/10.1002/bit.260450302>
- Bonnie, T., & Choo, Y. (1999). Oxidation and Thermal Degradation of Carotenoids. *Journal of Oil Palm Research*, 11(1), 62–78.
- BPS. (2023). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2022*. Badan Pusat Statistik.
- Carta, G., Gainer, J. L., & Benton, A. H. (1991). Enzymatic Synthesis of Esters Using an Immobilized Lipase. *Biotechnology and Bioengineering*, 37(11), 1004–1009. <https://doi.org/10.1002/bit.260371104>
- Chan, C. H., Yusoff, R., Ngoh, G. C., & Kung, F. W. L. (2011). Microwave oven-assisted extractions of active ingredients from plants. *Journal of Chromatography A*, 1218(37), 6213–6225. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.07.040>
- Chang, J. S. L., Law, M. C., Chan, Y. S., & Leo, C. P. (2015). Effects of Microwave oven Heating on Oil Palm Mesocarp. *Chemical Engineering Transactions*, 1(45), 1633–1638. <https://doi.org/10.3303/CET1545273>
- Cheng, S. F., Nor L., M., & Chuah, C. H. (2011). Microwave oven Pretreatment: A Clean and Dry Method for Palm Oil Production. *Industrial Crops and Products*, 34(1), 967–971. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.03.002>
- Chow, M. C., & Ma, A. N. (2007). Processing of Fresh Palm Fruits Using Microwave ovens. *Journal of Microwave oven Power and Electromagnetic Energy*, 40(3), 165–173. <https://doi.org/10.1080/08327823.2005.11688538>
- Clemens, S. . (1998). Numerical Modeling of Materials Processing in Microwave oven Furnaces. *Computational Mechanics*, 21(3), 199–210. <https://doi.org/10.1007/s004660050295>
- Ditjebun. (2021). Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2019-2021. In *Direktorat Jendral Perkebunan Kementerian Pertanian Republik Indonesia*.
- Guzik, P., Kulawik, P., Zając, M., & Migdał, W. (2022). Microwave oven Applications in the Food Industry: an Overview of Recent Developments. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(29), 7989–8008. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1922871>
- H. Abdul. (2012). Dry Heating of Palm Fruits: Effect on Selected Parameters. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(2), 128–131. <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2012.128.131>

- Harahap, S. (2020). Analisa Kandungan Beta Karoten Pada CPO (Crude Palm Oil) di Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan Menggunakan Spektrofotometri UV-VIS. *QUIMICA: Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 2(1), 9-13. <https://doi.org/10.33059/jq.v2i1.2616>
- Hock, T. K., Chala, G. T., & Cheng, H. H. (2020). An innovative Hybrid Steam-Microwave oven Sterilization of Palm Oil Fruits at Atmospheric Pressure. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 60(102289), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102289>
- Junaidah, M. J., Norizzah, A. R., Zaliha, O., & Mohamad, S. (2015). Optimisation of Sterilisation Process for Oil Palm Fresh Fruit Bunch at Different Ripeness. *International Food Research Journal*, 22(1), 275-282.
- Jusoh, J. M., Rashid, N. A., & Omar, Z. (2013). Effect of Sterilization Process on Deterioration of Bleachability Index (DOBI) of Crude Palm Oil (CPO) Extracted from Different Degree of Oil Palm Ripeness. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3(4), 322-327. <https://doi.org/10.7763/IJBBB.2013.V3.223>
- Keying, Q., Changzhong, R., & Zaigui, L. (2009). An Investigation on Pretreatments for Inactivation of Lipase in Naked Oat Kernels Using Microwave oven Heating. *Journal of Food Engineering*, 95(2), 280-284. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.05.002>
- Kha, T. C., Nguyen, M. H., Roach, P. D., & Stathopoulos, C. E. (2013). Effects of Gac Aril Microwave oven Processing Conditions on Oil Extraction Efficiency and B-carotene and Lycopene Contents. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 486-491. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.021>
- Kumaradevan, D., Chuah, K. H., Moey, L. K., Mohan, V., & Wan, W. T. (2015). Optimising the Operational Parameters of a Spherical Steriliser for the Treatment of Oil Palm Fresh Fruit Bunch. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 88(1), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/88/1/012031>
- Laghari, S. M. (2014). Microwave oven Individual and Combined Pre-Treatments on Lignocellulosic Biomasses. *IOSR Journal of Engineering*, 4(2), 14-27. <https://doi.org/10.9790/3021-04261427>
- Law, M. C., Chang, J. S. L., Chan, Y. S., Pui, D. Y., You, K. Y., Chang, J. S. L., Chan, Y. S., Pui, D. Y., & You, K. Y. (2018). Experimental Characterization and Modeling of Microwave oven Heating of Oil Palm Kernels, Mesocarps and Empty Fruit Bunches. *Drying Technology*, 1(1), 1-23. <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1439057>
- Liew, W. L., Kassim, M. A., Muda, K., Loh, S. K., & Affam, A. C. (2015). Conventional Methods and Emerging Wastewater Polishing Technologies for Palm Oil Mill Effluent Treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 149, 222-235. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.10.016>
- Macrae, A. R., & Hammond, R. C. (1985). Present and Future Applications of Lipases. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews*, 3(1), 193-217. <https://doi.org/10.1080/02648725.1985.10647813>

- Makky. (2020). Oil Palm FFB Dry Heat Sterilization Through Electromagnetic Radiation. *OP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/583/1/012028>
- Marcus Karel, D. B. L. (2004). Physical Principles of Food Preservation. In *Journal of Food Processing and Preservation* (Vol. 28, Issue 6). [https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2004.28601\\_1\\_1.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2004.28601_1_1.x)
- Merino-Pérez, O., Martínez-Palou, R., Labidi, J., & Luque, R. (2015). Microwave oven Assisted Pretreatment of Lignocellulosic Biomass to Produce Biofuels and Value Added Products. In R. Luque (Ed.), *Production of Biofuels and Chemicals with Microwave oven* (pp. 197–224). [https://doi.org/10.1007/978-94-017-9612-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9612-5_10)
- Muria, S. R., Chairul, & Dina, C. N. (2020). Pemanfaatan Mikroalga *Chlorella* sp. untuk Pengolahan Palm Oil Effluent (POME) Secara FED BATCH. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 19(1), 7–12.
- Nokkaew, R. (2014). Sterilization of Oil Palm Fruits by Microwave oven Heating for Replacing Steam Treatment in Palm Oil Mill Process. *Advanced Materials Research*, 1025–1026(1), 470–475. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.470>
- Nugroho, A. (2019). Teknologi Agroindustri Kelapa Sawit. In *Press* (Issue 70).
- Onwuka, G. I., & Akaerue, B. I. (2006). Evaluation of the Quality of Palm Oil Produced by Different Methods of Processing. *Research Journal of Biological Sciences I*, 1(4), 16–19.
- Östbring, K., Rayner, M., Sjöholm, I., Otterström, J., Albertsson, P. Å., Emek, S. C., & Erlanson-Albertsson, C. (2014). The Effect of Heat Treatment of Thylakoids on Their Ability to Inhibit in Vitro Lipase/Co-Lipase Activity. *Food and Function*, 5(9), 2157–2165. <https://doi.org/10.1039/c3fo60651a>
- Pakdeechot, S. (2021). Effects of Sterilization Times of Palm Bunches on Fruit-Bunch Separation, Crude Palm Oil Yield and Quality Using Direct Steaming. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 82(1), 1–9. <https://doi.org/10.37934/arfm.82.2.3946>
- Peishi, C., & Pei, D. C. T. (1989). A Mathematical Model of Drying Processes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 32(2), 297–310. [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(89\)90177-4](https://doi.org/10.1016/0017-9310(89)90177-4)
- Pootao, S., & Kanjanapongkul, K. (2016). Effects of Ohmic Pretreatment on Crude Palm Oil Yield and Key Qualitie. *Journal of Food Engineering*, 190(1), 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.06.021>
- Praselia, H., Annisa, N., Ariffin, A., Muhaimin, A. W., & Soemarno, S. (2016). Nilai Ekonomi, Lingkungan, dan Sosial dari Perkebunan Sawit Swadaya. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(1), 71–77. <https://doi.org/10.20527/jukung.v2i1.1059>
- Reslow, M., & Adlercreutz, Patrick Mattiasson, B. (1988). On the Importance of the Support Material for Bioorganic Synthesis. *European Journal of Biochemistry*, 172(3), 573–578. <https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1988.tb13927.x>

- Ruswanto, A., & Gunawan, S. (2018). Mempelajari Sifat Minyak Sawit dari Brondolan Pada Perlakuan Lama Sterilisasi dan Jumlah Water Dillution yang Berbeda. *Institut Pertanian STIPER*, 1(1), 129-135.
- Ruswanto, A., Ramelan, A. H., Praseptiangga, D., & Partha, I. B. B. (2020). Effects of Ripening Level and Processing Delay on the Characteristics of Oil Palm Fruit Bunches. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 10(1), 389-394. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.10.1.10987>
- Salamah, S., & Sarah, M. (2019). Process Optimization to Preserve  $\beta$ -Carotene During Palm Fruit Irradiation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1235(1), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1235/1/012066>
- Sarah, M. (2018a). Carotenoids Preservation During Sterilization of Palm Fruit Using Microwave oven Irradiation. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(3), 1009-1014.
- Sarah, M. (2018b). Response Surface Methodology to Optimize Microwave oven Sterilization of Palm Fruit. *Journal of Physics: Conference Series*, 1028(1), 1-7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1028/1/012004>
- Sarah, M., Ramadhan, M. R., & Zahra, A. (2018). Effect of Sterilization Time and Temperature on Fatty Acids, Carotenoids and Vitamin E of Oil Extracted from Palm Fruit Irradiated by Microwave oven Energy. *AIP Conference Proceedings*, 1(1), 1-8. <https://doi.org/10.1063/1.5064354>
- Sarah, M., & Taib, M. R. (2013a). Enzymatic Destruction Kinetics of Oil Palm Fruits by Microwave oven Sterilization. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(3), 129-133. <https://doi.org/10.7763/ijcea.2013.v4.278>
- Sarah, M., & Taib, M. R. (2013b). Microwave oven Sterilization of Oil Palm Fruits: Effect of Power, Temperature and D-value on Oil Quality. *Journal of Medical and Bioengineering*, 2(3), 153-156. <https://doi.org/10.12720/jomb.2.3.153-156>
- Sarah, M., Taib, M. R., & Adamu, A. (2014). Enzymatic Inactivation of Oil Palm Fruits: Comparison of Microwave oven Irradiation and Steam Bath Process. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 69(5), 55-60. <https://doi.org/10.11113/jt.v69.3205>
- Sivasothy, K., Mohd Halim, R., & Basiron, Y. (2005). a New System for Continuous Sterilization of Oil Palm Fresh Fruit Bunches. *Journal of Oil Palm Research*, 17(December), 145-151.
- Tan, C. H., Ariffin, A. A., Ghazali, H. M., Tan, C. P., Kuntom, A., & Choo, A. C. Y. (2017). Changes in Oxidation Indices And Minor Components of Low Free Fatty Acid and Freshly Extracted Crude Palm Oils Under Two Different Storage Conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1757-1764. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2569-9>
- Triantafyllou, A. Ö., Wehtje, E., Adlercreutz, P., & Mattiasson, B. (1995). Effects of Sorbitol Addition on the Action of Free and Immobilized Hydrolytic Enzymes in Organic Media. *Biotechnology and Bioengineering*, 45(5), 406-414. <https://doi.org/10.1002/bit.260450505>

- Utami, R., Putri, E. I. K., & Ekayani, M. (2018). Biaya Eksternal dan Internalisasi Limbah Pabrik Kelapa Sawi. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 8(2), 143–150. <https://doi.org/10.29244/jpsl.8.2.143-150>
- Vollmer, M. (2004). Physics of the Microwave oven Oven. *Physics Education*, 39(1), 74–81. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/39/1/006>
- von Hippel, A. R., & Morgan, S. O. (1955). Dielectrics and Waves. *Journal of The Electrochemical Society*, 102(3), 68C. <https://doi.org/10.1149/1.2430013>
- Yahya, A. R. M., Anderson, W. A., Moo-young, M., Sp, C. A. L., Sp, C. A. L., Sp, C. A. L., & Sp, C. A. L. (1998). Ester Synthesis in Lipase- Catalyzed Reactions. *Enzyme and Microbial Technology*, 0229(April), 438–450.
- Zaks, A., & Klibanov, A. M. (1988). Enzymatic Catalysis in Nonaqueous Solvents. *The Journal of Biological Chemistry*, 263(7), 3194–3201. [https://doi.org/10.1016/s0021-9258\(18\)69054-4](https://doi.org/10.1016/s0021-9258(18)69054-4)
- Zamanhuri. (2017). Kesan Pelbagai Tahap Kuasa dan Nisbah Berlainan Buah Terhadap Air Dalam Pensterilan Gelombang Mikro Buah Kelapa Sawit. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 21(4), 941–949. <https://doi.org/10.17576/mjas-2017-2104-21>
- Zamanhuri. (2021). Effect of Microwave oven Power and Extraction Time On Crude Palm Oil Quality Using Microwave oven-Assisted Extraction Process. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10(3), 495–505. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.35402>