

KAJIAN PENINGKATAN RENDEMEN, MUTU DAN KINETIKA ENZYMATIS PADA EKSTRAKSI LEMAK PALA (*Myristica fragrans* Houtt)

Shintawati*, Dewi Ermaya, Amelia Sri Rezki, Meita Afifah

Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Jurusan Teknologi Pertanian

Politeknik Negeri Lampung

Jl. Soekarno Hatta No 10, Bandar Lampung, 35215.

*Email: shintawati@polinela.ac.id

Abstrak

Biji pala memiliki nilai komersial sebagai rempah maupun sebagai bahan baku obat dan kosmetik. Biji pala mengandung lemak yang telah diaplikasikan sebagai pelembab di industri kosmetik. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan rendemen dan mutu lemak pala hasil ekstraksi dengan dan tanpa perlakuan enzimatis, serta pengaruh waktu ekstraksi dan mengkaji kinetika enzim selulase dalam mendegradasi biji pala. Hasil penelitian menunjukkan Ekstraksi lemak pala dengan perlakuan awal menggunakan selulase menghasilkan rendemen serta bilangan saponifikasi yang lebih baik dibandingkan ekstraksi tanpa perlakuan awal masing-masing adalah 28,45%, 23,02%, 224 dan 221 mg KOH/g lemak. Kinetika degradasi biji pala oleh selulase mengikuti kinetika Michaelis Menten dengan parameter yaitu laju reaksi maksimum, V_m dan konstanta Michaelis Menten, K_m masing-masing adalah 0,34464 g/L/menit dan 0,41156 g/L

Kata kunci: lemak, pala, selulase

1. PENDAHULUAN

Pala (*Myristica fragrans*) termasuk dalam famili *Myristicaceae* merupakan tanaman tropis dengan tinggi 5-15 meter. Indonesia merupakan salah satu penghasil pala terbesar yang menguasai 60-75% pasar pala dunia (Legoh et al., 2020). Tanaman pala tersebar di Aceh, Sumatera Barat, Lampung, Jawa Barat, Sulawesi, Maluku, Nusa Tenggara Barat dan Papua Barat.

Karakteristik tanaman pala dapat tumbuh dan berkembang cepat, memiliki kedalaman akar hampir sama dengan ketinggian pohonnya mengakibatkan pohon pala mampu menyimpan air dalam jumlah besar (Surnayanti et al., 2022). Nilai ekonomi dan ekologis tanaman pala yang cukup baik menjadikannya sebagai salah satu tanaman agroforestry yang dikembangkan oleh Kementerian KLHK dan digemari oleh petani hutan untuk dibudidayakan.

Buah pala terdiri dari daging buah (77,8%), biji (13,1%) tempurung (5,1%) dan fuli (4 %). Biji pala mengandung minyak atsiri yang sifatnya mudah menguap sekitar 3,5 -15% serta *fixed oil* /mentega pala/lemak pala sebesar 30, 36% (Hartanto et al., 2018). Lemak pala mengandung myristicin, asam miristat dan trimiristin. Asam miristat merupakan sumber zat aktif yang bersifat *emollient* atau melembabkan kulit (Jinous Asgarpanah, 2012). Kombinasi asam miristat sebagai pelembab dan trimiristin sebagai antioksidan, anti bakteri dan

jamur menjadikan lemak pala merupakan bahan baku yang digunakan industri kosmetik.

Salah satu yang mempengaruhi rendemen dan kualitas lemak pala adalah metode ekstraksi. Metode ekstraksi lemak pala antara lain pengepresan, soxletasi, dan ekstraksi dengan gelombang ultrasonik. Ekstraksi lemak biji pala dengan bantuan gelombang ultrasonik menghasilkan rendemen 18,14% (Sahar Poorhashemi, 2019). Ekstraksi lemak pala Afrika (*Pycnanthus Kombo*) dengan metode ekstraksi pelarut menghasilkan rendemen dua kali lebih tinggi dibandingkan metode pengepresan. Lemak hasil ekstraksi pelarut memiliki nilai saponifikasi yang tinggi dan potensial sebagai bahan baku sabun (Nagre et al., 2011).

Ekstraksi lemak dengan perlakuan awal menggunakan enzim telah diterapkan dalam ekstraksi lemak *Pycnanthus angolensis* (Chiwetalu et al., 2022) memberikan rendemen yang lebih tinggi dari ekstraksi pala tanpa pretreatment enzymatic. Metode pretreatment dengan enzimatis juga telah diterapkan dalam pengambilan lemak pada protista laut menggunakan enzim yang berasal dari bonggol nanas dengan hasil rendemen lemak yang terekstraksi lebih besar dibandingkan dengan ekstraksi tanpa pretreatment (Rollin et al., 2022). Kelebihan ekstraksi lemak menggunakan perlakuan awal menggunakan enzim adalah kerja enzim yang bersifat

spesifik dimana enzyme bekerja pada target tertentu yaitu dinding sel tanpa merusak bagian sel lainnya. Pemecahan dinding sel sebelum dilakukannya ekstraksi akan memudahkan lemak keluar dari sel sehingga rendemen dengan metode perlakuan enzim lebih tinggi (Rollin et al., 2022). Pengambilan lemak dari tanaman umumnya menggunakan enzyme selulase karena penyusun dinding sel tanaman sebagian besar adalah selulosa. Kajian kinetika degradasi selulase pada biji pala asal Indonesia serta pengaruh waktu ekstraksi enzymatic terhadap rendemen dan mutu lemak lada belum dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh waktu ekstraksi dan pretreatment enzimatis terhadap rendemen dan kualitas lemak pala yang meliputi nilai asam, bilangan saponifikasi, spesifik gravity serta mengevaluasi kinetika degradasi selulase pada biji pala menggunakan persamaan Michaelis Menten.

2. METODOLOGI

2.1. Bahan

Biji pala dari hutan produksi Register KPH Pematang Neba, Provinsi Lampung, selulase komersial, n-heksan, NaOH, 0,1 N KOH-alkohol, 0,5N HCl, akuades, DNS (3,5-Dinitrosalicylic Acid), fenol, Na₂S₂O₅, Na-K-Tartarat, buffer sitrat pH 5 dan glukosa. pa

2.2. Alat

Seperangkat alat ekstraksi sokhlet, alat distilasi sederhana, incubator, ayakan 80 mesh dan peralatan gelas.

2.3. Penyiapan Biji Pala

Biji pala dijemur selama 3 hari, hingga kadar air 10%, kemudian digiling dan diayak dengan ayakan 80 mesh.

2.4. Kinetika Selulase terhadap Bubuk Biji Pala

Penelitian ini diawali dengan penentuan konsentrasi biji pala yang menghasilkan aktivitas enzim selulase terbaik dalam mendegradasi dinding sel biji pala. Selulase 1% diinkubasi selama 40 menit pada suhu 37°C ke dalam erlenmeyer yang berisi biji pala bubuk dengan variasi konsentrasi biji pala 0,8%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5,7%. Setelah inkubasi dilakukan pengukuran produktifitas selulase. Produktifitas selulase dinyatakan dalam satuan International Unit per gram substrat kering

(UI/g). Satu UI enzim setara dengan enzim yang melepaskan 1 µmol produk akhir, glukosa per menit (Kaur et al., 2020) (Atsakou et al., 2023). Pengukuran kadar glukosa menggunakan Spektrofotometer UV Vis pada panjang gelombang 540 nm dengan metode DNS. Konsentrasi pala dengan aktifitas enzim tertinggi dijadikan acuan dalam tahap penelitian penentuan pengaruh waktu ekstraksi terhadap rendemen ekstraksi lemak pala secara enzimatis. Aktivitas selulase dihitung dengan rumus (Dian Puspitasari, 2020) :

$$AE = \frac{C \times H}{BM \text{ Glukosa} \times t \times E} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- AE = Aktivitas Enzim (UI/g)
- C = Konsentrasi glukosa (g/ml)
- t = waktu inkubasi = 40 menit
- H = Volume total enzim-biji pala (ml)
- E = Volume Enzim (ml)

2.5. Ekstraksi Biji Pala

Ekstraksi biji pala secara enzimatis diawali dengan menginkubasi selulase sebanyak 1% b/v ke dalam erlenmeyer yang berisi bubuk biji pala dengan konsentrasi yang diperoleh dari tahap sebelumnya yaitu 4% b/v selama 40 menit. Setelah inkubasi bubuk pala dipisahkan dari cairan dengan kertas saring. Bubuk pala tersebut dicampur dengan n-heksan dengan perbandingan 1:10 kemudian diekstraksi menggunakan kondensor tegak dengan waktu 25 menit, 35 menit, 45 menit dan 90 menit. Setelah ekstraksi, cairan dipisahkan dari padatnya dengan kertas saring, lalu cairan didistilasi untuk memisahkan n heksan dari lemak pala untuk dihitung rendemennya dengan persamaan (1).

Rendemen lemak pala dihitung menggunakan persamaan berikut (Vishwakarma et al., 2023):

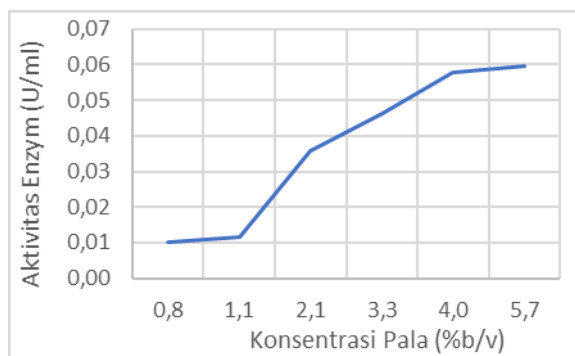
$$Rendemen (\%) = \frac{\text{Berat lemak (g)}}{\text{Beral biji pala (g)}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Sebagai pembanding dilakukan ekstraksi biji pala tanpa perlakuan awal enzimatis. Lemak pala yang diperoleh diuji bilangan asam (Suroso, 2013), bilangan saponifikasi, spesifik gravity (Nagre et al., 2011) serta perubahan gugus fungsi setelah ekstraksi diidentifikasi menggunakan FTIR.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kinetika Enzim Selulase terhadap Bubuk Biji Pala

Penelitian ini menggunakan selulase dengan konsentrasi 1% sebagaimana penelitian (Chacko & Vasudevan, 2016), bahwa konsentrasi selulase terbaik dalam mendegradasi dinding sel Cardamon untuk menghasilkan minyak volatil adalah 1%. Hasil penelitian ini menunjukkan aktivitas selulase dipengaruhi oleh konsentrasi biji pala, biji pala dengan konsentrasi 5,7%b/v menghasilkan aktivitas tertinggi yaitu 0,06UI/ml sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi Biji Pala terhadap Aktivitas Enzim.

Gambar 1 memperlihatkan pada konsentrasi pala 0,8 sd 1,1% aktivitas selulase meningkat dengan lambat, hal ini menunjukkan kurangnya jumlah substrat bubuk pala yang ditambahkan dibandingkan dengan jumlah enzim selulase yang digunakan. Aktivitas selulase meningkat pada konsentrasi biji pala 1,1 % - 4% hal ini menunjukkan peningkatan konsentrasi substrat pala mengakibatkan meningkatnya frekuensi pertemuan antara substrat pala dan enzim selulase, yang berimplikasi pada meningkatnya pembentukan produk (glukosa) akibat meningkatnya aktivitas enzim. Pada konsentrasi pala 4 g/L aktivitas enzim mulai mengalami perlambatan. Di atas konsentrasi 5 g/L grafik cenderung datar, aktivitas enzim mencapai nilai maksimum, pada kondisi ini enzim telah jenuh oleh substrat pala. Hubungan antara konsentrasi biji pala terhadap aktivitas selulase dapat didekati oleh persamaan Michaelis Menten sebagaimana persamaan 1 (Zhao et al., 2023):

$$V = \frac{V_m \cdot S}{K_m + S} \dots\dots\dots(1)$$

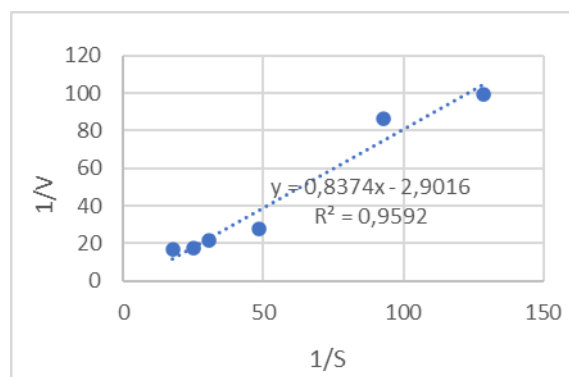
dimana

V = laju reaksi enzimatis (g/L/min)
 V_m = laju maksimum reaksi enzimatis(g/L/min)
 K = Konstanta Michaelis Menten (g/L)
 S = Konsentrasi substrat bubuk pala (g/L)

Parameter kinetika enzimatis diestimasi menggunakan persamaan 1 dengan mengatur ulang persamaan tersebut menjadi bentuk persamaan linier Lineweaver-Burk (Ardawati et al., 2014) :

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{V_m} + \frac{V_m}{K_m \cdot S} \dots\dots\dots(2)$$

Nilai V diwakili oleh aktivitas enzim selulase (UI/g). Dengan memplot 1/V terhadap 1/S maka diperoleh grafik linier, nilai 1/V_m merupakan titik intercept dengan sumbu Y dan V_m/K_m merupakan gradien grafik, sebagaimana Gambar 2 :



Gambar 2 . Kinetika Enzim Selulase pada Substrat Bubuk Pala

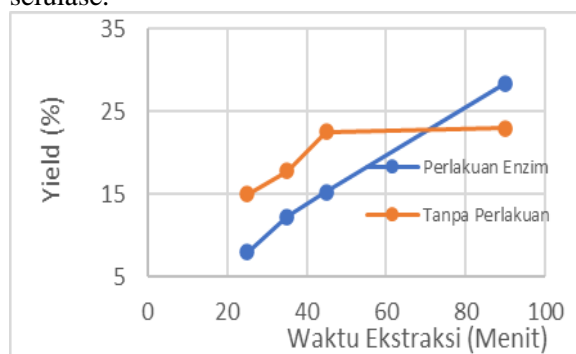
Gambar 2 menunjukkan terdapat hubungan linier antara konsentrasi substrat terhadap aktivitas selulase dengan R square = 0,9592 yang bermakna 95,92% data mengikuti kinetika yang dikemukakan oleh Michaelis Menten dengan nilai parameter kinetika yaitu laju reaksi maksimum, V_m dan konstanta Michaelis Menten, K_m masing-masing adalah 0,34464 g/L/menit dan 0,41156 g/L. Penelitian menunjukkan laju reaksi enzimatis penguraian biji pala oleh selulase tertinggi adalah 0,34464 g/L/menit, pada kondisi ini seluruh enzim dalam keadaan jenuh oleh substrat.

Konsentrasi substrat biji pala pada kondisi laju reaksi maksimum merupakan konsentrasi substrat tertinggi, diatas konsentrasi tersebut penambahan substrat tidak dapat meningkatkan laju reaksi. Nilai K_M penelitian ini adalah

0,41156 g/L menunjukkan konsentrasi substrat yang dibutuhkan selulase untuk mencapai laju reaksi setengah dari laju reaksi maksimumnya. Nilai K_M yang kecil menunjukkan enzim memiliki afinitas yang tinggi terhadap substrat, dibutuhkan konsentrasi substrat yang rendah untuk mencapai laju reaksi maksimum. (V_m) (Mardawati et al., 2019). Berdasarkan hasil penelitian awal kinetika selulase terhadap bubuk pala, maka pretreatment yang dilakukan terhadap bubuk pala sebelum ekstraksi adalah menginkubasi 4% b/v bubuk pala dengan 1% selulase selama 40 menit pada suhu 37°C.

3.2. Pengaruh Perlakuan Enzimatis dan Waktu Ekstraksi Terhadap Rendemen Lemak Pala

Biji pala yang telah diinkubasi dengan selulase dipisahkan dari cairannya dengan kertas saring. Padatan biji pala tersebut dimasukkan dalam labu leher tiga dan ditambahkan heksan sebagai pelarut untuk diekstraksi selama waktu yang ditentukan. Sebagai pembandingan dilakukan hal yang sama pada biji pala tanpa perlakuan awal pemberian selulase.



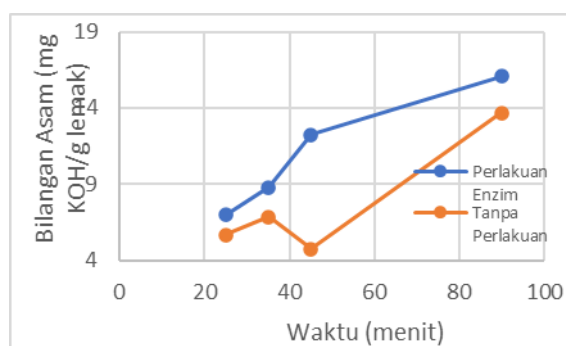
Gambar 3. Pengaruh Perlakuan Enzimatis dan Waktu Ekstraksi terhadap Yield Lemak Pala

Gambar 3 memperlihatkan perlakuan awal dengan enzim selulase menghasilkan yield tertinggi dibandingkan tanpa perlakuan masing-masing adalah 28,45% dan 23,02%. Hal ini menunjukkan aktivitas selulase mampu mendegradasi dinding sel dan membantu pelepasan lemak dari kantung lemak. Hal yang sama pada ekstraksi minyak kapulaga, aktivitas enzim mampu memecahkan dinding sel secara perlahan tanpa mengubah sifat fisika kimia minyak serta peningkatan rendemen minyak sebesar 10% (Chacko & Vasudevan, 2016). Semakin lama waktu ekstraksi maka rendemen

lemak semakin meningkat. Waktu ekstraksi yang menghasilkan rendemen tertinggi adalah 90 menit.

3.3. Pengaruh Perlakuan Enzim dan Waktu Ekstraksi Terhadap Bilangan Asam

Hasil penelitian menunjukkan lemak yang dihasilkan dengan perlakuan enzimatis memiliki bilangan asam yang lebih tinggi dibandingkan dengan lemak tanpa perlakuan. Hal ini diduga aktivitas selulase mengakibatkan pelepasan enzim lipase yang terdapat di biji pala yang kemudian memecahkan lapisan lipid dan sehingga terjadi pelepasan asam lemak. Gambar 4 menunjukkan meningkatnya waktu ekstraksi meningkatkan bilangan asam. Hal ini diduga waktu pemanasan yang meningkat juga mengakibatkan pelepasan enzim lipase. Bilangan asam tertinggi pada ekstraksi dengan dan tanpa enzim masing-masing adalah 16,07% dan 13,07%.

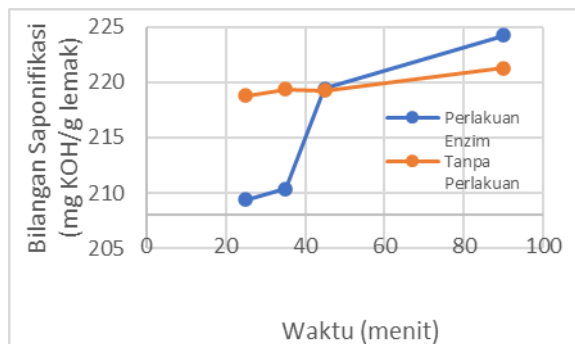


Gambar 4. Pengaruh Perlakuan Enzimatis dan Waktu Ekstraksi terhadap Bilangan Asam

3.4. Pengaruh Perlakuan Enzim dan Waktu Ekstraksi Terhadap Bilangan Saponifikasi

Hasil penelitian menunjukkan lemak yang dihasilkan dari perlakuan awal menggunakan enzim memiliki nilai bilangan saponifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan bilangan saponifikasi lemak hasil ekstraksi tanpa perlakuan awal dengan nilai saponifikasi tertinggi masing-masing adalah 224 dan 221 mg KOH/g lemak. Waktu ekstraksi tidak mempengaruhi bilangan saponifikasi pada lemak hasil ekstraksi tanpa perlakuan enzimatis. Namun meningkatnya waktu ekstraksi meningkatkan bilangan saponifikasi pada lemak hasil ekstraksi dengan perlakuan enzim, diduga aktivitas enzim mengakibatkan perubahan komponen dalam lemak yang

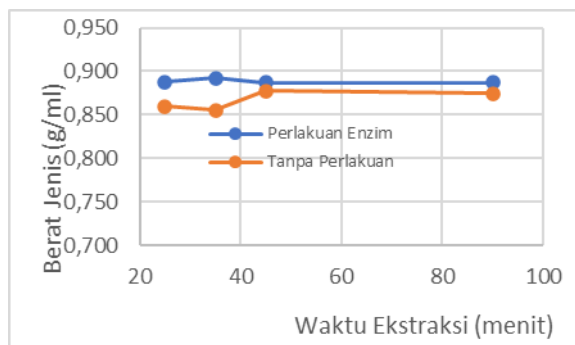
berkontribusi pada peningkatan bilangan penyabunan.



Gambar 5. Pengaruh Perlakuan Enzimatis dan Waktu Ekstraksi terhadap Bilangan Penyabunan

3.5. Pengaruh Perlakuan Enzim dan Waktu Ekstraksi Terhadap Berat Jenis Lemak Pala

Hasil penelitian menunjukkan berat jenis lemak pala yang dihasilkan dari ekstraksi dengan perlakuan enzimatis dan tanpa perlakuan masing-masing berkisar 0,887 g/ml - 0,892 g/ml dan 0,856 g/ml - 0,874 g/ml.



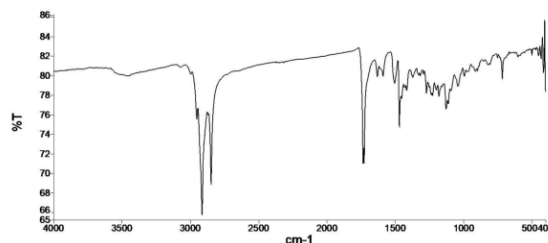
Gambar 6. Pengaruh Perlakuan Enzimatis dan Waktu Ekstraksi terhadap Berat Jenis

Gambar 6 menunjukkan lemak hasil perlakuan enzimatis memiliki berat jenis yang lebih tinggi dari lemak tanpa perlakuan. Waktu ekstraksi semakin meningkat mengakibatkan penurunan berat jenis lemak pala dengan perlakuan enzimatis dan sebaliknya pada lemak tanpa perlakuan.

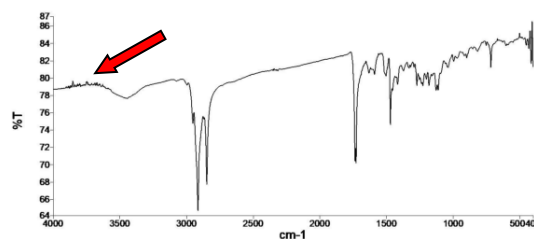
3.6. Uji FTIR Lemak Pala dengan dan Tanpa Perlakuan Enzimatis

Uji FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi ikatan kimia, gugus fungsi dan senyawa organik seperti lemak (Nandiyanto et al., 2019). Hasil FTIR menunjukkan sampel dengan dan tanpa perlakuan merupakan senyawa organik kompleks dengan gugus fungsi khas lemak

pada panjang gelombang 1471 dan 1417 cm^{-1} , sebagaimana Tabel 1 dan 2. Spektrum FTIR pada Gambar 7 dan 8 menunjukkan adanya puncak-puncak kecil pada sampel lemak dengan perlakuan enzimatis yang tidak ditemui pada spektrum lemak tanpa perlakuan yaitu pada panjang gelombang 3600 cm^{-1} -3800 cm^{-1} , mencirikan senyawa dengan ikatan hidrogen.



Gambar 7. Hasil FTIR Lemak Pala Tanpa Perlakuan Enzimatis



Gambar 8. Hasil FTIR Lemak Pala dengan Perlakuan Enzimatis

Tabel 1 dan 2 masing-masing menunjukkan puncak spektrum FTIR untuk lemak dengan perlakuan enzimatis dan lemak tanpa perlakuan serta dugaan senyawa / gugus fungsinya berdasarkan referensi (Nandiyanto et al., 2019) (Ramandani et al., 2022).

Tabel 1. Puncak Spektrum FTIR Lemak dengan Perlakuan Enzimatis

No	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Senyawa/ Gugus Fungsi
1	3847,93	Senyawa dengan ikatan hidrogen
2	3444,17	Senyawa alkohol / fenol
3	2953,87	Senyawa linier alifatik
4	2915,82	Senyawa linier alifatik
5	2849,37	Senyawa linier alifatik
6	1736,8	Senyawa karbonil : keton/ ester
7	1729,21	Senyawa karbonil : keton/ ester
8	1632,04	Vibrasi Ulur C=O

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Senyawa/ Gugus Fungsi
9	1590,11	Senyawa dengan ikatan C=C
10	1503,63	Senyawa aromatik
11	1471,55	Vibrasi -COO dari asam lemak
12	1417,38	Vibrasi -COO dari asam lemak
13	1318,15	-OCH ₃
14	1330,62	-OCH ₃
15	1272,27	-OCH ₃
16	1226,99	Fenolik
17	1200,61	Fenolik
18	1181,21	Fenolik
19	1127,46	Fenolik
20	1112,15	Fenolik
21	1037,34	Fenolik
22	995,29	Senyawa Vinil (-CH=CH ₂)

Tabel 2. Puncak Spektrum FTIR Lemak Tanpa Perlakuan

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Senyawa/ Gugus Fungsi
1	3457,72	Senyawa alkohol / fenol
2	2953,9	Senyawa linier alifatik
3	2915,82	Senyawa linier alifatik
4	2849,39	Senyawa linier alifatik
5	1736,67	Senyawa karbonil : keton/ ester
6	1729,06	Senyawa karbonil : keton/ ester
7	1632,41	Vibrasi Ulur C=O
8	1589,99	Senyawa aromatik
9	1504,91	Senyawa aromatik
10	1471,34	Vibrasi -COO dari asam lemak
11	1417,65	Vibrasi -COO dari asam lemak
12	1272,15	-OCH ₃
13	1227,12	Fenolik
14	1199,82	Fenolik
15	1181,03	Fenolik
16	1128,16	Fenolik
17	1042,67	Fenolik
18	994,56	Senyawa Vinil (-CH=CH ₂)

4. KESIMPULAN

Ekstraksi lemak pala dengan perlakuan awal menggunakan selulase dibandingkan tanpa perlakuan menghasilkan rendemen serta bilangan saponifikasi yang lebih baik masing-masing adalah 28,45%, 23,02%, 224 dan 221 mg KOH/g lemak. Kinetika degradasi biji pala oleh selulase mengikuti kinetika Michaelis-Menten dengan parameter yaitu laju reaksi maksimum, V_m dan konstanta Michaelis-Menten, K_m masing-masing adalah 0,34464 g/L/menit dan 0,41156 g/L.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardawati, E. M., Erner, A. W., Ley, T. B., Resnowati, M. K., & Etiadi, T. S. (2014). *The Enzymatic Hydrolysis of Oil Palm Empty Fruit Bunches to Xylose*. 973–978.
- Atsakou, A. E., Remonatto, D., Júnior, R. H. M., Paz-Cedeno, F. R., Masarin, F., Andrade, G. S. S., de Lucca Gattas, E. A., & de Paula, A. V. (2023). Synthesis of dietary lipids from pumpkin (*Cucurbita pepo*. L) oil obtained by enzymatic extraction: a sustainable approach. *3 Biotech*, 13(11), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13205-023-03781-y>
- Chacko, K., & Vasudevan, T. (2016). *Effect of enzyme pre-treatment on extraction yield and quality of cardamom (Elettaria cardamomum maton.) volatile oil*. 89, 200–206.
- Chiwetalu, M. O., Ossai, E. C., Enechi, O. C., Ugwu, C. N., Ozogwu, V. E. O., R. Okpala, C. O., & Njoku, O. U. (2022). An enhanced fat extraction from *Pycnanthus angolensis* (African nutmeg) seeds using cellulase from *Aspergillus niger* strain BC23. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 14(3), 165–175. <https://doi.org/10.15586/qas.v14i3.997>
- Dian Puspitasari, M. I. (2020). Optimasi Aktivitas Selulase Ekstraseluler Isolasi Bakteri EG 2 Isolasi dari Bungkil Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* jacq.). *Lentera Bio*, 9(1), 42–50.
- Hartanto, E. S., Rhoito, D., & Silitonga, F. (2018). *Extraction of myristic acid from Myristica Fragrans Houtt and its industrial waste*. 35, 38–45.
- Jinous Asgarpanah. (2012). Phytochemistry and pharmacologic properties of *Myristica fragrans* Houtt.: A review. *African Journal of Biotechnology*, 11(65), 12787–

12793. <https://doi.org/10.5897/ajb12.1043>
- Kaur, J., Chugh, P., Soni, R., & Soni, S. K. (2020). A low-cost approach for the generation of enhanced sugars and ethanol from rice straw using in-house produced cellulase-hemicellulase consortium from *A. niger* P-19. *Bioresource Technology Reports*, 11(June), 100469. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100469>
- Legoh, W. L., Runtunuwu, S., & Wanget, S. (2020). KARAKTERISASI PALA (*Myristica fragrans* L.). 16, 279–290.
- Mardawati, E., Harahap, B. M., Andoyo, R., & Wulandari, N. (2019). Karakterisasi Produk Dan Pemodelan Kinetika Enzimatis Alfa-Amilase Pada Produksi Sirup Glukosa Dari Pati. *Jurnal Industri Pertanian*, 1(1), 11–20.
- Nagre, R. D., Oduro, I., & Ellis, W. O. (2011). Comparative physico-chemical evaluation of kombo kernel fat produced by three different processes. *African Journal of Food Science and Technology*, 2(4), 83–91.
- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Ramandani, A. A., Shintawati, S., Aji, S. P., & Sunarsi, S. (2022). Pemanfaatan Lignin Serai Wangi Sebagai Lignin Resorsinol Formaldehida (LRF) Menggunakan Ultrasonic Microwave-Assisted Extraction (UMAE). *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 5(1), 40. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v5i1.10348.40-48>
- Rollin, S., Gupta, A., & Puri, M. (2022). Optimising pineapple filtrate assisted cell disruption of wet thraustochytrid biomass for improved lipid extraction. *Journal of Cleaner Production*, 378(September), 134393. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134393>
- Sahar Poorhashemi, A. A. (2019). Ultrasound-Assisted Extraction and Optimization Process Parameters of Antioxidant and Phenolic Compounds from *Myristica fragrans*. *Jundishapur J Nat Pharm Prod. Resarch* <https://doi.org/10.5812/jjnpp.63423>
- Surnayanti, S., Indriyanto, I., Asmarahman, C., Damayanti, I., Tsani, M. K., Riniarti, M., Duryat, D., Santoso, T., & Bintoro, A. (2022). Pemanfaatan Lahan Pekarangan Rumah Pada Desa Hanura Untuk Budidaya Tanaman MPTS Pala (*Myristica fragrans*). *Repong Damar: Jurnal Pengabdian Kehutanan Dan Lingkungan*, 1(2), 115. <https://doi.org/10.23960/rdj.v1i2.6433>
- Suroso, A. S. (2013). *Kualitas Minyak Goreng Habis Pakai Ditinjau dari Bilangan Peroksida, Bilangan Asam dan Kadar Air*.
- Zhao, Z., Wu, Y., Chen, W., Sun, W., Wang, Z., Liu, G., & Xue, S. (2023). Science of the Total Environment Soil enzyme kinetics and thermodynamics in response to long-term vegetation succession. *Science of the Total Environment*, 882(January), 163542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163542>