

EKSTRAKSI PROTEIN NABATI MENGGUNAKAN METODE *MICROWAVE ASSISTED EXTRACTION* (MAE) DENGAN PERBEDAAN BAHAN DAN PERLAKUAN DAYA MICROWAVE, SUHU, DAN WAKTU EKSTRAKSI**Nabila Madya Manda ¹, Muhammad Kemal Abdala ², Lenina Khayyira Maydoute Simanjuntak ³, Keysha Dilla Kristanti ⁴**

Fakultas Pertanian, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas

Universitas Tanjungpura Pontianak

E-mail: c1061221069@students.untan.ac.id No. HP: 089 521 576 425

Abstract (English)

Plant-based protein is one of the key components in the development of plant-based food products, which are increasingly favored by consumers. One innovation in the protein extraction process is the application of Microwave-Assisted Extraction (MAE). This technology enhances extraction efficiency by reducing processing time and improving protein yield. The purpose of this article is to provide insight into the application of MAE for extracting protein yield from various plant-based materials such as chickpeas, sesame hulls, palm kernel meal, rice bran, and green coffee beans. The method used in this article is a literature review based on secondary data obtained from online sources and Google Scholar. The selected literature focuses on studies that examine the influence of microwave power, temperature, and extraction time on protein yield using MAE technology. The results of this review indicate that MAE significantly increases protein extraction efficiency, as observed in chickpeas, which produced the highest protein yield of 175.53% at 900 W and 120°C for 5 minutes. In contrast, green coffee beans showed the lowest yield, with only 5.8% at 300 W and 77°C for 4 minutes. These variations highlight that the characteristics of the raw material play a crucial role in extraction efficiency, alongside the significant impact of process parameters such as power, temperature, and extraction duration. Therefore, optimizing MAE conditions tailored to each type of raw material is essential to maximize plant-based protein extraction. Overall, the innovative use of MAE technology presents a promising approach to accelerating the protein extraction process while improving production efficiency, making it a more effective method to support the development of healthy food products in the future.

Article History*Submitted: 24 Mei 2025**Accepted: 27 Mei 2025**Published: 28 Mei 2025***Key Words**

Microwave-Assisted Extraction (MAE), Plant-Based Protein Extraction, Microwave Power, Extraction Temperature and Time, Protein Yield

Abstrak (Indonesia)

Protein nabati merupakan salah satu komponen penting dalam pengembangan produk pangan berbasis nabati yang semakin digemari oleh masyarakat. Salah satu inovasi dalam proses ekstraksi protein ini adalah penggunaan metode *Microwave-Assisted Extraction* (MAE). Teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi ekstraksi dengan waktu yang lebih singkat dan hasil yield protein yang lebih tinggi. Tujuan dari penulisan artikel ini adalah untuk memberikan informasi mengenai penerapan metode MAE dalam ekstraksi yield protein dari berbagai bahan nabati seperti kacang arab, sekam wijen, bungkil kelapa sawit, dedak padi, dan biji kopi hijau. Metode dalam penulisan ini adalah kajian literatur yang diperoleh dari media internet dan Google Scholar. Data yang digunakan merupakan data sekunder, seperti hasil penelitian yang melaporkan pengaruh daya, suhu, dan waktu ekstraksi terhadap yield protein. Kriteria literatur yang digunakan yaitu penelitian yang membahas ekstraksi protein nabati menggunakan teknologi MAE. Hasil dari penulisan kajian ini menunjukkan bahwa penggunaan MAE mampu meningkatkan ekstraksi protein pada kacang arab yang menghasilkan yield protein tertinggi yaitu 175,53% pada daya 900 W dan suhu 120°C selama 5 menit. Sebaliknya, biji kopi hijau menunjukkan yield terendah yaitu 5,8% pada daya 300 W dan suhu 77°C selama 4 menit. Perbedaan hasil ini menegaskan bahwa karakteristik bahan baku sangat mempengaruhi efisiensi ekstraksi, disamping pengaruh signifikan dari parameter proses seperti daya, suhu, dan durasi ekstraksi. Perbedaan hasil

Sejarah Artikel*Submitted: 24 Mei 2025**Accepted: 27 Mei 2025**Published: 28 Mei 2025***Kata Kunci**

Microwave Assisted Extraction (MAE), Ekstraksi Protein Berbasis Nabati, Daya Microwave, Waktu dan Suhu Ekstraksi, Rendemen Protein

ini menegaskan bahwa karakteristik bahan baku sangat mempengaruhi efisiensi ekstraksi, disamping pengaruh signifikan dari parameter proses seperti daya, suhu, dan durasi ekstraksi sehingga optimalisasi kondisi MAE yang disesuaikan dengan masing-masing bahan baku diperlukan untuk memaksimalkan hasil ekstraksi protein nabati. Hal ini tetap menunjukkan inovasi penggunaan teknologi MAE menjadikan proses ekstraksi protein nabati potensi teknik ini dalam mempercepat proses ekstraksi sekaligus meningkatkan efisiensi produksi protein nabati dan lebih efektif untuk mendukung pengembangan pangan sehat di masa depan.

Pendahuluan

Protein nabati telah menjadi salah satu bahan pangan yang semakin diminati seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pola makan berbasis nabati yang lebih sehat dan ramah lingkungan. Penggunaan protein nabati dalam produk pangan alternatif, seperti pengganti telur pada produk vegan, pengganti daging, serta berbagai jenis makanan fungsional, semakin populer karena kemampuannya untuk memberikan manfaat kesehatan yang optimal. Selain itu, dengan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan protein hewani, protein nabati semakin dicari sebagai solusi dalam mencapai keberlanjutan di sektor pangan (Jafarzadeh et al., 2024). Namun, untuk menghasilkan protein nabati yang berkualitas, efisiensi dan efektivitas dalam proses ekstraksi sangat diperlukan.

Teknik ekstraksi inovatif lainnya adalah ekstraksi berbantuan gelombang mikro yang disebut *Microwave-Assisted Extraction* (MAE), yang menyebabkan kerusakan dinding sel yang disebabkan oleh pemanasan berlebih yang dipaksakan pada molekul air yang terperangkap dan tumbukan terus-menerus di dalam matriks. Kerusakan sel ini menyebabkan eksudasi tiba-tiba komponen di dalam sel ke dalam pelarut di sekitarnya (Varghese & Pare, 2019). Ekstraksi berbantuan gelombang mikro merupakan metode yang cepat dan ramah lingkungan yang banyak digunakan dalam industri makanan dan untuk mengekstraksi senyawa bioaktif. Peningkatan suhu yang cepat, pengurangan waktu proses, menghemat ruang dan energi, penetrasi panas yang cepat ke bagian tengah bahan makanan, dan kontrol proses yang tepat membuat para peneliti dan produsen tertarik untuk menggunakan teknologi gelombang mikro dalam proses pangan (Ekezie et al., 2017). Ekstraksi berbantuan gelombang mikro atau *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) merupakan teknik ekstraksi ramah lingkungan, yang merupakan gabungan metode ekstraksi kimia dan metode ekstraksi fisik. Gelombang mikro menghasilkan panas melalui dua mekanisme simultan konduksi ionik dan rotasi dipol, sehingga seluruh sampel dipanaskan secara bersamaan. Rotasi molekul dipolar dapat memutus ikatan hidrogen yang lemah. Selain itu, gelombang mikro dapat mengurangi viskositas dan mendorong pelarut untuk menembus matriks dan melepaskan produk target. Ada banyak keuntungan dari MAE, seperti waktu ekstraksi yang singkat, jumlah pelarut yang dibutuhkan sedikit, dan biaya energi yang rendah. Aplikasi MAE biasanya digunakan untuk ekstraksi beberapa produk alami, seperti minyak atsiri, flavonoid, senyawa fenolik, alkaloid, saponin, polisakarida (Wang et al., 2014), protein, dan lain-lain. Banyak penelitian juga telah melaporkan aplikasi teknik MAE untuk ekstraksi protein dari bahan baku tanaman, seperti dedak padi, dedak wijen (Bedin et al., 2019), kulit kopi perak (Görgüç et al., 2019), dan biji semangka (Wen et al., 2021). Beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi MAE adalah karakteristik sampel, suhu, daya gelombang mikro, waktu ekstraksi, rasio padat-cair, dan pelarut (Behere et al., 2021).

Ekstraksi senyawa fungsional dari produk sampingan pertanian dengan bantuan gelombang mikro telah menunjukkan keunggulan signifikan dibandingkan metode ekstraksi kimia konvensional. Misalnya, Bedin et al., (2020) melaporkan bahwa MAE tidak hanya menjaga kualitas protein bekatul padi tetapi juga mencapai hasil ekstraksi dan kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode ekstraksi alkali. Demikian pula, Gonzalez-Rivera et

al., (2023) menunjukkan bahwa kombinasi ekstraksi berbantuan gelombang mikro dan ultrasonik secara signifikan meningkatkan hasil dan sifat kualitatif minyak esensial yang diekstrak dari rosemary dan lavender. Sebagai teknik ekstraksi yang ramah lingkungan, MAE tidak hanya mempertahankan integritas struktural keratin tetapi juga memungkinkan produksi langsung serat nano yang sangat dapat dipintal secara elektro tanpa memerlukan langkah pemurnian tambahan, yang menawarkan potensi substansial untuk produksi bioplastik (Pulidori et al., 2021).

Metode *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) adalah salah satu metode yang berkembang untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi protein dari bahan nabati. MAE menawarkan berbagai keuntungan dibandingkan dengan metode konvensional, antara lain waktu ekstraksi yang lebih singkat, penggunaan pelarut yang lebih rendah, serta rendemen atau yield protein yang lebih tinggi (Görgüç et al., 2021). Beberapa penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa MAE dapat diterapkan pada berbagai bahan baku nabati, seperti aquafaba, biji semangka dan daun kelor, untuk menghasilkan protein yang stabil dan berkualitas tinggi (Kargar & Hematian Sourki, 2021; Behere et al., 2022). Penelitian oleh Tungchaisin et al., (2022) juga menunjukkan bahwa MAE dapat mengoptimalkan ekstraksi protein dari bungkil kelapa sawit dengan hasil yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional.

Namun, meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan keberhasilan MAE dalam ekstraksi protein nabati, pemahaman mengenai pengaruh variabel proses seperti suhu, daya microwave, dan waktu ekstraksi terhadap kualitas dan yield protein yang dihasilkan masih terbatas. Beberapa penelitian belum memberikan gambaran yang komprehensif mengenai interaksi antara faktor-faktor tersebut di berbagai jenis bahan baku nabati, serta bagaimana pengaruhnya terhadap aplikasi industri.

Oleh karena itu, kajian lebih mendalam tentang variabel proses dalam MAE sangat dibutuhkan untuk memaksimalkan potensi penggunaan teknologi ini dalam ekstraksi protein nabati. Kajian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mengenai penggunaan MAE dalam ekstraksi protein nabati dan menganalisis bagaimana faktor-faktor seperti waktu ekstraksi, suhu, dan daya *microwave* mempengaruhi kualitas serta yield protein. Kajian ini juga bertujuan untuk menyajikan kebaruan ilmiah dalam mengoptimalkan proses MAE serta memberikan rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut yang dapat mendukung aplikasi MAE dalam industri pangan berbasis nabati yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian pustaka (*literature review*) untuk menganalisis penggunaan *Microwave Assisted Extraction* (MAE) dalam mengekstraksi protein nabati dengan perbedaan daya *microwave*, suhu, dan waktu. Sumber data diperoleh dari jurnal ilmiah dan literatur terpercaya, termasuk (Kargar & Hematian Sourki, 2023), (Görgüç et al., 2023), (Tungchaisin et al., 2023), (Bedin et al., 2023), dan (Prandi et al., 2022). Data dikumpulkan melalui penelusuran literatur, seleksi informasi yang relevan, dan analisis hasil penelitian terdahulu.

Penelitian ini fokus pada ekstraksi protein nabati menggunakan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE) dengan perbedaan bahan baku dan perlakuan ekstraksi berupa daya *microwave*, suhu, dan waktu ekstraksi. Analisis dilakukan secara deskriptif dengan membandingkan hasil dari berbagai penelitian untuk menentukan metode perlakuan terbaik antara berbagai macam perlakuan daya *microwave*, suhu, dan waktu ekstraksi yang diberikan pada bahan protein nabati.

Langkah penelitian meliputi penelusuran literatur, pengelompokan data berdasarkan hasil ekstraksi dari protein nabati menggunakan metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE) dengan metode perlakuan ekstraksi yang berbeda beda dan analisis komparatif untuk

menyimpulkan potensi *Microwave Assisted Extraction* (MAE) sebagai potensi dalam mempercepat proses ekstraksi sekaligus meningkatkan efisiensi produksi protein nabati dan lebih efektif untuk mendukung pengembangan pangan sehat di masa depan.

Hasil dan Pembahasan

Metode *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) merupakan pendekatan inovatif yang memanfaatkan energi gelombang mikro untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi biomolekul, termasuk protein dari bahan nabati. Teknik ini didasarkan pada prinsip pemanasan dielektrik, di mana molekul polar dalam matriks bahan mengalami rotasi cepat akibat medan elektromagnetik, menghasilkan panas secara internal dalam waktu yang singkat. Berbeda dengan metode pemanasan konvensional yang mengandalkan transfer panas konduktif dari permukaan ke inti bahan, MAE memungkinkan pemanasan volumetrik yang seragam, mempercepat kerusakan struktur dinding sel dan meningkatkan pelepasan senyawa target ke dalam pelarut (Elhag et al., 2019; Görgüç et al., 2020).

Efektivitas MAE terletak pada kemampuannya untuk mempercepat degradasi struktur sel tanaman, meningkatkan permeabilitas membran sel, dan mengurangi resistensi difusi molekul-molekul bioaktif. Pemanasan cepat yang terjadi dalam MAE tidak hanya mempercepat laju ekstraksi, tetapi juga meminimalkan degradasi senyawa termolabil, asalkan parameter seperti suhu, daya, dan durasi ekstraksi dikendalikan dengan baik (Cheng et al., 2021).

Selain itu, MAE dinilai lebih ramah lingkungan dibandingkan teknik konvensional karena membutuhkan waktu lebih singkat dan volume pelarut yang lebih sedikit. Namun, penting untuk diingat bahwa intensitas daya microwave yang terlalu tinggi atau durasi ekstraksi yang terlalu lama dapat menyebabkan denaturasi protein, mengurangi kualitas fungsional ekstrak yang dihasilkan (Görgüç et al., 2020). Meski demikian, kontrol parameter operasional seperti daya microwave, suhu, dan durasi ekstraksi sangat krusial dalam aplikasi MAE. Paparan berlebihan terhadap panas dapat menyebabkan denaturasi protein, menurunkan kualitas dan fungsionalitas ekstra. Oleh karena itu, optimalisasi kondisi proses menjadi fokus utama dalam penerapan MAE, untuk memastikan keseimbangan antara efisiensi ekstraksi dan preservasi struktur protein.

Tabel 1. Data Ekstraksi Protein Nabati Menggunakan MAE.

Bahan Baku	Daya Microwave (W)	Suhu (°C)	Waktu Ekstraksi (Menit)	Yield Protein(%)	Referensi
Kacang arab (<i>Cicer arietinum</i>)	900	120	5	175.53	Kargar & Hematian Sourki, (2023)
Sekam wijen (<i>Sesamum indicum</i>)	750	51	29	62.3	
Bungkil kelapa sawit (<i>Elaeis guineensis</i>)	700	-	9.3	31.03	Tungchaisin et al., (2023)
Dedak padi (<i>Oryza sativa</i>)	450	55	2	15.68	Bedin et al., (2023)
Biji kopi hijau (<i>Coffea arabica</i>)	300	77	4	5.8	Prandi et al., (2022)

Jenis bahan baku memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap yield protein hasil ekstraksi menggunakan *Microwave-Assisted Extraction* (MAE). Berdasarkan data pada tabel tersebut, bahan seperti kacang arab dan sekam wijen menunjukkan yield protein yang lebih

tinggi, masing-masing sebesar 175.53% dan 62.3%. Hasil ini berkorelasi dengan kandungan protein alami yang tinggi serta struktur sel yang relatif lebih mudah terdisintegrasi di bawah pemanasan *microwave*. Selain itu, protein pada kedua bahan tersebut memiliki kelarutan yang baik dalam medium pelarut, mempercepat difusi keluar dari sel. Sebaliknya, biji kopi hijau memperlihatkan yield protein terendah sebesar 5.8%. Yield protein rendah ini dapat dikaitkan dengan karakteristik fisik bahan yang lebih keras, serta tingginya kandungan polifenol yang berpotensi menghambat pelepasan protein. Polifenol dapat berinteraksi dengan protein melalui ikatan hidrogen dan hidrofobik, mengurangi kelarutan protein dan menghambat ekstraksi (Görgüç et al., 2020; Zahra Kargar & Hematian Sourki, 2025). Perbedaan yield protein ini menegaskan bahwa efektivitas MAE dipengaruhi tidak hanya oleh teknik ekstraksi itu sendiri, tetapi juga oleh sifat fisikokimia bahan baku, seperti komposisi protein, kekuatan struktur dinding sel, dan kandungan senyawa sekunder.

Daya *microwave* merupakan parameter utama yang menentukan efisiensi dan kecepatan ekstraksi pada MAE. Data menunjukkan bahwa penggunaan daya *microwave* tinggi, seperti 900 W untuk kacang arab dan 750 W untuk sekam wijen, berkorelasi dengan peningkatan yield protein. Pemanasan cepat yang dihasilkan dari daya tinggi menyebabkan disrupsi struktur sel yang lebih intens, mempercepat pelepasan protein ke dalam pelarut (Cheng et al., 2021; Görgüç et al., 2020). Namun, hasil ekstraksi pada bahan seperti dedak padi dan biji kopi hijau, yang menggunakan daya 450 W dan 300 W, menunjukkan yield protein lebih rendah, masing-masing sebesar 15.68% dan 5.8%. Hal ini menunjukkan bahwa daya yang terlalu rendah mungkin tidak cukup untuk menghasilkan kerusakan struktural sel yang memadai, sehingga pelepasan protein menjadi terbatas. Meski menggunakan daya tinggi menguntungkan, kontrol ketat tetap diperlukan untuk mencegah degradasi protein akibat suhu berlebih yang dapat timbul dari pemanasan berlebih (Zahra Kargar & Hematian Sourki, 2025).

Suhu dan waktu ekstraksi juga terbukti mempengaruhi keberhasilan ekstraksi protein. Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan difusi protein dari bahan baku ke pelarut ekstraksi dan waktu dari proses ekstraksi yang terlalu singkat mungkin belum cukup untuk melepaskan protein secara maksimal, sedangkan waktu yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi protein. Berdasarkan hasil penelitian, suhu optimal untuk ekstraksi berada dalam kisaran 60°C hingga 80°C, dengan waktu ekstraksi bervariasi antara 5 hingga 15 menit, tergantung jenis bahan. Kacang arab, yang diekstraksi pada suhu 120°C selama 5 menit, memberikan yield protein tertinggi sedangkan dedak padi yang diekstraksi pada suhu 55°C selama 2 menit menghasilkan yield protein yang lebih rendah. Hal ini memperlihatkan bahwa suhu tinggi dengan waktu singkat mampu mengoptimalkan pelepasan protein tanpa menyebabkan kerusakan signifikan pada struktur molekul protein. Sebaliknya, sekam wijen yang diekstraksi pada suhu 51°C selama 29 menit juga menunjukkan yield protein lebih rendah, menandakan bahwa waktu ekstraksi yang lebih panjang tidak selalu sebanding dengan peningkatan hasil (Behére et al., 2022). Fakta ini menunjukkan adanya risiko degradasi protein akibat paparan suhu tinggi dalam waktu lama, yang dapat mengurangi kelarutan protein akibat pembentukan agregat protein (Wen et al., 2021). Namun, bahan dengan struktur sel keras, seperti sekam wijen, menunjukkan performa ekstraksi optimal pada suhu lebih rendah diantara semuanya. Ini menunjukkan bahwa untuk bahan berserat tinggi, strategi suhu moderat dengan durasi menengah lebih efektif untuk mengoptimalkan hasil ekstraksi tanpa merusak integritas protein (Görgüç et al., 2023).

Prinsip kerja MAE berfokus pada peningkatan suhu internal bahan melalui osilasi molekul polar, yang menyebabkan disrupsi fisik terhadap dinding sel, meningkatkan difusi protein ke medium pelarut (Görgüç et al., 2020; Zahra Kargar & Hematian Sourki, 2025). Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa penggunaan daya tinggi dan waktu singkat dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi tanpa merusak struktur protein. Dalam penelitian Kargar dan Hematian Sourki (2025), teknik MAE dengan daya tinggi

terbukti meningkatkan fungsionalitas aquafaba dari kacang arab, membuktikan bahwa pengaturan parameter proses secara tepat sangat krusial untuk mempertahankan karakteristik protein. Demikian pula, studi Prandi *et al.*, (2022) mengenai biji kopi hijau menunjukkan pentingnya optimasi suhu untuk menghindari kehilangan kualitas akibat denaturasi protein. Penelitian oleh Görgüç *et al.* (2023) pada sekam wijen juga mendukung pentingnya pendekatan suhu rendah dengan waktu moderat untuk bahan berserat tinggi, yang memiliki resistansi lebih besar terhadap pemanasan internal.

Secara keseluruhan, kombinasi optimal antara jenis bahan baku, daya *microwave*, suhu, dan waktu ekstraksi sangat menentukan keberhasilan ekstraksi protein menggunakan MAE. Parameter ekstraksi harus disesuaikan dengan karakteristik bahan baku agar yield protein dapat dimaksimalkan tanpa merusak kualitas protein yang diperoleh. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa keberhasilan ekstraksi protein menggunakan MAE sangat bergantung pada sinergi antara karakteristik bahan baku dan pengaturan parameter operasional ekstraksi, termasuk daya, suhu, dan waktu.

Kesimpulan

Metode *Microwave-Assisted Extraction* (MAE) terbukti memiliki potensi yang sangat signifikan sebagai teknik ekstraksi protein yang efisien dan efektif. Dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional, MAE menawarkan beberapa keunggulan, terutama dalam hal waktu ekstraksi yang lebih singkat dan penggunaan pelarut yang lebih sedikit. Berdasarkan analisis terhadap berbagai penelitian yang ada, MAE menunjukkan kemampuan untuk meningkatkan yield protein dari beragam bahan baku nabati seperti kacang arab, sekam wijen, bungkil kelapa, dedak padi, dan biji kopi hijau.

Berdasarkan data yang diperoleh, yield protein yang diperoleh bervariasi, dengan kisaran nilai antara 5.8% hingga 175.53%, yang mencerminkan perbedaan signifikan antara bahan baku yang digunakan. Bahan baku seperti kacang arab dan sekam wijen memberikan hasil ekstraksi yang lebih tinggi, yang disebabkan oleh kandungan protein yang lebih tinggi dan struktur sel yang lebih mudah terdisintegrasi oleh gelombang mikro. Sebaliknya, bahan dengan struktur sel yang lebih keras, seperti biji kopi hijau, menunjukkan hasil ekstraksi yang lebih rendah.

Dari segi parameter proses, daya *microwave* yang lebih tinggi, terutama pada rentang 900 Wh hingga 750 W, terbukti efektif meningkatkan hasil ekstraksi. Namun, pemilihan suhu ekstraksi dan waktu yang tepat sangat penting, di mana suhu antara 60-80°C dan waktu ekstraksi sekitar 5-15 menit memberikan hasil yang optimal. Peningkatan daya *microwave* mempercepat pemanasan dan pemecahan dinding sel, tetapi perlu dikontrol untuk menghindari kerusakan protein akibat suhu yang berlebihan. Bahan baku seperti kacang arab dan sekam wijen menunjukkan yield protein yang tinggi karena struktur sel yang lebih mudah terdegradasi dan kelarutan protein yang baik, sementara bahan seperti biji kopi hijau menghasilkan yield protein rendah karena struktur keras dan interaksi penghambat dari polifenol. Penggunaan daya tinggi dan suhu optimal selama waktu ekstraksi yang relatif singkat terbukti mampu memaksimalkan yield protein tanpa menyebabkan degradasi protein. Namun, bahan dengan struktur keras atau berserat tinggi lebih cocok diekstraksi pada suhu rendah hingga moderat dengan waktu sedang, untuk mencegah kerusakan protein. Optimalisasi kondisi proses berdasarkan jenis bahan baku sangat krusial dalam aplikasi MAE. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi dan ramah lingkungan, tetapi juga mempertahankan kualitas dan fungsionalitas protein hasil ekstraksi, menjadikannya metode yang menjanjikan untuk pengembangan produk pangan berbasis protein nabati.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa MAE dapat menjadi metode ekstraksi yang efisien dan ramah lingkungan untuk produksi protein nabati dari berbagai bahan baku, dengan pengaturan parameter yang tepat. MAE menunjukkan

kemampuannya dalam memberikan efisiensi waktu yang lebih baik, hasil ekstraksi yang lebih tinggi, dan penggunaan pelarut yang lebih sedikit, menjadikannya teknologi yang sangat menjanjikan dalam ekstraksi protein nabati.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah untuk melakukan optimasi lebih lanjut terhadap variasi bahan baku yang berbeda, terutama bahan dengan kandungan senyawa penghambat ekstraksi seperti serat atau polifenol. Penelitian lebih lanjut juga dapat fokus pada studi kinetika ekstraksi untuk memahami lebih dalam pengaruh waktu dan daya terhadap degradasi protein serta untuk mengidentifikasi kondisi ekstraksi yang dapat menghasilkan ekstrak dengan kualitas proteinnya lebih baik. Penelitian di masa depan bisa juga mengeksplorasi integrasi MAE dengan teknologi lainnya, seperti enzimatis atau kombinasi MAE dengan pemrosesan lanjutan, guna meningkatkan kualitas dan fungsionalitas protein nabati untuk aplikasi pangan.

Referensi

- Behere, M., Patil, S. S., & Rathod, V. K. (2021). Rapid Extraction Of Watermelon Seed Proteins Using Microwave and Its Functional Properties. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 51(3), 252–259.
- Bedin, S., Zanella, K., Bragagnolo, N., & Taranto, O. P. (2019). Implication Of Microwaves On The Extraction Process Of Rice Bran Protein. *Brazilian Journal Of Chemical Engineering*, 36(4), 1653–1665.
- Cheng, F., Shu, G., Chen, L., & Dong, X. (2021). Ultrasound-Microwave Assisted Extraction Of Proteins From Moringa Oleifera Leaves: Comparative Optimization Study and LC-MS Analysis Of The Protein Concentrate. *Journal Of Food Processing And Preservation*, 00, E15547.
- Ekezie, F.-G. C., Sun, D.-W., & Cheng, J.-H. (2017). Acceleration Of Microwave-Assisted Extraction Processes Of Food Components By Integrating Technologies and Applying Emerging Solvents: A Review Of Latest Developments. *Trends In Food Science & Technology*, 67, 160–172.
- Elhag, H. E. A., Sulaiman, A. Z. B., & Ajit, A. (2019). Optimization Of Protein Yields In Water Extracts Of Jackiopsis Ornata Roots By Response Surface Methodology Using Microwave-Assisted Extraction (MAE). *AIP Conference Proceedings*, 2068(1), 020055.
- Görgüç, A., Bircan, C., & Yılmaz, F. M. (2019). Sesame Bran As An Unexploited By-Product: Effect Of Enzyme and Ultrasound Assisted Extraction On The Recovery Of Protein And Antioxidant Compounds. *Food Chemistry*, 283, 637–645.
- Gonzalez-Rivera, J., Campanella, B., Pulidori, E., Bramanti, E., Tinè, M. R., Bernazzani, L., Ferrari, C. (2023). From Volatiles To Solid Wastes: Towards The Full Valorization Of Lavender and Rosemary By Simultaneous In Situ Microwaves And Ultrasounds Irradiation Extraction. *Industrial Crops And Products*, 194, 116362.
- Jafarzadeh, S., Abbaspour, H., Shaghaghian, S., & Wang, W. (2024). Alternative Proteins: A Path To Sustainable Diets And Environment. *Current Research In Food Science*, 9, 100882.
- Kargar, Z., & Hematian Sourki, A. (2025). Microwave-Assisted Extraction Enhances Aquafaba Functionality: A High Value-Added Egg White Replacer In Vegan Meringue Production. *Food Chemistry: X*, 25, 102176.
- Prandi, B., Di Massimo, M., Tedeschi, T., Rodríguez-Turienzo, L., & Rodríguez, Ó. (2022). Ultrasound And Microwave Assisted Extraction Of Proteins From Coffee Green Beans: Effects Of Process Variables On The Protein Integrity. *Food And Bioprocess Technology*, 15(12), 2712–2722.

- Pulidori, E., Micalizzi, S., Bramanti, E., Bernazzani, L., Duce, C., De Maria, C., Tinè, M. R. (2021). One-Pot Process: Microwave-Assisted Keratin Extraction and Direct Electrospinning To Obtain Keratin-Based Bioplastic. *International Journal Of Molecular Sciences*, 22(17), 9597.
- Tungchaisin, T., Sae-Tan, S., & Rattanaporn, K. (2022). Optimization Of Microwave-Assisted Extraction Of Palm Kernel Cake Protein. *E3S Web Of Conferences*, 355, 02018.
- Varghese, T., & Pare, A. (2019). Effect Of Microwave Assisted Extraction On Yield and Protein Characteristics Of Soymilk. *Journal Of Food Engineering*, 262, 92–99.
- Wang, Y., Leng, F., Liu, X., Zhang, W., & Yang, M. (2014). Optimization Of Microwave-Assisted Extraction Of Water-Soluble Polysaccharides From Piteguo Fruit By Response Surface Methodology. *Food Science and Technology Research*, 20(4), 755–764.