

Pengaruh Waktu Ekstraksi terhadap Efisiensi Ekstraksi Protein dengan Metode *Microwave Assisted Extraction (MAE)* : A Review

The Effect of Extraction Time on Protein Extraction Efficiency Using Microwave Assisted Extraction (MAE): A Review

Resti Pranata Putri¹, Annisa'u Choirun¹, Nadhifah Al Indis², Rusdiarti³, Ade Galuh Rakhmadevi²

¹Teknologi Rekayasa Pangan, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

²Teknologi Industri Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

³Gizi Klinik, Jurusan Kesehatan Politeknik, Negeri Jember

*Email Koresponden: resti.pranata@polije.ac.id

Received : 17 Oktober 2024 | Accepted : 8 November 2024 | Published : 8 Desember 2024

Kata Kunci	ABSTRAK
<i>Microwave Assisted Extraction, Protein, SDGs, Waktu Ekstraksi</i>	Ekstraksi dengan metode Microwave Assisted Extraction (MAE) merupakan metode yang efektif dan berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi protein, di mana waktu ekstraksi menjadi faktor kunci dalam mengoptimalkan hasil. Artikel review ini membahas pengaruh waktu ekstraksi terhadap efisiensi ekstraksi protein menggunakan metode MAE dengan pendekatan <i>systematic review</i> . MAE menawarkan rendemen protein yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional (metode alkali). Teknik ini meningkatkan penetrasi pelarut ke dalam matriks melalui perusakan dinding sel yang disebabkan oleh rotasi dipol dan migrasi ion akibat induksi gelombang mikro, sehingga memungkinkan pelepasan protein secara efisien. Dengan mengoptimalkan kondisi ekstraksi dan mengurangi penggunaan energi, MAE mendukung <i>Sustainable Development Goals (SDGs)</i> , khususnya Goal 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab) dan Goal 2 (Tanpa Kelaparan). Review ini menunjukkan bahwa waktu ekstraksi meningkatkan hasil ekstraksi protein (rendemen protein) secara signifikan. Selain itu, waktu ekstraksi juga tergantung terhadap daya dari microwave. Peningkatan daya microwave dapat mempercepat proses ekstraksi dan meningkatkan hasil ekstraksi protein, namun kontrol yang tepat diperlukan untuk menghindari degradasi termal atau denaturasi protein.
Keywords	ABSTRACT
<i>Microwave Assisted Extraction, Protein, SDGs, Extraction Time</i>	<i>Extraction using the Microwave Assisted Extraction (MAE) method is an effective and sustainable approach to improve protein extraction efficiency, where extraction time is a key factor in optimizing yield. This review article discusses the</i>

effect of extraction time on protein extraction efficiency using the MAE method through a systematic review approach. MAE offers higher protein yields compared to conventional methods (such as alkaline methods). This technique enhances solvent penetration into the matrix by disrupting cell walls through dipole rotation and ion migration induced by microwaves, allowing for efficient protein release. By optimizing extraction conditions and reducing energy usage, MAE supports the Sustainable Development Goals (SDGs), specifically Goal 12 (Responsible Consumption and Production) and Goal 2 (Zero Hunger). This review demonstrates that extraction time significantly increases protein extraction yield. Additionally, extraction time is also dependent on microwave power. Increasing microwave power can accelerate the extraction process and improve protein yield; however, precise control is necessary to avoid thermal degradation or protein denaturation.

1. PENDAHULUAN

Protein merupakan komponen penting dalam diet manusia, dan konsumsi protein yang memadai sangat diperlukan untuk menjaga kesehatan. Seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya kesehatan dan pola makan yang berkelanjutan, semakin banyak masyarakat yang beralih dari protein hewani ke protein nabati. Selain itu, protein nabati juga memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan produksi protein hewani (Jafarzadeh et al., 2024), sejalan dengan upaya global untuk mencapai Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya Goal 2 (Tanpa Kelaparan) dan Goal 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab).

Namun, tantangan utama dalam pemanfaatan protein nabati adalah efisiensi proses ekstraksi protein dari sumber-sumber nabati tersebut. Metode konvensional, seperti ekstraksi berbasis pelarut asam-basa, memerlukan waktu yang lama dan sering kali menghasilkan protein dengan kualitas yang tidak optimal. Selain itu, metode ini membutuhkan energi yang tinggi, sehingga kurang efisien dari segi sumber daya dan lingkungan (Wen et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan baru yang lebih efisien untuk mengekstraksi protein dari sumber nabati, terutama yang dapat mengoptimalkan hasil protein sekaligus mengurangi penggunaan energi.

Pendekatan yang telah banyak dipelajari untuk meningkatkan efisiensi ekstraksi protein adalah metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE). MAE menggunakan gelombang mikro untuk memanaskan sampel secara langsung melalui gesekan antar molekul, sehingga mempercepat pemanasan dan meningkatkan penetrasi pelarut ke dalam jaringan tanaman (Choi et al., 2006). Proses ini tidak hanya mempercepat waktu ekstraksi, tetapi juga meningkatkan hasil dan kualitas protein yang diekstraksi, menjadikan metode ini lebih ramah lingkungan dan sesuai dengan prinsip keberlanjutan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas ekstraksi protein dengan metode MAE adalah waktu ekstraksi, media ekstraksi protein (aqueous extraction atau *alkaline* extraction), pH, rasio sampel terhadap volume media (b/v), dan daya microwave (Prandi et al., 2022). Dari sekian faktor tersebut, waktu ekstraksi tetap menjadi faktor kunci yang mempengaruhi nilai rendemen protein. Penelitian Chew et al. (2019) menunjukkan bahwa variasi waktu ekstraksi secara signifikan memengaruhi hasil protein, di mana peningkatan waktu ekstraksi dapat meningkatkan hasil, tetapi pada waktu yang terlalu lama dapat terjadi degradasi protein. Oleh karena itu, penting untuk mengoptimalkan waktu ekstraksi untuk setiap sumber protein

nabati guna mendapatkan hasil yang maksimal tanpa mengorbankan kualitas protein yang dihasilkan.

Dalam kajian ini, penulis akan meninjau berbagai penelitian mengenai pengaruh waktu ekstraksi terhadap efisiensi ekstraksi protein menggunakan metode MAE, dengan tujuan untuk mengkaji bagaimana waktu ekstraksi dapat mempengaruhi rendemen protein dari berbagai bahan pangan. Selain itu, kajian ini juga akan membahas implikasi dari metode MAE dalam mendukung upaya pencapaian SDGs melalui peningkatan efisiensi energi dan keberlanjutan produksi protein nabati. Manfaat dari review sistematis ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri pangan dan peneliti untuk mengoptimalkan metode ekstraksi protein yang lebih ramah lingkungan dan efisien dari segi waktu serta energi.

2. METODE

Metode yang digunakan adalah *systematic review*, sesuai dengan pedoman yang diuraikan oleh Ramdhani et al. (2014). *Systematic review* bertujuan untuk mengumpulkan, menilai, dan mensintesis semua bukti empiris yang memenuhi kriteria kelayakan yang telah ditentukan sebelumnya, guna menjawab pertanyaan penelitian yang jelas dan sering kali sempit mengenai topik tertentu. Pendekatan ini mendukung praktik berbasis bukti dan mematuhi prinsip-prinsip ilmiah yang eksplisit serta panduan metodologis yang ketat. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan acak dan sistematis yang dapat mengakibatkan penyimpangan dari kebenaran dalam hasil atau inferensi (Paré & Kitsiou, 2017).

Prosedur utama dari *systematic review* ini mencakup beberapa langkah. Pertama, formulasi pertanyaan penelitian. Selanjutnya, kriteria inklusi dan eksklusi ditentukan untuk memastikan bahwa hanya studi yang relevan yang diikutsertakan dalam tinjauan ini. Setelah itu, literatur yang relevan diakses dan dipilah menggunakan beberapa database, termasuk Google Scholar, Research Gate, dan Elsevier, dengan kata kunci “ekstraksi protein”, “*Microwave Assisted Extraction*”, dan “waktu ekstraksi”. Proses seleksi studi dilakukan untuk meminimalkan kesalahan acak atau sistematis dalam pengambilan keputusan. Data yang diperoleh dianalisis, kemudian hasilnya disajikan dalam tabel ringkasan temuan. Dari proses ini, ada delapan literatur yang memenuhi prasyarat tersebut dan akan dianalisis lebih lanjut. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan, dan kesimpulan ditarik berdasarkan kekuatan bukti keseluruhan.

3. PEMBAHASAN

3.1 Metode *Microwave Assisted Extraction*

Metode Microwave-Assisted Extraction (MAE) telah berkembang pesat sebagai teknologi yang efisien dalam ekstraksi berbagai biomolekul, termasuk protein dari sumber nabati. MAE memanfaatkan energi gelombang mikro untuk memanaskan pelarut dan sampel secara cepat dan merata, sehingga meningkatkan kecepatan ekstraksi dan hasil yang diperoleh. Dibandingkan dengan metode konvensional, MAE menawarkan sejumlah keunggulan, seperti waktu ekstraksi yang lebih singkat, penggunaan pelarut yang lebih sedikit, serta kemampuan untuk meningkatkan hasil ekstraksi tanpa merusak komponen bioaktif (Elhag et al., 2019).

Keunggulan MAE berasal dari mekanisme pemanasannya yang berbeda secara signifikan dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional. Dalam metode pemanasan tradisional, panas ditransfer secara perlahan dari permukaan ke dalam sel melalui konduksi. Sebaliknya, pada MAE, gelombang mikro menghasilkan panas langsung di dalam jaringan tanaman melalui osilasi molekul polar sebagai respons terhadap medan listrik yang dihasilkan oleh gelombang mikro. Proses ini menciptakan gesekan internal yang menghasilkan panas

secara merata, mempercepat pemanasan dan memungkinkan energi terdisipasi secara selektif (Görgüç et al., 2020), yang pada akhirnya membantu memecah sel-sel tanaman dengan lebih efisien. Perlakuan gelombang mikro ini menyebabkan kerusakan struktural yang signifikan pada sel-sel kaya protein (Wen et al., 2021). Radiasi elektromagnetik dari gelombang mikro merusak protoplasma dan membran plasma, yang berfungsi sebagai penghalang utama dalam melepaskan protein intraseluler. Pada jaringan tanaman yang belum diproses, dinding sel biasanya terikat erat, dengan membran plasma yang menempel kuat pada dinding sel. Namun, paparan gelombang mikro membuat struktur dinding sel menjadi lebih longgar, menyebabkan mikrofibril selulosa terpisah, kemungkinan karena rusaknya pektin yang berfungsi sebagai agen pengikat. Ketika struktur sel hancur, kelarutan dan difusivitas protein meningkat, sehingga mempercepat dan meningkatkan hasil ekstraksi (Choi et al., 2006). Kerusakan struktural yang difasilitasi oleh gelombang mikro ini tidak hanya meningkatkan efisiensi ekstraksi protein tetapi juga mempercepat pelepasan komponen intraseluler. Dengan kemampuan ini, MAE menjadi metode yang efektif untuk mengekstraksi protein dari berbagai sumber nabati.

Metode Microwave-Assisted Extraction (MAE) untuk ekstraksi protein memerlukan biaya awal peralatan MAE yang relatif tinggi. Selain itu, protein sensitif terhadap suhu tinggi dan dapat mengalami denaturasi (Wang et al., 2004) sehingga penggunaan metode MAE harus memperhitungkan kontrol waktu ekstraksi, suhu maupun daya dari microwave agar dapat mempertahankan kualitas dari ekstrak protein yang didapatkan.

3.2 Pengaruh Waktu pada Ekstraksi Protein Menggunakan MAE

Waktu ekstraksi merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi efisiensi dan hasil akhir dari proses ekstraksi protein. Tabel 1 menunjukkan beberapa penelitian yang mengkaji pengaruh waktu ekstraksi protein terhadap efektivitas ekstraksi protein, ditinjau dari nilai rendemen proteinnya, pada beberapa jenis bahan baku yang berbeda.

Hasil penelitian yang dibandingkan dalam Tabel 1 menunjukkan variasi pada bahan baku dan waktu ekstraksi, dengan beberapa tren umum terkait peningkatan efisiensi ekstraksi protein, ditinjau dari nilai rendemen protein. Dalam penelitian Choi et al. (2006) pada kacang kedelai, efektivitas ekstraksi protein menunjukkan peningkatan seiring dengan lamanya waktu ekstraksi, yaitu dari 3 hingga 15 menit, dengan daya microwave 2450 MHz. Suhu optimum untuk ekstraksi protein pada kacang kedelai ditemukan pada 60,1°C. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan waktu ekstraksi yang lebih lama dengan suhu yang tepat dapat meningkatkan hasil ekstraksi protein.

Penelitian (Cui et al., 2017) menunjukkan Ekstraksi teh hijau menghasilkan rendemen protein meningkat secara tajam pada waktu ekstraksi 20 hingga 100 menit, tetapi peningkatan menjadi tidak signifikan antara menit ke-100 hingga 200. Sehingga, didapatkan waktu optimum untuk ekstraksi protein dari teh hijau pada 100 menit dengan suhu ekstraksi 60°C, pH 11, dan rasio sampel/volume 1/40. Penelitian ini menunjukkan bahwa waktu ekstraksi yang terlalu lama tidak selalu meningkatkan rendemen secara signifikan setelah mencapai titik jenuhnya.

Selanjutnya, penelitian pada akar Tongkat Ali Merah (*Jackiopsis ornata*) oleh Elhag et al. (2019) mengungkapkan bahwa peningkatan daya microwave umumnya memperpendek waktu ekstraksi. Ekstraksi optimal tercapai pada 20 menit dengan daya 303 Watt dan suhu 65°C. Namun, penelitian ini menunjukkan bahwa perpanjangan waktu ekstraksi dapat menyebabkan degradasi termal, yang menunjukkan bahwa keseimbangan antara waktu dan daya sangat penting untuk mendapatkan hasil ekstraksi yang baik.

Sementara itu, penelitian Görgüç et al. (2020) pada kulit wijen menemukan bahwa kondisi optimal ekstraksi dengan bantuan microwave terjadi pada suhu 51°C dan waktu 29

menit dengan daya 750 Watt. Meski waktu ekstraksi yang dibutuhkan lebih singkat dibandingkan beberapa penelitian lain, daya microwave yang digunakan relatif tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat fisik bahan baku yang berbeda, di mana kulit wijen memerlukan lebih banyak energi untuk memecah struktur seluler dan melepaskan proteinnya dibandingkan bahan lainnya.

Tabel 1. Penelitian tentang ekstraksi protein nabati menggunakan metode MAE.

Bahan Baku	Waktu Ekstraksi	Hasil ditinjau dari nilai rendemen protein (<i>protein yield</i>)	Referensi
Kacang kedelai (<i>Glycine max (L.) merrill</i>)	3-15 menit	Hasil ekstraksi protein meningkat seiring bertambahnya waktu dengan spesifikasi microwave 2450 MHz. Waktu optimum dicapai pada 15 menit dengan suhu 60,1°C.	(Choi et al., 2006)
Teh hijau (<i>Camellia sinensis</i>)	20-200 menit	Hasil ekstraksi protein meningkat secara tajam dari 20-100 menit sedangkan pada menit ke 100-200 tidak ada peningkatan yang signifikan. Waktu optimum untuk ekstraksi protein adalah 100 menit pada kondisi suhu 60 °C, pH 11, dan rasio berat sampel/volume sejumlah 1/40.	(Cui et al., 2017)
Akar Tongkat Ali Merah (<i>Jackiopsis ornata</i>)	10-30 menit	Peningkatan daya microwave umumnya meningkatkan hasil ekstraksi dan memperpendek durasi ekstraksi, tetapi durasi yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi termal. Waktu optimum ditemukan pada 20 menit, suhu 65°C, dan daya microwave 303 Watt.	(Elhag et al., 2019)
Kulit wijen (<i>Sesamum indicum L.</i>)	10-120 menit	Kondisi optimal ekstraksi terjadi pada suhu proses 51°C, waktu 29 menit, dan daya microwave 750 Watt.	(Görgüç et al., 2020)
Kacang tanah (<i>Arachis hypogaea L.</i>)	2-10 menit	Perlakuan terbaik didapat pada daya microwave sebesar 725 Watt selama 8 menit.	(Ochoa-Rivas et al., 2017)
Dedak padi (<i>Oryza sativa</i>)	60-120 detik	Kondisi optimal pada daya microwave 1000 Watt, waktu ekstraksi 90 detik, dan rasio padatan terhadap cairan 0,89 g dedak padi/10 mL air suling.	(Phongthai et al., 2016)
Kulit ari kopi (<i>Coffea Sp.</i>)	10 menit	Hasil ekstraksi dengan MAE selama 10 menit secara signifikan lebih tinggi dibandingkan metode konvensional (metode alkali) selama 24 jam	(Wen et al., 2021)
Mikroalga (<i>Chlorella vulgaris</i>)	60-150 detik	Peningkatan hasil ekstraksi protein hingga 2,54 kali dengan bantuan iradiasi microwave. Kondisi optimal untuk pemulihan protein maksimum meliputi konsentrasi amonium sulfat 30%, rasio <i>slurry</i> terhadap t-butanol 1:1, waktu microwave 120 detik, siklus tugas microwave 80%, daya microwave 100 Watt, dan konsentrasi biomassa mikroalga 0,5% w/w.	(Chew et al., 2019)

Perbandingan menarik muncul dari penelitian Ochoa-Rivas et al. (2017) pada tepung kacang tanah. Dalam penelitian ini, daya microwave 725 Watt digunakan selama 8 menit, menunjukkan hasil yang sebanding dengan penelitian Choi et al. (2006) pada kedelai. Meski suhu optimum untuk kedelai adalah 60,1°C, protein pada kacang tanah mengalami denaturasi pada suhu yang lebih tinggi, yaitu 91°C untuk arachin dan 102°C untuk conarachin. Hal ini menunjukkan bahwa suhu denaturasi protein yang berbeda pada masing-masing bahan baku mempengaruhi kondisi optimal ekstraksi.

Dedak padi dan kulit ari kopi menunjukkan variasi yang lebih besar dalam waktu dan daya ekstraksi. Penelitian Phongthai et al. (2016) pada dedak padi menyarankan waktu

ekstraksi yang sangat singkat, yaitu antara 60 hingga 120 detik, dengan daya microwave 1000 Watt. Penelitian ini menunjukkan bahwa daya microwave yang tinggi mampu mengekstraksi protein secara efisien dalam waktu yang jauh lebih singkat. Hal yang serupa juga ditemukan pada penelitian Wen et al. (2021) pada kulit ari kopi, di mana ekstraksi selama 10 menit dengan daya microwave menghasilkan hasil ekstraksi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional.

Penelitian Chew et al. (2019) pada mikroalga memperlihatkan bahwa penggunaan daya microwave yang lebih rendah, yaitu 100 Watt, dengan waktu ekstraksi 120 detik, mampu meningkatkan hasil ekstraksi protein hingga 2,54 kali. Namun, penelitian ini juga menunjukkan bahwa daya microwave yang terlalu tinggi dapat merusak stabilitas protein, sementara daya yang terlalu rendah tidak cukup untuk merusak dinding sel mikroalga secara efektif. Sehingga, selain kontrol dari waktu ekstraksi, kontrol daya microwave juga sangat penting untuk memastikan bahwa biomolekul tetap stabil selama ekstraksi.

Keseluruhan perbandingan ini menunjukkan bahwa kondisi optimal untuk ekstraksi protein bervariasi tergantung pada bahan baku yang digunakan, dengan beberapa penelitian menunjukkan keuntungan penggunaan daya microwave yang lebih tinggi untuk waktu yang lebih singkat, sementara penelitian lain menunjukkan bahwa waktu yang lebih panjang pada daya sedang atau rendah bisa lebih efektif, tergantung pada sifat fisik dan kimia bahan baku.

3.3 Relevansi Metode MAE untuk Ekstraksi Protein terhadap SDGs

Metode *Microwave Assisted Extraction* (MAE) memiliki relevansi yang signifikan terhadap Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya dalam konteks keberlanjutan dan efisiensi dalam pengolahan sumber daya alam. Salah satu tujuan utama dari SDGs adalah untuk mengatasi masalah kelaparan dan malnutrisi di seluruh dunia. Dalam hal ini, penggunaan MAE dalam ekstraksi protein dari sumber nabati dapat menjadi alternatif untuk menghasilkan bahan tambahan pangan dalam bentuk ekstrak ataupun isolat protein. Dengan mengoptimalkan efisiensi ekstraksi, MAE berpotensi meningkatkan produksi protein nabati yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan gizi masyarakat, terutama di negara berkembang. Hal ini sangat penting untuk mendukung tujuan SDG 2, yaitu Tanpa Kelaparan (BAPPENAS, 2021). Dengan meningkatkan kualitas dan kuantitas protein nabati, MAE berperan dalam meningkatkan kesehatan masyarakat. Protein nabati yang diekstraksi dapat digunakan dalam berbagai produk makanan yang lebih sehat, mendukung pola makan yang seimbang dan bergizi.

Selain itu, MAE juga berkontribusi terhadap SDG 12, yaitu Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab (BAPPENAS, 2021). Metode ini merupakan pilihan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional, yang seringkali membutuhkan lebih banyak energi dan menghasilkan limbah yang lebih banyak. Dengan menggunakan energi yang lebih sedikit dan menghasilkan limbah yang minimal, MAE mendukung praktik produksi yang berkelanjutan.

Secara keseluruhan, relevansi metode MAE untuk ekstraksi protein tidak hanya terlihat dari efisiensi prosesnya, tetapi juga dari kontribusinya terhadap pencapaian SDGs. Implementasi teknologi ini dapat menjadi langkah strategis dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan, terutama dalam konteks ketahanan pangan dan pengelolaan sumber daya alam yang baik serta bertanggungjawab.

4. KESIMPULAN

Metode Microwave-Assisted Extraction (MAE) memiliki potensi signifikan sebagai metode ekstraksi protein yang cepat dan efektif. MAE menawarkan peningkatan dibandingkan metode ekstraksi protein secara konvensional (metode alkali), yang umumnya membutuhkan waktu lebih lama. Berdasarkan berbagai penelitian yang telah ditelaah, MAE mampu meningkatkan hasil ekstraksi protein (rendemen protein) dari berbagai bahan baku, seperti kacang kedelai, akar Tongkat Ali Merah, kulit wijen, tepung kacang tanah, dedak padi, kulit ari kopi, dan mikroalga. Setiap bahan baku menunjukkan waktu ekstraksi optimal yang berbeda-beda. Secara umum, peningkatan waktu dapat meningkatkan efektivitas ekstraksi protein dengan menghasilkan rendemen yang lebih tinggi; namun, kontrol waktu yang tepat perlu diperhatikan karena waktu ekstraksi yang terlalu lama dapat menyebabkan degradasi termal. Selain itu, daya microwave juga memengaruhi waktu ekstraksi optimal. Waktu ekstraksi yang lebih singkat dengan daya tinggi, seperti pada dedak padi dan kulit ari kopi, menunjukkan bahwa MAE dapat menghemat waktu secara signifikan dibandingkan metode konvensional. Dengan demikian, MAE adalah teknologi yang menjanjikan untuk ekstraksi protein dari berbagai bahan nabati.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada P3M Politeknik Negeri Jember atas dukungannya berupa hibah PNPB Penelitian tahun 2024.

DAFTAR PUSTAKA

- BAPPENAS. (2021). *Terjemahan Tujuan Dan Target Global Tujuan Pembangunan Berkelanjutan* (1st ed., Vol. 1–1). BAPPENAS. <https://sdgs.bappenas.go.id/website/wp-content/uploads/2021/04/Buku-Saku-Target-Metadata.pdf>
- Chew, K. W., Chia, S. R., Lee, S. Y., Zhu, L., & Show, P. L. (2019). Enhanced microalgal protein extraction and purification using sustainable microwave-assisted multiphase partitioning technique. *Chemical Engineering Journal*, 367, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.02.131>
- Choi, I., Choi, S. J., Chun, J. K., & Moon, T. W. (2006). Extraction yield of soluble protein and microstructure of soybean affected by microwave heating. *Journal of Food Processing and Preservation*, 30(4), 407–419. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2006.00075.x>
- Cui, Q., Ni, X., Zeng, L., Tu, Z., Li, J., Sun, K., Chen, X., & Li, X. (2017). Optimization of Protein Extraction and Decoloration Conditions for Tea Residues. *Horticultural Plant Journal*, 3(4), 172–176. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2017.06.003>
- Elhag, H. E. A., Naila, A., Ajit, A., Sulaiman, A. Z., Ishak, W. F. W., Aziz, B. A., & Prasad, R. (2019). *Optimization of protein yields in water extracts of Jackiopsis ornata roots by response surface methodology using microwave assisted extraction (MAE)*. 020055. <https://doi.org/10.1063/1.5089354>
- Görgüç, A., Özer, P., & Yılmaz, F. M. (2020). Microwave-assisted enzymatic extraction of plant protein with antioxidant compounds from the food waste sesame bran: Comparative optimization study and identification of metabolomics using LC/Q-TOF/MS. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(1). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14304>
- Jafarzadeh, S., Qazanfarzadeh, Z., Majzoobi, M., Sheiband, S., Oladzadabbasabad, N., Esmaeili, Y., Barrow, C. J., & Timms, W. (2024). Alternative proteins; A path to sustainable diets and environment. *Current Research in Food Science*, 9, 100882. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2024.100882>
- Ochoa-Rivas, A., Nava-Valdez, Y., Serna-Saldívar, S. O., & Chuck-Hernández, C. (2017). Microwave and Ultrasound to Enhance Protein Extraction from Peanut Flour under Alkaline Conditions:

- Effects in Yield and Functional Properties of Protein Isolates. *Food and Bioprocess Technology*, 10(3), 543–555. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1838-3>
- Paré, G., & Kitsiou, S. (2017). Chapter 9 Methods for Literature Reviews. In *Handbook of eHealth Evaluation: An Evidence-based Approach [Internet]*. University of Victoria. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK481583/>
- Phongthai, S., Lim, S.-T., & Rawdkuen, S. (2016). Optimization of microwave-assisted extraction of rice bran protein and its hydrolysates properties. *Journal of Cereal Science*, 70, 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.001>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02907-z>
- Ramdhani, A., Ramdhani, M. A., & Amin, A. S. (2014). Writing a Literature Review Research Paper: A step-by-step approach. *International Journal of Basic and Applied Science*, 03(01).
- Wang, H., Johnson, L. A., & Wang, T. (2004). Preparation of soy protein concentrate and isolate from extruded-expelled soybean meals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 81(7), 713–717. <https://doi.org/10.1007/s11746-004-966-8>
- Wen, L., Álvarez, C., Zhang, Z., Poojary, M. M., Lund, M. N., Sun, D.-W., & Tiwari, B. K. (2021). Optimisation and characterisation of protein extraction from coffee silverskin assisted by ultrasound or microwave techniques. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(5), 1575–1585. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00712-2>