

Eksplorasi Daging Analog Dari Berbagai Jenis Protein Nabati

Lia Wildatus Sholihah¹, Ikha Handayani², Usi Susila³, Jufrinaldi⁴

Universitas Pamulang

E-mail : liawildatus@gmail.com

Article History:

Received: 05 Desember 2024

Revised: 19 Desember 2024

Accepted: 21 Desember 2024

Keywords: *Analog Meat, Soybeans, Peas, mushroom, and Microalgae*

Abstract: *Analog meat is a sustainable solution designed to mimic the texture, taste and appearance of animal meat using the main ingredient of plant protein. Along with increasing awareness of the environmental impact of the livestock industry and the need for alternative protein sources, the development of plant-based protein-based meat analogues has become very relevant. Vegetable proteins commonly used in making meat analogues include soybeans, peas and microalgae. This journal reviews several unique characteristics in protein content, texture, taste, and challenges of each of these ingredients. Soybeans, having a high protein content, produce meat analogues with a taste and texture resembling beef through the extrusion process and Maillard reaction. Peas, have a lower protein content, but contribute to the creation of a meat analogue with its own characteristics. Microalgae, such as Spirulina and Chlorella, contain protein as well as essential amino acids, and offer a superior nutritional profile compared to other protein sources. This research aims to explore the potential and challenges in developing meat analogues based on soybeans, peas and microalgae.*

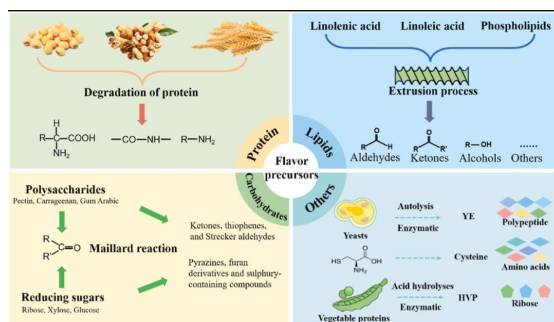
PENDAHULUAN

Sejak zaman prasejarah, daging telah dikonsumsi sebagai salah satu makanan pokok, baik diperoleh dari hasil perburuan maupun hasil peternakan. Selain karena rasanya yang lezat, daging memiliki kandungan yang sangat bergizi, meyehatkan, dan merupakan sumber protein bagi tubuh manusia. Seiring dengan perkembangan zaman, pola konsumsi daging mengalami perubahan, terutama dengan kesadaran akan kesejahteraan hewan, dan dampak buruk lingkungan dari industri peternakan. Industri peternakan, terutama peternakan sapi memiliki dampak emisi bagi lingkungan setara CO₂ sebesar 35–105 kg per kg produk (Clune, Crossin, & Verghese, 2017). Dimana Emisi tersebut berkontribusi sebesar 20% dari total emisi Non-CO₂ di seluruh dunia (FAO, 2020). Dari sisi akultural daging ikan memiliki emisi yang lebih rendah, namun hanya dapat memenuhi kebutuhan protein manusia sebanyak 17% dari total produksi daging global (Costello et al., 2020). Sehingga strategi yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan protein, tetapi mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan yaitu dengan mengonsumsi daging analog. Daging analog merupakan solusi untuk mengakali sumber protein hewani karena bahan bakunya sebagian besar adalah sumber protein nabati. Daging analog sebagian besar terdiri dari protein

nabati dan mikoprotein, dengan meniru rasa, tampilan, dan sifat tekstur daging hewan (Mohamad Mazlan et al., 2020). Proses pembuatan daging analog harus melalui pemasakan dengan suhu tinggi untuk membentuk tekstur seperti daging, supaya kontaminasi mikroorganisme dapat dikurangi secara signifikan (Fu et al., 2021). Dalam beberapa tahun terakhir pengembangan daging analog telah banyak dilakukan, salah satu protein nabati yang sering dianjurkan sebagai sumber protein utama untuk daging analog yaitu mikroalga, Jamur, kacang kedelai dan kacang polong. Pembuatan daging analog dengan protein berbahan dasar protein tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dari segi tekstur, rasa, maupun kandungan proteinnnya. Dengan berbagai kandungan protein yang dimilikinya, daging analog sangat baik untuk dikonsumsi dan dimanfaatkan sebagai pengganti protein hewani. Berdasarkan pemaparan di atas, pengkajian studi daging analog dari berbagai jenis protein nabati perlu dilakukan sebagai tujuan dari penulisan ini.

PEMBAHASAN DAGING ANALOG

Daging analog atau biasa dikenal sebagai meat analog (MA) adalah produk pangan yang dirancang untuk menyerupai daging hewan dalam hal tekstur, rasa, dan penampilan (Grahl et al., 2018). Daging analog merupakan protein berkelanjutan yang di buat menggunakan protein nabati (Xia et al., 2023). Protein nabati yang di gunakan di bentuk menyerupai struktur otot dalam daging dengan cara membentuknya menjadi isolat protein. Isolat protein tersebut kemudian dicampurkan dengan air, dipanaskan, dan diberi tekanan tinggi yang bertujuan agar protein terdenaturasi dan membentuk struktur anisotropik (linear), proses ini disebut dengan proses ekstrusi. Selama proses tersebut reaksi kimia seperti oksidasi lipid dan reaksi maillard terjadi, yang berkontribusi pada pembentukan rasa dan aroma menyerupai daging (Zhang et al., 2022). Adapun senyawa penyusun rasa dalam kandungan daging analog meliputi protein, lipid, karbohidrat, dan senyawa lain ditunjukkan pada gambar 1. Berdasarkan gambar 1, rasa dan aroma daging analog dipengaruhi oleh senyawa protein, lipid, karbohidrat, dan senyawa lain yang terkandung di dalamnya. Pembentukan rasa tersebut terjadi melalui reaksi kimia selama proses ekstrusi, terutama oksidasi lipid, reaksi Maillard, dan degradasi tiamin (Yang et al., 2021). Oksidasi lipid menghasilkan senyawa volatil seperti aldehida dan keton yang memberikan aroma lemak (Xia et al., 2023). Sementara reaksi maillard antara gula reduksi dan asam amino menciptakan senyawa seperti pyrazines dan furans yang memberikan rasa panggang dan daging. Tiamin yang terdegradasi juga menyumbang aroma khas melalui senyawa sulfur (Li and Li, 2020). Proses ini dipengaruhi oleh komposisi bahan, parameter ekstrusi (suhu, tekanan, kelembapan), serta penambahan bumbu alami yang dapat meningkatkan atau menutupi flavor (Yu et al., 2023)



Gambar 1. Senyawa penyusun rasa dalam daging analog

Selanjutnya, pada pembuatan daging analog terdapat pembentukan busa sebagai proses penyerapan air dan minyak yang akan mempengaruhi rasa serta sifat tekstur HMMA (High

Moisture Meat Analog), Selain itu digunakan juga tinta daging analog yang dapat diformulasikan dengan penambahan hidrokoloid untuk mengurangi penyerapan minyak selama penggorengan lemak dalam pada daging analog untuk memperoleh hasil optimal (Bhuiyan et al., 2025) . Pembentukan busa dapat juga ditingkatkan dengan cara perendaman dan marinasi pasca-ekstrusi fase cair atau semi-cair untuk meningkatkan kemiripan dengan daging hewan dan akhirnya mencapai penerimaan konsumen yang lebih tinggi (Zink et al., 2023). Proses pembuatan daging analog berbasis protein nabati perlu ditambahkan zat aditif dan enzim. Penambahan zat aditif umumnya digunakan dalam industri daging asli untuk mengembangkan oksidasi dan stabilitas mikroba, agar aman jika dikonsumsi dalam jangka waktu panjang (Martín-Miguélez et al., 2024). Penambahan enzim juga dapat dilakukan untuk meningkatkan sifat produk, karena enzim dapat mengubah sifat bahan protein melalui ikatan silang dan pembentukan ikatan disulfida. (Peng et al., 2022). Setelah melalui serangkaian proses, daging analog akan diukur kualitas proteinnya. Penentu utama kualitas protein yang baik diukur berdasarkan banyaknya asam amino esensial (EAA). Terdapat delapan EAA, yaitu: isoleusin (Ile), leusin (Leu), lisin (Lys), metionin (Met), fenilalanin (Phe), treonin (Thr), triptofan (Typ), dan valin (Val). Delapan EAA ini tidak dapat disintesis oleh manusia dan harus diperoleh dari sumber makanan (Kent et al., 2015)

PROTEIN NABATI Kacang Kedelai

Kacang kedelai memiliki kandungan protein yang diolah menjadi isolate protein kedelai dan paling umum digunakan dalam produk daging analog, Beberapa studi penelitian telah dilakukan untuk membentuk tinjauan komprehensif tentang efek positif dan peningkatan kesehatan dari konsumsi protein kedelai dengan peningkatan metabolisme lipid (Bohrer, 2019) . Penggunaan isolate protein kedelai atau *soybean protein isolate* (SPI) dalam daging analog dapat diekstrusi menggunakan parameter proses yang berbeda seperti kadar air, suhu pemasakan dan energi mekanik spesifik (SME) yang bertujuan untuk membentuk struktur anisotropik melalui proses ekstrusi, meniru tekstur serat otot daging asli. (Chen et al., 2022) . SPI juga memiliki senyawa seperti asam amino dan lipid yang menjadi prekursor rasa melalui reaksi Maillard dan oksidasi lipid selama proses ekstrusi (Li and Li, 2020). Isolat protein kedelai (SPI) memiliki kandungan kadar air 8,15%, kadar lemak 0,06% db, kadar abu 4,81% db, kadar protein total 92,68% db, dan indeks kelarutan nitrogen 63,92%. (Chen et al., 2022). Daging analog yang di hasilkan dari bahan baku isolate protein kedelai tersebut memiliki kandungan protein sekitar 80%, dengan profil asam amino yang mendekati protein hewani, yaitu lisin 7,8%, treonin 5,0%, Valin 5,2%, leusin 8,0%, isoleusin 4,8%, histidine 2,5%, triptofan 1,3%, fenilalanin dan tirosin 8,7%, metionin dan sistein 3,2% (Schreuders et al., 2019) . Daging analog berbahan SPI memiliki struktur berserat yang menyerupai daging asli, hal ini terjadi karena reaksi Maillard yang terjadi selama proses ekstrusi atau pemanasan, selain itu daging memiliki tekstur yang kenyal dan elastis (Li and Li, 2020) . Metode pembuatan daging analog dari kacang kedelai diharuskan menghilangkan rasa yang tidak diinginkan dari bahan baku isolate protein, seperti rasa grassy (seperti rumput) atau rasa beany (seperti kacang mentah) maka metode yang digunakan yaitu sebelum memasuki proses ekstrusi kacang kedelai dicampur dengan zat aditif dan enzim (Peng et al., 2022). Selanjutnya campuran tersebut akan melalui tahapan ekstrusi pada suhu 120-180°C, pada tahapan ini terjadi reaksi maillard yang akan membantu meningkatkan rasa daging analog dengan menghasilkan senyawa aroma yang menyerupai rasa panggang dan gurih. Selanjutnya daging analog berbahan dasar protein kedelai dapat diproses lebih lanjut seperti pemanggangan atau penggorengan (Li and Li, 2020). Daging analog berbahan dasar isolate protein kedelai tersebut memiliki kandungan protein yang tinggi, rendah lemak, mineral, oligosakarida, isoflavone, saponin, dan air (Choi et., al. 2025).

Kacang Polong

.....

Kacang polong mengandung protein yang memiliki kemampuan untuk mengikat air dan lemak, serta menghasilkan tekstur yang kokoh setelah proses pemanasan (Cui et al., 2020). Kacang polong berfungsi sebagai pengikat, pengisi, dan penambah kualitas tekstur pada produk daging analog. Protein kacang polong dapat diproses melalui metode ekstrusi kelembapan tinggi atau teknologi pencetakan lainnya untuk menghasilkan serat yang menyerupai struktur daging, meskipun demikian struktur kacang polong cenderung lebih lemah, sehingga sering kali ditambahkan bahan seperti hidrokoloid untuk meningkatkan kekokohnya (Yu et al., 2025). Protein kacang polong memiliki banyak kandungan asam amino esensial lisin dan asam amino rantai cabang (Rutherford et al., 2015). Karena kandungan asam aminonya yang seimbang dan hipoalergenik, Protein kacang polong dianggap sebagai sumber protein yang menjanjikan (Lam et al., 2016). Selain itu isolat protein kacang polong atau Pea protein isolate (PPI) memiliki kandungan protein 71,23%, air 7,50%, dan abu 4,10% (Yu et al., 2025). Pada proses penataan HMMA (High Moisture Meat Analog) protein kacang polong lebih rumit dibandingkan protein kedelai karena protein kacang polong memiliki kemampuan pembentukan gel yang relatif lebih rendah dibandingkan protein kedelai (Schreuders et al., 2019). Maka penambahan ekstrudat dalam daging analog berbahan protein kacang polong perlu dilakukan untuk membuat tekstur daging menjadi kenyal dan tinggi akan serat (Kaleda et al., 2021). Produksi daging analog berbahan kacang polong menghasilkan rasa yang lembut, berserat tinggi, dan model permukaan respons yang baik. Daging analog berbahan dasar isolat protein kacang polong diekstrusi dengan mengkombinasikan gluten gandum (Kaleda et al., 2021). Selain itu campuran tersebut menawarkan peluang untuk analog daging berserat dengan kekuatan matriks yang mirip dengan daging ayam yang dimasak (Schreuders et al., 2019). Daging analog berbahan dasar isolat protein kacang polong memiliki kandungan protein sebesar 78,6% yang tersusun atas asam amino relatif tinggi dalam lisin yaitu 7,6% dan fenilalanin 8,3%, tetapi lebih rendah pada metionin(2,0%), sistein (2,0%), dan triptofan (1,1%), yang dapat membatasi skor kualitas proteinnya dibandingkan kedelai (Schreuders et al., 2019). Struktur daging analog berbahan dasar kacang polong memiliki tekstur berserat yang lebih ringan dibandingkan dengan daging asli, proses pembuatannya yaitu melalui proses ekstrusi kelembapan tinggi, sehingga struktur berserat yang terdapat pada daging analog tersebut dapat diperkuat (Li and Li, 2020). Selanjutnya, penggunaan bahan pengikat seperti gluten gandum atau hidrokoloid lainnya dapat membantu memberikan tekstur yang lebih kenyal dan elastis, mendekati tekstur daging asli. Dengan demikian, meskipun kacang polong tidak memiliki kemampuan pembentukan gel yang kuat seperti kedelai, proses-proses ini dapat menciptakan struktur yang lebih baik pada daging analog (Kaleda et al., 2021). Daging analog berbahan dasar kacang polong memiliki rasa cenderung netral sehingga dapat disesuaikan dengan perasa tambahan. Tetapi rasa nabati dasar masih melekat sehingga memerlukan penyesuaian lebih lanjut (Li and Li, 2020).

Jamur

Daging analog berbasis jamur telah muncul sebagai alternatif yang menjanjikan untuk daging hewani, terutama dalam konteks keberlanjutan dan dampak lingkungan. Jamur, dengan karakteristik uniknya, seperti tekstur berserat alami dan rasa umami yang kuat, menawarkan solusi yang menarik untuk memenuhi kebutuhan protein global. Jenis jamur yang umum digunakan dalam pembuatan daging analog termasuk jamur tiram, shiitake, dan jamur kancing. Jamur tiram dikenal dengan teksturnya yang lembut, shiitake memberikan rasa umami yang kuat, sementara jamur kancing menawarkan fleksibilitas dalam berbagai aplikasi kuliner (Yuan et al., 2021; Pérez-Montes et al., 2021). Proses pembuatan daging analog berbasis jamur dimulai dengan panen dan pemrosesan awal untuk memastikan kebersihan dan kualitas bahan. Jamur dapat digunakan segar atau diolah menjadi bubuk untuk formulasi. Struktur berserat alami dari

miselium jamur diperkuat melalui teknik pemanasan, tekanan, dan ekstrusi, yang meniru tekstur serat otot pada daging hewani. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan jamur ke dalam produk daging analog berbasis kedelai dapat meningkatkan karakteristik tekstur dan rasa, serta memberikan nilai gizi yang lebih baik (Cho & Ryu, 2022; Mazlan et al., 2020). Selain itu, bumbu dan perisa alami, seperti ekstrak ragi, sering ditambahkan untuk meningkatkan cita rasa, sementara hidrokoloid seperti guar gum digunakan untuk memperbaiki tekstur produk (Wong et al., 2017). Keunggulan daging analog berbasis jamur terletak pada nilai gizi yang tinggi, termasuk kandungan protein rata-rata terdiri dari 19-35%, memiliki semua asam amino esensial yang dibutuhkan oleh manusia, dan pola asam amino mereka secara umum mendekati pola ideal, serat, dan senyawa bioaktif seperti β -glukan, yang menjadikannya alternatif yang lebih sehat dibandingkan dengan daging hewani. Jamur juga memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah, karena dapat dibudidayakan dengan sumber daya minimal, bahkan menggunakan limbah pertanian, sehingga mengurangi jejak karbon (Fresán et al., 2019; Kumar et al., 2016; Wang & Zhao, 2023). Namun, tantangan seperti rasa dan aroma khas jamur yang mungkin tidak disukai sebagian konsumen serta biaya produksi yang tinggi masih perlu diatasi. Solusi yang diusulkan termasuk penggunaan bumbu alami untuk menutupi rasa yang tidak diinginkan dan pengembangan teknologi budidaya yang lebih efisien, seperti penggunaan bioreaktor untuk meningkatkan skala produksi (Miller et al., 2014; Lee & Hong, 2019). Berdasarkan paparan diatas, daging analog berbasis jamur tidak hanya menawarkan alternatif yang berkelanjutan untuk daging hewani, tetapi juga mencerminkan kemajuan menuju sistem pangan yang lebih ramah lingkungan. Dengan inovasi dalam teknologi pengolahan dan formulasi, produk ini memiliki potensi besar untuk memenuhi kebutuhan protein global sambil mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari produksi daging konvensional (Yuan et al., 2021; Fresán et al., 2019; Pérez-Montes et al., 2021; Kumar et al., 2016). Daging analog berbasis jamur dapat menjadi solusi praktis yang mendukung keberlanjutan dan kesehatan masyarakat.

Mikroalga Mikroalga termasuk organisme eukariotik dan sianobakteri fotosintetik (Benetti et al., 2018). Turunan Mikroalga telah banyak digunakan sebagai suplemen makanan, atau sebagai bahan aditif (Kyriakopoulou et al., 2021). Mikroalga memiliki kandungan protein tinggi, antara 30% hingga 70% dari berat keringnya, tergantung pada spesies dan kondisi budidaya. Jumlah ini melebihi kandungan protein dalam banyak tanaman darat dan protein hewani. Mikroalga juga menawarkan profil asam amino esensial yang lengkap, seringkali melampaui sumber protein tradisional seperti kedelai dan gandum dalam kualitas asam amino (Fu et al., 2021). Selain protein mikroalga memiliki beberapa senyawa yang bermanfaat bagi nutrisi manusia, seperti lipid, mineral, dan pigmen seperti karotenoid dalam mikroalga juga berfungsi sebagai antioksidan alami, memberikan manfaat tambahan bagi produk makanan (Ferreira de Oliveira & Bragotto, 2022). Spesies mikroalga kaya protein yang diminati sebagai pengganti daging meliputi *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* (46-63%), *Chlorella vulgaris* (51-58%), *anochloropsis* spp. (50-55%), *Euglena gracilis* (22-55%), dan *Tetraselmis* sp. (35-52%) (Hulatt et al., 2017). Kandungan protein mikroalga bersifat dinamis berdasarkan kondisi budidaya terdapat dua media, pertama, media yang memiliki keterbatasan nitrogen mendorong pada sintesis karbohidrat dan lipid daripada protein, kedua, media yang kaya nitrogen memacu akumulasi protein (Guccione et al., 2014). Hal ini memungkinkan pengoptimalan kultur untuk hasil protein maksimal. Mikroalga memiliki rasa alami yang bisa mirip dengan rasa "laut" atau "umami", yang dapat memberi dimensi tambahan pada daging analog. Namun, rasa hijau atau amis dari mikroalga tertentu bisa jadi kurang disukai oleh sebagian konsumen (Ferreira de Oliveira & Bragotto, 2022). Untuk menghindari dominasi rasa yang tidak diinginkan, mikroalga sering dipadukan dengan bahan lain yang meningkatkan rasa atau menutupi bau dan rasa alami mikroalga yang dipicu dengan penggunaan bumbu, ekstrak

.....

ragi, atau bahan perasa alami seperti jamur sering digunakan untuk meningkatkan rasa daging analog dan menutupi aroma mikroalga yang kuat (kyriakopoulou et al., 2021). Mikroalga dapat memberikan tekstur yang menyerupai serat daging ketika digunakan dalam daging analog, terutama melalui proses ekstrusi kelembaban tinggi. Teknik ini memungkinkan mikroalga untuk berperan dalam menciptakan struktur berserat yang mirip dengan daging (Uribe-Wandurraga, et., al. 2021). Mikroalga seperti *A. Platensis* dan *C. Vulgaris* memiliki sifat yang memungkinkan mereka untuk menyerap air dan minyak dengan baik, memberikan kelembapan dan kekompakan pada produk akhir. Penambahan bahan pengikat dan protein nabati lainnya dapat membantu meningkatkan kekuatan dan elastisitas produk (Fu et al., 2021). Daging analog berbahan dasar mikroalga spesies *euglena gracilis* memiliki kandungan protein sekitar 55%, dengan kandungan asam amino esensial berupa isoleusin 4,3%, leusin 9,2%, lisin 6,7%, metiosin dan sisterin 3,2%, fenilalanin dan tirosin 8,4%, treonin 4,8%, triptofan 2,1%, valin 5,5% (Dai,J. et., al. 2022). Kacang kedelai, meskipun kaya akan protein, memiliki kekurangan berupa kandungan protein alergenik seperti β -conglycinin dan glycinin yang dapat memicu respons imun pada individu sensitive (Schreuders et al., 2019). Selain itu, kacang kedelai memiliki aroma rumput dan rasa khas seperti benny, grassy, dengan sedikit rasa pahit dan astringen, yang membuatnya memerlukan tambahan perisa agar mendekati rasa daging hewani (Li and Li, 2020). Di sisi lain, isolat protein kacang polong, meskipun menjanjikan sebagai sumber protein, memiliki kapasitas pembentukan gel yang lebih rendah dibandingkan protein lainnya. Hal ini menyebabkan daging analog berbahan dasar kacang polong cenderung memiliki tekstur yang lebih rapuh, sehingga membutuhkan tambahan bahan seperti gluten atau hidrokoloid untuk meningkatkan teksturnya (Schreuders et al., 2019). Sementara itu, mikroalga memiliki aroma dan rasa khas seperti rumput laut atau bahkan amis, yang dapat mengurangi daya tarik produk. Selain itu, pigmen alami seperti klorofil dan karotenoid pada mikroalga sering memberikan warna hijau atau gelap pada produk, yang dapat membuat tampilan daging analog menjadi kurang menarik secara visual (Fu et al., 2021).

KESIMPULAN

Daging analog merupakan protein yang dirancang untuk meniru tekstur, rasa, dan tampilan daging hewani menggunakan bahan utama protein nabati. Protein nabati yang umum meliputi kacang kedelai, kacang polong, dan mikroalga. Daging analog yang tercipta oleh masing-masing bahan tersebut memiliki karakteristik dalam hal kandungan protein, tekstur dan rasa. Kacang kedelai memiliki kandungan protein yang tinggi, serta profil asam amino yang seimbang, dan sangat mendekati protein hewani, namun terdapat kandungan protein alergenik, serta aroma yang masih memerlukan pengolahan tambahan. Kacang polong merupakan sumber protein yang menjanjikan dan hipoalergenik karena kaya akan lisin dan asam amino rantai cabang, selain itu rasanya pun cukup netral, namun kemampuan pembentukan gel cukup rendah sehingga membutuhkan bahan tambahan untuk meningkatkan tekstur. Daging analog berbasis jamur merupakan alternatif yang berkelanjutan dan bernilai gizi tinggi dengan kandungan protein 19-35%, asam amino esensial lengkap, serta serat dan senyawa bioaktif seperti β -glukan. Proses produksinya yang menggunakan sumber daya minimal dan memanfaatkan limbah pertanian mendukung pengurangan jejak karbon. Meski menghadapi tantangan seperti rasa khas jamur dan biaya produksi, inovasi teknologi dan formulasi dapat mengatasi kendala tersebut, menjadikan produk ini solusi potensial untuk memenuhi kebutuhan protein global secara lebih ramah lingkungan. Mikroalga mengandung profil asam amino yang lengkap, serta mampu menyerap air dan minyak dengan baik, namun pigmen alami serta aroma dan rasanya yang khas dapat mengurangi daya tarik visual produk. Secara keseluruhan, daging analog dari berbagai protein nabati menawarkan solusi yang menjanjikan untuk menggantikan protein hewani, mengurangi

dampak lingkungan, dan memenuhi kebutuhan protein manusia. Meskipun demikian, setiap bahan memiliki kelebihan dan kekurangan yang perlu diatasi melalui formulasi yang tepat, teknologi pemrosesan, serta penambahan zat aditif dan perisa untuk meningkatkan kualitas rasa, tekstur, dan penampilan produk akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhuiyan, Md. H. R., Liu, L., Samaranayaka, A., & Ngadi, M. (2025). Characterization of pea composites and feasibility of heat-modulated meat analogs production. *Food Chemistry*, 463, 141282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141282>
- Bohrer, B. M. (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness*, 8(4), 320–329. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006>
- Chen, Q., Zhang, J., Zhang, Y., Kaplan, D. L., & Wang, Q. (2022). Protein-amylose/amylopectin molecular interactions during high-moisture extruded texturization toward plant-based meat substitutes applications. *Food Hydrocolloids*, 127, 107559. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107559>
- Costello, C., Cao, L., Gelcich, S., Cisneros-Mata, M., Free, C. M., Froehlich, H. E., Golden, C. D., Ishimura, G., Maier, J., Macadam-Somer, I., Mangin, T., Melnychuk, M. C., Miyahara, M., de Moor, C. L., Naylor, R., Nøstbakken, L., Ojea, E., O'Reilly, E., Parma, A. M., ... Lubchenco, J. (2020). The future of food from the sea. *Nature*, 588(7836), 95–100. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2616-y>
- Cui, L., Bandillo, N., Wang, Y., Ohm, J.-B., Chen, B., & Rao, J. (2020). Functionality and structure of yellow pea protein isolate as affected by cultivars and extraction pH. *Food Hydrocolloids*, 108, 106008. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106008>
- Ferreira de Oliveira, A. P., & Bragotto, A. P. A. (2022). Microalgae-based products: Food and public health. *Future Foods*, 6, 100157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100157>
- Fu, Y., Chen, T., Chen, S. H. Y., Liu, B., Sun, P., Sun, H., & Chen, F. (2021). The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 188–200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.050>
- Grahl, S., Palanisamy, M., Strack, M., Meier-Dinkel, L., Toepfl, S., & Mörlin, D. (2018). Towards more sustainable meat alternatives: How technical parameters affect the sensory properties of extrusion products derived from soy and algae. *Journal of Cleaner Production*, 198, 962–971. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.041>
- Hulatt, C. J., Wijffels, R. H., Bolla, S., & Kiron, V. (2017). Production of fatty acids and protein by nannochloropsis in flat-plate photobioreactors. *PLoS ONE*, 12(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170440>
- Kaleda, A., Talvistu, K., Vaikma, H., Tammik, M.-L., Rosenvald, S., & Vilu, R. (2021). Physicochemical, textural, and sensorial properties of fibrous meat analogs from oat-pea protein blends extruded at different moistures, temperatures, and screw speeds. *Future Foods*, 4, 100092. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100092>
- Kent, M., Welladsen, H., Mangott, A., & Li, Y. (2015). Nutritional Evaluation of Australian Microalgae as Potential Human Health Supplements. *PLoS ONE*, 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118985>
- Lam, A., Warkentin, T., Tyler, R., & Nickerson, M. (2016). Physicochemical and Functional Properties of Protein Isolates Obtained from Several Pea Cultivars. *Cereal Chemistry Journal*, 94. <https://doi.org/10.1094/CCEM-04-16-0097-FI>
- Li and Li. (2020). The Flavor of Plant-Based Meat Analogues. *Cereal Foods World*, 65(4). <https://doi.org/10.1094/cfw-65-4-0040>
- Martín-Miguélez, J. M., Souza Olegario, L., González-Mohino, A., Ventanas, S., & Delgado, J. (2024). Physicochemical, sensory, and safety evaluation of dry-cured fermented sausages and its plant-based meat analog. *LWT*, 208, 116704. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116704>

Peng, H., Zhang, J., Wang, S., Qi, M., Yue, M., Zhang, S., Song, J., Wang, C., Zhang, D., Wang, X., & Ma, C. (2022). High moisture extrusion of pea protein: Effect of l-cysteine on product properties and the process forming a fibrous structure. *Food Hydrocolloids*, 129, 107633. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107633>

Schreuders, F. K. G., Dekkers, B. L., Bodnár, I., Erni, P., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2019). Comparing structuring potential of pea and soy protein with gluten for meat analogue preparation. *Journal of Food Engineering*, 261, 32–39. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.022>

Xia, S., Shen, S., Song, J., Li, K., Qin, X., Jiang, X., Xue, C., & Xue, Y. (2023). Physicochemical and structural properties of meat analogues from yeast and soy protein prepared via high-moisture extrusion. *Food Chemistry*, 402, 134265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134265>

Yang, Z., Zhou, Y., Xing, J.-J., Guo, X.-N., & Zhu, K.-X. (2021). Influence of extrusion on storage quality of dried oat noodles: Lipid degradation and off-flavours. *Journal of Cereal Science*, 101, 103316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103316>

Yu, X., Li, T., Yue, M., Zhang, S., Zhang, Y., Wang, X., Zhao, Y., Wu, J., Wang, C., & Ma, C. (2025). Impact of transglutaminase on structural and rheological properties of pea protein-cornmeal-wheat gluten blends for meat analogue production. *Journal of Food Engineering*, 390, 112412. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112412>

Yu, X., Wang, H., Yuan, Y., Shi, J., Duan, Y., Wang, L., Wang, P., & Xiao, Z. (2023). Changes in physicochemical and structural properties of pea protein during the high moisture extrusion process: Effects of carboxymethylcellulose sodium and different extrusion zones. *International Journal of Biological Macromolecules*, 251, 126350. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126350>

Zhang, L., Liang, R., & Li, L. (2022). The interaction between anionic polysaccharides and legume protein and their influence mechanism on emulsion stability. *Food Hydrocolloids*, 131, 107814. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107814>

Zink, J. I., Zeneli, L., & Windhab, E. J. (2023). Micro-foaming of plant protein based meat analogues for tailored textural properties. *Current Research in Food Science*, 7, 100580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100580>

Dai, J., He, J., Chen, Z., Qin, H., Du, M., Lei, A., ... Wang, J. (2022). *Euglena gracilis* promotes *Lactobacillus* growth and antioxidants accumulation as a potential next-generation prebiotic. *Frontiers in Nutrition*, 9, Article 864565. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.864565>

Mohamad Mazlan, Mazween, Rosnita A. Talib, Nyuk Ling Chin, Radhiah Shukri, Farah Saleena Taip, Mohd Zuhair Mohd Nor, dan Norazlin Abdullah. 2020. "Sifat Fisik dan Struktur Mikro Analog Daging Jamur Tiram-Protein Kedelai melalui Ekstrusi Sekrup Tunggal" *Foods* 9, no. 8: 1023. <https://doi.org/10.3390/foods9081023>

Benetti E, Mastrocola R, Chiazza F, Nigro D, D'Antona G, Bordano V, Fantozzi R, Aragno M, Collino M, Minetto MA. Effects of vitamin D on insulin resistance and myosteatosis in diet-induced obese mice. *PLoS One*. 2018 Jan 17;13(1):e0189707. doi: 10.1371/journal.pone.0189707. PMID: 29342166; PMCID: PMC5771572.

Kyriakopoulou, Konstantina, Julia K. Keppler, dan Atze Jan van der Goot. 2021. "Fungsionalitas Bahan dan Aditif dalam Daging Analog Berbasis Tumbuhan" *Foods* 10, no. 3: 600. <https://doi.org/10.3390/foods10030600>

Uribe-Wandurraga, ZN, Igual, M., Reino-Moyón, J., García-Segovia, P., & Martínez-Monzó, J. (2021). Pengaruh penambahan mikroalga (*Arthrospira platensis* dan *Chlorella vulgaris*) pada cookies cetak 3D. *Biofisika Pangan*, 16, 27-39.

Choi, H. W., Hahn, J., Kim, H. S., & Choi, Y. J. (2025). Thermorheological properties and structural characteristics of soy and pumpkin seed protein blends for high-moisture meat analogs. *Food Chemistry*, 464, 141768.

Rutherford, S. M., Fanning, A. C., Miller, B. J., & Moughan, P. J. (2015). Protein digestibility-corrected amino acid

scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats. *The Journal of nutrition*, 145(2), 372-379. Guccione, A., Biondi, N., Sampietro, G., Rodolfi, L., Bassi, N., & Tredici, M. R. (2014). Chlorella for protein and biofuels: from strain selection to outdoor cultivation in a Green Wall Panel photobioreactor. *Biotechnology for biofuels*, 7, 1-12. Wang, M., & Zhao, R. (2023). Tinjauan tentang keunggulan nutrisi jamur yang dapat dimakan dan situasi perkembangan industrialisasinya dalam bentuk protein analog daging. *Jurnal Pangan Masa Depan*, 3 (1), 1-7. Cho, S. And Ryu, G. (2022). Effects of oyster mushroom addition on quality characteristics of full fat soy-based analog burger patty by extrusion process. *Journal of Food Process Engineering*, 46(10). <https://doi.org/10.1111/jfpe.14128> Fresán, U., Mejía, M., Craig, W., Jaceldo-Siegl, K., & Sabaté, J. (2019). Meat analogs from different protein sources: a comparison of their sustainability and nutritional content. *Sustainability*, 11(12), 3231. <https://doi.org/10.3390/su11123231> Kumar, P., Chatli, M., Mehta, N., Singh, P., Malav, O., & Verma, A. (2016). Meat analogues: health promising sustainable meat substitutes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(5), 923-932. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939739> Lee, E. And Hong, G. (2019). Effects of microbial transglutaminase and alginate on the water-binding, textural and oil absorption properties of soy patties. *Food Science and Biotechnology*, 29(6), 777-782. <https://doi.org/10.1007/s10068-019-00713-6> Mazlan, M., Talib, R., Chin, N., Shukri, R., Taip, F., Nor, M., ... & Abdullah, N. (2020). Physical and microstructure properties of oyster mushroom-soy protein meat analog via single-screw extrusion. *Foods*, 9(8), 1023. <https://doi.org/10.3390/foods9081023> Miller, A., Mills, K., Wong, T., Drescher, G., Lee, S., Sirimuangmoon, C., ... & Guinard, J. (2014). Flavor-enhancing properties of mushrooms in meat-based dishes in which sodium has been reduced and meat has been partially substituted with mushrooms. *Journal of Food Science*, 79(9). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12549> Pérez-Montes, A., Rangel-Vargas, E., Lorenzo, J., Romero, L., & Santos, E. (2021). Edible mushrooms as a novel trend in the development of healthier meat products. *Current Opinion in Food Science*, 37, 118-124. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.004> Wong, K., Decker, E., Autio, W., Toong, K., DiStefano, G., & Kinchla, A. (2017). Utilizing mushrooms to reduce overall sodium in taco filling using physical and sensory evaluation. *Journal of Food Science*, 82(10), 2379-2386. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13838> Yuan, X., Jiang, W., Zhang, D., Liu, H., & Sun, B. (2021). Textural, sensory and volatile compounds analyses in formulations of sausages analogue elaborated with edible mushrooms and soy protein isolate as meat substitute. *Foods*, 11(1), 52. <https://doi.org/10.3390/foods11010052>