



Pengaruh Fortifikasi Nano Kalsium Sitrat Tulang Broiler terhadap Mutu Hedonik Bakso Daging Sapi

Agus Hadi Prayitno^{1*}, Noor Asrianto², Reikha Rahmasari³, Hatmiyarni Tri Handayani⁴, Choirul Huda⁵, Waladun Musytasyfa Ramadhana⁶, Setiyo Harlin Wicaksono⁷, Ronaldo Yogi⁸

^{1,2,3,6,7,8}Program Studi Manajemen Bisnis Unggas, Jurusan Peternakan, Politeknik Negeri Jember, Jalan Mastrip, Krajan Timur, Sumbersari, Jember, 68121, Indonesia

⁴Program Studi Pengelolaan Perkebunan Kopi, Jurusan Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember, Jalan Mastrip, Krajan Timur, Sumbersari, Jember, 68121, Indonesia

⁵Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember, Jalan Mastrip, Krajan Timur, Sumbersari, Jember, 68121, Indonesia

ARTIKEL INFO

Sejarah artikel
Diterima 11/11/2024
Diterima dalam bentuk revisi 16/04/2025
Diterima dan disetujui 22/05/2025
Tersedia online 15/09/2025
Terbit 19/12/2025

Kata kunci
Bakso
Fortifikasi
Mutu hedonik
Nano kalsium sitrat
Tulang broiler

ABSTRAK

Sintesis hijau dapat menghasilkan nano kalsium sitrat tulang broiler yang berfungsi sebagai *food supplement* baru untuk produk olahan daging seperti bakso daging sapi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler terhadap mutu hedonik bakso sapi. Bahan yang digunakan terdiri atas daging sapi, tepung tapioka, putih telur, garam, bawang merah, bawang putih, monosodium glutamat, lada, isolat protein kedelai, sodium tripolifosfat, karagenan, es, jeruk nipis, akuades. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola searah dengan 5 (lima) perlakuan fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler yaitu P0 (0%), P1 (0,15%), P3 (0,3%), P4 (0,45%), dan P5 (0,6%) dari total adonan bakso daging sapi. Sifat sensori dievaluasi menggunakan uji mutu hedonik oleh 40 panelis tidak terlatih. Parameter mutu hedonik yang dinilai adalah warna, aroma, rasa, tekstur, dan kekenyalan. Data hasil uji mutu hedonik dianalisis menggunakan analisis nonparametrik melalui uji *Hedonic Kruskal-Wallis*. Jika terdapat perbedaan yang nyata ($P < 0,05$), dilakukan analisis lebih lanjut dengan uji *Duncan's New Multiple Range Test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan level fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dapat mempengaruhi kekenyalan bakso daging sapi, tetapi tidak mempengaruhi warna, aroma, dan tekstur bakso daging sapi. Kesimpulan penelitian adalah bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler sebanyak 0,3% merupakan perlakuan terbaik dengan skor kekenyalan tertinggi yaitu 3,85.



ABSTRACT

Green synthesis can extract nano calcium citrate from broiler bones, serving as a novel food supplement in processed meat products such as beef meatballs, also known as 'bakso'. The purpose of this research was to determine the influence of broiler bone nano calcium citrate fortification on the hedonic quality of beef meatballs. The materials used were beef, tapioca flour, egg white, salt, shallots, garlic, monosodium glutamate, pepper, soy protein isolate, sodium tripolyphosphate, carrageenan, ice, lime, and aquadest. This study utilized a completely randomized design (CRD) with a one-way pattern with 5 (five) treatments of broiler bone nano calcium citrate fortification, namely P0 (0%), P1 (0.15%), P3 (0.3%), P4 (0.45%), and P5 (0.6%) of the total beef meatball dough. Forty untrained panelists rated sensory

characteristics using a hedonic quality test. Color, flavor, taste, texture, and toughness were the hedonic quality factors tested. The hedonic quality test results were analyzed using nonparametric analysis, specifically the hedonic Kruskal-Wallis test. If the difference is significant ($P < 0.05$), Duncan's New Multiple Range Test is used for additional investigation. The study's findings demonstrated that variations in the concentration of broiler bone nanocalcium citrate fortification could affect meatball toughness, but do not affect the color, flavor, and texture of beef meatballs. The research concluded that beef meatballs enhanced with up to 0.3% nano calcium citrate from broiler bones were the best treatment, with the highest toughness score of 3.85.

PENDAHULUAN

Tulang broiler merupakan salah satu dari limbah peternakan yang mengandung kalsium tinggi yang ketersediaannya begitu melimpah dan harganya sangat murah. Komponen utama dari tulang broiler yaitu 57,35% kalsium fosfat, 3,85% kalsium karbonat, dan 33,3% kolagen (Fasya *et al.*, 2018). Tulang broiler dapat diperoleh dari industri perunggasan. BPS (2023) mencatat produksi daging broiler pada tahun 2022 mencapai 3.765.573,09 ton. Konsumsi daging broiler yang terus meningkat pada setiap tahunnya menghasilkan limbah tulang. Limbah tulang broiler dapat ditingkatkan nilai ekonomisnya dengan cara dibuat menjadi nano kalsium. Tulang broiler melalui metode *green synthesis* dapat menghasilkan kalsium berukuran nanometer yaitu sekitar 524,1 nm dengan kandungan kalsium sekitar 5,63% dan kalsium oksida 7,88% (Umam *et al.*, 2023). Metode *green synthesis* dipilih karena

mendukung aspek yang lebih *eco-friendly*. Proses *green synthesis* menggunakan bahan-bahan alami yang ramah lingkungan dan aman (Khan *et al.*, 2022).

Ukuran nanopartikel yang kecil dapat menyebabkan ekstrak mudah larut dan memiliki efisiensi penyerapan yang tinggi di usus, sedangkan kalsium yang umum berukuran mikro kalsium (Shafey, 2020). Material dalam ukuran nano memiliki kinerja yang lebih baik dengan adanya peningkatan luas permukaan (Habte *et al.*, 2019). Nano kalsium merupakan salah satu jenis oksida logam telah banyak diaplikasikan sebagai katalis (Degfie *et al.*, 2023), zat anti bakteri (Gedda *et al.*, 2015), dan juga sistem pengiriman obat (Balaganesh *et al.*, 2018) yang mampu meningkatkan kelarutan dan penyerapan oleh tubuh (Gharibzahedi & Jafari, 2017) serta nano kalsium dapat terabsorpsi oleh tubuh hampir 100% (Epple, 2018). Kalsium tulang broiler berukuran nano

berpotensi sebagai sumber kalsium pangan dan dapat menjadi komponen fungsional yang mampu memberi efek positif pada kesehatan.

Perempuan Indonesia memiliki risiko osteoporosis empat kali lebih tinggi jika dibandingkan laki-laki dan hasil penelitian International Osteoporosis Foundation (IOF) menunjukkan bahwa 1 dari 4 perempuan Indonesia dengan rentang usia 50 sampai 80 tahun memiliki risiko akan terkena osteoporosis (Audina, 2019; Maesaroh & Fauziah, 2020). Risiko osteoporosis erat kaitannya dengan rendahnya asupan kalsium ke dalam tubuh (Listianingrum *et al.*, 2018). Kebutuhan kalsium tubuh dapat dipenuhi dari makanan seperti susu dan produk olahan susu, brokoli, kedelai, dan bayam. Ada cara lain yang dapat dilakukan untuk mencukupi kebutuhan kalsium tubuh yaitu dengan cara mengonsumsi suplemen kalsium. Akan tetapi, ada sumber kalsium lainnya seperti dari nano kalsium tulang broiler belum banyak digali potensinya sebagai bahan fortifikasi untuk produk pangan fungsional. Salah satu bentuk produk pangan yang mudah diterima oleh masyarakat Indonesia berdasarkan cara mengkonsumsinya adalah bakso.

Bakso merupakan salah satu produk olahan daging dan sangat digemari oleh masyarakat. Bakso menjadi makin populer berkat fleksibilitas dari sisi pemasaran dan penjualan (Sari *et al.*, 2022). Bakso yang berkualitas harus menggunakan bahan penyusun yang tepat tanpa menimbulkan bahaya bagi kesehatan tubuh (Falahudin *et al.*, 2024). Alasan utama pemilihan produk bakso karena pangsa pasar produk bakso masih

sangat besar. Perubahan pola konsumsi konsumen yang saat ini beralih ke produk yang *ready to cook* (RTC) dan *ready to eat* (RTE) serta konsumen produk bakso mencakup segala segmen usia sehingga penyajian produk dalam bentuk bakso akan membuat masyarakat lebih mudah menerima produk bakso sebagai alternatif bahan pangan yang kaya kalsium. Sifat sensori yaitu mutu hedonik dari bakso menjadi bagian penting dalam penilaian konsumen terhadap produk yang akan dikonsumsi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh fortifikasi dari nano kalsium sitrat tulang broiler terhadap mutu hedonik bakso daging sapi.

METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu daging sapi, tulang broiler, tepung tapioka, putih telur, garam, monosodium glutamat (MSG), lada, bawang putih, bawang merah, *isolate soya protein* (ISP), jeruk nipis, sodium tripolifosfat (STPP), etanol, es batu, dan akuades.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu Rancangan Acak lengkap (RAL) pola searah menggunakan fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler. Perlakuan fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler yaitu P0 (0%), P1 (0,15%), P3 (0,30%), P4 (0,45%), dan P5 (0,60%) dari total adonan bakso.

Preparasi tepung tulang broiler. Tulang broiler dicuci bersih lalu direbus selama 1 jam. Tulang broiler dicampur air dengan perbandingan 1:6 (b/v) lalu direbus dengan

menggunakan *pressure cooker* selama 2 jam. Tulang broiler lalu dioven pada suhu 105°C selama 24 jam lalu dihaluskan dengan *sample mill*.

Preparasi tepung tulang ayam broiler menjadi kalsium oksida (CaO) dibuat seperti yang dijelaskan oleh Prayitno *et al.* (2021) yang telah dimodifikasi. Tepung tulang ayam dikalsinasi pada suhu 900°C selama 4 jam sehingga diperoleh serbuk CaO.

Preparasi nano kalsium melalui sintesis hijau seperti yang dijelaskan oleh Prayitno *et al.* (2025). Kalsium oksida dari tulang broiler dicampur dengan akuades. Perasan air jeruk nipis dan juga etanol ditambahkan lalu diaduk selama 30 menit di atas *hotplate* menggunakan

magnetic stirrer pada suhu 75°C dengan kecepatan 500 rpm/menit. Sampel kemudian dikeringkan dengan sinar matahari selama 5 hari dan dihaluskan dengan *blender* sekitar 1 menit sehingga diperoleh serbuk nano kalsium sitrat.

Formulasi bakso daging yang digunakan pada penelitian ini seperti yang dijelaskan oleh Imamah *et al.* (2022). Formulasi bakso terdiri atas daging sapi (60%), tepung tapioka (4%), putih telur (12,5%), garam (1,4%), bawang merah (1%), bawang putih (2,5%), monosodium glutamat (0,8%), lada (0,5%), *isolate soy protein* (4%), *sodium tripolyphosphate* (0,3%), karagenan (0,5%), dan es (12,5%).

Tabel 1. Skor Penilaian Mutu Hedonik Bakso Daging Sapi yang Difortifikasi Nano Kalsium Sitrat Tulang Broiler

Skor	Parameter				
	Warna	Aroma	Rasa	Tekstur	Kekenyalan
1	Putih	Sangat tidak beraroma	Sangat tidak gurih	Sangat kasar	Sangat tidak kenyal
2	Kebuan terang	Tidak beraroma	Tidak gurih	Kasar	Tidak kenyal
3	Abu-abu sedang	Agak beraroma	Agak gurih	Agak halus	Agak kenyal
4	Keabuan	Beroma	Gurih	Halus	Kenyal
5	Keabuan gelap	Sangat beraroma	Sangat gurih	Sangat halus	Sangat kenyal

Proses pembuatan bakso dibuat sesuai dengan yang dijelaskan oleh Imamah *et al.* (2022). Daging dibersihkan dengan air dan dipisahkan dari jaringan lemak lalu dipotong kecil-kecil. Potongan daging digiling halus. Bumbu-bumbu dihaluskan kemudian dicampur dengan garam, lada, monosodium glutamat, dan perlakuan nano kalsium sitrat tulang broiler. Tepung tapioka, *isolate soy protein*, *sodium tripolyphosphate*, karagenan, putih

telur, dan es ditambahkan sedikit demi sedikit lalu digiling dan dicampur hingga kalis. Adonan dibentuk secara manual dengan tangan menjadi bulatan sesuai masing-masing perlakuan. Adonan bakso direndam dalam air dengan suhu 60°C selama 2 menit. Selanjutnya bakso direbus dalam air mendidih selama 10 menit. Bakso yang telah matang, diangkat, ditiriskan, lalu didinginkan pada suhu ruang. Bakso kemudian dievaluasi sensori melalui uji

mutu hedonik oleh panelis.

Bakso yang telah dimasak dievaluasi sensori melalui uji hedonik oleh 40 panelis tidak terlatih (Sujarwanta *et al.*, 2019). Parameter uji mutu hedonik yang dinilai oleh panelis meliputi warna, aroma, rasa, tekstur, dan kekenyalan (O'Neill *et al.*, 2019). Skor penilaian mutu hedonik bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler disajikan pada Tabel 1.

Data hasil uji mutu hedonik bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dianalisis dengan analisis nonparametrik melalui uji *Hedonic Kruskal-Wallis*. Jika terdapat perbedaan yang nyata ($P < 0,05$), dilakukan analisis lebih lanjut dengan uji *Duncan's New Multiple Range Test* (Zhang *et al.*, 2018).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Warna

Warna yang dibentuk pada daging olahan seperti bakso merupakan hasil dari berbagai proses dan reaksi yang sangat beragam (Falahudin *et al.*, 2024). Warna juga mempengaruhi penerimaan konsumen terhadap produk, dimana warna merupakan parameter pertama yang dilihat (Saputro & Susanto, 2016). Hasil penelitian menunjukkan bahwa fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan level yang berbeda tidak berpengaruh nyata ($P > 0,05$) terhadap skor warna pada uji mutu hedonik bakso sapi. Skor warna bakso sapi berkisar antara 3,05-3,58 yaitu abu-abu sedang sampai keabuan. Hal ini dikarenakan warna bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler secara visual menurut panelis tidak menunjukkan perbedaan

yang mencolok sehingga skor penilaian mutu hedonik panelis terhadap warna bakso sapi untuk setiap perlakuan hampir sama. Bakso sapi memiliki warna dari pucat sampai kecoklatan (Falahudin *et al.*, 2024). Fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan level yang berbeda diduga tetap memiliki warna khas bakso sapi yaitu berwarna abu-abu sedang sampai keabuan.

Aroma

Aroma adalah salah faktor penting pada produk olahan daging seperti bakso yang sukar didefinisikan secara objektif. Aroma disebut juga pencicipan jarak jauh, karena manusia dapat mengenal enaknya makanan yang belum terlihat hanya dengan mencium aromanya dari jarak jauh (Falahudin *et al.*, 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan level yang berbeda tidak berpengaruh nyata ($P > 0,05$) terhadap skor aroma pada uji mutu hedonik bakso sapi. Skor aroma bakso sapi berkisar antara 3,55-3,70 yaitu agak beraroma sedap sampai beraroma sedap. Hal ini dikarenakan aroma bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan cara mencium menurut panelis tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok sehingga skor penilaian mutu hedonik panelis terhadap aroma bakso sapi untuk setiap perlakuan hampir sama. Aroma bakso dipengaruhi oleh aroma daging, tepung dan bumbu-bumbu yang digunakan dalam pembuatan bakso (Rosita *et al.*, 2015). Bakso memiliki aroma yang khas (SNI, 2014). Fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan level yang berbeda

diduga tetap memiliki aroma yang khas bakso sapi yaitu beraroma daging.

Rasa

Rasa merupakan komponen sensori yang sangat mendominasi penerimaan konsumen terhadap produk olahan daging seperti bakso. Respon rasa diterima oleh sensori pada lidah karena adanya partikel yang terlarut dalam air maupun dalam minyak, serta kelarutan protein binding. Rasa menempati peringkat pertama terhadap penerimaan konsumen terhadap bakso (Rosita *et al.*, 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan level yang berbeda tidak berpengaruh nyata ($P>0,05$) terhadap skor rasa pada uji mutu hedonik bakso sapi.

Skor rasa bakso sapi berkisar antara 3,35-3,55 yaitu agak gurih sampai gurih. Hal ini dikarenakan aroma bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan cara dikunyah menurut panelis tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok sehingga skor penilaian mutu hedonik panelis terhadap rasa bakso sapi untuk setiap perlakuan hampir sama. Bakso memiliki rasa yang khas (SNI, 2014). Fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan level yang berbeda diduga tetap memiliki rasa yang khas bakso sapi yaitu berasa daging sehingga disukai oleh panelis. Konsumen lebih menyukai bakso yang memiliki rasa daging (Rosita *et al.*, 2015).

Tabel 2. Hasil Uji Mutu Hedonik Bakso Daging Sapi yang Difortifikasi Nano Kalsium Sitrat Tulang Broiler

Parameter	Fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler				
	0%	0,15%	0,30%	0,45%	0,60%
Warna ^{ns}	3,33	3,05	3,58	3,18	3,33
Aroma ^{ns}	3,63	3,70	3,70	3,55	3,63
Rasa ^{ns}	3,35	3,55	3,53	3,40	3,48
Tekstur ^{ns}	3,18	3,48	3,45	3,30	3,50
Kekenyalan	3,70 ^b	3,73 ^b	3,85 ^b	3,18 ^a	3,23 ^a

^{ns} Tidak berbeda nyata ($P>0,05$)

^{a,b} Superskrip yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata ($P<0,05$)

Tekstur

Tekstur dalam produk pangan seperti bakso dapat dipengaruhi oleh kemampuan untuk mengikat air. Koagulasi protein, gelatinisasi kolagen, pelepasan air serta pembengkakan dan gelatinisasi pati merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan tekstur (Falahudin *et al.*, 2024). Hasil penelitian menunjukkan bahwa fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan level yang berbeda tidak berpengaruh nyata ($P>0,05$) terhadap skor tekstur pada uji mutu hedonik

bakso sapi. Skor tekstur bakso sapi berkisar antara 3,18-3,50 yaitu agak halus sampai halus. Hal ini dikarenakan tekstur bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan cara dikunyah menurut panelis tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok sehingga skor penilaian mutu hedonik panelis terhadap tekstur bakso sapi untuk setiap perlakuan hampir sama. Akan tetapi, Prayitno *et al.* (2020) melaporkan bahwa fortifikasi nano kalsium sampai level 0,30% dapat meningkatkan kekompakan bakso yang terlihat

dari mikrostruktur bakso. Tekstur bakso dapat mempengaruhi kekenyalan bakso.

Kekenyalan

Kekenyalan adalah kemampuan produk bakso ke bentuk semula setelah diberi tekanan (Falahudin *et al.*, 2024). Kekenyalan bakso erat kaitannya dengan tekstur bakso. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dengan level yang berbeda berpengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap skor kekenyalan pada uji mutu hedonik bakso sapi. Skor kekenyalan bakso sapi berkisar antara 3,18-3,85 yaitu agak kenyal sampai kenyal. Skor kekenyalan bakso sapi terendah diperoleh dengan fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler sebanyak 0,45% yaitu 3,18, sedangkan skor tekstur bakso sapi tertinggi diperoleh dengan fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler sebanyak 0,30% yaitu 3,85.

Fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler sampai level 0,30% menyebabkan tekstur bakso sapi menjadi lebih kompak. Hal ini yang menyebabkan bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler sebanyak 0,30% menjadi lebih kenyal yang terasa saat digigit oleh para panelis. Meningkatnya kekompakan bakso maka semakin meningkatkan kekenyalan bakso karena semakin tinggi kerapatan dari bakso tersebut. Panelis lebih menyukai bakso yang lebih kenyal (Falahudin *et al.*, 2024). Selain itu, Prayitno *et al.* (2020) melaporkan bahwa fortifikasi nano kalsium sebanyak 0,30% dapat meningkatkan kekenyalan bakso. Hal ini yang menyebabkan panelis lebih menyukai bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler sebanyak 0,30% karena lebih

kenyal daripada perlakuan yang lainnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan level fortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler dapat mempengaruhi kekenyalan bakso. Kesimpulan penelitian adalah bakso sapi yang difortifikasi nano kalsium sitrat tulang broiler sebanyak 0,3% merupakan perlakuan terbaik dengan skor kekenyalan tertinggi yaitu 3,85.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Jember (POLIJE) sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik melalui sumber dana Penerimaan Negara Bukan Pajak (PNBP).

PERNYATAAN KONTRIBUSI

Agus Hadi Prayitno dalam penulisan artikel ini berperan sebagai kontributor utama dan korespondensi, sedangkan Noor Asrianto, Reikha Rahmasari, Hatmiyarni Tri Handayani, Choirul Huda, Waladun Musyatsyfa Ramadhana, Setiyo Harlin Wicaksono, dan Ronaldo Yogi dalam penulisan artikel ini berperan sebagai kontributor anggota.

DAFTAR PUSTAKA

- Audina, M. (2019). Suplementasi kalsium dan vitamin d pada wanita usia subur sebagai pencegahan osteoporosis postmenopause. *Jurnal Kedokteran Ibnu Nafis*, 8(2), 35–40. <https://doi.org/10.30743/jkin.v8i2.27>
- Balaganesh, A. S., Sengodan, R., Ranjithkumar, R., & Chandarshekar, B. (2018). Synthesis and characterization of porous calcium oxide nanoparticles (CaO NPS). *International Journal of*

- Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 2, 2278–3075.
- BPS. (2023). *Produksi Daging Ayam Ras Pedaging menurut Provinsi (Ton), 2020-2022*. Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Degfie, T. A., Mamo, T. T., & Mekonnen, Y. S. (2023). Optimized biodiesel production from waste cooking oil (WCO) using calcium oxide (CaO) nano-catalyst. *Scientific Reports*, 13(1), 5898. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32726-x>
- Epple, M. (2018). Review of potential health risks associated with nanoscopic calcium phosphate. *Acta Biomaterialia*, 77, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.07.036>
- Falahudin, A., Somanjaya, R., Widianingrum, D., & Dianto, R. (2024). Kualitas fisik dan sifat organoleptik bakso daging sapi dengan Penambahan tepung oat (*Avena sativa*). *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Peternakan*, 12(1), 52–59. <https://doi.org/10.31949/agrivet.v12i1.9620>
- Fasya, A. G., Amalia, S., Imamudin, M., Putri Nugraha, R., Ni'mah, N., & Yuliani, D. (2018). Optimasi produksi gelatin halal dari tulang ayam broiler (*Gallus Domesticus*) dengan Variasi lama perendaman dan konsentrasi asam klorida (HCl). *Indonesia Journal of Halal*, 1(2), 102–108. <https://doi.org/10.14710/halal.v1i2.3665>
- Gedda, G., Pandey, S., Lin, Y. C., & Wu, H. F. (2015). Antibacterial effect of calcium oxide nano-plates fabricated from shrimp shells. *Green Chemistry*, 17(6), 3276–3280. <https://doi.org/10.1039/c5gc00615e>
- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Habte, L., Shiferaw, N., Mulatu, D., Thenepalli, T., Chilakala, R., & Ahn, J. W. (2019). Synthesis of nano-calcium oxide from waste eggshell by sol-gel method. *Sustainability*, 11(11), 1–10. <https://doi.org/10.3390/su11113196>
- Imamah, N., Cindy, A. A. M., Fransiska, C. A., Wijianto, F., & Prayitno, A. H. (2022). *Peningkatan Karakteristik Bakso Daging Ayam dengan Penambahan Tepung Konjac Sebagai Sumber Glukomanan Yang Tinggi Serat Pangan*. Politeknik Negeri Jember.
- Khan, M. S., Ranjani, S., & Hemalatha, S. (2022). Synthesis and characterization of Kappaphycus alvarezii derived silver nanoparticles and determination of antibacterial activity. *Materials Chemistry and Physics*, 282, 125985. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.125985>
- Listianingrum, A., Kholidah, D., & Sutomo, R. T. K. (2018). Rasio asupan kalsium asupan fosfor serta aktivitas fisik terkait nilai bone mass density (BMD) pada lansia osteoporosis. *Jurnal Informasi Kesehatan Indonesia*, 4(2), 150–157. <https://doi.org/https://doi.org/10.31290/ji.ki.v4i2.735>
- Maesaroh, S., & Fauziah, A. N. (2020). Efektifitas pengetahuan dalam upaya pencegahan osteoporosis pada wanita usia 45-60 tahun. *Jurnal Kebidanan Indonesia*, 11(2), 127–136. <https://doi.org/10.36419/jkebin.v11i2.380>
- O'Neill, C. M., Cruz-Romero, M. C., Duffy, G., & Kerry, J. P. (2019). Improving marinade absorption and shelf life of vacuum packed marinated pork chops through the application of high pressure processing as a hurdle. *Food Packaging and Shelf Life*, 21, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100350>
- Prayitno, A. H., Umam, M. S., Ridho, M. R., Safitri, A. R., & Roihan, N. A. (2025). Characterisation of nano-calcium citrate from waste broiler chicken bones synthesized using lime as a novel food supplement. *Buletin Peternakan*, 49(3), 187–193.

- <https://doi.org/10.21059/buletinpeternak.v>
- Prayitno, A. H., Siswoyo, T. A., Erwanto, Y., Lindriati, T., Hartatik, S., Aji, J. M. M., Suryanto, E., & Rusman. (2021). Characterisation of nano-calcium lactate from chicken eggshells synthesized by precipitation method as food supplement. *Jurnal Ilmu Ternak Dan Veteriner*, 26(4), 139–144. <http://dx.doi.org/10.14334/jitv.v26i4.2828>
- Prayitno, A. H., Suryanto, E., Rusman, Setiyono, Jamhari, & R, U. (2020). Karakteristik mikrostruktur dan nilai gizi bakso ayam yang difortifikasi kalsium oksida dan nanokalsium laktat kerabang telur ayam. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan Dan Veteriner*, 653–663.
- Rosita, F., Hafid, H., & Aka, R. (2015). Susut masak dan kualitas organoleptik bakso daging sapi dengan penambahan tepung sagu pada level yang berbeda. *JITRO*, 2(1), 14–20.
- Saputro, M. A. P., & Susanto, W. H. (2016). Pembuatan bubuk cabai rawit (kajian konsentrasi kalsium propionat dan lama waktu perebusan terhadap kualitas produk). *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 4(1), 62–71.
- Sari, N. I., Sari, M. I., & Rahayu, J. (2022). Rancangan Strategi Usaha dengan Pendekatan Blue Ocean Strategy pada Usaha Bakso Hadirin Kencong Kabupaten Jember. *Jurnal Ekonomi Dan Bisnis GROWTH*, 20(1), 204–212. <https://doi.org/10.36841/growth-journal.v20i2.1951>
- Shafey, A. M. El. (2020). Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles from plant leaf extracts and their applications: A review. *Green Processing and Synthesis*, 9(1), 304–339. <https://doi.org/10.1515/gps-2020-0031>
- SNI. (2014). *Bakso Daging*. Badan Standardisasi Nasional.
- Sujarwanta, R. O., Jamhari, Suryanto, E., Yuliatmo, R., & Prayitno, A. H. (2019). Physicochemical and sensory characteristics of chicken nugget with curcuma (*Curcuma zanthorrhiza*) flour fortification. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 387, 012091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/387/1/012091>
- Zhang, H., He, P., Kang, H., & Li, X. (2018). Antioxidant and antimicrobial effects of edible coating based on chitosan and bamboo vinegar in ready to cook pork chops. *LWT - Food Science and Technology*, 93, 470–476. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.005>