

KARAKTERISTIK KIMIA, SENSORI, DAN WARNA TEPUNG CANGKANG SOTONG (*Sepia sp.*) SEBAGAI SUMBER KALSIMUM DENGAN LAMA PROSES AUTOCLAVING YANG BERBEDA

Selvina Rosa Marlana, Ima Wijayanti*, Romadhon

Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Jacub Rais, Tembalang, Semarang Indonesia 50275

Diterima: 1 Oktober 2025/Disetujui: 15 Juni 2026

*Korespondensi: ima.wijayanti@live.undip.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Marlana, S. R., Wijayanti, I., & Romadhon. (2026). Karakteristik kimia, sensori, dan warna tepung cangkang sotong (*Sepia sp.*) sebagai sumber kalsium dengan lama proses *autoclaving* yang berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 29(10), 900-913. <http://dx.doi.org/10.17844/02s1j007>

Abstrak

Tepung cangkang sotong merupakan produk olahan yang kaya akan mineral, terutama kalsium. Namun, pemanfaatan cangkang sotong masih terbatas sehingga menjadi limbah yang belum diolah secara optimal. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi tepung cangkang sotong sebagai sumber kalsium potensi bioavailabilitas yang baik. Penelitian ini bertujuan menentukan karakteristik kalsium dari tepung cangkang sotong dengan waktu *autoclaving* yang berbeda. Metode dari penelitian ini dilakukan secara *experimental laboratory*. Rancangan penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan satu faktor, yaitu perbedaan waktu proses *autoclaving* (30, 60 dan 90 menit). Data parametrik dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA), uji beda nyata (BNJ) dan uji *independent sample t-test*. Parameter yang dianalisis meliputi kadar protein, lemak, air, abu, sensori, kalsium, warna, *fourier transform infrared* (FTIR), dan *scanning electron microscope-energy dispersive x-ray* (SEM-EDX). Hasil penelitian menunjukkan bahwa lama *autoclaving* yang berbeda berpengaruh nyata ($p < 0,05$) terhadap karakteristik tepung cangkang sotong. *Autoclaving* 90 menit menghasilkan kandungan kalsium tertinggi sebesar 38,33%, protein 2,67%, lemak 0,26%, air 1,77%, abu 92,43%, parameter warna nilai L^* sebesar 65,02, a^* 1,95, dan b^* 6,31. FTIR mengidentifikasi keberadaan kalsium karbonat puncak serapan khas pada gelombang 711,9cm⁻¹. SEM-EDX menunjukkan permukaan tepung cangkang sotong halus dengan butiran kecil tersebar merata, permukaan padat, dan solid. Waktu *autoclaving* perlakuan 90 menit menghasilkan tepung cangkang sotong dengan kadar mineral dan kalsium yang optimal. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengkaji pemanfaatan kalsium dari tepung cangkang sotong sebagai bahan fortifikasi pangan serta pengaruh terhadap karakteristik produk yang dihasilkan.

Kata kunci: mineral alami, mutu produk, pemanasan, tepung kalsium

Chemical, Sensory, and Color Characteristics of Cuttlefish (*Sepia sp.*) Shell Flour as a Calcium Source at Different Autoclaving Durations

Abstract

Cuttlefish shell flour is a processed product rich in minerals, particularly calcium. However, the utilization of cuttlefish shells remains limited, resulting in their accumulation as waste that has



not yet been optimally processed. This study aimed to determine the calcium characteristics of cuttlefish shell flour with different autoclaving times. The method of this research was conducted through laboratory experimentation. The research design used a completely randomized design (CRD) with one factor, which is the difference in autoclaving process times (30, 60, and 90 minutes). Parametric data were analyzed using analysis of variance (ANOVA), honest significant difference (HSD) test, and independent sample t-test. The parameters analyzed included protein, fat, moisture, ash, sensory, calcium, color, Fourier transform infrared (FTIR), and scanning electron microscope-energy dispersive x-ray (SEM-EDX) content. The research results indicate that varying autoclaving durations significantly affected ($p < 0.05$) the characteristics of cuttlefish bone powder. Autoclaving for 90 minutes yielded the highest calcium content (38.33%), along with protein (2.67%), fat (0.26%), moisture (1.77%), and ash (92.43%); color parameters showed an L^* value of 65.02, a^* of 1.95, and b^* of 6.31. FTIR identified the presence of calcium carbonate with a characteristic absorption peak at a wavelength of 711.9 cm^{-1} . SEM-EDX showed a smooth surface of cuttlefish shell flour with small particles evenly distributed, a solid, and dense surface. The appropriate autoclaving time produces cuttlefish shell flour with optimal mineral and calcium content.

Keywords: calcium flour, heat treatment, natural minerals, product quality

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara maritim memiliki sumber daya perikanan melimpah yang berkontribusi besar pada ekspor nasional. Data Kementerian Kelautan dan Perikanan 2024 mencatat ekspor hasil perikanan termasuk komoditas sotong (*Sepia* sp.) pada periode 2024 tercatat sebanyak 1,15 juta ton dengan nilai USD 4,81 Miliar. Produk perikanan mengalami peningkatan yang signifikan dibanding tahun sebelumnya, yaitu sebesar 7,9% dan 24,7%. Limbah dari sotong bervariasi antara 65-68% dari total berat sotong. Limbah tersebut sebagian besar dari bagian tubuh sotong, yaitu cangkang (Meilianti, 2017). Cangkang sotong kaya akan kalsium karbonat (CaCO_3) yang berpotensi menjadi biomaterial terutama pada aplikasi ortopedi (Henggu *et al.*, 2019). Pemanfaatan limbah cangkang sotong sebagai sumber kalsium juga sejalan dengan upaya pengurangan limbah laut dan peningkatan nilai tambah produk samping hasil perikanan.

Harjuno *et al.* (2013) melaporkan bahwa lama waktu pemasakan dengan pemanasan bertekanan tinggi (autoklaf) berpengaruh signifikan terhadap karakteristik fisika dan kimia tepung cangkang kerang. Proses *autoclaving* bertujuan untuk melunakkan cangkang keras agar mudah dihancurkan. Pemasakan bertekanan tinggi ini

memecah struktur cangkang dan melepaskan kalsium serta mineral lainnya sehingga lebih mudah diserap tubuh. Untailawan dan Wijaya (2021) melaporkan bahwa proses presto juga meningkatkan kecerahan tepung tulang yang akan dihasilkan. Salah satu faktor yang memengaruhi tingkat kecerahan tepung dengan mengikis protein dan lemak yang menempel. Hal ini menyebabkan kandungan mineral kalsium dan fosfor meningkat. Wijayanti *et al.* (2021) menambahkan waktu *autoclaving* selama 90 menit merupakan waktu terbaik untuk memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisik dan kimia tulang ikan. Makin lama proses *autoclaving*, maka makin banyak senyawa organik, yaitu protein, gugus amino bebas, dan hidrosiprolin yang terlarut dalam cairan. Peningkatan waktu *autoclaving* juga dapat menurunkan kekerasan tulang secara drastis.

Tantangan umum dalam ekstraksi kalsium dari cangkang sotong adalah adanya perbedaan kandungan mineral dan senyawa organik dalam bahan baku. Rohmah *et al.* (2022) menyatakan bahwa perbedaan komposisi bahan baku dan metode ekstraksi berpengaruh pada karakteristik fisik, rendemen, dan kadar kalsium. Tepung tulang sotong sangat dipengaruhi oleh proses ekstraksi untuk memecah struktur matriks kompleks menjadi sederhana. Metode yang

umum digunakan untuk ekstraksi melibatkan pelarut basa, yaitu NaOH namun, efektivitas metode ini sangat bergantung pada pemilihan parameter-parameter yang tepat misalnya suhu, konsentrasi pelarut, dan durasi waktu ekstraksi. Di samping itu, tidak semua metode pelarut bersifat aman apabila produk akhir ditujukan untuk dikonsumsi sehingga diperlukan pendekatan alternatif. Rasul (2018) menambahkan bahwa dengan beragamnya metode yang tersedia, pemilihan metode ekstraksi yang tepat memerlukan evaluasi yang cermat. Pemilihan pelarut ekstraksi yang tepat sangat penting bersamaan dengan penerapan metode ekstraksi yang kompatibel.

Salah satu metode yang menjanjikan adalah pemanasan bertekanan tinggi (*autoclaving*). Metode ini mampu melunakkan struktur kerang cangkang dan memecah matriks organik tanpa perlu menggunakan pelarut kimia berisiko tinggi. *Autoclaving* bekerja dengan uap panas dan tekanan tinggi yang dapat merusak senyawa pengikat mineral sehingga mempermudah pelepasan kalsium dari struktur cangkang. Wijayanti *et al.* (2021), menyatakan bahwa pemanasan bertekanan tinggi pada tulang ikan dapat melunakkan struktur tulang dan menurunkan kandungan organik yang terkandung. Hal ini menyebabkan peningkatan kandungan abu dan kalsium. Namun, penelitian terkait pengaruh lama waktu *autoclaving* terhadap efektivitas ekstraksi kalsium dari cangkang sotong masih terbatas. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa lama waktu ekstraksi menggunakan NaOH dapat memengaruhi kandungan kalsium pada tepung tulang sotong. Ekstraksi selama 1 jam menghasilkan kalsium sebesar 33,13%, 2 jam 35,47%, dan 3 jam 38,42% (Sufiani *et al.*, 2022). Penelitian lain dalam ekstraksi biokalsium dari rumput laut juga menunjukkan waktu ekstraksi berpengaruh nyata terhadap karakteristik tepung kalsium yang dihasilkan (Daveza *et al.*, 2025). Berdasarkan pernyataan tersebut, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan waktu *autoclaving* yang paling optimal dalam mengekstrak kalsium secara maksimal tanpa menurunkan mutu produk akibat proses termal yang berlebihan. Penelitian ini bertujuan menentukan

karakteristik kalsium dari tepung cangkang sotong dengan waktu *autoclaving* yang berbeda.

BAHAN DAN METODE

Pembuatan Tepung Cangkang Sotong

Proses pembuatan tepung cangkang sotong ini mengacu pada Wijayanti *et al.* (2021) dan Rohmah *et al.* (2022) dengan beberapa penyesuaian. Cangkang sotong dicuci dengan air mengalir, lalu dilakukan pengecilan ukuran. Proses ekstraksi cangkang sotong dan media akuades dengan perbandingan 1/4 (W/V) melalui proses *autoclaving* (Merek All American No. 1941x, Amerika Serikat) pada suhu 121°C selama 30, 60, dan 90 menit. Penyaringan untuk dipisahkan cangkang sotong dengan akuades, lalu dilakukan proses pengeringan menggunakan *food dehydrator* (Merek Memmert UN110, Jerman) dengan suhu 65°C selama 24 jam. Hasil pengeringan dihaluskan dengan *high speed grinder* (Merek Fomac Miller Machine FCT-Z200, Indonesia) dan disaring dengan saringan berukuran 100 *mesh*.

Uji Proksimat dan Kadar Kalsium (AOAC, 2005)

Analisis proksimat meliputi kadar protein menggunakan Kjeldahl, kadar lemak menggunakan Soxhlet, kadar air dan kadar abu menggunakan metode gravimetri, serta kadar kalsium menggunakan teknik analisis dengan *atomic absorption spectrophotometer* (AAS) mengacu pada AOAC (2005).

Uji Sensori

Uji sensori dilakukan dengan uji hedonik menggunakan lembar penilaian (*scoresheet*) uji hedonik SNI 01-2346-2015 mengenai pedoman pengujian sensori pada produk perikanan. Rentang penilaian uji hedonik yang digunakan adalah 1-9 dengan 1=amat sangat tidak suka, 2=sangat tidak suka, 3=tidak suka, 4=agak tidak suka, 5=netral, 6=agak suka, 7=suka, 8=sangat suka, 9=amat sangat suka. Pengujian dilakukan oleh 30 orang panelis terlatih untuk menilai tingkat kesukaan terhadap produk berdasarkan parameter yang diamati (BSN, 2015).



Uji Warna

Uji warna menggunakan *colorimeter* NH310 dengan metode hunter mengacu pada Amini *et al.* (2024). Simbol L^* untuk kecerahan, a^* untuk kemerahan atau kehijauan, dan b^* untuk kekuningan atau kebiruan. Prosedur pengujiannya dengan cara penembakan pada sampel sebanyak 3 titik sehingga diperoleh nilai perubahan ΔL , Δa , dan Δb . Nilai akhir dihitung menggunakan persamaan $L^* = \Delta L + Lt$, $a^* = \Delta a + at$, $b^* = \Delta b + bt$.

Keterangan:

- L^* = kecerahan sampel: 0-100 berarti dari hitam ke putih
 a^* = warna hijau kemerahan dari sampel: nilai positif menunjukkan merah, nilai negatif menunjukkan hijau
 b^* = warna kuning-biru dari sampel: nilai positif menunjukkan warna kuning, nilai negatif menunjukkan warna biru

Analisis Gugus Fungsi

Analisis gugus fungsi menggunakan *fourier transform infrared* (FT-IR) untuk menganalisis senyawa kimia berdasarkan serapan gelombang inframerah pada bilangan gelombang tertentu. Uji FT-IR menggunakan metode pelet KBr mengacu pada metode Sari *et al.* (2018). Sampel dicampur dengan serbuk KBr sebagai media untuk analisis spektrum yang dihasilkan bebas dari interferensi sampel padat. Daerah inframerah pada gelombang elektromagnetik pada FT-IR biasanya berada pada jarak 4000 cm^{-1} hingga 400 cm^{-1} atau panjang gelombang sekitar 2,5 hingga 25 mikron.

Analisis Morfologi Sampel

Analisis morfologi sampel dilakukan untuk mengetahui bentuk permukaan, struktur, dan karakteristik mikro dari material yang dianalisis. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah *scanning electron microscope - energy dispersive x-ray* (Merek JEOL JCM-7000, Jepang). Alat ini bekerja dengan memanfaatkan hamburan balik elektron (*electron beam*) pada permukaan objek mengacu pada metode Septianto *et al.* (2021). Sampel ditempatkan pada media plastik berbentuk tabung. Sebelum pencetakan, campuran bahan sampel dipanaskan menggunakan bunsen pada suhu 60°C . Sampel dikeringkan, dihaluskan secara mekanis (abrasi) untuk memperoleh permukaan yang presisi. Proses ini menghasilkan serbuk halus untuk analisis menggunakan SEM-EDX. Citra morfologi hasil pemindaian dilanjut melalui antarmuka grafis (GUI) Matlab 2015a.

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini terdiri dari data kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif meliputi FT-IR dan SEM-EDX, sedangkan data kuantitatif meliputi kadar protein, lemak, air, rasa, kalsium, dan warna. Perlakuan terdiri dari variasi waktu autoklaf (30, 60, dan 90 menit) dan percobaan diulang sebanyak tiga kali. Uji beda nyata kejujuran (BNJ) dan uji *independent sample t-test* digunakan untuk mengevaluasi data yang berbeda secara signifikan ($p < 0,05$). Data diperiksa dengan bantuan SPSS versi 16.0. Uji beda nyata kejujuran (BNJ) digunakan

Table 1 Chemical composition (%) of cuttlefish (*Sepia* sp.) shell flour

Tabel 1 Komposisi kimia (%) tepung cangkang sotong (*Sepia* sp.)

Sample treatments (min)	Protein	Fat	Moisture	Ash
30	3.40 ± 0.36^b	0.65 ± 0.04^c	1.51 ± 0.02^a	80.44 ± 0.04^a
60	4.41 ± 0.15^c	0.54 ± 0.01^b	1.57 ± 0.05^a	87.86 ± 0.31^b
90	2.67 ± 0.18^a	0.24 ± 0.00^a	1.77 ± 0.02^b	92.43 ± 0.40^c

Note: Values are presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 30$ panelists). Values with different superscript lowercase letters within the same column indicate significant differences ($p < 0.05$).

pada analisis data parametrik pada pengujian kadar protein, lemak, air, dan abu, sedangkan uji *independent sample t-test* digunakan pada analisis uji kalsium dan warna. Data analisis uji sensori menggunakan metode nonparametrik dengan metode uji *Kruskal Wallis* jika terjadi berbeda nyata dilanjutkan dengan uji *Mann-Whitney*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan cangkang sotong menjadi tepung memerlukan perlakuan panas bertekanan untuk mengoptimalkan mutu fisik maupun organoleptiknya. Analisis parameter kimia sangat krusial dalam proses ini guna memastikan kandungan nutrisi, mineral, dan keamanan bahan tetap terjaga serta tidak rusak akibat pemanasan. Efek dari perbedaan variasi durasi *autoclaving* tersebut kemudian dievaluasi secara menyeluruh terhadap sifat fisikokimia dan organoleptik yang dihasilkan. Hasil pengujian terhadap karakteristik kimia cangkang sotong dengan perlakuan lama proses *autoclaving* yang berbeda disajikan pada *Table 1*.

Kadar Protein

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan waktu *autoclaving* memberikan pengaruh yang nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar protein. Hasil uji lanjut BNJ menunjukkan 3 perlakuan berbeda nyata. Kadar protein terendah pada waktu *autoclaving* 90 menit, yaitu 2,67%. Kadar protein tertinggi ditunjukkan pada perlakuan 60 menit. Kadar protein tepung cangkang sotong dapat dilihat pada *Table 1*.

Berdasarkan data pengujian, kadar protein tepung cangkang sotong mengalami peningkatan dari perlakuan awal ($3,40 \pm 0,36\%$) mencapai $4,41 \pm 0,15\%$ pada *autoclaving* 60 menit, namun kemudian mengalami penurunan yang signifikan pada perlakuan 90 menit ($2,67 \pm 0,18\%$). Peningkatan kadar protein hingga menit ke-60 diduga disebabkan oleh denaturasi protein akibat pemanasan bertekanan. Proses ini melonggarkan matriks cangkang dan memutus ikatan kompleks protein sehingga protein lebih mudah terekstraksi dan terukur saat analisis. Pemanasan juga menyebabkan pengurangan

kadar air dan senyawa volatil pada bahan, yang secara tidak langsung meningkatkan konsentrasi relatif protein terukur. Perlakuan *autoclaving* yang diperpanjang hingga durasi 90 menit memicu penurunan kadar protein secara nyata. Penurunan ini terjadi akibat kerusakan termal (*thermal degradation*) yang berlebihan (*over-processing*). Pemanasan basah bertekanan tinggi dalam waktu yang terlalu lama dapat memutus ikatan peptida menjadi monomer asam amino yang rentan rusak atau menguap, serta memicu reaksi Maillard jika terdapat gugus gula pereduksi. Selain itu, pemanasan yang terlalu lama meningkatkan peluluhan (*leaching*) nitrogen atau peptida larut air ke dalam uap kondensat *autoclave* sehingga kadar protein total bahan menjadi berkurang. Makin lama waktu *autoclaving* yang dilakukan, maka makin banyak protein yang mengalami denaturasi. Penurunan kadar protein ini disebabkan oleh proses pemanasan bertekanan tinggi selama proses ekstraksi. Pemanasan bertekanan tinggi dapat menyebabkan protein terhidrolisis dan mudah terlarut sehingga kandungan protein dalam bahan berkurang (Wulan *et al.*, 2024). Irawati *et al.* (2016) menyatakan proses pemasakan berlebihan dapat menurunkan protein ikan. Hal ini disebabkan paparan panas berlebihan selama proses pemasakan berlangsung sehingga menyebabkan protein terhidrolisis dan mudah terlarut. Maulidah *et al.* (2022) juga menyatakan bahwa denaturasi protein merupakan perubahan struktur rantai polipeptida dari molekul protein. Proses ini dimulai pada suhu pemanasan sekitar 50°C, namun protein saat itu belum sepenuhnya rusak, tetapi mulai mengalami perubahan struktur. Henggu *et al.* (2019) melaporkan bahwa kadar protein tulang sotong 4,78%. Kadar protein ini juga jauh lebih rendah dengan penelitian Putranto *et al.* (2015), melaporkan bahwa kadar protein tepung tulang ikan belida dengan proses presto selama 2 jam dan perebusan 1 kali sebesar 14,25%.

Kadar Lemak

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan waktu *autoclaving* memberikan pengaruh yang nyata ($p < 0,05$)



terhadap kadar lemak. Hasil uji lanjut BNJ menunjukkan 3 perlakuan memiliki perbedaan nyata. Kadar lemak terendah pada waktu *autoclaving* 90 menit, yaitu 0,24%. Kadar lemak tepung cangkang sotong dapat dilihat pada *Table 1*.

Lemak yang tersisa dalam bahan, yaitu tulang ikan dapat berperan sebagai pengotor yang memengaruhi stabilitas produk karena lemak mudah mengalami oksidasi dan menyebabkan ketengikan selama penyimpanan. Kadar lemak sangat berpengaruh terhadap kestabilan mutu dan daya simpan suatu produk. Husna *et al.* (2020) menyatakan kadar lemak yang rendah cenderung menghasilkan produk dengan mutu yang relatif lebih stabil dan tidak mudah rusak sehingga mengurangi terjadinya ketengikan akibat proses oksidasi lemak. Prasetyo *et al.* (2014) juga menyatakan bahwa makin lama waktu pemasakan metode presto, maka makin banyak lemak yang mencair dan terbawa keluar bersama dengan air. Pemanasan suhu tinggi dapat memicu reaksi oksidasi lemak menyebabkan terjadinya perubahan senyawa asam lemak menjadi polimer, monomer, dan senyawa volatil, yaitu karbonil.

Kadar lemak ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Adawyah *et al.* (2020) bahwa *autoclaving* pada tepung ikan sepat rawa selama hasil kadar lemak sebesar 4,65-5,67%. Hua *et al.* (2013) melaporkan bahwa kadar lemak pada tulang ayam setelah proses *autoclaving* mengalami penurunan 26,6%, sedangkan tanpa *autoclaving* 31,5%.

Kadar Air

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan waktu *autoclaving* memberikan pengaruh yang nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar air. Hasil uji lanjut BNJ menunjukkan 3 perlakuan *autoclaving* selama 30 dan 60 menit tidak berbeda nyata ($p > 0,05$) namun *autoclaving* selama 90 menit berbeda signifikan dari keduanya ($p < 0,05$). Kadar air tertinggi pada waktu *autoclaving* 90 menit, yaitu 1,77%. Kadar air ini dapat dilihat pada *Table 1*.

Makin lama proses *autoclaving*, maka kadar air makin meningkat. Peningkatan kadar air ini disebabkan oleh air tertahan

dalam jaringan tulang serta kemampuan tulang menyerap air akibat perubahan struktur mikro. Selama proses *autoclaving*, tulang menjadi lebih basah karena peningkatan porositas akibat perlakuan *autoclave* sehingga air lebih banyak masuk dan tertahan dalam pori-pori tulang. Oktavia *et al.* (2022) menyatakan bahwa kenaikan suhu pemanasan akan mempercepat reaksi kimia hingga mencapai titik maksimum. Air dalam bahan pangan terbagi menjadi dua, yaitu air terikat dan air bebas. Air bebas merupakan air pada permukaan pori-pori sel, sedangkan air terikat merupakan air yang berikatan dengan komponen gizi. Proses pemanasan juga menyebabkan reaksi pada enzim proteolitik yang memengaruhi kadar air bahan. Wijayanti *et al.* (2021) juga menyatakan bahwa proses *autoclaving* pada awalnya dapat menurunkan kadar air, namun seiring bertambahnya waktu kadar air cenderung meningkat. Hal ini disebabkan oleh air tertahan dalam jaringan tulang serta kemampuan tulang menyerap air akibat perubahan struktur mikro. Selama proses *autoclaving*, tulang menjadi lebih basah karena peningkatan porositas.

Hasil kadar air penelitian ini lebih rendah dibandingkan penelitian oleh Rohmah *et al.* (2022) bahwa kadar air tepung tulang sotong dengan perlakuan presto didapatkan hasil sebesar 2,17% serta lebih rendah lagi dibandingkan penelitian oleh Cahyono *et al.* (2023) bahwa tepung tulang ikan tongkol dengan metode hidrolisis dengan proses *autoclaving* selama 3 jam didapatkan hasil kadar air sebesar 6,94%.

Kadar Abu

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa perbedaan waktu *autoclaving* memberikan pengaruh yang nyata ($p < 0,05$) terhadap kadar abu pada tepung cangkang sotong. Hasil uji lanjut BNJ menunjukkan 3 perlakuan memiliki perbedaan nyata. Kadar abu tertinggi pada waktu *autoclaving* 90 menit, yaitu 92,43%. Kadar abu ini dapat dilihat pada *Table 1*.

Makin lama proses *autoclaving*, maka dapat meningkatkan kadar abu. Tingginya kadar abu ini menunjukkan jumlah bahan anorganik yang tersisa setelah bahan organik

didestruksi. Kadar abu yang tinggi disebabkan karena komponen utama penyusun tulang atau cangkang, yaitu mineral. Tulang mengandung sel-sel hidup dan matriks intraseluler dalam bentuk garam mineral yang tetap tersisa dalam bentuk abu setelah proses pembakaran atau destruksi bahan organik. Wijayanti *et al.* (2021) menyatakan *autoclaving* dalam waktu yang lebih lama mampu memecah matriks organik pada tulang secara efektif. Proses ini menyebabkan terjadinya degradasi senyawa organik yang terdapat pada tulang sehingga akan meningkatkan kandungan bahan anorganik misalnya kalsium, fosfor, dan magnesium yang tersisa dalam matriks tulang. Henggu *et al.* (2019) juga menyatakan kadar abu yang tinggi pada cangkang organisme laut memiliki korelasi positif terhadap ketersediaan unsur mineral, khususnya kalsium karbonat (CaCO_3). Senyawa ini berperan penting sebagai sumber kalsium oksida (CaO) dalam sintesis hidroksiapatit.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian oleh Rohmah *et al.* (2022) bahwa kadar abu pada tulang sotong dengan perlakuan presto didapatkan hasil sebesar 93,75%. Hasil ini juga lebih tinggi daripada penelitian oleh Septianingsih *et al.* (2016) bahwa kadar abu tepung tulang ikan belida presto selama 4 jam didapatkan hasil sebesar 76,25%.

Analisis Sensori

Pengujian sensori dilakukan guna mengevaluasi preferensi konsumen

terhadap produk tepung cangkang sotong yang dihasilkan dari berbagai perlakuan *autoclaving*. Hasil analisis uji sensori berupa uji hedonik yang bertujuan untuk mengetahui tingkat penerimaan panelis terhadap karakteristik sensori tepung cangkang sotong. Uji ini dilakukan menggunakan parameter ketampakan, aroma, dan tekstur disajikan pada Table 2.

Perlakuan *autoclaving* 30 menit menghasilkan nilai ketampakan tertinggi (8,47) dengan ketampakan berwarna putih bersih. Uji *Mann-Whitney* menunjukkan perlakuan waktu *autoclaving* 60 menit berbeda nyata dengan 30 menit ($p>0,05$) namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan 90 menit ($p<0,05$). Reaksi termal selama proses *autoclaving* yang memengaruhi perubahan warna sampel. Rozi & Ukhty (2021) menyatakan bahwa waktu *autoclaving* dan frekuensi perebusan memengaruhi warna tepung. Penelitian ini sejalan dengan Kaliky *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa tepung tulang ikan kakap merah memiliki ketampakan kekuningan. Nilai ini mengalami penurunan setiap ulangnya. Kecerahan warna pada tepung tulang ikan juga dipengaruhi partikel kalsium yang terdapat pada tepung tulang ikan tersebut.

Perlakuan *autoclaving* selama 90 menit menghasilkan nilai aroma terbaik (8,47) beraroma spesifik produk dan tidak amis. Uji *Mann-Whitney* menunjukkan perlakuan waktu *autoclaving* 30 dan 60 menit tidak berbeda nyata ($p>0,05$) namun keduanya

Table 2 Hedonic sensory analysis of cuttlefish (*Sepia* sp.) shell flour

Tabel 2 Analisis sensori hedonik tepung cangkang sotong (*Sepia* sp.)

Parameters	Sample treatments (min)		
	30	60	90
Appearance	8.47±0.90 ^a	7.40±1.33 ^b	7.40±1.10 ^b
Smell	7.07±1.53 ^a	7.53±1.38 ^a	8.47±0.90 ^b
Texture	8.67±0.76 ^a	8.13±1.36 ^a	7.53±1.17 ^b
Average	8.07±0.41	7.69±0.03	7.80±0.14
Confidence interval	7.84< μ <8.29	7.41< μ <7.97	7.51< μ <8.03

Note: Values are presented as mean $\pm$ standard deviation ($n = 30$ panelists). Values with different superscript lowercase letters within the same row indicate significant differences ($p<0.05$).



berbeda signifikan dengan perlakuan 90 menit ($p < 0,05$). Makin lama proses *autoclaving*, maka aroma amis pada tepung cangkang sotong cenderung berkurang. Hasanah *et al.* (2017) menyatakan trimetilamin (TMA) sebagai senyawa penyebab aroma amis khas hasil laut dapat berkurang secara signifikan melalui proses pemanasan dengan pengaliran uap panas. Maulina *et al.* (2024) juga menyatakan bahwa suhu dan waktu pengeringan yang lebih lama dapat menyebabkan penurunan konsentrasi senyawa aromatik.

Perlakuan *autoclaving* selama 30 menit menghasilkan nilai tekstur tertinggi (7,80) berupa halus dan lembut. Uji *Mann-Whitney* menunjukkan perlakuan waktu *autoclaving* selama 30 dan 60 menit tidak berbeda nyata ($p > 0,05$) namun keduanya berbeda signifikan dengan perlakuan 90 menit ($p < 0,05$). Mismawati *et al.* (2024) menyatakan bahwa tekstur bahan pangan sangat dipengaruhi oleh kadar air dan aktivitas air di dalam bahan pangan. Makin tinggi kadar air, maka bahan pangan cenderung tidak halus serta berpengaruh terhadap daya simpan.

Analisis kadar kalsium, warna, FT-IR, dan SEM-EDX dilakukan pada sampel tanpa *autoclaving* (bahan baku) dan *autoclaving* selama 90 menit, berdasarkan perlakuan terbaik. Pemilihan kedua perlakuan tersebut didasarkan pada hasil penentuan perlakuan terbaik yang diperoleh melalui analisis beberapa parameter secara kuantitatif dengan mempertimbangkan nilai rerata tertinggi atau terendah dari masing-masing parameter. Parameter kadar protein dan kadar lemak terbaik ditunjukkan oleh nilai terendah, sedangkan parameter kadar air dan kadar abu perlakuan terbaik ditunjukkan oleh nilai tertinggi. Hasil ini sejalan dengan Rohmah *et al.* (2022) bahwa tepung tulang sotong dengan metode ekstraksi terbaik diperoleh pada metode alkali menghasilkan kadar air 3,02%, protein 2,35%, abu 94,14%, kalsium 35,14%, dan fosfor 0,08%. Perlakuan *autoclaving* selama 90 menit dinilai paling optimal dalam mendukung pelepasan kalsium.

Kadar Kalsium

Cangkang sotong merupakan salah satu sumber kalsium alami yang potensial untuk

dimanfaatkan sebagai bahan baku pangan maupun non pangan. Proses *autoclaving* dengan suhu dan tekanan tinggi dapat memengaruhi kestabilan matriks mineral serta tingkat pelepasan kalsium dari struktur kalsium karbonat pada cangkang. Oleh karena itu, analisis kadar kalsium dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh durasi pemanasan bertekanan tersebut terhadap ketersediaan mineral utama yang dihasilkan.

Hasil uji T independen menunjukkan perbedaan nyata ($p < 0,05$). Kadar kalsium pada tepung cangkang sotong sampel bahan baku didapatkan hasil sebesar $34,09 \pm 0,85$ %, sedangkan dengan perlakuan *autoclaving* selama 90 menit didapatkan kadar kalsium sebesar $38,33 \pm 0,87$ %.

Kadar kalsium dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu metode ekstraksi, lama proses pengolahan, dan karakteristik bahan baku yang digunakan. Pemanasan bertekanan tinggi diduga mampu memecah ikatan kalsium dengan senyawa organik tersebut sehingga kalsium mudah terekstraksi dalam bentuk bebas. Asjun *et al.* (2024) menyatakan bahwa perbedaan kadar kalsium pada tepung tulang ikan dipengaruhi oleh faktor perbedaan spesies, jenis kelamin, periode biologi, dan faktor ekologis. Faktor lainnya, yaitu perbedaan lama ekstraksi dan jenis pelarut yang digunakan. *Autoclaving* dapat memecah ikatan kalsium dengan senyawa organik tersebut. Benjakul *et al.* (2024) juga menyatakan bahwa perlakuan pemanasan dapat melepas lipid sehingga proporsi bahan organik, yaitu kalsium dan fosfor menjadi meningkat. Perbedaan jumlah senyawa organik dan mineral yang terdeteksi dalam tulang juga dipengaruhi oleh jenis ikan dan metode pengolahan.

Hasil penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Rohmah *et al.* (2022) bahwa kadar kalsium pada tepung tulang sotong dengan metode presto didapatkan hasil sebesar 37,65%. Hasil ini juga jauh lebih tinggi dibandingkan penelitian oleh Wijayanti *et al.* (2021), menunjukkan bahwa kadar kalsium pada tulang punggung ikan kakap putih dengan metode *autoclaving* selama 90 menit didapatkan hasil sebesar 29,65%. Pemanasan bertekanan tinggi dapat memutus ikatan

peptida dalam matriks tulang dan melepaskan protein kolagen dan senyawa organik lainnya.

Analisis Warna

Waktu pemanasan bertekanan tinggi dapat memicu perubahan penampilan fisik bahan, terutama tingkat kecerahan dan derajat warna tepung yang dihasilkan. Karakteristik warna menjadi salah satu atribut mutu visual yang penting karena menentukan tingkat penerimaan awal konsumen terhadap suatu produk. Oleh karena itu, pengamatan parameter warna dilakukan untuk melihat dampak variasi lama *autoclaving* terhadap stabilitas pigmen dan ketampakan tepung cangkang sotong. Hasil pengujian warna pada tepung cangkang sotong dengan proses *autoclaving* yang berbeda disajikan pada Table 3.

Hasil uji-t independen menunjukkan perbedaan nyata nilai L^* , a^* , dan b^* antara sampel bahan baku dengan *autoclaving* 90 menit ($p < 0,05$). Nilai L^* (kecerahan) turun dari 82,97 menjadi 65,02 setelah perlakuan *autoclaving*. Makin lama proses *autoclaving*, kecerahan tepung menurun yang disebabkan oleh reaksi kimia atau degradasi senyawa warna akibat proses pemanasan. Sipayung *et al.* (2015) menyatakan bahwa derajat putih tepung ikan rucah pada suhu pengukusan 80°C sebesar 33,67 dan menurun menjadi 27,67 pada suhu pengukusan 100°C. Reaksi antara protein, peptida, dan asam amino dengan hasil dekomposisi lemak dalam produk dapat menghasilkan produk berwarna cokelat gelap.

Nilai a^* pada tepung cangkang sotong sampel bahan baku 1,19 meningkat menjadi 1,95 setelah *autoclaving* 90 menit,

menunjukkan peningkatan rona merah akibat pemanasan. Ningtias *et al.* (2023) menjelaskan nilai a^* positif menunjukkan warna merah, sedangkan negatif warna hijau. Zameni *et al.* (2015) yang dikutip dalam penelitian Li *et al.* (2022) juga melaporkan nilai a^* pada bahan lain dengan perlakuan termal dengan variasi yang berbeda mengalami peningkatan, sedangkan nilai b^* mengalami penurunan. Perubahan warna ini disebabkan reaksi pencokelatan non-enzimatis, yaitu oksidasi selama pemanasan.

Nilai b^* tepung cangkang sotong sampel bahan baku 2,85 mengalami kenaikan setelah *autoclaving* 90 menit menjadi 6,31, menunjukkan warna kuning. Sinaga (2019) menyatakan bahwa nilai b^* positif menunjukkan warna kuning, sedangkan negatif warna biru. Makin lama proses *autoclaving*, maka nilai b^* makin meningkat. Fadlilah *et al.* (2022) juga menyatakan bahwa tingkat nilai b^* pada dendeng berkisar antara 12,53-4,83. Tingkat kekuningan pada dendeng diakibatkan adanya reaksi pencokelatan non enzimatis.

Analisis Gugus Fungsi

Analisis gugus fungsi dilakukan menggunakan *fourier transform infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi senyawa kimia dan gugus fungsi yang terdapat pada tepung cangkang sotong. Hasil analisis FTIR pada tepung cangkang sotong dengan perlakuan proses *autoclaving* yang berbeda tersaji pada Figure 1.

Pengujian FTIR pada tepung cangkang sotong menghasilkan spektrum berada dalam rentang gelombang 600-3.800 cm^{-1} . Serapan gelombang 3.304,3-3.729,3 cm^{-1} menunjukkan

Table 3 Color analysis of raw and autoclaved cuttlefish (*Sepia* sp.) shell flour
Tabel 3 Analisis warna tepung cangkang sotong (*Sepia* sp.) mentah dan hasil autoklaf

Parameter	Raw material	Autoclave 90 min
L^* (Lightness)	82.97±2.24 ^a	65.02±1.04 ^b
a^* (Redness/Greenness)	1.19±0.09 ^a	1.95±0.11 ^b
b^* (Yellowness/Blueness)	2.85±0.36 ^a	6.31±0.15 ^b

Note: Values are presented as mean ± standard deviation ($n = 30$ panelists).

Values with different superscript lowercase letters within the same row indicate significant differences ($p < 0.05$).

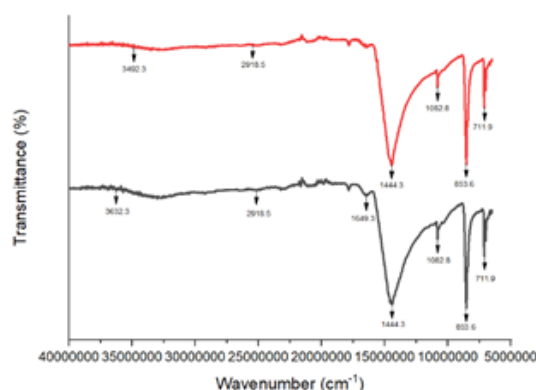


Figure 1 FTIR spectra and functional groups of raw (—) and autoclaved (—) cuttlefish (*Sepia sp.*) shell flour

Gambar 1 Spektra FTIR dan gugus fungsi tepung cangkang sotong (*Sepia sp.*) mentah (—) dan hasil autoklaf (—)

adanya gugus fungsi -OH yang merupakan gugus fungsi alkohol berada dalam rentang $3.000\text{--}3.800\text{ cm}^{-1}$. Serapan gelombang $1.649,3\text{--}2.113,4\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi C-O (amida) berada dalam rentang $1.600\text{--}1.700\text{ cm}^{-1}$. Serapan gelombang $1.082,8\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi P-O (fosfat) berada dalam rentang $1.000\text{--}1.300\text{ cm}^{-1}$. Serapan gelombang pada $853,6\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi C-H (alkana) berada dalam rentang $800\text{--}900\text{ cm}^{-1}$. Serapan gelombang $711,9\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi Ca-O (kalsium) berada dalam rentang $600\text{--}800\text{ cm}^{-1}$.

Anisa *et al.* (2023) mengidentifikasi spektrum transmisi FT-IR sampel CaCO_3 yang telah dipanaskan pada suhu 120°C selama 4 jam didapatkan hasil serapan $400\text{--}4.000\text{ cm}^{-1}$. Serapan gelombang $3.675,21\text{ cm}^{-1}$ merupakan gugus fungsi alkohol (-OH). Puncak gelombang $2.511,61\text{ cm}^{-1}$ ditandai dengan ikatan C-H. Puncak inframerah pada $1.794,26\text{ cm}^{-1}$ mengidentifikasi adanya CaCO_3 . Puncak gelombang $1.393,38\text{ cm}^{-1}$ merupakan vibrasi dari gugus *carboxyl group*. Puncak gelombang $870,76\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus fungsi C-H yang mengidentifikasi fasa kalsit. Serapan pada puncak $711,85\text{ cm}^{-1}$ terdapat gugus fungsi Ca-O yang mengidentifikasi puncak dari CaCO_3 .

Daerah sidik jari atau *fingerprint* adalah bagian spektrum yang terletak pada rentang rentang gelombang $1.500\text{--}500\text{ cm}^{-1}$. Daerah ini disebut *fingerprint* karena pola

serapan yang dihasilkan sangat spesifik untuk setiap senyawa. Gugus-gugus yang dihasilkan dari spektrum merupakan gugus penyusun kalsium karbonat (CaCO_3). Izzati *et al.* (2023) menyatakan terkait kalsium karbonat, dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa di serbuk cangkang kerang mutiara didapatkan gugus fungsi CaCO_3 berupa CO_3^{2-} , OH⁻, Ca-O, dan C-O. Serapan puncak kuat pada gelombang $713,05\text{ cm}^{-1}$, $875,55\text{ cm}^{-1}$, dan $1.082,97\text{ cm}^{-1}$ dengan pita serapan tajam, serta $1.469,00\text{ cm}^{-1}$ dengan pita serapan melebar yang teridentifikasi fasa kristal kalsit.

Hasil Morfologi Sampel

Analisis morfologi menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dilakukan untuk mengamati struktur permukaan dan bentuk partikel tepung cangkang sotong. Hasil analisis SEM pada tepung cangkang sotong dengan perlakuan proses *autoclaving* yang berbeda tersaji pada Figure 2.

Hasil analisis SEM-EDX morfologi permukaan struktur tepung cangkang sotong bahan baku dan proses *autoclaving* 90 menit menunjukkan perbedaan bentuk kerangka yang signifikan. Hal ini disebabkan proses pemanasan menyebabkan pecahnya struktur matriks organik. Hasil SEM-EDX pada perbesaran $5.000\times$ memperlihatkan permukaan sampel bahan baku memiliki bentuk partikel tidak seragam dan berukuran besar, cenderung tajam, berpori serta membentuk kristal. Sebaliknya, sampel

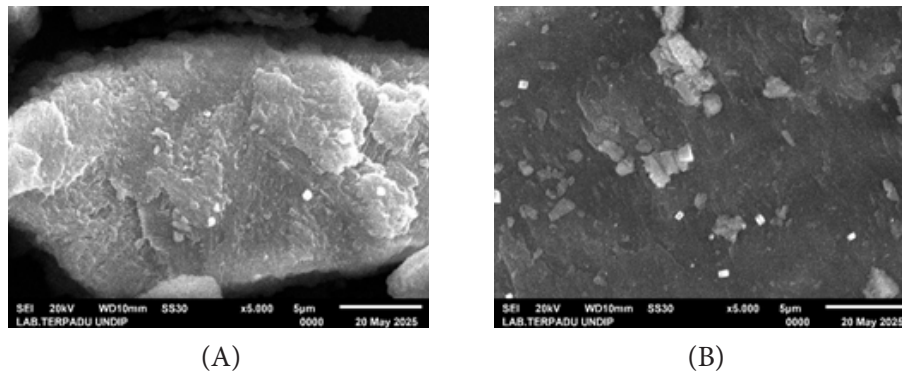


Figure 2 SEM micrographs of raw material (A) and 90-min autoclaved (B) cuttlefish (*Sepia* sp.) shell flour at 5,000× magnification

Gambar 2 Mikrograf SEM tepung cangkang sotong (*Sepia* sp.) mentah (A) dan hasil autoklaf selama 90 menit (B) pada perbesaran 5.000×

dengan perlakuan proses *autoclaving* 90 menit menunjukkan permukaan yang lebih halus dengan sedikit butiran kecil tersebar, permukaan lebih padat dan solid. Taufiq dan Fadlila (2020) menyatakan tepung tulang ikan patin menggunakan SEM perbesaran 5.000× memiliki morfologi sampel tidak berbentuk bulatan, beraglomerasi membentuk gumpalan dan tidak ditemukan rongga pada permukaan sampel.

Tepung cangkang sotong pada perlakuan *autoclaving* 90 menit menunjukkan kandungan unsur oksigen (O), klorin (Cl), kalsium (Ca), dan zirkonium (Zr) yang tinggi sehingga menyebabkan degradasi atau hilangnya sebagian unsur organik dan logam yang mudah larut misalnya unsur karbon (C), magnesium (Mg), natrium (Na), fosfor (P), kalium (K), tembaga (Cu), seng (Zn), dan besi (Fe). Taufiq dan Fadlila (2020) menyatakan bahwa pengujian SEM-EDX pada tepung tulang ikan patin didapatkan hasil memiliki kandungan unsur C (13%), O (39%), Fe (3%), Zn (3%), K (14%), dan Ca (6%).

Proses *autoclaving* dapat menyebabkan pelarutan senyawa sehingga kandungan unsur organik dan logam lebih menurun. Suwannasingha *et al.* (2022) menyatakan proses kalsinasi atau proses pemanasan dengan suhu tinggi pada cangkang hewan laut menyebabkan penurunan unsur karbon, magnesium, dan fosfor. Hal ini diakibatkan volatilitas dan pelarutan yang terjadi. Pang *et al.* (2024) juga menyatakan

bahwa tulang sotong mengandung elemen natrium, magnesium, kalium, dan strontium yang tinggi untuk mempercepat pembentukan tulang.

KESIMPULAN

Perbedaan waktu *autoclaving* memengaruhi karakteristik kalsium tepung cangkang sotong. Perlakuan *autoclaving* selama 90 menit menghasilkan karakteristik kalsium terbaik yang ditunjukkan oleh kadar kalsium tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. (2005). Official methods of analysis of association of chemistry. Association of Official Analytical Chemists.
- Adawyah, R., Khotiffah, S. K., Wahyudinur, & Puspitasari, F. (2020). Pengaruh lama pemasakan terhadap kadar protein, lemak, profil asam amino, dan asam lemak tepung ikan sepat rawa (*Trichogaster trichopterus*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(2), 286-294. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i2.32339>
- Amini, K., Susanto, E., & Suharto, S. (2023). Karakteristik fisikokimia flavor bubuk kepala udang vanamei (*Litopenaeus vannamei*) dengan perbedaan konsentrasi maltodekstrin



- pada metode *foam mat drying*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 5(2), 99-120. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2023.16546>
- Anisa, Z., Mubarakah, L., Setyaningrum, D., & Novianto, H. (2023). Identifikasi sifat termal dan ikatan batu kapur alam dengan menggunakan DSC-TGA dan FTIR. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 8(3), 173-177. <https://doi.org/10.31942/inteka.v8i3.8504>
- Asjun, Anwar, D. P., & Saleh, A. M. (2024). Karakteristik nanokalsium food grade limbah sisik dan tulang ikan bandeng (*Chanos chanos*) Fabricius 1775 dan aplikasinya pada *cookies*. *Jurnal Fish Protech*, 7(2), 112-123. <https://doi.org/10.55678/jikan.v4i2.1695>
- Benjakul, S., Pomting, S., Chedosama, A., Saetang, J., Sookchoo, P., & Nilsuwan, K. (2024). Chemical compositions and characteristics of biocalcium from pre cooked tuna bone as influenced by sodium chloride pretreatment and defatting by asian seabass lipase. *Journal Foods*, 13(1261), 1-12. <https://doi.org/10.3390/foods13081261>
- Cahyono, E., Ansar, N. M. S., Tanod, W. A., Sambeka, Y., Batafor, Y. M. J., & Nadia, L. M. H. (2023). Karakteristik tepung tulang ikan tongkol (*Euthynnus affinis*) yang diproduksi dengan metode hidrolisis tekanan. *Jurnal IPTEK Terapan Perikanan dan Kelautan*, 4(3), 135-147. <https://dx.doi.org/10.15578/plgc.v4i3.13169>
- Daveza, H. P., Wijayanti, I., & Anggo, A. D. (2025). Pengaruh perbedaan waktu ekstraksi terhadap karakteristik kalsium rumput laut hijau *Halimeda opuntia*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 28(1), 1-12. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v28i1.56126>
- Fadlilah, A., Rosyidi, D., & Susilo, A. (2022). Karakteristik warna L* a* b* dan tekstur dendeng daging kelinci yang difermentasi dengan *Lactobacillus plantarum*. *Jurnal Wahana Peternakan*, 6(1), 30-38. <https://doi.org/10.37090/jwputb.v6i1.533>
- Harjuno, I., Agustini, T. N., & Anggo, A. D. (2013). Karakteristik tepung kalsium dari cangkang kerang simping (*Amusium pleuronectes*) dengan waktu pemanasan yang berbeda. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 2(3), 1-10. https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jpbhp/article/view/2792?utm_source=chatgpt.com
- Hasanah, H., Lestari, N., & Adiningsih, Y. (2017). Pengendalian senyawa trimetilamin (TMA) dan amonia dalam pembuatan margarin dari minyak patin. *Journal of Agro-based Industry*, 34(2), 72-80.
- Henggu, K. U., Ibrahim, B., & Suptijah, P. (2019). Hidroksiapatit dari cangkang sotong sebagai sediaan biomaterial perancah tulang. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(1), 1-13. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/98704>
- Hua, C. X., Long, H. W., Gang, W. K., Ji, L., Li, W. S., & Zong, P. X. (2013). Effect of high pressure cooking on bone composition and strength of chicken skeleton. *Food Science*, 34(23), 103-107. <https://doi.org/10.7506/spkx1002-6630-201323022>
- Husna, A., Handayani, L., & Syahputra, F. (2020). Pemanfaatan tulang ikan kambing-kambing (*Abalistes stellaris*) sebagai sumber kalsium pada produk tepung tulang ikan. *Aquatic Sciences Journal*, 7(1), 13-20. <https://doi.org/10.29103/aa.v7i1.1912>
- Irawati, A. A., Ma'ruf, W. F., & Anggo, A. D. (2016). Pengaruh lama pemasakan ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) duri lunak goreng terhadap kandungan lisin dan protein terlarut. *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 5(1), 106-110.
- Izzati, L., Rahayu S., & Kurniawi, D. W. (2023). Identifikasi karakteristik serbuk kalsium karbonat (CaCO_3) dari cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*). *Indonesian Physical Review*, 5(3), 1-11. <http://eprints.unram.ac.id/id/eprint/43494>
- Kaliky, N., Lessy, A., Rieuwpassa, F., Kaya, A. O., Mailoa, M. N., & Sormin, R. B. D. (2024). Karakteristik fisikokimia tepung tulang ikan kakap merah (*Lutjanus* sp).

- Jurnal Biology Science & Education*, 13(2), 129-140. <https://doi.org/10.33477/bs.v13i2.7248>
- Kondolele, S. L., Asikin, A. N., Kusumaningrum, I., Diachanty, S., & Zuraida, I. (2020). Pengaruh suhu perebusan terhadap karakteristik fisikokimia tepung tulang ikan tenggiri (*Scomberomorus commerson*). *Media Teknologi Hasil Perikanan*, 10(3), 177-184. <https://doi.org/10.35800/mthp.10.3.2022.34938>
- Li, Q., Li, H. T., Bai, Y. P., Zhu, K. R., & Huang, P. H. (2022). Effect of thermal treatment on the physicochemical, ultrastructural, and antioxidant characteristics of euryale ferox seeds and flour. *Foods*, 11, 1-15. <https://doi.org/10.3390/foods11162404>
- Maulidah, R., Istiadji, M., & Sauqina. (2022). Pengaruh lama pemasakan yang berbeda terhadap kadar protein dan lemak tepung ikan papuyu (*Anabas testudineus*). *Jurnal Sains dan Terapan*, 1(3), 171-179. <https://doi.org/10.57218/juster.v1i3.370>
- Maulina, D. E., Nurwati & Hasdar, M. (2024). Limbah udang sebagai kaldu bubuk: analisis kadar air, aktivitas air, dan evaluasi organoleptik dengan metode penyangraian. *Journal of Technology and Food Processing (JTFP)*, 4(2), 18-29. <https://doi.org/10.46772/jtfp.v4i02.1542>
- Meilianti. (2017). Isolasi kalsium oksida (CAO) pada cangkang sotong (Cuttlefish) dengan proses kalsinasi menggunakan asam nitrat dalam pembuatan *precipitated calcium carbonate* (PCC). *Jurnal Distilasi*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i1.1131>
- Mismawati, A., Diachanty, S., Rusdin, I., & Hasanah, R. (2024). Karakteristik fisik dan organoleptik sediaan serbuk flavour kepala udang windu (*Penaeus monodon*) pada perbedaan suhu pengeringan. *Jambura Fish Processing Journal*, 6(1), 15-31. <https://doi.org/10.37905/jfpj.v6i1.21781>
- Ningtias, S. T., Harjono, Kurniawan, C., & Kusuma, S. B. W. (2023). Optimization ultrasonic assisted extraction of dye from African tulip leaves (*Spathodea campanulata* P. Beauv) and optimization of its application as a textiles dye. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 12(2), 143-160. <https://doi.org/10.15294/ijcs.v12i2.71669>
- Oktavia, A. A., Suryaningsih, W., Bakri, A., Kautsar, S., Hariono, B., Brilliantina, A., & Wijaya, R. (2022). Pengaruh suhu dan waktu proses *precooking* ikan lemuru terhadap sifat fisik, mikrobiologi dan organoleptik. *Jurnal Ilmiah Inovasi*, 22(3), 251-258. <https://doi.org/10.25047/jii.v22i3.3429>
- Pang, B., Xian, J., Chen, J., Ng, L., Li, M., Zhao, G., Yixuen, Wang, X., Cao, X., Zhang, C., Zhang, M., & Liu, C. (2024). Cuttlefish bone-derived calcium phosphate bioceramics have enhanced osteogenic properties. *Journal of Functional Biomaterials*, 15(2), 1-14. <https://doi.org/10.3390/jfb15080212>
- Prasetyo, M., Riyadi, P. H., & Anggo, A. D. (2014). Pengaruh waktu pengukusan terhadap kualitas kepiting bakau (*Scylla serrata*) presto dengan alat "TTSR". *Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan*, 3(3), 9-15. <http://www.ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jpbhp>
- Putranto, H. F., Asikin, A. N., & Kusumaningrum, I. (2015). Karakterisasi tepung tulang ikan belida (*Chitala* sp.) sebagai sumber kalsium dengan metode hidrolisis protein. *Jurnal Zora'ah Majalah Ilmiah Pertanian*, 40(1), 11-20. <http://dx.doi.org/10.31602/zmip.v4i1i.315>
- Rasul, M. G. (2018). Conventional extraction methods use in medicinal plants, their advantages and disadvantages. *International Journal of Basic Sciences and Applied Computing (IJBSAC)*, 2(6), 10-14. <https://ijbsac.org/wp-content/uploads/papers/v2i6/F0082122618.pdf>
- Rohmah, N., Kurniasih, R. A., & Sumardianto. (2022). Pengaruh perbedaan metode ekstraksi terhadap karakteristik tepung tulang sotong (*Sepia* sp.). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.14710/jitpi.2022.13097>
- Rozi, A., & Ukhty, N. (2021). Karakteristik tepung tulang ikan tuna sirip kuning



- (*Thunnus albacares*) sebagai sumber kalsium dengan perlakuan suhu pengeringan yang berbeda. *Jurnal Fishtech*, 10(1), 25-34.
- Sari, N. W., Fajri, M. Y., & Anjas, W. (2018). Analisis fitokimia dan gugus fungsi dari ekstrak etanol pisang goroho merah (*Musa Acuminate* (L)). *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2(1), 30-34. <https://doi.org/10.47007/ijobb.v2i1.26>
- Septianingsih, R., Hasanah, R., & Kusumaningrum, I. (2016). Pengaruh lama proses presto terhadap karakteristik tepung tulang ikan belida (*Chitala* sp.). *Jurnal Aquawarman*, 2(1), 34-42.
- Septiano, A. F., Susilo & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis citra hasil scanning electron microscopy energy dispersive x-ray (SEM EDX) komposit resin timbal dengan metode contrast to noise ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81-85. <https://doi.org/10.15294/ijmns.v44i2.33143>
- Sinaga, A. S. (2019). Segmentasi ruang warna L^*a^*b . *Jurnal Mantik Penusa*, 3(1), 43-46.
- Sipayung, M. Y., Suparmi, & Dahlia. (2015). Pengaruh suhu pengukusan terhadap sifat fisika kimia tepung ikan rucah. *Jurnal Online Mahasiswa FPIK Universitas Rinau*, 1, 1-13.
- Sufiani, N. L., Kurniasih, R. A., & Suharto, S. (2022). Pengaruh lama ekstraksi menggunakan naoh terhadap karakteristik nanokalsium dari tulang sotong (*Sepia* sp.). *Journal of Fisheries and Marine Research*, 6(1), 130-141. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2022.006.01.15>
- Suwannasingha, N., Kantavong, A., Tunkijjanukij, S., Aenglong, C., Liu, H. B., & Klaypradit, W. (2022). Effect of calcination temperature on structure and characteristics of calcium oxide powder derived from marine shell waste. *Journal of Saudi Chemical Society*, 26(2), 101441. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2022.101441>
- Taufiq, N., & Fadlila, R. N. (2020). Pembuatan nano partikel kalsium (Ca) dari limbah tulang ikan patin (*Pangasius* sp) menggunakan metode *ultrasound-assisted solvent extraction*. *Jurnal Al-Kimia*, 9(1), 9-15. <https://doi.org/10.24252/al-kimia.v9i1.16390>
- Untailawan, R., & Wijaya, J. (2021). Studi kandungan kalsium dalam tepung tulang ikan. *Molucca Journal of Chemistry Education*, 11(1), 55-60. <https://doi.org/10.30598/MJoCEvol11iss1pp55-60>
- Wijayanti, I., Benjakul, S., & Sookchoo, P. (2021). Effect of high pressure heating on physical and chemical characteristics of asian sea bass (*Lates calcarifer*) backbone. *Journal of Food Science and Technology*, 58(8), 3120-3129. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04815-6>
- Wulandari, S., Nisa, Y. S., Taryono, T., Indarti, S., & Sayekti, R. S. (2022). Sterilisasi peralatan dan media kultur jaringan. *Agrotechnology Innovation (Agrinova)*, 4(2), 16-19. <https://doi.org/10.22146/a.77010>
- Wulan, N. L. N., Palupi, N. S., Kusnandar, F., & Wulandari, N. (2024). Pengaruh proses autoklaf dalam pembuatan bubuk udang windu (*Penaeus monodon*) dan *puffing snack* hipoalergenik. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(2), 142-158. <http://dx.doi.org/10.17844/jphpi.v27i2.50620>
- Zameni, A., Kashaninejad, M., Aalami, M., & Salehi, F. (2015). Effect of thermal and freezing treatments on rheological, textural and color properties of basil seed gum. *Journal of Food Science and Tehnology*, 52(9), 14-21. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1679-x>