

Pengaruh Penambahan Tepung Tulang Ikan Lele (*Clarias gariepinus*) pada Pembuatan Opak Singkong (*Manihot esculenta*) Terhadap Kadar Kalsium dan Sensoris

The Effect of Adding Catfish (*Clarias gariepinus*) Bone Flour to Cassava Crackers (*Manihot esculenta*) on Calcium Content and Sensory Attribute

Azizah Nuraini^{1)*}, A. Nova Zulfahmi²⁾, Feri Setiawan³⁾, Novia Nurul Afiah⁴⁾

¹⁾ Universitas Jenderal Soedirman, email: azizah.nuraini@unsoed.ac.id,

²⁾ Politeknik Negeri Ketapang, email: nova.zulfahmi@politap.ac.id,

³⁾ Universitas Jenderal Soedirman, email: fer.setiawan@unsoed.ac.id

⁴⁾ Universitas Jenderal Soedirman, email: novia.afiyah@unsoed.ac.id

* Penulis Korespondensi: E-mail: azizah.nuraini@unsoed.ac.id

ABSTRACT

*This study aimed to utilize catfish (*Clarias gariepinus*) bone flour as a calcium fortification ingredient in cassava crackers (opak) and to determine the optimal substitution level based on calcium content and sensory quality. Catfish bone waste generated from shredded fish processing industries has potential as a source of calcium, phosphorus, and collagen, which can enhance the nutritional value of starch-based food products. The study employed four levels of substitution: T1 (0%), T2 (5%), T3 (10%), and T4 (15%) catfish bone flour. Calcium content was analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS), while sensory evaluation was carried out using a 1–5 hedonic scale. The results demonstrated that increasing the concentration of catfish bone flour significantly enhanced the calcium content, from 431.31 ± 21.3 mg/100 g in T1 to 983.51 ± 13.7 mg/100 g in T4. Sensory evaluation indicated that the 10% substitution level was the most preferred formulation, based on scores for color, aroma, taste, and texture. Therefore, a 10% addition of catfish bone flour is recommended as the optimal formulation for producing calcium-rich cassava crackers that remain acceptable to consumers while supporting the sustainable utilization of fish by-products.*

Keywords: Calcium; Cassava crackers; Catfish bone flour; Sensory evaluation

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan tepung tulang ikan lele sebagai bahan fortifikasi kalsium pada opak singkong serta menentukan tingkat substitusi yang optimal berdasarkan kadar kalsium dan mutu sensoris. Limbah tulang ikan lele dari industri abon berpotensi sebagai sumber kalsium, fosfor, dan kolagen yang dapat meningkatkan nilai gizi produk pangan berbasis pati. Penelitian dilakukan dengan empat perlakuan substitusi, yaitu T1 (0%), T2 (5%), T3 (10%), dan T4 (15%) tepung tulang ikan lele. Analisis kadar kalsium dilakukan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) dan uji sensoris menggunakan skala hedonik (1–5). Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi tepung tulang ikan lele secara signifikan meningkatkan kadar kalsium, dari

431,31±21,3 mg/100 g pada T1 menjadi 983,51±13,7 mg/100 g pada T4. Uji sensoris menunjukkan bahwa substitusi 10% merupakan formulasi paling disukai, berdasarkan skor warna, aroma, rasa, dan tekstur. Dengan demikian, substitusi 10% tepung tulang ikan lele direkomendasikan sebagai formulasi optimal untuk menghasilkan opak singkong tinggi kalsium yang tetap disukai konsumen serta mendukung pemanfaatan limbah ikan secara berkelanjutan.

Kata kunci: Opak; Kalsium; Sensoris; Tulang Ikan Lele.

PENDAHULUAN

Industri pengolahan ikan air tawar di Kabupaten Banyumas di Jawa Tengah sudah cukup banyak, salah satunya adalah abon ikan lele yang digerakkan oleh berbagai UMKM. Proses pengolahan abon ikan lele, bagian daging ikan dimanfaatkan sebagai bahan utama, sedangkan tulang, kepala, dan sirip sering kali dibuang sebagai limbah padat. Kondisi ini menimbulkan permasalahan lingkungan karena akumulasi limbah organik yang berpotensi mencemari area sekitar industri rumah tangga (Mardiyana *et al.*, 2022). Padahal, tulang ikan lele mengandung kalsium, fosfor, dan kolagen protein yang bernilai gizi tinggi. Menurut Sriuttha *et al.*, (2024), tepung tulang lele merupakan sumber alami mineral Ca dan P yang berpotensi digunakan dalam fortifikasi pangan untuk meningkatkan asupan mineral masyarakat. Partikel halus tepung tulang ikan memiliki bioavailabilitas kalsium tinggi, sehingga mudah diserap tubuh (Senphan *et al.*, 2025). Antu *et al.*, (2024) juga menegaskan pentingnya peningkatan nilai tambah limbah ikan sebagai strategi ekonomi sirkular yang ramah lingkungan. Salah satu pemanfaatan limbah tulang ikan lele adalah dibuat produk opak dari singkong.

Opak singkong pada dasarnya merupakan pangan tradisional berbahan tepung tapioka yang memiliki tekstur renyah, namun rendah protein dan mineral (Zulfahmi *et al.*, 2021). Oleh karena itu, penambahan tepung tulang ikan lele dapat meningkatkan kandungan kalsium, fosfor, dan protein kolagen tanpa mengubah karakteristik dasar opak. Pengolahan tulang ikan lele dapat mendukung *zero waste processing* (Mubarokah *et al.*, 2021), layak dikembangkan secara finansial (Mahayani *et al.*, 2021) dan dapat diterapkan secara mudah serta efisien (Purwanti *et al.*, 2023).

Berbagai penelitian telah membuktikan bahwa tepung tulang ikan lele dapat meningkatkan kadar kalsium pada produk pangan berbasis pati seperti cookies (Sulistiyati dan Mawaddah 2021), kerupuk (Handayasari *et al.*, 2025), brownies (Suprihartini dan Puspita 2025), dan mie kering (Nurlaila dan Adi 2023), serta dinilai

layak secara sensori. Substitusi tepung tulang lele dalam produk pangan lain, seperti nugget tempe (Sains *et al.*, 2024) dan stik tulang (Suprihatin *et al.*, 2021), juga dilaporkan mampu meningkatkan kadar kalsium tanpa menurunkan preferensi panelis, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan fortifikasi memiliki data yang kuat. Namun, meskipun pemanfaatan tepung tulang ikan telah banyak diaplikasikan pada produk, hingga kini belum terdapat penelitian mengenai fortifikasi tulang ikan lele pada opak singkong, khususnya dalam menentukan batas substitusi yang optimal terhadap mutu sensori (rasa, tekstur, warna, aroma), serta peningkatan kandungan kalsium produk.

Berdasarkan potensi tepung tulang ikan lele dalam meningkatkan nilai gizi dan mutu produk pangan berbasis pati, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh substitusi tepung tulang ikan lele terhadap kadar kalsium dan mutu sensoris opak singkong. Pengujian kadar kalsium dilakukan untuk memastikan peningkatan kandungan mineral yang diberikan oleh fortifikasi tepung tulang lele. Sementara itu, uji sensoris meliputi penilaian warna, aroma, rasa, dan tekstur untuk mengetahui penerimaan konsumen terhadap opak yang diformulasikan. Melalui kedua pengujian tersebut, penelitian ini diharapkan dapat menentukan formulasi substitusi yang optimal, yaitu peningkatan kadar kalsium yang signifikan tanpa menurunkan mutu sensoris opak singkong.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan pembuatan opak sesuai dengan penelitian Zulfahmi *et al.*, (2021) dengan modifikasi yaitu singkong, bawang putih, kencur, ketumbar, air, cabai merah, garam, dan minyak goreng. Formulasi tersaji pada Tabel 1. Bahan baku pembuatan tepung tulang ikan lele berasal dari unit pengolahan yang menggunakan daging ikan lele produksi umkm. Bahan kimia yang digunakan dalam pengujian kadar kalsium antara lain HNO_3 , aquademin. Peralatan utama dalam pembuatan tepung tulang ikan lele adalah *cabinet dyer. Atomic Absorbtion Spectrophotometer* (AAS) digunakan untuk pengujian kalsium.

Tabel 1. Komposisi Opak dengan Penambahan tepung tulang ikan lele

No	Bahan	Perlakuan			
		T1 (0%:100%)	T2 (5%:95%)	T3 (10%:90%)	T4 (15%:85%)
1	Tepung Tulang Ikan (gr)	0	15	30	45
2	Singkong (gr)	300	285	270	255
3	Bawang Putih (gr)	15	15	15	15
4	Kencur (gr)	5	5	5	5
5	Ketumbar (gr)	3	3	3	3
6	Air (ml)	100	100	100	100
7	Cabai Merah (gr)	10	10	10	10
8	Garam (gr)	3	3	3	3

Proses Pengolahan Tepung Tulang Ikan Lele

Pengolahan tepung tulang ikan lele sesuai penelitian Sofyan dan Khusna (2025) dengan modifikasi. Proses pembuatan tepung tulang ikan lele diawali dengan pencucian tulang menggunakan air mengalir untuk menghilangkan sisa daging yang menempel, diikuti dengan perebusan tulang yang telah dibersihkan pada suhu 100°C selama 30 menit. Setelah direbus, tulang kemudian dikeringkan dengan *cabinet dryer* pada suhu 60°C selama 24 jam. Langkah terakhir yang krusial adalah penghalusan tulang menggunakan grinder selama 3 menit, dan diakhiri dengan pengayakan tepung tulang lele menggunakan saringan berukuran 60 *mesh*.

Proses Pengolahan Opak dengan Penambahan Tepung Tulang Lele

Proses pembuatan opak substitusi tulang ikan lele dimulai dengan tahap preparasi singkong; yaitu pengupasan kulit, pencucian, dan pamarutan hingga halus. Parutan singkong tersebut kemudian dicampur secara homogen dengan tepung tulang ikan lele pada variasi konsentrasi perlakuan, yaitu 0%, 5%, 10%, dan 15% (b/b). Adonan yang telah merata selanjutnya dicampur dengan bumbu-bumbu yang telah dihaluskan. Adonan diletakkan pada loyang beralas daun pisang, kemudian dikukus selama 15 menit pada suhu 98°C. Setelah dikukus, adonan dicetak dalam bentuk lingkaran berdiameter 5 cm. Proses pengeringan dilakukan dengan *cabinet dryer* dengan suhu 50°C selama 24 jam. Tahap akhir adalah penggorengan menggunakan metode *deep frying* untuk mencapai pengembangan yang sempurna dan tekstur yang renyah.

Pengujian Kadar Kalsium

Pengujian kadar kalsium dalam sampel dilakukan berdasarkan metode yang diacu dari Sofyan dan Khusna, (2025) dengan beberapa modifikasi. Prosedur diawali dengan penimbangan sampel sebanyak 5 gram, yang kemudian dilakukan pengabuan. Serbuk sampel selanjutnya dilarutkan menggunakan larutan campuran HNO_3 dan H_2O dengan perbandingan volume 10:30 selama kurang lebih 10 menit. Setelah didinginkan, larutan sampel disaring, lalu dimasukkan ke dalam labu ukur 50 ml dan ditambahkan akuademin hingga volume sesuai. Larutan ini adalah larutan induk. Larutan stok ini kemudian diencerkan kembali dengan mengambil 0,5 ml larutan induk dan dimasukkan ke dalam labu takar 10 ml, diencerkan dengan akuademin hingga mencapai tanda tera. Pada tahap pengukuran, sebanyak 0,5 ml larutan hasil pengenceran dipipet dan dimasukkan ke dalam labu takar 10 ml, kemudian ditambahkan 2 ml lantanum dan aquademin hingga mencapai batas tera. Kurva kalibrasi yang digunakan 2,5; 5;10;15;20 dan 25 ppm. Konsentrasi kalsium dalam larutan diukur menggunakan alat *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) pada panjang gelombang spesifik 422,7 nm.

Pengujian Sensoris

Pengujian sensoris meliputi empat parameter yang diujikan kepada panelis, yaitu warna, aroma, rasa, dan tekstur. Skala hedonik yang digunakan 1-5, yaitu 1=sangat tidak suka, 2=tidak suka, 3=netral, 4=suka, 5=sangat suka. Menggunakan panelis semi terlatih dengan jumlah 30 mahasiswa. Panelis ini telah mengetahui sifat sifat sensoris dari sampel yang akan dinilai dan telah memenuhi syarat untuk menjadi panelis. Syarat panelis antara lain: (a) Mempunyai kemampuan mendeteksi, mengenal, membandingkan, membedakan, kemampuan sensoris, (b) Ada perhatian terhadap pengujian sensoris, (c) Bersedia mempunyai waktu, (d) Mempunyai kepekaan yang diperlukan.

Selanjutnya panelis diminta untuk memberikan tanggapan dirinya tentang kesukaan terhadap sampel opak dengan penambahan tulang ikan lele dalam formulir yang disediakan. Prosedur pengujian yaitu menyediakan 4 sampel yang diletakkan di wadah dan setiap sampel diberi kode, kemudian setiap panelis diminta untuk menilai satu persatu sampel dan mengisi formulir uji sensoris sesuai dengan tanggapannya, panelis mengisi tanggapan terhadap warna, aroma, rasa

dan tekstur dalam bentuk angka ke dalam formulir uji sensoris yang telah disediakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kadar Kalsium

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa peningkatan proporsi tepung tulang ikan lele memberikan efek linier terhadap peningkatan kadar kalsium opak singkong. Pada perlakuan T1 (0% tepung tulang lele), kadar kalsium berada pada $431,31 \pm 21,3$ mg/100 g, yang mencerminkan karakteristik alami tepung singkong sebagai bahan pangan rendah mineral. Hal ini sejalan dengan penelitian Efrinelti *et al.*, (2025) yang menjelaskan bahwa kerupuk ubi kamang tanpa tepung tulang ikan tuna memiliki kandungan kalsium yang paling rendah dibanding perlakuan dengan penambahan dan membutuhkan fortifikasi untuk meningkatkan nilai gizinya.

Tabel 2. Kadar Kalsium Opak dengan Penambahan Tulang Ikan Lele

No.	Perlakuan	Kadar Kalsium (mg/100g)
1	T1 (0%:100%)	431,31 $\pm$ 21,3
2	T2 (5%:95%)	545,67 $\pm$ 9,6
3	T3 (10%:90%)	775,11 $\pm$ 18,4
4	T4 (15%:85%)	983,51 $\pm$ 13,7

Pada perlakuan T2 (5% tepung tulang lele), kadar kalsium meningkat menjadi $545,67 \pm 9,6$ mg/100 g, menunjukkan bahwa sedikit penambahan tepung tulang sudah memberikan pengayaan mineral yang signifikan. Penambahan tepung tulang ikan pada konsentrasi yang relatif rendah sudah memberikan pengayaan mineral yang signifikan pada produk olahan. Hasil penelitian oleh Saputra *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa penambahan tepung tulang ikan patin 2,5% pada donat (produk berbasis tepung) mampu meningkatkan kandungan kalsium secara drastis dibandingkan kontrol. Selain efektivitas nutrisinya, fortifikasi pada kadar optimum terbukti tidak memengaruhi kestabilan fisik bahan pangan.

Kenaikan yang lebih tinggi tampak pada perlakuan T3 (10%) yaitu $775,11 \pm 18,4$ mg/100 g, dan mencapai angka tertinggi pada T4 (15%) sebesar $983,51 \pm 13,7$ mg/100 g. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Irfani *et al.*, (2025) pada fortifikasi smpol ikan menunjukkan hubungan linier yang jelas antara persentase penambahan tepung tulang ikan nila dan kadar kalsium. Studi ini mencatat bahwa peningkatan konsentrasi dari 0% hingga 5%

menghasilkan kenaikan kadar kalsium yang signifikan dan terukur, dari 29,3 mg/100g (kontrol) menjadi 1017,15 mg/100g (konsentrasi tertinggi). Hal ini membuktikan bahwa kadar kalsium pada produk akhir meningkat secara signifikan seiring dengan semakin besarnya substitusi tepung tulang

Kadar kalsium pada produk pangan yang difortifikasi menunjukkan peningkatan secara signifikan mengikuti semakin besarnya substitusi tepung tulang ikan. Hubungan positif ini terjadi karena tingginya kandungan mineral kalsium dalam tepung tulang yang disubstitusikan. Fenomena ini didukung oleh temuan Fitri *et al.*, (2025) dalam penelitian fortifikasi *Bolu Cukke* (kue tradisional berbasis tepung) dengan tepung tulang ikan *Threadfin Bream*. Peneliti melakukan substitusi sebesar 10%, 20%, dan 30% dan membuktikan bahwa kandungan kalsium produk meningkat secara signifikan seiring bertambahnya dosis fortifikasi. Peningkatan ini dikonfirmasi dengan hasil analisis yang menunjukkan bahwa kadar kalsium tertinggi terdapat pada tingkat substitusi tertinggi (30%), hasil ini menegaskan bahwa penambahan tepung tulang ikan efektif untuk meningkatkan nilai gizi kalsium dalam produk pangan.

Uji Sensoris

Warna

Data Tabel 2. menunjukkan bahwa penambahan tepung tulang ikan lele memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap penilaian warna opak singkong. Perlakuan T1 (tanpa tepung tulang) memiliki skor warna $3,5 \pm 0,7$ tergolong termasuk netral. Warna opak pada T1 cenderung lebih pucat karena komposisi murni tepung singkong. Pada T2 terjadi kenaikan menjadi $3,8 \pm 0,6$ menunjukkan bahwa penambahan 5% tepung tulang memberi efek peningkatan warna, biasanya karena partikel tulang memberikan nuansa krem yang dianggap lebih menarik. Nilai terbaik terdapat pada T3 dengan skor $4,4 \pm 0,5$. Hal ini disebabkan oleh kombinasi 90% singkong dan 10% tepung tulang yang menghasilkan warna lebih natural, tidak terlalu putih dan tidak terlalu coklat, sehingga paling disukai panelis. Pada T4, skor turun menjadi $3,6 \pm 0,8$ diduga karena peningkatan kadar tepung tulang (15%) menghasilkan warna yang terlalu gelap atau tidak seragam.

Tabel 3. Uji Sensoris Opak dengan Penambahan Tulang Ikan Lele

No.	Perlakuan	Warna	Aroma	Rasa	Tekstur
1	T1 (100% : 0%)	$3,5 \pm 0,7$	$3,4 \pm 0,6$	$3,3 \pm 0,8$	$3,4 \pm 0,7$
2	T2 (95% : 5%)	$3,8 \pm 0,6$	$3,7 \pm 0,6$	$3,8 \pm 0,7$	$3,9 \pm 0,6$
3	T3 (90% : 10%)	$4,4 \pm 0,5$	$4,3 \pm 0,5$	$4,5 \pm 0,5$	$4,4 \pm 0,5$
4	T4 (85% : 15%)	$3,6 \pm 0,8$	$3,4 \pm 0,7$	$3,2 \pm 0,9$	$3,3 \pm 0,8$

Hasil ini sesuai dengan penelitian Agusta *et al.*, (2025) bahwa penambahan bahan seperti tulang ikan pada pembuatan kerupuk, warna semakin gelap. Penelitian Disyacitta *et al.*, (2024) juga melaporkan bahwa peningkatan kadar kalsium yang semakin besar pada produk kerupuk, akan mempengaruhi perubahan warna sehingga kecerahan menurun.

Aroma

Aroma opak pada data Tabel 3. sangat dipengaruhi oleh komposisi tepung singkong dan tepung tulang ikan lele. Nilai aroma meningkat dari T1 ($3,4 \pm 0,6$) ke T2 ($3,7 \pm 0,6$) karena sedikit penambahan tepung tulang mampu memberikan sentuhan aroma gurih yang berasal dari komponen protein dan lemak tulang. Perlakuan terbaik terdapat pada T3 ($4,3 \pm 0,5$), di mana aroma opak dianggap paling gurih namun tidak menghasilkan bau amis. Pada T4, penurunan aroma menjadi $3,4 \pm 0,7$ terjadi karena peningkatan tepung tulang menjadi 15% dapat menghasilkan aroma tulang yang lebih kuat atau sedikit tidak familiar bagi panelis.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Pangestika *et al.*, (2021), yang menyatakan bahwa penggunaan tepung tulang ikan dalam proporsi yang terlalu tinggi sebagai bahan substitusi berdampak negatif pada penerimaan sensori, ditandai dengan munculnya aroma yang tajam dan dominan dari bahan tersebut. Penelitian oleh Nusaibah *et al.*, (2021) menegaskan bahwa peningkatan konsentrasi tepung tulang ikan sebagai substitusi menyebabkan aroma khas ikan menjadi lebih kuat. Intensitas aroma yang dominan ini diduga menjadi penyebab utama penurunan skor kesukaan panelis terhadap produk pangan.

Rasa

Parameter rasa pada Tabel 3. menunjukkan pola peningkatan pada T1–T3 dan penurunan pada T4. Rasa opak pada T1 ($3,3 \pm 0,8$) cenderung netral karena hanya terdiri dari tepung singkong yang memiliki karakter rasa hambar. T2 ($3,8 \pm 0,7$) meningkat karena penambahan tepung tulang ikan lele 5% memberikan kontribusi rasa gurih alami. Perlakuan T3 ($4,5 \pm 0,5$) menjadi yang paling disukai panelis, karena keseimbangan rasa gurih dari tepung tulang dan rasa netral

singkong berada pada titik optimum. Namun pada T4 ($3,2 \pm 0,9$), penurunan signifikan terjadi akibat penggunaan tepung tulang yang terlalu tinggi sehingga memunculkan *aftertaste* khas tulang atau sedikit amis.

Menurut penelitian Rachmansyah *et al.*, (2018) fortifikasi tepung tulang meningkatkan cita rasa gurih, rasa gurih bisa diakibatkan oleh kandungan protein pada tulang ikan. Substitusi tepung tulang ikan yang terlalu besar pada kerupuk dapat menurunkan respon terhadap rasa (Yuliani *et al.*, 2018).

Tekstur

Tekstur opak sangat dipengaruhi oleh komposisi tepung singkong dan kandungan tepung tulang ikan lele, hal ini tersaji pada Tabel 3. Skor tekstur pada T1 ($3,4 \pm 0,7$) menunjukkan tekstur standar opak singkong yang renyah namun sedikit rapuh. Pada T2 ($3,9 \pm 0,6$), tekstur mulai meningkat karena sedikit tepung tulang berfungsi sebagai penguat struktur melalui kandungan kalsium dan fosfatnya. T3 mendapatkan nilai tertinggi ($4,4 \pm 0,5$), menunjukkan bahwa substitusi 10% memberikan struktur paling seimbang: renyah, tidak terlalu keras, dan tidak rapuh. Pada T4 ($3,30 \pm 0,80$), penurunan terjadi karena tepung tulang lebih tinggi dapat membuat struktur menjadi keras atau terlalu padat. Hasil ini sesuai dengan penelitian Deborah *et al.*, (2016) menunjukkan bahwa kerupuk dengan fortifikasi tepung tulang julung-julung pada konsentrasi 10% adalah formula yang paling disukai panelis, dibanding dengan konsentrasi yang lebih tinggi.

Peningkatan substitusi tepung tulang ikan yang terlalu banyak akan mendapatkan respon negatif dari penerimaan panelis pada parameter tekstur. Hal ini muncul karena tingginya konsentrasi tepung tulang mengakibatkan struktur kerupuk menjadi semakin keras, yang secara signifikan menurunkan skor kesukaan tekstur (Putra *et al.*, 2016).

KESIMPULAN

Penambahan tepung tulang ikan lele terbukti meningkatkan kadar kalsium opak singkong secara signifikan, di mana nilai terendah terdapat pada T1 (0%) dan tertinggi pada T4 (15%). Hal ini menunjukkan bahwa tepung tulang ikan lele efektif sebagai bahan fortifikasi kalsium. Hasil uji sensoris menunjukkan bahwa T3 (10%) merupakan formulasi terbaik, dengan skor tertinggi pada warna, aroma, rasa, dan tekstur. Secara keseluruhan, substitusi tepung tulang ikan lele 10%

direkomendasikan sebagai formulasi paling optimal untuk menghasilkan opak singkong yang tinggi kalsium, renyah, gurih, dan tetap disukai konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- Agusta, G., Rahmiati, R., Sigit, B., & Kejora. (2025). Rasio Tapioka: Tepung Tulang Ikan Mujahir (*Oreochromis mossambicus*) Terhadap Sifat Fisik, Kimia dan Organoleptik Kerupuk yang Dihasilkan. *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, 20(2), 65–76. <https://doi.org/10.26623/jtphp.v20i2.12144>
- Antu, Mst. A. R., Ali, M. S., Ferdous, M. J., Ahmed, Md. T., Ali, Md. R., Suraiya, S., Pangestuti, R., & Haq, M. (2024). Recovery and Characterization of Calcium-Rich Mineral Powders Obtained from Fish and Shrimp Waste: A Smart Valorization of Waste to Treasure. *Sustainability*, 16(14), 6045. <https://doi.org/10.3390/su16146045>
- Deborah, T., Afrianto, E., & Pratama, R. I. (2016). Fortifikasi Tepung Tulang Julung-Julung Sebagai Sumber Kalsium Terhadap Tingkat Kesukaan Kerupuk. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 7(1), 48–53.
- Disyacitta, C., Astuti, S., Susilawati, S., & Koesoemawardani, D. (2024). Sifat Kimia, Fisik dan Sensori Kerupuk Pangsit pada Berbagai Konsentrasi Tepung Tulang Ikan Tenggiri. *EDUFORTECH*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.17509/edufortech.v9i1.60638>
- Efrinelti, S., Yurnalis, Salihat, R. A., Hermalena, L., Sidabalok, I., & Yessirita, N. (2025). Fortifikasi Kalsium Pada Kerupuk Ubi Kamang Dengan Tepung Tulang Ikan Tuna (*Thunnus* sp). *Jurnal Research Ilmu Pertanian*, 5(2), 190–198.
- Fitri, M., Udayana Tartar, S., & Syukroni, I. (2025). Calcium Fortification of Bolu Cukke (Traditional Cakes of South Sulawesi, Indonesia) Using Threadfin Bream Fish Bone. *Journal of Food Science and Technology(Iran)*, 22(164).
- Handayasari, F., Kusumaningrum, I., Nurlaela, R. S., & Triyassari, F. (2025). Pengaruh Penambahan Pasta Tulang Ikan Lele dan Tepung Ampas Tahu Pada Kerupuk Lokal terhadap Karakteristik Sensorinya. *Jurnal Agroindustri Halal*, 11(1), 91–100.
- Irfani, A. Z., Wijayanti, I., & Fahmi, A. S. (2025). Pengaruh Penambahan Tepung Tulang Ikan Nila (*Oreochromis* sp.) terhadap Karakteristik Sempol Ikan. *Akuatika Indonesia*, 10(1), 43–53. <https://doi.org/10.24198/jaki.v10i1.60927>
- Mahayani, N. K. I., Sipahutar, Y. H., & Nurbani, S. Z. (2021). Analisis Kelayakan Usaha Pembuatan Kerupuk Tulang Ikan Lele (*Clarias* sp.) di UMKM Daniel Home Industri, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. *Prosiding Seminar Nasional Perikanan Indonesia Ke-25*, 6(1), 49-62.
- Mardiyana, Kurniawati, A., Fadillah, & Handayani, M. (2022). Pengelolaan Limbah Industri Pengolahan Hasil Perikanan: Studi Kasus Pada Usaha Mikro Kecil Dan Menengah (Umkh) Sambal Ikan Tuna Di Kabupaten Cilacap. 4(1), 70–78.
- Mubarokah, U., Kriswantriyono, A., Horiq, H., & Syarif, R. (2021). Inovasi Olahan Tulang Dan Kepala Ikan Lele Sebagai Upaya Pemberdayaan Masyarakat Dalam Pengelolaan Limbah Ikan Lele Berbasis Zero Waste. *Jurnal Resolusi Konflik, CSR, dan Pemberdayaan*, 6(1), 49–62.

- Nurlaila, A. I., & Adi, A. C. (2023). Optimalisasi Kandungan Kalsium Mie Kering dengan Substitusi Tepung Tempe dan Tepung Tulang Ikan Lele. *Media Gizi Kesmas*, 12(2), 664–670. <https://doi.org/10.20473/mgk.v12i2.2023.664-670>
- Nusaibah, Hutabarat, Z., Widiyanto, D. I., Abrian, S., Yusman, D., Maulid, Pangestika, W., & Arumsari, K. (2021). Analisis Proksimat dan Organoleptik Kerupuk dengan Penambahan Tepung Tulang Ikan Tuna (*Thunnus* sp). *AGRIKAN*, 14(2), 308–315.
- Pangestika, W., Putri, F. W., & Arumsari, K. (2021). Pemanfaatan Tepung Tulang Ikan Patin Dan Tepung Tulang Ikan Tuna Untuk Pembuatan Cookies. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 9(1), 44–55. <https://doi.org/10.21776/ub.jpa.2021.009.01.5>
- Purwanti, P., Sunaryo, Umam, A. K., Anandya, A., Sofiati, D., Fattah, M., Nurnuha, L., Zahroh, N. K. R., Hasanah, D. N., Satryawan, F. B., & Suryadi. (2023). Pelatihan Pemanfaatan Limbah Tulang Ikan Lele Menjadi Bakso dalam Mewujudkan Pengolahan Pangan Berbasis Zero Waste. *GERVASI: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 7(3), 1256–1270.
- Putra, M. R. A., Nopianti, R., & Herpandi, H. (2016). Fortifikasi Tepung Tulang Ikan Gabus (*Channa striata*) pada Kerupuk sebagai Sumber Kalsium. *Jurnal Fishtech*, 4(2), 128–139.
- Rachmansyah, F., Liviawaty, E., & Rizal, A. (2018). Fortifikasi Tepung Tulang Cakalang Sebagai Sumber Kalsium Terhadap Tingkat Kesukaan Kerupuk Gendar. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 9(1), 62–70.
- Sains, H., Solichah, K. M., & Fauzia, F. R. (2024). Hubungan Tepung Tulang Ikan Lele Dumbo (*Clarias Gariepinus*) Terhadap Kadar Kalsium Dan Daya Terima Nugget Tempe. *Jurnal PembaruanKesehatan Indonesia*, 1(1), 28–39.
- Saputra, F., Rochima, E., Apriliani, I. M., & Rostini, I. (2024). Pengaruh fortifikasi tepung tulang ikan patin (*Pangasius* sp.) terhadap peningkatan kalsium dan preferensi donat. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(12), 1211–1218. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v27i12.57118>
- Senphan, T., Mungmueang, N., Choommongkol, V., Sriket, C., Kishimura, H., Kittiphattanabawon, P., & Benjakul, S. (2025). Improving calcium bioavailability from fish bone waste: The role of sodium hydroxide in bio-calcium extraction from tilapia (*Oreochromis niloticus*) bones. *Food Chemistry: X*, 31, 103126. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103126>
- Sofyan, A., & Khusna, F. I. (2025). Pengaruh Substitusi Tepung Tulang Ikan Lele (*Clarias batrachus*) Terhadap Kadar Air, Kalsium, Abu Mie Kering. *EDUFORTECH*, 10(1), 44–52.
- Sriuttha, M., Chanshotikul, N., & Hemung, B. (2024). Calcium extraction from catfish bone powder optimized by response surface methodology for inducing alginate bead. *Heliyon*, 10(9), e30266. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30266>
- Sulistiyati, T. D., & Mawaddah, O. (2021). Penambahan Tepung Tulang Ikan Lele Terhadap Kadar Kalsium Dan Organoleptik Cookies Ubi Jalar Kuning. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 5(2), 217–222. <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2021.005.02.5>
- Suprihartini, C., & Puspita, T. (2025). Fomulasi PMT “Browntule” Brownis dengan Subsitusi Tepung Tulang Ikan Lele terhadap Daya Terima dan Kandungan Calsium. *Jurnal ILKES (Jurnal Ilmu Kesehatan)*, 16(1), 90–95.

- Suprihatin, Edahwati, L., & Sutiyono. (2021). Pemanfaatan Limbah Tulang dan Duri Ikan Lele Menjadi Camilan Bergizi Stik Tulang Duri Lele. *Abdi-mesin Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik Mesin*, 1(2), 8–12. <https://doi.org/10.33005/abdi-mesin.v1i2.14>
- Yuliani, Y., Marwati, M., Wardana, H., Emmawati, A., & Candra, K. P. (2018). Karakteristik Kerupuk Ikan dengan Substitusi Tepung Tulang Ikan Gabus (*Channa striata*) sebagai Fortifikan Kalsium. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(2), 258–265. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v21i2.23042>
- Zulfahmi, A. N., Yuniarti, Y., Assrorudin, A., Dwi Hastuti, N., & Cholid, I. (2021). Pengaruh Penambahan Ikan Rucah Pada Pembuatan Opak Singkong Terhadap Sifat Fisikokimia. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Industri Perkebunan (LIPIDA)*, 1(2), 77–85. <https://doi.org/10.58466/lipida.v1i2.1392>