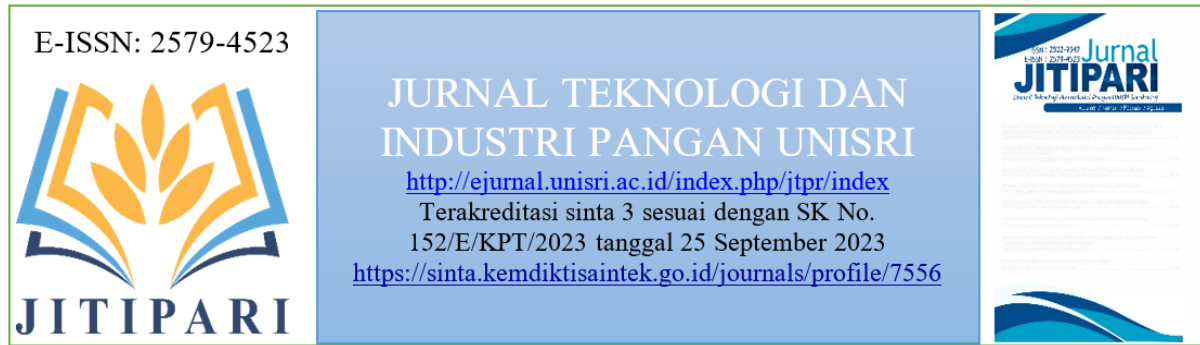




Evaluation of quality characteristics of gelatin from milkfish bone result of enzymatic hydrolysis

Evaluasi karakteristik mutu gelatin berbahan tulang ikan bandeng hasil hidrolisis enzimatis

Zulfatun Najah^{1*}, Nurul Annazhifah¹, Fitriyani¹, Talitha Nur Aisyah Sahda¹, Puji Wulandari¹, Septariawulan Kusumasari¹

¹Program studi Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

*Corresponding author: z.najah@untirta.ac.id

Article info	Abstract
Keywords: Enzyme, Fishbone Milkfish, Hydrolysis, Gelatin	Gelatin, commonly produced from pork and beef hides or bones, faces halal challenges and prohibitions by certain ethnic groups. Research has thus shifted to alternative sources like fish. Milkfish, with its high protein content, is a potential source for gelatin. While gelatin can be produced using acid-base or enzymatic methods, the enzymatic process is more environmentally friendly, requires lower temperatures, and is more energy-efficient. This research aimed to determine the effects of soaking time and enzyme type (bromelain and papain) on the characteristics of gelatin from milkfish bone. The study employed a Randomized Block Design of Split Plot with two factors that were soaking time (12, 16, and 20 hours) and enzyme type (bromelain and papain). The best treatment was selected by using the Zeleny method. The results showed ranges for yield (1.22–1.47%), moisture content (5.30–9.41%), ash content (1.74–3.04%), and viscosity (120–216 cP). The gelatin's acidity was found to be nearly neutral (pH 6.62–7.14). In conclusion, soaking time had a significant effect on yield, while enzyme type significantly affected yield, ash content, acidity. There was an interaction between soaking time and enzyme type on yield. The best treatment was enzymatic hydrolysis with a 16-hour soaking time using bromelain enzyme

PENDAHULUAN

Gelatin biasa digunakan sebagai bahan *stabilizer*, pembentuk gel, pengikat, pengemulsi, pengental, perekat dan pembungkus makanan. Gelatin merupakan hasil dari hidrolisis parsial kolagen yang dapat dihasilkan dari sumber bahan tulang dan kulit hewan seperti babi atau sapi. Mengingat adanya larangan konsumsi babi pada kelompok etnis tertentu, dikhawatirkan hal ini akan menimbulkan permasalahan untuk para konsumen tertentu (Nurilmala et al., 2021). Alternatif lain yang dapat digunakan dalam pembuatan gelatin adalah menggunakan sumber kolagen dari ikan, yaitu kulit dan tulangnya yang merupakan limbah industri pengolahan ikan (Nurilmala et al., 2021).

<https://doi.org/10.33061/jitipari.v11i2.12110>

Received September 15, 2025; revised January 05, 2026; accepted March 12, 2026; published June 10, 2026.

Copyright ©2026 the authors. Published by Universitas Slamet Riyadi Surakarta. This is an open access article under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Gelatin dapat dihasilkan dari tulang ikan yang merupakan hasil samping pengolahan ikan. Salah satu jenis ikan yang banyak dijumpai di provinsi Banten adalah ikan bandeng (*Chanos chanos*). Tulang ikan bandeng di area ini masih belum dimanfaatkan maksimal dan masih terbuang sebagai hasil samping industri pengolahan seperti industri sate bandeng dan industri pecak bandeng. Disisi lain, tulang ikan bandeng dapat dimanfaatkan karena mempunyai fosfor sebesar 3%, kalsium sebesar 4% dan protein sebesar 32% (Adawiyah, 2014).

Gelatin dapat diproses dengan beberapa teknik seperti proses asam, proses basa, dan proses enzimatis (Al Hajj et al., 2024). Hidrolisis asam dan basa sangat korosif dan menghasilkan produk akhir dengan konsentrasi garam tinggi (Al Hajj., et al, 2024). Penggunaan hidrolisis dengan asam akan lebih cocok untuk produk asam seperti selai (Ardani & Sugiharto, 2022). Transformasi kolagen menjadi gelatin melalui metode ekstraksi asam dilakukan dengan mengaplikasikan senyawa pemutus ikatan hidrogen dalam durasi waktu yang berbeda-beda (Ardani & Sugiharto, 2022). Proses enzimatis pada pembuatan gelatin memiliki keunggulan karena dapat mengurangi penggunaan bahan kimia yang digunakan pada pembuatan gelatin dengan proses asam dan basa. Proses enzimatis dianggap lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan biokatalis yang spesifik, sehingga mengurangi ketergantungan pada reagen kimia anorganik yang sulit terurai. Disamping itu, pemurnian proses enzimatis yang lebih mudah, dan menghasilkan gelatin dengan pH cenderung netral, serta umumnya beroperasi pada kondisi suhu dan pH yang lebih moderat. Dilaporkan bahwa gelatin yang diperoleh dengan metode ekstraksi enzimatis mempunyai kekuatan gel yang lebih baik, meskipun *yield* gelatin sedikit lebih rendah dibandingkan metode ekstraksi gelatin lainnya (Tong & Ying, 2013). Kekuatan gel yang lebih tinggi ini akan memengaruhi kekuatan tarik, modulus penyimpanan (*G'*) dan sifat *barrier* film yang lebih tinggi.

Enzim protease berperan aktif dalam pemecahan molekul protein secara hidrolitik, menjadikannya salah satu pilihan utama dalam proses ekstraksi gelatin. Jenis enzim protease diantaranya bromelin dan papain. Jenis enzim berpengaruh pada hasil gelatin yang dihasilkan karena enzim protease memiliki aktivitas proteolitik yang berbeda (Al Hajj et al., 2024). Pemilihan enzim menentukan lokasi spesifik pada molekul kolagen tempat ikatan peptida yang akan diputus, sehingga memengaruhi ukuran dan bioaktivitas peptida yang dihasilkan. Enzim yang berbeda menargetkan lokasi pemutusan ikatan peptida yang berbeda (Al Hajj et al., 2024). Enzim papain dapat menghidrolisis protein kolagen secara selektif, sehingga kolagen yang tersisa akan terekstraksi lebih sempurna. Bromelin juga sangat efektif dalam menghidrolisis protein, memecahnya menjadi bentuk yang lebih sederhana dengan cara memecah ikatan peptida (Ilyas et al., 2020). Penelitian ini berupaya membandingkan hasil gelatin dari jenis enzim proteolitik dengan selektifitas yang berbeda.

Pembuatan gelatin juga dapat dipengaruhi waktu perendaman (Putri et al., 2023). Perendaman tulang ikan bertujuan untuk menghidrolisis kolagen, sehingga tingkat kelarutannya meningkat pada saat tahapan ekstraksi gelatin dilakukan. Waktu perendaman juga berpengaruh terhadap rendemen yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini memperkenalkan penggunaan waktu perendaman, untuk memprediksi kondisi waktu dan jenis enzim paling efisien untuk memaksimalkan rendemen dan karakteristik gelatin lain. Lamalelang et al. (2019) dalam pembuatan gelatin tulang ikan cakalang mengungkapkan bahwa waktu perendaman 12 jam adalah waktu optimum. Ahmad et al. (2019) menambahkan bahwa perlakuan terbaik yaitu dengan menambahkan enzim papain sebanyak 20 Unit/gram

substrat dengan lama waktu perendaman selama 6 jam pada suhu 60°C. Namun penelitian ini menambahkan waktu perendaman yaitu hingga 20 jam untuk melihat pengaruh berbagai waktu perendaman pada karakteristik gelatin.

Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian untuk menghasilkan produk gelatin dari tulang bandeng dan mendapatkan karakteristik gelatin tulang ikan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu perendaman dan jenis enzim terhadap karakteristik mutu gelatin tulang bandeng serta menganalisis interaksi kedua faktor terhadap mutu gelatin

METODE PENELITIAN

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu, *freezer* (AB 316 R, Indonesia), oven (Kirin, KBO190LW Indonesia), *water bath* (Memmert WNE 14, USA), tanur (Suhaterm, EU-1222-TO041, Indonesia), kompor gas (Rinnai-Ceflon, Indonesia), *centrifuge* (Gemmy PL-025, Taiwan), *oven incubator* (B-ONE IO-65, China), vortex (Vortex DLAB MX-S, China), desikator, blender, neraca analitik (Excellent HZK 210, Indonesia), *hot plate* (IKA C-MAG HS 7, Jerman), pH meter (OHAUS starter 3100M, USA), *magnetic stirrer*, dan alat gelas (Pyrex, IWAKI TE-32, Indonesia).

Bahan

Bahan yang digunakan adalah sate bandeng yang diperoleh dari satu pelaku usaha Sate Bandeng di Kota Serang, Provinsi Banten, enzim papain (99%) dengan aktivitas 100.000 U/gram dan bromelin (99%) dengan aktivitas 50.000 U/gram (Shanxi Fonde Biotech Co LTD (China), aquades, dan kertas saring.

Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Split Plot yang terdiri dari 2 faktor. Petak utama adalah waktu perendaman dan anak petak waktu jenis enzim. Faktor pertama yaitu waktu perendaman (t) dengan 3 taraf yaitu 12 jam(t_1); 16 jam(t_2); dan 20 jam(t_3). Faktor kedua yaitu jenis enzim papain (E_1) dan bromelin (E_2). Model linier dari rancangan percobaan yang digunakan yaitu:

$$Y_{ijk} = \mu + \rho_k + \alpha_i + \beta_j + y_{ik} + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan:

- Y_{ijk} : Pengamatan pada satuan percobaan ke-k yang memperoleh kombinasi perlakuan taraf ke-i dari faktor waktu perendaman dan taraf ke-j dari enzim ke-j, dan kelompok ke-k
- μ : Rataan umum
- ρ_k : Pengaruh perlakuan dari kelompok ke-k
- α_i : Pengaruh perlakuan waktu perendaman ke-i
- β_j : Pengaruh perlakuan jenis enzim ke-j
- Y_{ik} : Pengaruh acak dari petak utama, yang muncul pada taraf ke-i dari faktor waktu perendaman dalam kelompok k; galat petak utama
- $(\alpha\beta)_{ij}$: Pengaruh interaksi perlakuan suhu perendaman ke-i, dan jenis enzim ke-j

ε_{ijk} : Galat percobaan

Jika hasil analisis ragam (ANOVA) menunjukkan pengaruh yang signifikan pada taraf 5%, maka pengujian akan diteruskan dengan uji lanjut *Duncan Multiple Range Test* (DMRT).

Metode Analisis

Gelatin yang telah didapatkan kemudian dianalisis sesuai karakteristik mutu pada GMIA dengan parameter pengamatan yaitu rendemen dengan metode AOAC, 2005, kadar abu (AOAC, 2005), kadar air (AOAC, 2005), viskositas, pH (GMIA, 2012).

Prosedur Penelitian

Preparasi Tulang Ikan

Proses preparasi tulang ikan bandeng ini mengacu pada modifikasi metode Rodiah et. al. (2018). Sampel tulang ikan diangkut ke laboratorium dalam wadah tertutup untuk segera dibersihkan dari residu daging dan lemak secara manual menggunakan pisau. Selanjutnya, dilakukan proses *degreasing* di dalam air pada suhu 70 °C selama 30 menit. Tulang yang telah bersih kemudian direduksi ukurannya menjadi kecil kecil dan dikeringkan menggunakan oven kabinet pada suhu 60 °C dengan durasi 6 jam.

Hidrolisis

Hidrolisis gelatin dilakukan dengan cara merendam tulang ikan yang telah bersih dari sisa lemak dan daging pada enzim dengan konsentrasi 100 Unit/gram substrat di dalam *oven incubator* pada suhu 45 °C. Enzim (E1 dan E2) kemudian dinonaktifkan dengan cara dicuci dengan menggunakan air mengalir selama 30 menit sampai pH netral. Proses ekstraksi kolagen dilakukan dengan modifikasi metode Haryati et al. (2019) dengan cara memanaskan ossein (tulang yang telah didemineralisasi pada proses sebelumnya) pada suhu 70 °C selama 4 jam dalam aquades dengan menggunakan *hotplate* sehingga menghasilkan gelatin cair. Gelatin cair tersebut kemudian disaring dengan menggunakan kain blacu untuk mendapatkan filtrat gelatin yang berwarna kuning kecoklatan dan dilanjutkan dengan mensentrifugasi. Filtrat gelatin kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60 °C selama kurang lebih 24 jam, dan dilakukan penumbukan atau penghalusan.

Pemilihan perlakuan terbaik

Perlakuan terpilih ditentukan metode *multiple attribute Zeleny* berdasarkan analisis rendemen dan viskositas, dengan nilai tertinggi serta analisis kadar air, kadar abu, dan pH dengan nilai terendah. Metode ini menggunakan prosedur pembobotan untuk menentukan perlakuan terbaik. Proses ini melibatkan perhitungan nilai ideal, nilai maksimal, nilai terbaik, nilai terendah, dan nilai rerata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Varian

Hasil analisis varian pada parameter rendemen menunjukkan waktu perendaman, jenis enzim, serta interaksi antara kedua faktor tersebut berpengaruh sangat nyata pada taraf

signifikansi 1% ($F_{hit} > F_{tabel}$). Tabel 1 menyediakan informasi analisis varian parameter rendemen.

Tabel 1. ANOVA Rendemen

SK	DB	JK	KT	Fhit	F tab	
					0,05	0,01
Kelompok	1	0,00	0,00	12,00	18,51	98,50
Waktu	2	0,10	0,05	8276,33	19,00	99,00
Galat	2	0,00	0,00			
Enzim	1	0,02	0,02	772,57	10,13	34,12
Interaksi	2	0,04	0,02	696,50	9,55	30,82
Galat	3	0,00	0,00			
Total	11	0,17				

Hasil analisis varian pada parameter kadar air menunjukkan waktu perendaman, jenis enzim, serta interaksi antara kedua faktor tersebut tidak berpengaruh nyata pada parameter kadar air ($F_{hit} < F_{table}$) pada taraf signifikansi 5%. Tabel 2 menyediakan informasi analisis varian parameter kadar air.

Tabel 2. ANOVA Kadar Air

SK	DB	JK	KT	Fhit	F tab	
					0,05	0,01
Kelompok	1	1,39	1,39	0,83	18,51	98,50
Waktu	2	2,49	1,25	0,75	19,00	99,00
Galat	2	3,34	1,67			
Enzim	1	3,90	3,90	2,26	10,13	34,12
Interaksi	2	3,04	1,52	0,88	9,55	30,82
Galat	3	5,16	1,72			
Total	11	19,33				

Hasil analisis varian pada parameter kadar abu menunjukkan waktu perendaman, dan interaksi antara kedua faktor tidak berpengaruh nyata pada parameter kadar abu ($F_{hit} < F_{tabel}$) pada taraf signifikansi 5%. Faktor jenis enzim berpengaruh nyata pada parameter kadar abu ($F_{hit} > F_{tabel}$) pada taraf signifikansi 1% dan 5%. Tabel 3 menyediakan informasi analisis varian parameter kadar abu.

Tabel 3. ANOVA Kadar Abu

SK	DB	JK	KT	Fhit	F tab	
					0,05	0,01
Kelompok	1	0,14	0,14	1,67	18,51	98,50
Waktu	2	0,58	0,29	3,52	19,00	99,00
Galat	2	0,17	0,08			
Enzim	1	3,77	3,77	87,66	10,13	34,12
Interaksi	2	0,41	0,21	4,78	9,55	30,82
Galat	3	0,13	0,04			
Total	11	5,19				

Hasil analisis varian pada pH menunjukkan waktu perendaman, dan interaksi antara kedua faktor tidak berpengaruh nyata pada parameter pH ($F_{hit} < F_{tabel}$). Namun, faktor jenis enzim berpengaruh sangat nyata pada parameter pH dengan taraf signifikansi 1%. Tabel 4 menyediakan informasi analisis varian parameter pH.

Tabel 4. ANOVA pH

SK	DB	JK	KT	Fhit	F tab	
					0,05	0,01
Kelompok	1	0,00	0,00	1,17	18,51	98,50
Waktu	2	0,00	0,00	1,59	19,00	99,00
Galat	2	0,00	0,00			
Enzim	1	0,52	0,52	796,83	10,13	34,12
Interaksi	2	0,00	0,00	1,41	9,55	30,82
Galat	3	0,00	0,00			
Total	11	0,53				

Hasil analisis varian pada parameter viskositas menunjukkan waktu perendaman, berpengaruh nyata pada parameter pH dan parameter jenis enzim berpengaruh sangat nyata pada viskositas dengan taraf signifikansi 1% ($F_{hit} < F_{tabel}$), sedangkan interaksi dua faktor tidak berpengaruh nyata ($F_{hit} < F_{tabel}$) pada parameter viskositas. Tabel 5 menyediakan informasi analisis varian parameter viskositas.

Tabel 5. ANOVA Viskositas

SK	DB	JK	KT	Fhit	F tab	
					0,05	0,01
Kelompok	1	432,00	432,00	0,73	18,51	98,50
Waktu	2	3548,38	1774,19	3,01	19,00	99,00
Galat	2	1177,63	588,81			
Enzim	1	3040,08	3040,08	2,50	10,13	34,12
Interaksi	2	105,04	52,52	0,04	9,55	30,82
Galat	3	3644,63	1214,88			
Total	11	11947,75				

Hasil rekapitulasi disajikan pada Tabel 6 menunjukkan bahwa waktu perendaman (T) berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) pada rendemen. Jenis enzim (E) berpengaruh sangat nyata ($P < 0,01$) pada pH, serta berpengaruh nyata ($P < 0,05$) pada rendemen, kadar abu. Interaksi kedua faktor berpengaruh nyata pada rendemen ($P < 0,05$). Koefisien keragaman (KK) pada penelitian ini berkisar 0,01- 22,2%. Semakin tinggi KK, semakin besar penyebaran data di sekitar rata-rata.

Rendemen

Rendemen berfungsi untuk mengetahui tingkat keberhasilan produk gelatin tulang ikan bandeng terhadap bahan baku yang digunakan. Rendemen merupakan proporsi gelatin yang dihasilkan dibandingkan dengan tulang ikan bandeng yang digunakan.

Rendemen gelatin yang dihasilkan disajikan pada Tabel 7. Hidrolisis dengan papain menghasilkan rendemen yang lebih tinggi dibandingkan bromelin (Tabel 7). Terdapat

perbedaan nyata pada taraf signifikansi 95% pada hasil rendemen antara hidrolisis dengan papain dan bromelin.

Tabel 6. Hasil Analisis Sidik Ragam

Parameter	Perlakuan			KK (%)
	Waktu (T)	Jenis Enzim (E)	Interaksi Waktu * Jenis Enzim	
Rendemen	**	*	*	2,89
Kadar Air	tn	tn	tn	14,33
Kadar Abu	tn	*	tn	13,20
pH	tn	**	tn	0,66
Viskositas	tn	tn	tn	7,53

Keterangan : KK : Koefisien keragaman; * = Berpengaruh nyata pada taraf 5%; ** = Berpengaruh sangat nyata pada taraf 1% , tn = Tidak berpengaruh nyata

Tabel 7. Rata-rata rendemen (%)

Waktu	Enzim		Rata-rata
	Papain	Bromelin	
12 Jam	1,27 $\pm$ 0,07 ^b	1,14 $\pm$ 0,01 ^c	1,20 $\pm$ 0,08 ^c
16 Jam	1,39 $\pm$ 0,08 ^a	1,46 $\pm$ 0,00 ^a	1,43 $\pm$ 0,06 ^A
20 Jam	1,39 $\pm$ 0,08 ^a	1,26 $\pm$ 0,01 ^b	1,33 $\pm$ 0,09 ^B
Rata-rata	1,35 $\pm$ 0,08 ^P	1,29 $\pm$ 0,14 ^Q	

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom atau baris menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 5%.

Enzim papain dapat menghidrolisis protein kolagen secara selektif, sehingga kolagen yang tersisa akan terekstraksi lebih sempurna. Kemampuan menghidrolisis kolagen pada tulang ikan bandeng oleh enzim papain lebih tinggi dibandingkan bromelin. Hal ini menunjukkan papain memiliki kemampuan memecah ikatan peptida pada kolagen ikan bandeng lebih efektif dibandingkan dengan bromelin. Namun demikian, hasil rendemen tertinggi diperoleh pada hidrolisis enzimatis dengan bromelin selama 16 jam (1,39%) (Tabel 7). Hal ini menunjukkan, kemampuan menghidrolisis enzim bromelin optimal di jam ke 16. Kedua enzim (papain dan bromelin) merupakan enzim protease yang efektif menghidrolisis kolagen dalam tulang ikan bandeng.

Hidrolisis pada waktu 16 jam menunjukkan waktu optimal hidrolisis enzimatis tersebut. Menurut Ratna et. al. (2017), semakin lama perendaman tulang pada larutan enzim maka akan semakin banyak struktur kolagen yang terbuka, sehingga akan semakin banyak pula gelatin yang dapat diekstraksi. Namun, hal ini tidak terjadi pada hidrolisis dengan katalis bromelin (Tabel 2). Nilai rendemen yang melewati waktu perendaman 16 jam, cenderung mengalami penurunan. Hal ini diduga karena pada jam ke 16 sudah terjadi hidrolisis secara sempurna, sehingga pemecahan kolagen menjadi gelatin berlanjut menghasilkan gugus yang lebih sederhana seperti peptida atau asam amino. Peningkatan waktu ekstraksi menyebabkan terjadinya hidrolisis lanjutan pada kolagen yang sudah terkonversi menjadi gelatin, yang menyebabkan rendemen menjadi lebih tinggi.

Pada hidrolisis dengan papain, peningkatan waktu perendaman akan meningkatkan rendemen. Namun berdasarkan hasil hidrolisis, waktu perendaman optimal di 16 jam, terlihat dari hasil di waktu perendaman 16 jam dan 20 jam yang tidak berbeda nyata.

Semakin lama waktu perendaman akan menghasilkan rendemen gelatin yang semakin tinggi karena bertambahnya kolagen yang terkonversi menjadi gelatin dengan semakin lama tulang ikan dihidrolisis dengan enzim papain. Lamalelang et al (2019) menyatakan waktu perendaman 12 jam menghasilkan rendemen sebanyak 5,62% pada bahan tulang ikan cakalang.

Kadar Air

"Kualitas dan stabilitas produk gelatin sangat bergantung pada jumlah air yang terkandung di dalamnya, sehingga pengukuran kadar air menjadi parameter yang wajib dilakukan. Kadar air gelatin dari tulang ikan bandeng oleh enzim papain tidak berbeda nyata dibandingkan bromelin. Kedua enzim ini tidak menjadi faktor pembatas atau pendorong utama dalam tahap akhir pengeringan. Enzim berfungsi terutama untuk menghidrolisis ikatan peptida kolagen menjadi gelatin. Proses ini terjadi sebelum pengeringan. Karena proses pengeringan dan evaporasi air adalah tahap yang terpisah dan dominan, perbedaan kecil dalam struktur gelatin akibat jenis enzim tidak cukup signifikan untuk memengaruhi kadar air akhir.

Tabel 8. Rata-rata kadar air (%)

Waktu	Enzim		Rata-rata
	Papain	Bromelin	
12 Jam	8,67 + 1,06	6,70 + 0,35	7,67 + 1,30
16 Jam	8,32 + 0,85	6,60 + 0,91	7,45 + 1,23
20 Jam	6,49 + 1,67	6,75 + 0,12	6,62 + 0,97
Rata-rata	7,82 + 1,42	6,68 + 0,44	

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda pada kolom atau baris yang sama menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf nyata 5%

Perendaman berfungsi membuka ikatan silang kolagen dan mempermudah kelarutan tulang ikan. Selama proses hidrolisis, sebagian besar air akan terperangkap dalam matriks gel kolagen, dan sisanya dihilangkan melalui pengeringan. Waktu perendaman tidak berpengaruh nyata pada kadar air karena nilai kadar air lebih dipengaruhi oleh proses pengeringan. Waktu perendaman pada penelitian ini tidak signifikan memerangkap komponen air pada matrik gel.

Hasil analisis menunjukkan kadar air sebesar 6,49-8,67%, yang secara kualitas tetap memenuhi regulasi SNI dan GMIA. Capaian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Yuliana (2021) pada kisaran 4,08–7,45% dengan durasi pengeringan oven yang serupa, yakni 48 jam

Kadar Abu

Kadar abu pada gelatin tulang ikan bandeng merepresentasikan total mineral yang terdapat di dalamnya. Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas proses ekstraksi serta mengidentifikasi keberadaan residu mineral yang dihasilkan selama tahap hidrolisis.

Semakin tinggi kadar abu gelatin, maka semakin rendah kualitas gelatin yang dihasilkan karena kemurniannya semakin rendah.

Tabel 9. Rata-rata kadar abu (%)

Waktu	Enzim		Rata-rata
	Papain	Bromelin	
12 Jam	2,30 $\pm$ 0,20	2,99 $\pm$ 0,06	2,64 $\pm$ 0,42
16 Jam	2,23 $\pm$ 0,69	2,96 $\pm$ 0,06	2,59 $\pm$ 0,58
20 Jam	2,27 $\pm$ 0,35	2,91 $\pm$ 0,16	2,59 $\pm$ 0,43
Rata-rata	2,27 $\pm$ 0,40 ^Q	2,95 $\pm$ 0,08 ^P	

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda pada kolom atau baris yang sama menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf nyata 5%

Jenis enzim menunjukkan berpengaruh nyata terhadap kadar abu gelatin ($P < 0,05$). Enzim berperan dalam hidrolisis protein. Proses ini dapat memengaruhi kadar abu gelatin pada produk. Enzim yang berbeda memecah ikatan kimia yang berbeda. Enzim menghidrolisis ikatan peptida dalam protein, yang dapat melepaskan mineral yang terikat pada protein tersebut ke dalam larutan. Terlebih jika enzim memiliki spesifitas pada ikatan peptida tertentu.

Selain jenis enzim, kandungan mineral bahan baku juga berpengaruh pada kadar abu. Hal ini dapat disebabkan karena kandungan mineral bahan baku tulang berbeda yang akan memengaruhi kadar abu. Walaupun bahannya sama yaitu tulang bandeng, namun, kandungan mineral bahan setiap ikan berbeda tergantung ukuran (Nurharyati et al., 2014); dan umur panen (Nadia et al., 2020). Selain itu, habitat hidup ikan juga menentukan kandungan mineral yang terdapat dalam tubuh ikan (Suwandi et al., 2014). Dalam hal ini, perbedaan kadar mineral ikan karena faktor fisiologis masing-masing individu ikan.

Rata-rata nilai kadar abu gelatin tulang ikan bandeng berkisar antara 2,23%-2,99%. Nilai kadar abu terendah gelatin tulang ikan bandeng terdapat pada perlakuan hidrolisis dengan papain selama 12 jam sebesar 2,23%. Nilai kadar abu tertinggi gelatin tulang ikan bandeng terdapat pada perlakuan hidrolisis dengan bromelin selama 12 jam yaitu sebesar 2,99%. Nilai kadar abu gelatin pada semua perlakuan yang digunakan telah sesuai standar SNI 8622-2018 dengan nilai kadar abu gelatin maksimum 3,25% dan telah sesuai standar GMIA (2012) dengan nilai kadar abu gelatin 0,3–2,0%.

Waktu perendaman tidak berpengaruh nyata terhadap hasil kadar abu gelatin (Tabel 9). Hal ini dikarenakan kadar abu (yang mewakili kandungan mineral bahan), berasal dari bahan baku (misalnya tulang) dan tidak dipengaruhi oleh waktu perendaman dalam suatu larutan. Hal ini didukung oleh pernyataan Sudarmadji (1995) dalam Haryati et al. (2019), tinggi rendahnya kadar abu suatu bahan antara lain disebabkan oleh kandungan mineral yang berbeda pada sumber bahan baku. Pengecualian dapat terjadi jika larutan perendam mengandung zat yang dapat berpengaruh pada kandungan mineral. Mineral pada suatu bahan juga dapat dipengaruhi oleh proses demineralisasi pada saat pembuatan (Sudarmaji, 1995 dalam Haryati et al., 2019). Proses pencucian akan meluruhkan mineral yang terkandung di dalam bahan baku yang memengaruhi kadar abu. Berdasarkan hasil penelitian, waktu perendaman pada reaksi hidrolisis terutama akan memengaruhi struktur kolagen dan kadar protein, dan tidak memengaruhi kadar abu gelatin hasil hidrolisis.

Interaksi kedua faktor tidak berpengaruh nyata terhadap kadar abu gelatin. Waktu perendaman tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan pada kadar abu. Sementara itu, jenis enzim tidak memengaruhi kadar abu. Kadar abu lebih dipengaruhi dari kandungan mineral bahan baku tulang.

Derajat Keasaman (pH)

Tujuan pengukuran pH pada gelatin adalah untuk mengetahui nilai keasaman gelatin, yang sangat penting karena pH dapat memengaruhi berbagai karakteristik mutu gelatin, seperti kekuatan gel, viskositas, dan kelarutan, yang pada akhirnya memengaruhi aplikasi gelatin dalam produk makanan, farmasi, atau industri lainnya. Stabilitas gelatin sangat dipengaruhi oleh kondisi pH-nya, sehingga proses penetralan dilakukan agar gelatin yang dihasilkan bersifat netral dan dapat diaplikasikan pada berbagai jenis produk (Miskiyah et al., 2022).

Tabel 10. Rata- Rata nilai pH

Waktu	Enzim		Rata-rata
	Papain	Bromelin	
12 Jam	6,68±0,02	7,08±0,07	6,88±0,23
16 Jam	6,72±0,00	7,12±0,01	6,92±0,23
20 Jam	6,69±0,10	7,15±0,02	6,92±0,27
Rata-rata	6,70±0,05 ^Q	7,19±0,04 ^P	

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf nyata 5%

Berdasarkan hasil analisis, waktu perendaman tidak berpengaruh nyata terhadap pH gelatin, sedangkan jenis enzim menunjukkan pengaruh nyata terhadap pH gelatin dan Interaksi kedua faktor tidak berpengaruh nyata terhadap pH gelatin (Table 4 dan Tabel 6). Jenis enzim papain dan bromelin menunjukkan berbeda nyata pada pH gelatin (Tabel 10). Kadar keasaman (pH) gelatin tidak dipengaruhi oleh waktu perendaman. Keasaman gelatin dapat dipengaruhi oleh asam amino yang terbentuk. Hidrolisis kolagen menghasilkan banyak rantai asam amino kecil dan berbobot molekul rendah yang diproduksi melalui aktivitas enzimatis (Al Hajj et al., 2024).

Jenis enzim menunjukkan pengaruh berbeda terhadap pH gelatin. Hidrolisis dengan papain menghasilkan karakteristik produk yang lebih asam dibandingkan hidrolisis dengan bromelin. Namun, keasaman produk gelatin dari kedua jenis enzim menunjukkan hasil yang cenderung netral. Enzim yang digunakan dalam hidrolisis memiliki pH optimal dimana bromelin memiliki pH optimal 6,5 dan papain memiliki pH optimal 5. Gelatin tipe A memiliki titik isoelektrik sekitar pH 8–9, sedangkan gelatin tipe B memiliki titik isoelektrik sekitar pH 4,8–5,5 (Schrieber & Gareis, 2007). Gelatin mengandung rantai α -, β -, dan γ -, serta molekul berukuran besar dan medium. Proses hidrolisis dan ekstraksi yang berbeda serta jenis bahan baku yang berbeda memengaruhi spektrum molekuler, sehingga berdampak pada sifat fungsional gelatin yang dihasilkan (Arsyanti et al., 2018; Ahmad et al., 2011). Gelatin tipe A memiliki distribusi fraksi berat molekuler yang lebih luas, dengan ukuran peptida yang lebih kecil dibandingkan dengan gelatin tipe B. Sebagian besar berat molekul pada kisaran 100 kDa

berkontribusi terhadap kekuatan gel yang tinggi pada gelatin Tipe B (Schrieber & Gareis, 2007).

Rata-rata nilai pH gelatin tulang ikan bandeng berkisar antara 6,68-7,15 yang menunjukkan kecenderungan pH netral. Hal ini berbeda dengan gelatin tipe A dan tipe B yang cenderung memiliki pH asam (GMIA, 2019). Gelatin dengan tingkat pH netral memiliki kesesuaian aplikasi yang tinggi pada produk daging, farmasi, cat, dan fotografi. Sebaliknya, gelatin dengan nilai pH rendah lebih optimal jika diimplementasikan dalam produk pangan asam seperti sirup, jus, dan jeli (Astawan & Aviana, 2003).

Nilai pH gelatin yang berbeda nyata antara pada hidrolisis dengan papain dan bromelin memengaruhi ketahanan asam pada bahan yang digunakan dalam proses ekstraksi gelatin. Enzim papain lebih tahan pada kondisi asam dibandingkan bromelin. Hal ini berkorelasi juga dengan hasil rendemen dimana penggunaan enzim papain sebagai katalis menghasilkan rendemen gelatin yang lebih tinggi. Setiap enzim protease memiliki selektivitas yang berbeda. Setiap protease memiliki preferensi ikatan peptida yang berdekatan dengan residu asam amino tertentu (Al Hajj et al., 2024). Bromelin dan papain tergolong endopeptidase sistein dimana endopeptidase bersifat menghidrolisis ikatan kimia yang terletak di dalam rantai peptida. Bromelin memecah ikatan peptida antara residu aromatik, basa, dan hidrofobik. Namun papain memiliki spesifisitas yang lebih luas (Venetikidou et al., 2025). Stabilitas dan aktivitas proteolitik bromelin dan papain sangat dipengaruhi oleh kondisi pH dan suhu. Nilai pH untuk aktivitas bromelin antara 5,5 – 8,0. Aktivitas proteolitik bromelin antara 40 - 60 °C, dengan suhu optimal 50 °C sedangkan papain pada pH 6-7 dengan suhu optimal sekitar 60 °C (Venetikidou et al., 2025).

Viskositas

Viskositas merupakan standar mutu gelatin (GMIA, 2019) dan mencerminkan tingkat kekentalan larutan gelatin pada kondisi konsentrasi dan suhu spesifik. Selain faktor-faktor tersebut, nilai viskositas juga dipengaruhi secara signifikan oleh derajat keasaman (pH) larutan. Hasil rata-rata viskositas disajikan pada Tabel 11.

Berdasarkan hasil analisis, waktu perendaman, jenis enzim, dan interaksi kedua faktor tidak berpengaruh nyata pada hasil viskositas gelatin ($P < 0,05$). Waktu perendaman yang semakin lama akan menyebabkan penurunan viskositas, namun waktu perendaman tidak berbeda nyata antara waktu ke 12 jam, 16 jam, maupun 20 jam (Tabel 6). Semakin lama perendaman, gelatin yang dihasilkan memiliki viskositas lebih rendah. Hal ini terjadi karena semakin lama tulang direndam pada larutan enzim, akan meningkatkan pemutusan rantai peptida sehingga ukuran molekul mengecil yang mengakibatkan viskositas yang dihasilkan akan semakin rendah. Hidrolisis lanjutan akan menyebabkan rantai peptida menjadi lebih pendek dan bobot molekulnya berkurang dan ini berpengaruh pada viskositas produk dan kekuatan gel gelatin yang dihasilkan. Didukung oleh penelitian Huda et. al. (2013), rendahnya nilai viskositas yang didapatkan karena waktu perendaman menyebabkan pemutusan rantai asam amino dari gelatin menjadi rantai yang lebih pendek. Semakin pendek rantai asam amino, maka nilai viskositas yang dihasilkan akan semakin rendah (Huda et al., 2013). Hal ini menyebabkan berat molekul komponen semakin kecil yang menyebabkan viskositas semakin kecil.

Viskositas gelatin dari hasil hidrolisis dengan papain memiliki hasil lebih tinggi dibandingkan bromelin. Enzim protease berfungsi untuk memecah protein menjadi asam

amino. Aktivitas proteolitik papain lebih tinggi dibandingkan dengan bromelin. Papain mampu memecah ikatan peptida pada protein pada kolagen tulang ikan bandeng lebih tinggi. Hal ini dikarenakan bromelin memecah ikatan peptida antara pada gugus aromatik, basa, dan hidrofobik, sedangkan papain memiliki spesifisitas yang lebih luas (Venetikidou et al.,2025).

Tabel 11. Rata-rata nilai viskositas (cP)

Waktu	Enzim		Rata-rata
	Papain	Bromelin	
12 Jam	213 + 4,24	167,5 $\pm$ 24,74	190,25 $\pm$ 30,00
16 Jam	189 $\pm$ 8,48	165 $\pm$ 21,2	177,00 $\pm$ 19,13
20 Jam	169 $\pm$ 5,66	135 $\pm$ 21,21	152,00 $\pm$ 23,36
Rata-rata	190,33 $\pm$ 20,31	155,83 $\pm$ 23,75	

Keterangan: Notasi huruf yang berbeda pada kolom atau baris yang sama menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan berdasarkan uji lanjut DMRT pada taraf nyata 5%

Perlakuan Terbaik

Perlakuan terpilih pada penelitian ini ditentukan berdasarkan analisis rendemen, dan viskositas dengan nilai tertinggi serta analisis kadar air, kadar abu, dan pH dengan nilai terendah. Dalam metode Zeleny, Nilai L_{∞} adalah ukuran jarak antara suatu alternatif (perlakuan) dengan titik ideal (solusi sempurna yang ingin dicapai)

Metode ini menggunakan prosedur pembobotan untuk menentukan perlakuan terbaik. Langkah pembobotannya adalah :

1. Menentukan nilai idea pada masing-masing parameter. Nilai ideal ini merepresentasikan nilai pengharapan yang ingin dicapai, yang ditentukan berdasarkan nilai maksimum atau minimum dari masing-masing kriteria sesuai dengan karakteristik datanya. Hasil perhitungan nilai ideal disajikan pada Tabel 12.
2. Menghitung derajat kerapatan. Penentuan derajat kerapatan dilakukan dengan mengacu pada nilai ideal yang telah ditetapkan bagi setiap parameter. Hasil derajat kerapatan disajikan pada Tabel 13.
3. Menghitung jarak kerapatan (L_p)
4. Menentukan perlakuan terbaik dari perlakuan yang mempunyai nilai L_1 , L_2 , dan L_{∞} minimal. Perlakuan Terbaik disajikan pada Tabel 14.

Tabel 12. Nilai Ideal

Sampel	Rendemen	Kadar air	Kadar abu	pH	Viskositas
	max	min	min	Min	max
T1E1	1,27	8,66	2,3	6,68	213
T1E2	1,32	6,69	3,00	7,09	168
T2E1	1,39	8,32	2,23	6,72	189
T2E2	1,47	6,59	2,96	7,12	165
T3E1	1,39	6,48	2,27	6,70	169
T3E2	1,26	6,76	2,91	7,15	135
Pembagi	1,465	6,48	2,23	6,68	213

Hasil nilai L untuk menentukan perlakuan terbaik disajikan pada Tabel 14. Perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan hasil jumlah $L_1 + L_2 + L_{\infty}$ terkecil yaitu perendaman ke 16 jam pada enzim bromelin dengan karakteristik rendemen 1,46%, kadar air 6,60%, kadar abu 2,96%, pH 7,12 dan viskositas 165 cP.

Tabel 13. Derajat kerapatan

Sampel	Rendemen max	Kadar air min	Kadar abu min	pH min	Viskositas max
T1E1	0,87	1	0,97	1,00	1
T1E2	0,90	0,97	0,74	0,94	0,79
T2E1	0,95	0,78	1,00	0,99	0,89
T2E2	1,00	0,98	0,75	1	0,77
T3E1	1	1,00	0,98	1,00	0,79
T3E2	0,86	0,96	0,77	0,93	0,63

Tabel 14. Nilai L_1 , L_2 dan L_{∞} tiap perlakuan

Sampel	L_1	L_2	L_{∞}	Jumlah	Rangking
T1E1	0,04	0,0007	0,08	0,119	3
T2E1	0,06	0,0010	0,06	0,122	4
T3E1	0,04	0,0005	0,08	0,116	2
T1E2	0,05	0,0010	0,07	0,122	5
T2E2	0,03	0,0004	0,08	0,106	1
T3E2	0,08	0,0018	0,07	0,153	6

Keterangan :

T = Waktu perendaman (12, 16, 20 jam)
E = Jenis Enzim (papain dan bromelin)

KESIMPULAN

Waktu perendaman pada hidrolisis enzimatis berpengaruh nyata terhadap rendemen dan tidak berpengaruh nyata pada kadar air, kadar abu, viskositas dan pH. Disisi lain, jenis enzim berpengaruh nyata terhadap rendemen, kadar abu, pH, dan tidak berpengaruh pada kadar air dan viskositas. Terdapat interaksi antara waktu perendaman dan jenis enzim pada karakteristik rendemen. Rendemen yang dihasilkan pada hidrolisis enzimatis berkisar antara 1,14-1,39%, kadar air 6.49 – 8.67%, kadar abu berkisar antara 2.23 – 2.99%, pH cenderung netral, dan viskositas antara 167,5 – 213 cP. Perlakuan terbaik yang menghasilkan gelatin optimal adalah hidrolisis dengan waktu perendaman 16 jam dengan enzim bromelin dengan karakteristik rendemen 1,46%, kadar air 6,60%, kadar abu 2,96%, pH 7,12 dan viskositas 165 cP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Universitas Sultan Ageng Tirtayasa atas dukungan fasilitas serta bantuan pendanaan yang telah diberikan, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik

DAFTAR PUSTAKA

- Serburia suplemen tulang ikan bandeng dengan cangkang kapsul alginat untuk mencegah osteoporosis. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa*, 4(1), 53-57.
- Ahmad, T., Ismail, A., Ahmad, sS. A., Khalil, K. A., Teik Kee, L., Awad, E. A., & Sazili, A. Q. (2019). Physicochemical characteristics and molecular structures of gelatin extracted from bovine skin: effects of actinidin and papain enzymes pretreatment. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 138–153. <https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1576731>
- Ahmad, M., Benjakul, S. 2011. Characteristics of gelatin from the skin of unicorn leatherjacket (*Aluterus monoceros*) as influenced by acid pre-treatment and extraction time. *Food Hydrocoll*, 25, 381–388.
- Al Hajj, W., Salla, M., Krayem, M., Khaled, S., Hassan, H.F., & El Khatib, S. (2024). Hydrolyzed collagen: Exploring its applications in the food and beverage industries and assessing its impact on human health – A comprehensive review. *Heliyon*, 10(16), 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36433>.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemist). (2005). *Official Methods of Analysis of The Association of Analytical Chemists*. Arlington D.C: AOAC.
- Astawan, M., & Aviana, T. (2003). Pengaruh jenis larutan perendam serta metode pengeringan terhadap sifat fisik, kimia, dan fungsional gelatin dari kulit cucut. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 14(1), 7-13.
- Ardani, M.N., & Sugiharto A. (2022). Pengaruh konsentrasi asam klorida dan waktu perendaman pada pembuatan gelatin dari tulang ikan nila (*Oreochromis Niloticus*) sebagai Pengental Sirup Nanas . *JITIPARI*. 7 (2), 109-118. [10.33061/jitipari.v7i2.6887](https://doi.org/10.33061/jitipari.v7i2.6887)
- Arsyanti, L., Erwanto, Y., Rohman, A., Pranoto, Y. 2018. Chemical composition and characterisation of skin gelatin from buffalo (*Bubalus bubalis*). *Int. Food Res. J.*, 25, 1095–1099
- BSN(Badan Standardisasi Nasional). (1995). *SNI 8622-2018. Gelatin Ikan*. Dewan Standarisasi Nasional Jakarta.
- GMIA(Gelatin Manufacturers Institute of America). (2012). *Gelatin Handbook. Gelatin Manufacturers Institute of America Members*.
- GMIA(Gelatin Manufacturers Institute of America). (2019). *Gelatin Handbook. Gelatin Manufacturers Institute of America Members*.
- Haryati, D., Nadhira, L., Hera, H., & Abdullah, N. (2019). Ekstraksi dan karakterisasi gelatin kulit ikan baronang (*Siganus canaliculatus*) dengan metode enzimatis menggunakan enzim bromelin. *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal*, 2(1), 19–25. <https://doi.org/10.20956/canrea.v2i1.177>
- Huda, W. N., Atmaka, W., Nurhartadi, E. (2013). Kajian karakteristik fisik dan kimia gelatin ekstrak tulang kaki ayam (*Gallus gallus bankiva*) dengan variasi lama perendaman dan konsentrasi asam. *Jurnal Teknosains Pangan*, 2(3), 70-75.
- Ilyas, N.M., Setiasihm, S & Hudiyono, S. (2020). Isolasi dan karakterisasi enzim bromelin dari bonggol dan daging buah nanas (*Ananas comosus*). *JIKPK*, 21(2), 133-144. [10.35580/chemica.v2i2.17983](https://doi.org/10.35580/chemica.v2i2.17983)
- Miskiyah, M., Sasmitaloka, K., & Budiyanto, A. (2022). Pengaruh lama waktu perendaman terhadap arakteristik gelatin ceker ayam. *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 16(2), 179-185. doi:<https://doi.org/10.21107/agrointek.v16i2.11846>
- Mulyani, S., Rohmeita, D. & Legowo, A. M. (2021). Karakteristik kalsium dari tulang ikan bandeng (*Chanos chanos*) yang diekstraksi menggunakan larutan HCl. *Journal of Nutrition College*, 10(4), 321-327. <https://doi.org/10.14710/jnc.v10i4.29960>
- Nadia, L. O. A. R., Nadia, L. M. H., Rosmawati, R., & Piliانا, W. O. (2020). Komposisi kimia

- baby fish nila larasati (*Oreochromis niloticus*) pada berbagai umur panen dalam sistem akuaponik. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(2), 215-224. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i2.32042>
- Nurhayati, T., Nurjanah, Alfi, Z. (2014). Komposisi mineral mikro dan logam berat pada ikan bandeng dari tambak Tanjung Pasir Kabupaten Tangerang. *Depik Jurnal*, 3(3), 234-240. <https://doi.org/10.13170/depik.3.3.2149>
- Nurilmala, M., Nasirullah, M., Nurhayati, T., & Darmawan, N. (2021). Karakteristik fisik-kimia gelatin dari kulit ikan patin, ikan nila, dan ikan tuna. *Jurnal Perikanan Universitas Gadjah Mada*, 23(1), 71-77. <http://dx.doi.org/10.22146/jfs.59960>
- Putri E. A. W., Hermanianto J., Hunaefi D., & Nurilmala M. (2023). Pengaruh konsentrasi dan waktu perendaman NaOH terhadap karakteristik gelatin kulit ikan patin. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 26(1), 117-126. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v26i1.45489>
- Ratna, C. R., Meity, S., Arie, M., dan Jerry, K. (2017). Pengaruh waktu perendaman dalam larutan asam asetat (CH_3COOH) terhadap karakteristik fisik dan kimia gelatin ceker ayam. *Jurnal Zootek*. 37(2), 268-275.
- Rodiah, S., Mariyamah, M., Ahsanunnisa, R., Erviana, D., Rahman, F., dan Budaya, A. W. (2018). Pemanfaatan limbah tulang ikan tenggiri sebagai sumber gelatin halal melalui hidrolisis larutan asam dengan variasi rasio asam. *ALKIMIA: Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 2(1), 34-42
- Schrieber, R., Gareis, H. 2007. *Gelatine Handbook: Theory and Industrial Practice*; Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, German.
- Suliasih, N., Sutrisno, A.D., Respatyana, N., (2020). Variasi waktu ekstraksi dan jenis asam pada proses produksi gelatin tulang ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Pasundan Food Technology Journal*, 7(2), 65-69. <https://doi.org/10.23969/pftj.v7i2.2982>
- Suwandi, R., Nurjanah, & Margaretha, W. (2014). Proporsi bagian tubuh dan kadar proksimat ikan gabus pada berbagai ukuran. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 17(1). <https://doi.org/10.17844/jphpi.v17i1.8134>
- Venetikidou, M., Lykartsis, E., Adamantidis, T., Prokopiou, V., Ofrydopoulou, A., Letsiou, S., and Tsoupras, A. (2025). Proteolytic enzyme activities of bromelain, ficin, and papain from fruit by-products and potential applications in sustainable and functional cosmetics for skincare. *Applied Sciences*, 15(5), 2637. <https://doi.org/10.3390/app15052637>