

Typical Fish Protein and Fish Waste

Kiki Haetami^{1*}, Aditia Aditia¹, Azmi Dhiyaulhaq¹, Abun Abun²

¹Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia;

²Departemen Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran, Indonesia;

Article History

Received : July 07th, 2026

Revised : July 13th, 2026

Accepted : July 24th, 2026

*Corresponding Author: **Kiki Haetami**, Departemen Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Padjadjaran, Sumedang, Indonesia;
Email:
kiki.haetami@gmail.com

Abstract: Fishery waste such as offal, skin, and bones still contains high-value protein that has the potential to be processed into protein hydrolysates and gelatin. This study aims to analyze the utilization of fish waste and its biochemical changes during storage. The method used was a descriptive literature review. The results show that protein hydrolysis produces bioactive peptides with antioxidant activity. Furthermore, the formation of natural formaldehyde in fish occurs due to the degradation of TMAO by enzymes, which persists at low temperatures. The use of natural ingredients as preservatives can slow down deterioration, while pH sensor technology can help visually monitor fish freshness. Utilizing fish waste and implementing supporting technologies is a strategic step in increasing the added value and quality of fishery products.

Keywords: Bio-preservative; Fish waste; Formaldehyde; Protein hydrolysate; pH sensor.

Pendahuluan

Sektor perikanan merupakan salah satu bidang yang memiliki potensi besar dalam penyediaan sumber protein bagi masyarakat. Namun, aktivitas pengolahan hasil perikanan juga menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup signifikan, seperti jeroan, tulang, kulit, dan sisik. Komponen tersebut sering dianggap tidak bernilai, padahal masih mengandung protein dan senyawa bioaktif yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Melalui pendekatan biokimia, limbah ikan dapat diolah menjadi produk turunan seperti hidrolisat protein dan gelatin yang memiliki nilai tambah baik secara ekonomi maupun fungsional (Nurilmala, et. al, 2018)(Anissah *et al.*, 2019; Nuraini *et al.*, 2017).

Pengolahan limbah menjadi hidrolisat protein dilakukan melalui proses hidrolisis yang mampu memecah struktur protein kompleks menjadi peptida yang lebih sederhana (Abun et al. 2025). Produk ini diketahui memiliki sifat bioaktif, seperti aktivitas antioksidan, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai bahan pangan fungsional (Anissah *et al.*, 2019; Nuraini *et al.*,

2017). Limbah organik, termasuk limbah ikan dapat diolah menjadi bahan pakan sumber protein yang berkualitas (Andriani, et.al., 2024). Limbah tulang dan kulit ikandapat dimanfaatkan sebagai sumber gelatin alternatif yang lebih dapat diterima oleh berbagai kalangan dibandingkan gelatin berbasis mamalia (Zega *et al.*, 2017; Aunurrofiq, et.al., 2019)

Kualitas ikan segar menjadi perhatian penting dalam rantai distribusi. Penurunan mutu ikan tidak hanya disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme, tetapi juga oleh reaksi biokimia internal. Salah satu fenomena yang sering ditemukan adalah terbentuknya formaldehida secara alami pada beberapa jenis ikan laut akibat degradasi senyawa trimetilamina oksida (TMAO). Proses ini dapat berlangsung selama penyimpanan, bahkan pada suhu rendah, sehingga memengaruhi tekstur dan keamanan produk (Anissah *et al.*, 2019; Nuraini *et al.*, 2017).

Upaya untuk mempertahankan mutu ikan terus dikembangkan, salah satunya melalui penggunaan bahan alami sebagai pengawet. Senyawa aktif dari tumbuhan diketahui mampu

menghambat oksidasi dan pertumbuhan mikroba, sehingga dapat memperpanjang masa simpan ikan tanpa menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan (Zega *et al.*, 2017).

Inovasi teknologi seperti kemasan pintar berbasis sensor pH mulai diperkenalkan sebagai alat bantu dalam mendeteksi kesegaran ikan secara cepat dan praktis (Kuswandi 2016). Kemasan dengan coating juga telah diperkenalkan, dalam Upaya mempertahankan daya simpan (Lamichhane, *et al.* 2015). Berdasarkan uraian tersebut, pemanfaatan limbah ikan serta pemahaman terhadap perubahan biokimia selama penyimpanan merupakan aspek penting dalam meningkatkan kualitas dan keberlanjutan industri perikanan. Oleh karena itu, kajian ini dilakukan untuk mengintegrasikan berbagai temuan terkait protein khas ikan dan pemanfaatan limbahnya dalam perspektif biokimia perairan.

Bahan dan Metode

Observasi Hidrolisis Protein Jeroan Ikan Kakap Putih

Pengamatan pada bagian ini diarahkan untuk memahami proses pemecahan protein kompleks menjadi peptida berantai pendek melalui hidrolisis enzimatis. Sampel jeroan ikan kakap putih direaksikan dengan enzim, baik enzim komersial seperti alkalase maupun enzim alami yang terdapat dalam jaringan ikan, pada kondisi suhu dan pH yang dikondisikan mendekati titik optimum. Parameter yang diamati meliputi rendemen hidrolisat yang dihasilkan, komposisi asam amino, serta aktivitas antioksidan. Uji aktivitas antioksidan dilakukan menggunakan metode seperti DPPH atau FRAP untuk mengetahui kemampuan senyawa hasil hidrolisis dalam menangkal radikal bebas. Pendekatan ini digunakan untuk menilai potensi fungsional limbah sebagai bahan baku bernilai tambah (Ferraro *et al.* 2013)(Nurjanah *et al.*, 2021).

Identifikasi Biokimia Formaldehida Alami pada Ikan Beloso

Pengamatan difokuskan pada perubahan biokimia yang terjadi setelah ikan mengalami kematian, khususnya pembentukan formaldehida secara alami. Sampel daging ikan beloso diekstraksi untuk mengukur kadar formaldehida

tanpa adanya perlakuan penambahan bahan kimia dari luar. Pengamatan dilakukan secara berkala selama penyimpanan pada suhu dingin maupun beku. Data yang diperoleh kemudian dikaitkan dengan perubahan mutu secara organoleptik, sehingga dapat terlihat hubungan antara penurunan kualitas ikan dengan akumulasi formaldehida sebagai hasil proses biokimia internal (Anissah *et al.*, 2019).

Analisis Aktivitas Enzim TMAO-ase pada Ikan Beloso

Pendekatan yang digunakan pada bagian ini berfokus pada aktivitas enzim TMAOase sebagai katalis dalam reaksi biokimia. Enzim diisolasi dari beberapa bagian tubuh ikan, seperti otot, hati, dan ginjal, untuk melihat perbedaan aktivitasnya. Selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap kemampuan enzim dalam mengubah trimetilamina oksida (TMAO) menjadi formaldehida dan dimetilamina (DMA). Data yang dihasilkan digunakan untuk menjelaskan mekanisme yang berkontribusi terhadap perubahan tekstur ikan selama penyimpanan (Zang *et al.* 2020) (Nuraini *et al.*, 2017).

Observasi Inhibisi Oksidasi Protein pada Fillet Ikan Patin

Metode yang digunakan bertujuan untuk mengkaji interaksi antara senyawa bioaktif dari ekstrak tumbuhan dengan komponen ikan. Fillet ikan patin direndam dalam larutan ekstrak apu-apu, kemudian diamati perubahan yang terjadi selama penyimpanan. Parameter yang diamati mencakup nilai pH, Total Volatile Base (TVB), serta Total Plate Count (TPC). Data tersebut digunakan untuk menilai sejauh mana ekstrak tumbuhan mampu menekan laju oksidasi dan pertumbuhan mikroorganisme sebagai indikator efektivitas pengawetan alami (van 't Land, *et.al.*, 2017; Zega *et al.*, 2017)).

Pemantauan Biokimia TVB-N pada Rantai Distribusi Ikan Kembung

Pengamatan dilakukan pada kondisi nyata di lapangan, khususnya pada sistem distribusi ikan oleh pedagang keliling. Sampel ikan kembung diambil secara acak pada waktu yang berbeda selama proses penjualan. Analisis difokuskan pada pengukuran kadar Total Volatile Base Nitrogen (TVB-N) sebagai indikator degradasi protein. Hasil pengukuran

digunakan untuk menggambarkan tingkat penurunan mutu ikan yang terjadi akibat tidak optimalnya penerapan rantai dingin selama distribusi (Nurqaderanie *et al.*, 2016).

Studi Stabilitas Biokimia Protein Ikan Kerapu

Pengamatan pada ikan kerapu cantik dilakukan untuk mengevaluasi stabilitas protein selama penyimpanan beku. Sampel dianalisis secara berkala untuk melihat perubahan kadar air, komposisi protein, serta pembentukan senyawa hasil degradasi seperti formaldehida, seperti halnya pada stabilitas silase ikan yang dilakukan pada penelitian Ghaly *et al.* (2013). Pendekatan ini digunakan untuk memahami apakah karakteristik hasil persilangan (hibridisasi) memengaruhi ketahanan biokimia ikan terhadap proses penyimpanan jangka panjang (Barokah *et al.*, 2018).

Observasi Emisi Amina Volatil melalui Sensor pH

Metode ini memanfaatkan teknologi kemasan pintar sebagai alat pemantauan kualitas. Sensor pH kimiawi digunakan untuk mendeteksi gas volatil, seperti amonia, yang dihasilkan selama proses pembusukan ikan. Perubahan warna pada indikator diamati secara visual dan dikaitkan dengan perubahan pH serta tingkat kesegaran ikan. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi kualitas dilakukan secara cepat dan praktis tanpa analisis laboratorium yang kompleks (Kuswandi 2016).

Karakterisasi Gelatin dari Limbah Kulit dan Tulang Ikan

Pengamatan difokuskan pada proses konversi kolagen menjadi gelatin melalui metode ekstraksi menggunakan larutan asam atau basa. Limbah kulit dan tulang ikan diproses untuk memperoleh gelatin dengan karakteristik tertentu. Analisis dilakukan terhadap sifat fisik dan kimia, seperti berat molekul, kekuatan gel, dan viskositas. Selain itu, dilakukan kajian terhadap kemungkinan pemrosesan lanjutan untuk menghasilkan peptida bioaktif yang memiliki potensi aplikasi di bidang pangan dan kesehatan (Atma 2016).

Analisis Fermentasi pada Produk Bakasang

Metode ini menggunakan pendekatan

fermentasi terkontrol dengan bahan baku jeroan ikan cakalang yang ditambahkan asam jawa. Pengamatan difokuskan pada aktivitas bakteri asam laktat (BAL) yang berperan dalam proses fermentasi (Rinto *et al.* 2022). Parameter yang diamati meliputi perubahan pH, kadar histamin, serta nitrogen terlarut. Data tersebut digunakan untuk menilai keamanan dan kualitas produk hasil fermentasi (Suryaningrum 2008)(Adjam *et al.*, 2022).

Pengukuran Derajat Hidrolisis Protein Tulang Ikan

Pengamatan dilakukan melalui proses hidrolisis enzimatis menggunakan enzim papain pada tulang ikan selar bentong. Variasi konsentrasi enzim dan lama waktu reaksi diterapkan untuk melihat pengaruhnya terhadap tingkat hidrolisis. Parameter utama yang dianalisis adalah Degree of Hydrolysis (DH), yang menggambarkan persentase ikatan peptida yang berhasil dipecah. Selain itu, dilakukan pengujian terhadap komposisi asam amino untuk mengevaluasi efisiensi pemanfaatan protein dari limbah tulang ikan.

Hasil dan Pembahasan

Limbah perikanan seperti jeroan, tulang, dan kulit menurut beberapa peneliti memiliki potensi yang sangat besar untuk dimanfaatkan. Kandungan protein yang masih tinggi pada bagian-bagian tersebut memungkinkan untuk diolah lebih lanjut dengan mengendalikan proses hidrolisis menjadi peptida sederhana yang bersifat lebih mudah larut dan aktivitas biologis seperti antioksidan (Anissah *et al.*, 2019; Nuraini *et al.*, 2017). Hal ini menegaskan bahwa limbah ikan tidak hanya menjadi sisa produksi, tetapi juga dapat dikembangkan sebagai sumber bahan baku bernilai tambah.

Di sisi lain, hasil kajian juga menunjukkan adanya perubahan biokimia yang terjadi pada ikan selama penyimpanan. Salah satu fenomena yang cukup penting adalah terbentuknya formaldehida secara alami, yang berasal dari degradasi senyawa trimetilamina oksida (TMAO). Proses ini dikatalisis oleh enzim tertentu dan tetap berlangsung meskipun ikan disimpan pada suhu rendah, sehingga berpengaruh terhadap tekstur dan mutu daging ikan (Anissah *et al.*, 2019; Nuraini *et al.*, 2017).

Dengan demikian, keberadaan formaldehida pada ikan tidak selalu disebabkan oleh faktor eksternal, tetapi juga dapat terbentuk secara alami.

Selain itu, penggunaan bahan alami sebagai pengawet menunjukkan hasil yang cukup efektif dalam memperlambat penurunan kualitas ikan. Senyawa aktif yang terkandung dalam ekstrak tumbuhan mampu menghambat oksidasi serta menekan pertumbuhan mikroorganisme, sehingga membantu menjaga stabilitas mutu selama penyimpanan (Zega *et al.*, 2017). Sejalan dengan itu, peningkatan nilai Total Volatile Base Nitrogen (TVB-N) tetap terjadi seiring waktu, terutama pada kondisi distribusi yang kurang terkontrol, yang menandakan adanya aktivitas degradasi protein oleh mikroba (Nurqaderanie *et al.*, 2016). Perkembangan teknologi juga memberikan kontribusi dalam pemantauan kualitas ikan, salah satunya melalui penggunaan kemasan pintar berbasis sensor pH. Teknologi ini mampu mendeteksi senyawa volatil yang dihasilkan selama proses pembusukan, sehingga memberikan indikator visual yang memudahkan dalam menilai tingkat kesegaran ikan (Kuswandi 2016).

Lebih lanjut, limbah ikan juga dapat diolah menjadi gelatin yang memiliki sifat fungsional seperti kemampuan membentuk gel dan stabilitas viskositas. Produk ini berpotensi menjadi alternatif pengganti gelatin berbasis mamalia yang lebih dapat diterima oleh berbagai kalangan (Atma 2016). Selain itu, melalui proses fermentasi, limbah ikan dapat diubah menjadi produk pangan dengan nilai gizi yang lebih baik serta daya simpan yang lebih panjang, karena adanya aktivitas mikroorganisme yang menguntungkan (Adjam *et al.*, 2022).

Secara keseluruhan, hasil kajian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah ikan, pemahaman terhadap proses biokimia selama penyimpanan, serta penerapan teknologi dan bahan alami merupakan kombinasi penting dalam upaya meningkatkan kualitas dan nilai ekonomi produk perikanan

Pembahasan

Analisis Efisiensi Hidrolisis Protein pada Limbah Perikanan

Berdasarkan hasil telaah dari beberapa penelitian, pemanfaatan limbah perikanan

melalui proses hidrolisis enzimatis menunjukkan kecenderungan hasil yang konsisten. Limbah seperti jeroan kakap putih dan tulang selar bentong terbukti masih memiliki kandungan protein yang dapat diolah menjadi senyawa bioaktif. Proses hidrolisis memungkinkan terjadinya pemutusan ikatan peptida pada protein kompleks sehingga menghasilkan peptida dengan ukuran yang lebih kecil dan sifat fungsional yang lebih baik.

Perbandingan antar penelitian menunjukkan bahwa jenis enzim yang digunakan, seperti alkalase dan papain, serta konsentrasi enzim yang diterapkan, sangat memengaruhi hasil akhir, khususnya terhadap aktivitas antioksidan yang dihasilkan. Hal ini mengindikasikan bahwa keberhasilan proses tidak hanya ditentukan oleh bahan baku, tetapi juga oleh pengendalian kondisi reaksi. Dengan demikian, limbah perikanan dapat memiliki nilai biokimia yang setara dengan daging ikan apabila diproses menggunakan metode yang tepat dan terkontrol (Nurjanah *et al.*, 2021; Hadji *et al.*, 2025).

Dinamika Perubahan TMAO Menjadi Formaldehida Alami

Ikan laut secara alami mengandung senyawa TMAO yang berfungsi sebagai osmoregulator. Setelah ikan mati, enzim TMAOase aktif dan memecah TMAO menghasilkan senyawa *Dimetilamin* (DMA) dan Formaldehid. Menurut Murtini (2018), semakin lama ikan disimpan (misalnya dalam es), semakin tinggi pula kadar formaldehid yang terbentuk.

Kajian terhadap beberapa penelitian menunjukkan bahwa pembentukan formaldehida pada ikan tidak selalu berkaitan dengan faktor eksternal. Dibandingkan dengan krustasea dekapoda perairan dangkal *Penaeus vannamei*, amfipoda zona hadal memiliki konsentrasi TMAO yang jauh lebih tinggi serta kadar TMA yang serupa pada seluruh jaringan yang diperiksa. Kadar TMAO yang lebih tinggi terdeteksi pada organ luar (seperti mata dan eksoskeleton) pada kedua spesies amfipoda zona hadal tersebut; hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi TMAO tidak terdistribusi secara merata, meskipun tekanan hidrostatik yang dialami oleh organ luar maupun organ dalam adalah sama (Liu, *et al.* 2022).

Pada spesies tertentu, seperti ikan beloso, formaldehida terbentuk secara alami melalui proses degradasi trimetilamina-N-oksida (TMAO) setelah ikan mengalami kematian. Reaksi ini merupakan bagian dari proses biokimia yang berlangsung selama penyimpanan. Peran enzim TMAOase menjadi sangat penting dalam proses tersebut, karena enzim ini bertindak sebagai katalis yang mempercepat perubahan TMAO menjadi formaldehida dan senyawa turunannya. Menariknya, aktivitas enzim ini masih dapat berlangsung pada suhu rendah, sehingga proses degradasi tetap terjadi meskipun ikan disimpan dalam kondisi dingin.

Jika dibandingkan dengan penelitian pada spesies lain, seperti ikan kerapu, mekanisme yang sama juga ditemukan, meskipun laju reaksinya berbeda. Perbedaan ini kemungkinan dipengaruhi oleh karakteristik protein dan stabilitas biokimia masing-masing spesies. Hal ini menunjukkan bahwa faktor biologis internal memiliki peran penting dalam menentukan kecepatan perubahan mutu ikan (Anissah *et al.*, 2019; Nuraini *et al.*, 2017; Barokah *et al.*, 2018).

Intervensi Bahan Alami dalam Menghambat Oksidasi Biokimia

Penggunaan bahan alami sebagai agen pengendali perubahan mutu ikan menunjukkan pendekatan yang cukup efektif. Ekstrak tumbuhan seperti apu-apu diketahui mengandung senyawa fitokimia yang mampu menghambat proses oksidasi lipid dan memperlambat denaturasi protein Zulfahmi *et al.* (2022). Mekanisme ini berkontribusi dalam menjaga kualitas fillet ikan selama penyimpanan. Di sisi lain, penggunaan bahan alami juga dapat diarahkan untuk mendukung proses transformasi produk, seperti yang terjadi pada fermentasi bakasang dengan penambahan asam jawa. Dalam hal ini, kondisi asam yang terbentuk menjadi lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan bakteri asam laktat, yang berperan dalam proses fermentasi dan pembentukan cita rasa khas. Perbandingan kedua pendekatan tersebut menunjukkan bahwa bahan alami memiliki fungsi yang fleksibel, tidak hanya sebagai penghambat kerusakan, tetapi juga sebagai faktor pendukung dalam proses biokonversi. Hal ini membuka peluang pemanfaatan bahan alami secara lebih luas dalam pengolahan hasil

perikanan (Zega *et al.*, 2017; Adjam *et al.*, 2022).

Validasi Kesegaran melalui Parameter TVB-N dan Teknologi Sensor

Pemantauan kesegaran ikan merupakan aspek penting dalam menjamin kualitas produk yang beredar di masyarakat. Nilai Total Volatile Base Nitrogen (TVB-N) sering digunakan sebagai indikator utama karena berkaitan langsung dengan hasil dekomposisi protein oleh aktivitas mikroorganisme. Pada kondisi distribusi yang kurang terkontrol, seperti pada pedagang ikan keliling, nilai TVB-N cenderung meningkat dengan cepat, yang menandakan penurunan mutu ikan, sehingga perlu dikendalikan.

Permasalahan peningkatan total basa nitrogen seiring dekomposisi protein, mendorong pengembangan teknologi yang mampu memberikan informasi kualitas secara lebih praktis baik secara konvensional dengan penambahan garam, maupun dengan teknologi. Penambahan kadar garam 20% pada pembuatan kecap ikan yang menghasilkan nilai total N yang telah masuk standar Codex Alimentarius serta nilai TVB, TMA dan ammonia yang lebih rendah pada ikan Manyung (*Arius* sp) (Rianingsih, *et al.* 2016).

Teknologi inovasi yang dikembangkan untuk validasi kesegaran, salah satunya adalah kemasan pintar berbasis sensor pH (Kuswandi, 2016). Teknologi ini bekerja dengan mendeteksi gas volatil, seperti amonia, yang dilepaskan selama proses pembusukan. Perubahan warna pada indikator memberikan gambaran visual yang mudah dipahami mengenai tingkat kesegaran ikan. Dengan demikian, teknologi sensor dapat berfungsi sebagai alat validasi yang menghubungkan parameter kimia dengan indikator visual, sehingga mempermudah pengambilan keputusan oleh konsumen (Nurqaderanie *et al.*, 2016).

Karakterisasi Makromolekul Kolagen dan Gelatin Ikan

Limbah ikan, khususnya kulit dan tulang, merupakan sumber kolagen yang dapat diolah menjadi gelatin. Secara biokimia, gelatin ikan memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan gelatin yang berasal dari mamalia. Perbedaan ini terutama dipengaruhi oleh komposisi asam amino, seperti prolin dan

hidroksiprolin, yang berperan dalam menentukan kekuatan dan stabilitas gel.

Pemahaman mengenai struktur makromolekul kolagen menjadi penting dalam proses pengolahan, karena menentukan kualitas gelatin yang dihasilkan. Selain itu, proses hidrolisis lebih lanjut dapat menghasilkan peptida bioaktif dengan potensi aplikasi di bidang kesehatan, seperti aktivitas anti-diabetes. Dengan demikian, karakterisasi kolagen dan gelatin tidak hanya penting dari sisi teknologi pangan, tetapi juga memiliki implikasi dalam pengembangan produk bernilai tambah berbasis limbah perikanan (Atma 2016).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa limbah perikanan seperti jeroan, tulang, dan kulit memiliki potensi yang signifikan untuk dimanfaatkan sebagai sumber protein dan senyawa bioaktif. Melalui proses hidrolisis enzimatis, protein kompleks dapat diubah menjadi peptida sederhana yang memiliki aktivitas fungsional, termasuk sebagai antioksidan. Keberhasilan proses ini sangat dipengaruhi oleh jenis enzim dan kondisi reaksi yang digunakan. Perubahan mutu ikan selama penyimpanan tidak terlepas dari proses biokimia alami, salah satunya adalah pembentukan formaldehida dari degradasi trimetilamina oksida (TMAO). Proses ini menunjukkan bahwa tidak semua kandungan formaldehida pada ikan berasal dari faktor eksternal, melainkan juga dapat terbentuk secara alami melalui aktivitas enzim.

Penggunaan bahan alami terbukti mampu berperan dalam menghambat proses kerusakan maupun mendukung transformasi produk melalui fermentasi. Di sisi lain, pemantauan kesegaran ikan dapat dilakukan melalui parameter kimia seperti TVB-N maupun melalui teknologi modern seperti kemasan pintar berbasis sensor pH. Secara keseluruhan, integrasi antara pemanfaatan limbah, pemahaman proses biokimia, serta penerapan teknologi dan bahan alami menjadi langkah strategis dalam meningkatkan kualitas, keamanan, dan nilai tambah produk perikanan.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan kali ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan atas pembuatan artikel review ini.

Referensi

- Abun, A., Rusmana, D., Haetami, K. & Widjastuti, T. 2025. "Evaluation of the Nutritional Value of Fermented Pangasius Fish Waste and Its Potential as a Poultry Feed Supplement." *Veterinary World* 18(2): 355–66. DOI: 10.14202/vetworld.2025.355-366
- Adjam, S. I., Antuli, Z., & Ahmad, L. (2022). Karakterisasi mutu biologis bakasang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dengan penambahan ekstrak asam jawa (*Tamarindus indica* L) selama fermentasi. *Journal of Agritech Science*, 6(2), 164-175.
<https://jurnal.poltekgo.ac.id/index.php/jasc/article/view/984/599>
- Andriani, Y., Nurdaya, M.G., Pratama, R.I., Iskandar, Wiyatna, M.F. (2024). Eksplorasi Limbah Organik dan Pengolahannya Sebagai Bahan Pakan Ikan: Literatur Review. *Jurnal Perikanan Kelautan* 14(2)2024:125-136.
<https://dx.doi.org/10.33512/jpk.v14i2.29611>
- Anissah, U., Barokah, G.R., Ariyani, F. 2019. Pengaruh penyimpanan terhadap profil formaldehida. *JPHPI Vol. 2 Nomor 3*. journal.ipb.ac.id/index.php/jphpi
- Atma, Y. 2016. Pemanfaatan limbah ikan sebagai sumber alternatif produksi gelatin dan peptida bioaktif: Review. *Jurnal Semnastek (Seminar Nasional Sains dan Teknologi)*, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta. Website: jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek
- Aunurrofiq, A., Prayogo, P. & Arief, M. 2019. "Substitusi Fermentasi Limbah Padat Surimi Ikan Swanggi (*Priacanthus macracanthus*) pada Tepung Ikan terhadap Retensi Protein dan Retensi Lemak Ikan Lele Dumbo (*Clarias* Sp.)." *Journal of Aquaculture and Fish Health* 6(3): 121. doi:10.20473/jafh.v6i3.11290.

- Barokah, G. R., Putri, A. K., Anissah, U., & Murtini, J. T. 2018. Pembentukan formaldehida alami dan penurunan mutu ikan kerapu cantik (*Epinephelus fuscoguttatus* x *E. microdon*) selama penyimpanan pada suhu beku. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(2), 287-294. DOI: <http://dx.doi.org/10.15578/jpbkp.v13i1.51>
- Barokah, G. R., & Ariyani, F. (2019). Pengaruh penyimpanan terhadap profil formaldehida alami dan kemunduran mutu pada ikan beloso (*Saurida tumbil*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 22(3), 535-547
- Effendi. 2020. “Efektivitas Penambahan Suplemen Herbal pada Pellet tPertumbuhan dan Kelulushidupan Ikan Patin (*Pangasius hypophthalmus*).” *Jurnal Ruaya : Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmu Perikanan dan Kelautan* 8(1): 69–76. doi:10.29406/jr.v8i1.1613
- Ferraro, V., Carvalho, A.P., Piccirillo, C., Santos, M.M., Paula, P.M.& Pintado, M.E.,. 2013. “Extraction of High Added Value Biological Compounds from Sardine, Sardine-Type Fish and Mackerel Canning Residues - A Review.” *Materials Science and Engineering C* 33(6): 3111–20. doi:10.1016/j.msec.2013.04.003.
- Ghaly, A. E., V. V. Ramakrishnan, M. S. Brooks, S. M. Budge, and D. Dave. 2013. “Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review.” *Journal of Microbial and Biochemical Technology* 5(4): 107–29. doi:10.4172/1948-5948.1000110.
- Haetami, K., Abun, A, Putri, D., Aldiansyah, F., Kristianto, M.& Sihombing, T. 2025. Quantitative Analysis of Omega-3 Content in Fish Waste and Its Application as Aquafeed. *Jurnal Biologi Tropis*, 25 (3): 2743 – 2750. <http://doi.org/10.29303/jbt.v25i3.9301>
- Hadji, F., Botutihe, D. N., Bialangi, N., & Kunusa, W. R. 2025. Aktivitas antioksidan hidrolisat protein tulang ikan selar bentong (*Selar crumenophthalmus*) hasil hidrolisis enzim papain. *Jurnal Crystal: Publikasi Penelitian Kimia dan Terapannya*, 7(2), 277-285.e-ISSN 2685-7065
- Hasanah, F, Lestari, N & Adiningsih, Y (2017) Pengendalian Senyawa Trimetilamin (TMA) dan Amonia dalam Pembuatan Margarin dari Minyak Patin Warta *IHP*, 34(2),72-80.
- Kuswandi, B. 2016. Pengembangan topik dan aplikasi dalam riset sensor kimia & biosensor menggunakan pendekatan pembelajaran berbasis proyek. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajarannya* (SNKP).
- Lamichhane, S., Sahtout, K., Smillie, J. & . Scott, T.A 2015. “Vacuum Coating of Pelleted Feed for Broilers: Opportunities and Challenges.” *Animal Feed Science and Technology* 200(1): 1–7. doi:10.1016/j.anifeedsci.2014.11.015.
- Liu, Q.; Jiang, S.; Li, W.; Pan,B.; Xu, Q. 2022. Trimethylamine N-Oxide (TMAO) and Trimethylamine (TMA) Determinations of Two Hadal Amphipods. *J. Mar. Sci. Eng.* 10, 454. <https://doi.org/10.3390/jmse10040454>
- Murtini,J.T., Riyanto, R. , Priyanto, N. & Hermana, I. 2014. Pembentukan Formaldehid Alami pada Beberapa Jenis Ikan Laut selama Penyimpanan dalam Es Curai. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan* 9(2):143. 10.15578/jpbkp.v9i2.107
- Nuraini, A., Nurhayati, T., & Nurilmala, M. 2017. Aktivitas Trimethylamine-N-Oxide Demethylase (TMAOase) dalam pembentukan formaldehid alami pada ikan beloso (*Saurida tumbil*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(3), 549-558.
- Nurjanah, N., Nurhayati, T., Latifah, A., & Hidayat, T. 2021. Aktivitas antioksidan dan komponen bioaktif hidrolisat protein jeroan ikan kakap putih (*Lates calcalifer*). *Indonesian Journal of Industrial Research*, 38(1), 70-78.
- Nurqaderianie, A. S., Metusalach, & Fahrul. 2016. Tingkat kesegaran ikan kembung lelaki (*Rastrelliger kanagurta*) yang dijual eceran keliling di Kota Makassar. *Jurnal IPTEKS PSP*, 3(6), 528-543. DOI: 10.20956/jipsp.v3i6.3062
- Nurilmala, M., Nurhayati, T. & Roskananda, R. 2018. “Limbah Industri Filet Ikan Patin

- Untuk Hidrolisat Protein.” *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia* 21(2): 288. 10.17844/jphpi.v21i2.23083.
- Rianingsih, L., Ibrahim, R. & Anggo, A.D. 2016. Karakter Kimia Kecap Ikan dari Viscera Ikan Manyung (Arius Sp.) yang Difermentasi dengan Kadar Garam yang Berbeda. *Jurnal Saintek Perikanan* 11 (2): 115-119, <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/saintek>
- Rinto, R., Herpandi, H., Widiastuti, I., Sudirman, S & Sari, M.P. 2022. “Analisis Bakteri Asam Laktat dan Senyawa Bioaktif Selama Fermentasi Bekasam Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*).” *agriTECH* 42(4): 400. 10.22146/AGRITECH.70500.
- Suryaningrum, Th. Dwi. 2008. “Ikan Patin: Peluang Ekspor, Penanganan Pascapanen, dan Diversifikasi Produk Olahannya.” *Squalen* 3(1): 16–23.
- van 't Land, M., E. Vanderperren, and K. Raes. 2017. “The Effect of Raw Material Combination on the Nutritional Composition and Stability of Four Types of Autolyzed Fish Silage.” *Animal Feed Science and Technology* 234: 284–94. doi:10.1016/j.anifeedsci.2017.10.009
- Zang, Jinhong, Yanshun Xu, Wenshui Xia, and Joe M. Regenstein. 2020. “Quality, Functionality, and Microbiology of Fermented Fish: A Review.” *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60(7): 1228–42. doi:10.1080/10408398.2019.1565491
- Zega, O., Baehaki, A., & Herpandi. 2017. Pengaruh ekstrak apu-apu (*Pistia stratiotes*) terhadap daya simpan fillet ikan patin (*Pangasius sp.*) yang disimpan pada suhu dingin. *Fishtech - Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*, 6(1), 69-79. <http://ejournal.unsri.ac.id/index.php/fishtech>
- Zulfahmi, I., Audila, A., Sari, A.N., Nur, F.M., Nugroho, R.A. & Hasri, I. 2022. “Anchovies (*Stolephorus Sp.*) By-Product Material as a Fish-Feed Ingredient of Seurukan Fish (*Osteochilus vittatus*): Effect on Growth Performance and Gut Morphology.” *Journal of Aquaculture and Fish Health* 11(2): 255–268. <https://doi.org/10.20473/jafh.v11i2.33189>