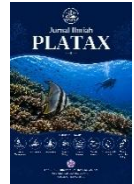




Tersedia daring di Portal Jurnal UNSRAT

Jurnal Ilmiah PLATAX

Beranda jurnal: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/platax>

ARTIKEL PENELITIAN / RESEARCH ARTICLE

e-ISSN 2302-3589

Struktur Hilirisasi Pemanfaatan Ikan Patin Siam pada Unit Pengolahan Ikan Terpilih di Indonesia

Downstream Structure of Siamese Pangasius Utilization in Selected Fish Processing Units in Indonesia

Judul singkat (running title): Hilirisasi Patin Siam pada UPI Terpilih Indonesia

Catur Pramono Adia^{a,*}, Budi Sulistiyo^b, Guntur Prabowo^a, Taufik Hadi Ramli^a, R.Moh.Ismail^a, Muhammad Yusuf^a, Ujang Komarudin^a, Widya Rusyanto^a, Suko Wardono^a, Muhammad R.Hakim^a, Frederik Dony Sangkia^c^a Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang, Karawang, 41315, Indonesia; ^b Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Satya Negara, Jakarta Selatan, 12240, Indonesia; ^c Fakultas Pertanian dan Ilmu Perikanan, Universitas Muhammadiyah, Banggai, 944711, Indonesia

Abstract

Downstream development of Siamese pangasius (*Pangasianodon hypophthalmus*) should distinguish processing units from pure distributors and should be evaluated through raw-material form, product diversification, raw-material quality requirements, and side-stream utilisation. The analytical dataset was reconstructed from 28 surveyed business records. Eleven pure distributors, one pre-operational/non-target unit, three units without consent for aggregate use, and one duplicate facility record were excluded, leaving 12 fish-processing units (FPU) in seven Indonesian provinces. The production database contained 42 unique unit-month records, including 39 paired input-output observations. Analyses used descriptive statistics, multi-response frequencies, Fisher's exact test, weighted prices, concentration ratios, and the Herfindahl-Hirschman Index. Ten units (83.3%) produced fillets only, while two also produced steaks or cuts. All nine units receiving live, fresh, or freshly dead fish reported positive side streams, whereas none of three frozen-input units did (two-sided $p = 0.005$). Five units commercialised side streams and four used them only non-commercially. Recorded commercial sales reached 206,124.2 kg and IDR 1.769 billion; trimmings had the highest weighted price (IDR 14,908/kg) and contributed 44.6% of side-stream value. After normalisation by observed sales months, one unit accounted for 73.1% of commercial value (HHI = 0.571). The most frequently reported rejection factors were poor colour/condition, dead or damaged fish, and unsuitable texture. Supplier addresses and objective quality measurements were unavailable; therefore, the effect of farming location on quality could not be tested.

Keywords: commercialisation; fish processing; raw-material quality; Siamese pangasius; side streams

Abstrak

Pengembangan hilir ikan patin siam (*Pangasianodon hypophthalmus*) sebaiknya membedakan unit pengolahan dari distributor murni serta dievaluasi melalui bentuk bahan baku, diversifikasi produk, persyaratan mutu bahan baku, dan pemanfaatan hasil samping. Dataset analitik disusun ulang dari 28 catatan usaha hasil survei. Sebelas distributor murni, satu unit praoperasional atau tidak sesuai spesies, tiga unit tanpa persetujuan penggunaan data agregat, dan satu duplikasi fasilitas dikeluarkan, sehingga tersisa 12 unit pengolahan ikan (UPI) di tujuh provinsi Indonesia. Basis data produksi memuat 42 catatan UPI-bulan unik, termasuk 39 observasi pasangan input-output. Analisis menggunakan statistik deskriptif, frekuensi multirespons, uji eksak Fisher, harga tertimbang, rasio konsentrasi, dan Indeks Herfindahl-Hirschman. Sepuluh UPI (83,3%) hanya memproduksi fillet, sedangkan dua UPI juga memproduksi steak atau potongan. Seluruh sembilan UPI yang menerima ikan hidup, segar, atau mati segar melaporkan hasil samping positif, sedangkan tidak satu pun dari tiga UPI berbahan baku beku melaporkannya (dua sisi, $p = 0,005$). Lima UPI mengomersialkan hasil samping dan empat UPI memanfaatkannya hanya secara nonkomersial. Penjualan komersial tercatat mencapai 206.124,2 kg dengan nilai kotor Rp1,769 miliar; tetelan memiliki harga tertimbang tertinggi (Rp14.908/kg) dan menyumbang 44,6% nilai hasil samping. Setelah dinormalisasi berdasarkan bulan penjualan teramat, satu UPI menyumbang 73,1% nilai komersial (HHI = 0,571). Faktor penolakan yang paling sering dilaporkan adalah warna atau kondisi kurang baik, ikan mati atau rusak, dan tekstur tidak sesuai. Alamat pemasok dan pengukuran mutu objektif tidak tersedia sehingga pengaruh lokasi budidaya terhadap mutu tidak dapat diuji.

Kata kunci: komersialisasi; pengolahan ikan; mutu bahan baku; patin siam; hasil samping

1. Pendahuluan

Ikan patin siam (*Pangasianodon hypophthalmus*) telah berkembang menjadi salah satu komoditas utama akuakultur air tawar Asia. Pertumbuhan budidaya menyediakan ikan berdagang putih dalam jumlah besar dengan biaya kompetitif dan dapat diolah menjadi beragam bentuk produk. Secara global, produksi akuakultur tahun 2022 mencapai 130,9 juta ton dan untuk pertama kalinya melampaui perikanan tangkap (Food and Agriculture Organization [FAO], 2024). Posisi tersebut memperbesar tuntutan agar pertumbuhan volume tidak berhenti pada produksi primer,

melainkan diteruskan melalui pengolahan, pengawetan, diferensiasi mutu, dan pemanfaatan bagian ikan secara lebih lengkap.

Produksi patin di Indonesia tahun 2022 hingga 2024 berturut-turut berjumlah 340.444 ton, 348.379 ton, dan 382.209 ton, dengan kenaikan rata-rata 4,09% selama 2020–2024. Pangsa pasar patin saat ini sebagian besar mengandalkan pasar lokal dalam bentuk ikan segar, sedangkan pasar ekspor dalam bentuk fillet terkendala tingginya harga di pasar lokal (Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya [DJPB-KKP], 2025). Karena itu perlu didorong pengembangan patin melalui integrasi hulu-hilir dan kerja sama lintas sektoral

Diterima (Received): 12 Agustus 2026 **Direvisi (Revised):** 22 Agustus 2026 **Disetujui (Accepted):**

***Penulis korespondensi (Corresponding author):** Catur Pramono Adi

Politeknik Kelautan dan Perikanan Karawang, Karawang, Jalan Baru Tanjungpura-Klari, Karangpawitan, Karawang, 41315, Jawa Barat, Indonesia

Tel: +62-81389932318, **E-mail:** catur.adi@kpk.go.id

<https://doi.org/10.35800/jip.v14i2.69593>

Artikel ini merupakan artikel Open Access yang didistribusikan di bawah ketentuan Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), yang mengizinkan penggunaan, distribusi, dan reproduksi non-komersial dalam media apa pun, selama karya asli disitasi dengan benar.

Hak Cipta © 2026 Penulis. Diterbitkan oleh Jurnal Ilmiah PLATAX, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi.

<https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/platax>

maupun pemangku kepentingan lain, termasuk mempertemukan asosiasi hulu dan hilir sebagaimana diinisiasi pemerintah (Kementerian Kelautan dan Perikanan [KKP], 2025a).

Fillet merupakan bentuk produk dominan dalam perdagangan patin karena mudah distandardisasi, dibekukan, disimpan, dan didistribusikan. Pengalaman industri Mekong menunjukkan bahwa integrasi budidaya, pengolahan, pengendalian mutu, dan akses pasar memungkinkan patin berkembang menjadi komoditas internasional (Phan et al., 2009; De Silva & Phuong, 2011; Bosma et al., 2011). Namun, dominasi fillet juga menghasilkan aliran material nonfillet dalam jumlah besar berupa kepala, tulang, kulit, lemak, viscera, dan tetelan yang dapat mencapai proporsi substansial dari bobot ikan (Coppola et al., 2021; Singh et al., 2022). Bagian-bagian tersebut tidak tepat langsung disebut limbah karena sebagian masih dapat dijual, diolah, diberikan sebagai pakan, atau dikembangkan menjadi bahan baku industri.

Kulit patin mengandung kolagen yang memungkinkan pemanfaatan untuk gelatin dan biomaterial (Singh et al., 2011; Nurilmala et al., 2021, 2022, 2023). Kepala dan tulang dapat menjadi sumber protein, gelatin, mineral, atau bahan hidrolisat, sedangkan tetelan masih mengandung fraksi daging yang bernilai (Nguyen et al., 2022; Honrado et al., 2024). Lemak hasil pengolahan juga dapat dipulihkan menjadi minyak ikan (Hastarini et al., 2012; Quynh et al., 2023; Syahrul et al., 2023). Industri patin Vietnam telah mengintegrasikan pengolahan hasil samping sehingga produk seperti gelatin dan kolagen peptida bahkan melampaui nilai fillet per kilogramnya (Hapsari, 2023).

Di Indonesia, potensi tersebut juga telah terdokumentasi. Kajian di Kabupaten Kampar memperkirakan limbah tulang dan kepala dari industri fillet patin mencapai puluhan kilogram per bulan dan jeroan dari usaha patin salai mencapai lebih dari dua puluh ribu kilogram per bulan, yang berpotensi diolah menjadi tepung tulang, gelatin, minyak ikan, pupuk, dan pakan ternak (Ikbal et al., 2023). Meskipun demikian, dokumentasi tersebut bersifat lokal dan belum menggambarkan sejauh mana pemanfaatan itu terjadi lintas UPI.

Meskipun teknologi tersedia, komersialisasi tidak otomatis terjadi. Valorisasi hasil samping membutuhkan pemisahan sejak sumber, volume ekonomis, mutu stabil, rantai dingin, ketertelusuran, dan pembeli dengan spesifikasi jelas (Cadena et al., 2024). Kajian ilmiah mengenai hasil samping perikanan berkembang pesat, tetapi sebagian besar berfokus pada karakterisasi senyawa, optimasi ekstraksi, atau pengembangan produk skala laboratorium (Ahuja et al., 2020; Socas-Rodríguez et al., 2021; Xia et al., 2024). Penelitian protein hidrolisat juga menunjukkan bahwa spesies, kondisi bahan baku, penyimpanan, dan jenis enzim memengaruhi rendemen serta sifat produk (Kvangarsnes et al., 2023; Remme et al., 2023). Bukti mengenai bagaimana hasil samping benar-benar muncul, dimanfaatkan, dan menghasilkan nilai pada kumpulan UPI patin masih terbatas.

Penelitian pengolahan patin di Indonesia lebih banyak membahas satu unit atau satu produk. Panjaitan et al. (2024) menilai sanitasi, mutu bahan baku, dan rendemen fillet pada satu UPI. Kekosongan tersebut penting karena kebijakan hilirisasi memerlukan pemahaman mengenai struktur aktual industri: bentuk bahan baku apa yang diterima, produk apa yang dihasilkan, bagian apa yang diperdagangkan, serta pada berapa banyak UPI nilai hasil samping terkonsentrasi.

Hilirisasi perikanan setidaknya mempunyai tiga dimensi: (1) diversifikasi produk utama; (2) kedalaman perubahan bentuk yang bergantung pada kondisi bahan baku ketika memasuki UPI; dan (3) komersialisasi hasil samping. Ketiga dimensi tersebut tidak selalu bergerak bersamaan. Terdapat pula persoalan pengukuran: rasio produk utama terhadap bahan baku hanya dapat ditafsirkan sebagai rendemen biologis apabila bahan baku dan produk berasal dari batch, periode, bentuk fisik, dan titik timbang yang sebanding. Karena itu, artikel ini tidak menggunakan istilah efisiensi atau rendemen sebagai klaim utama; rasio input-output diperlakukan sebagai indikator diagnostik.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan: (1) menyusun kembali dataset analitik yang hanya mencakup UPI yang

benar-benar melakukan pengolahan; (2) menggambarkan bentuk bahan baku, sumber pasokan, produk utama, pembeli, dan pola pemanfaatan hasil samping; (3) merinci faktor mutu yang menyebabkan potongan harga atau penolakan bahan baku; (4) menguji hubungan antara kelompok bentuk bahan baku dan kemunculan hasil samping; dan (5) mengukur volume, harga tertimbang, nilai penjualan kotor, serta konsentrasi komersialisasi hasil samping. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi struktur produk utama, diagnostik input-output tingkat UPI-bulan, persyaratan mutu bahan baku, dan realisasi ekonomi tiga golongan hasil samping dalam satu kerangka analisis.

2. Bahan dan Metode

2.1. Desain riset dan sumber data

Penelitian menggunakan desain kuantitatif eksploratif dengan pendekatan deskriptif dan komparatif terbatas. Sumber data adalah basis data pendataan usaha patin siam tahun 2025–2026 yang terdiri atas profil unit usaha, pembelian bahan baku, produksi fillet dan steak atau potongan, serta volume, harga, pembeli, dan pemanfaatan kepala-tulang, kulit, dan tetelan.

Dataset awal memuat 28 catatan unit usaha. Dataset analitik dibentuk melalui kriteria inklusi dan eksklusi yang ditetapkan sebelum penghitungan hasil: sebelas unit yang hanya melakukan distribusi tanpa pengolahan dikeluarkan; satu unit praoperasional dengan komoditas tidak sesuai dikeluarkan; tiga UPI yang tidak memberikan persetujuan penggunaan data secara agregat dikeluarkan; dan dua catatan pada alamat fasilitas yang sama dikonsolidasikan menjadi satu UPI. Hasil kurasi menghasilkan 12 UPI operasional di tujuh provinsi. Identitas perusahaan dianonimkan menjadi UPI-01 sampai UPI-12; alamat rinci, koordinat, nama responden, dan bukti transaksi individual tidak ditampilkan.

2.2. Unit analisis dan definisi operasional

Dua unit analisis digunakan. Pertama, UPI sebagai entitas fasilitas untuk menganalisis bentuk bahan baku, sumber pasokan, struktur produk, pembeli, persyaratan mutu, dan pola pemanfaatan hasil samping. Kedua, UPI-bulan untuk menganalisis volume bahan baku dan produk utama. Setelah konsolidasi duplikasi terdapat 42 kombinasi UPI-tahun-bulan; 40 mempunyai data input, 41 mempunyai data produk, dan 39 dapat dipasangkan pada UPI dan bulan yang sama.

Bentuk bahan baku dikelompokkan menjadi ikan utuh/segar (mencakup ikan hidup, segar, dan mati segar) dan bahan baku beku. Produk utama terdiri atas fillet dan steak atau potongan. Hasil samping dibedakan menjadi kepala-tulang, kulit, dan tetelan. UPI dinyatakan mempunyai hasil samping positif apabila sedikitnya satu golongan mencatat volume di atas nol. Pemanfaatan komersial ditetapkan apabila volume positif disertai harga jual dan/atau pembeli, sedangkan pemanfaatan nonkomersial mencakup diolah sendiri, digunakan untuk pakan, atau diberikan kepada pihak lain tanpa harga penjualan.

Tipologi hilirisasi dibentuk tanpa pembobotan: (A) UPI ikan utuh/segar yang mengomersialkan sedikitnya satu hasil samping; (B) UPI ikan utuh/segar yang hanya memanfaatkan hasil samping secara nonkomersial; dan (C) UPI berbahan baku beku tanpa hasil samping positif terlapor. Tipologi bersifat empiris untuk dataset analitik dan bukan klasifikasi resmi industri.

2.3. Perhitungan data dan kriteria analisis

Volume bahan baku dan produk utama distandardisasi ke ton, sedangkan hasil samping dianalisis dalam kilogram. Formula yang digunakan disajikan pada persamaan (1) sampai (7).

$$\text{Bahan baku (kg)} = \text{bahan baku (ton)} \times 1.000 \quad (1)$$

$$\text{Produk utama (kg)} = [\text{fillet (ton)} + \text{steak (ton)}] \times 1.000 \quad (2)$$

$$\text{Total hasil samping (kg)} = \text{kepala-tulang} + \text{kulit} + \text{tetelan} \quad (3)$$

$$\text{Rasio output utama terlapor (\%)} = \text{produk utama (kg)} / \text{bahan baku (kg)} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{Nilai penjualan kotor (Rp)} = \text{volume terjual (kg)} \times \text{harga jual (Rp/kg)} \quad (5)$$

$$\text{Harga rata-rata tertimbang (Rp/kg)} = \frac{\text{total nilai penjualan}}{\text{total volume terjual}} \quad (6)$$

$$\text{CRk (\%)} = \frac{\text{jumlah pangsa k UPI terbesar}}{\text{HHI}}; \text{HHI} = \sum (s_i^2) \quad (7)$$

Analisis rasio hanya dilakukan pada 39 observasi UPI-bulan yang mempunyai bahan baku positif dan produk utama pada bulan yang sama. Harga tertimbang setiap golongan hasil samping dihitung dari total nilai dibagi total volume terjual. Nilai penjualan kotor tidak diperlakukan sebagai laba atau nilai tambah bersih karena data biaya tenaga kerja, energi, kemasan, penyimpanan, transportasi, penyusutan, pajak, dan modal tidak tersedia. Untuk menilai konsentrasi secara sebanding, total nilai masing-masing UPI dibagi jumlah kombinasi tahun-bulan yang mencatat penjualan hasil samping. Indikator yang digunakan adalah concentration ratio satu UPI terbesar (CR1), tiga UPI terbesar (CR3), dan Herfindahl-Hirschman Index (HHI).

2.4. Analisis statistik

Statistik deskriptif meliputi frekuensi, proporsi, median, kuartil, minimum, maksimum, harga tertimbang, CR1, CR3, dan HHI. Hubungan antara kelompok bahan baku (ikan utuh/segar versus beku) dan kemunculan hasil samping positif diuji dengan uji eksak Fisher dua sisi. Pada tabel kontingensi 2×2 dengan margin tetap, uji ini menghitung probabilitas eksak tabel yang diamati dan tabel yang sama atau lebih ekstrem di bawah hipotesis nol melalui distribusi hipergeometrik (Fisher, 1922). Uji dipilih karena jumlah

UPI hanya 12 dan terdapat sel bernilai nol, sehingga pendekatan chi-square asimtotik tidak memadai. Taraf signifikansi ditetapkan 5%.

Analisis lokasi dibatasi pada ketersediaan variabel. Dataset mencatat alamat dan koordinat UPI, tetapi tidak mencatat alamat atau koordinat pembudi daya pemasok, skor mutu objektif, suhu, waktu angkut, maupun hasil uji sensorik dan mikrobiologi per sumber. Oleh karena itu, korelasi jarak pembudi daya–UPI dan pengaruh lokasi budidaya terhadap mutu tidak dihitung. Arus pasokan antarprovinsi yang berasal dari lembar distributor dikeluarkan karena tidak merepresentasikan pasokan bahan baku ke UPI pengolah.

3. Hasil

3.1. Karakteristik unit pengolahan dan cakupan data

Dataset analitik terdiri atas 12 UPI di tujuh provinsi: Lampung, DI Yogyakarta, Jawa Timur, Sumatera Utara, Riau, Kalimantan Barat, dan DKI Jakarta. Sembilan UPI (75,0%) menerima ikan hidup, segar, atau mati segar, sedangkan tiga UPI (25,0%) menerima bahan baku beku. Tujuh UPI hanya membeli langsung dari pembudi daya, satu menggabungkan pembelian langsung dengan kemitraan, dua berbasis kemitraan, dan dua menggunakan pengepul. Tidak ada distributor murni yang dihitung sebagai UPI. Karakteristik dan cakupan observasi setiap UPI disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik dan cakupan observasi 12 UPI pengolah ikan patin siam.

Table 1. Characteristics and observation coverage of 12 Siamese pangasius processing units.

Kode	Provinsi	Bahan baku	Sumber utama	Produk utama	Pembeli utama teramati	Hasil samping	Pasangan input-output (n)
UPI-01	Lampung	Mati segar	Pembudi daya langsung	Fillet	HOREKA	Komersial	1
UPI-02	DI Yogyakarta	Segar	Pengepul	Fillet + steak	HOREKA	Nonkomersial	12
UPI-03	Jawa Timur	Utuh segar/hidup	Pembudi daya langsung	Fillet + steak	Distributor/agen	Komersial	1
UPI-04	Jawa Timur	Segar	Pembudi daya langsung	Fillet	Distributor/agen	Nonkomersial	6
UPI-05	Jawa Timur	Segar	Pembudi daya langsung	Fillet	Distributor/agen	Nonkomersial	6
UPI-06	Sumatera Utara	Hidup	Pembudi daya + kemitraan	Fillet	Distributor/agen	Komersial	2
UPI-07	Riau	Hidup	Pembudi daya langsung	Fillet	Distributor/agen	Komersial	0
UPI-08	Kalimantan Barat	Beku	Kemitraan	Fillet	Distributor/agen	Tidak positif	1
UPI-09	Kalimantan Barat	Beku	Kemitraan	Fillet	Pasar modern	Tidak positif	1
UPI-10	DKI Jakarta	Beku	Pengepul	Fillet	Pasar modern	Tidak positif	6
UPI-11	Jawa Timur	Mati segar	Pembudi daya langsung	Fillet	Pasar modern	Nonkomersial	1
UPI-12	Jawa Timur	Hidup	Pembudi daya langsung	Fillet	Distributor/pasar modern	Komersial	2

Keterangan: n pasangan adalah jumlah UPI-bulan dengan input dan produk utama pada bulan yang sama. Satu fasilitas yang tercatat dua kali pada alamat yang sama dikonsolidasikan; bentuk bahan bakunya tetap masuk kelompok ikan utuh/segar.

Sepuluh UPI (83,3%) hanya menghasilkan fillet, sedangkan dua UPI (16,7%) juga mencatat steak atau potongan. Pembeli produk utama didominasi transaksi antarbisnis, terutama distributor atau agen, HOREKA, dan pasar modern. Data transaksi tidak cukup seragam untuk menghitung pangsa volume setiap saluran; karena itu, pembeli hanya dipakai sebagai karakteristik rantai pemasaran, bukan untuk membandingkan harga UPI dengan distributor.

Cakupan data bulanan berbeda nyata antar-UPI. Dari 40 catatan input dan 41 catatan produk utama, hanya 39 yang dapat dipasangkan pada UPI dan bulan yang sama. Dua catatan produk berada pada bulan yang tidak mempunyai input yang sepadan, sedangkan satu catatan input tidak mempunyai produk pada bulan yang sama.

3.2. Mutu dan kriteria penolakan bahan baku

Seluruh 12 UPI menetapkan respons terhadap bahan baku yang tidak sesuai: sembilan menyatakan melakukan penolakan dan tiga menyatakan keputusan bergantung pada tingkat penyimpangan mutu. Frekuensi faktor potongan harga atau penolakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Frekuensi faktor potongan harga atau penolakan bahan baku pada 12 UPI.

Table 2. Frequency of price-discount or raw-material rejection factors at 12 FPU.

Faktor	UPI (n)	Proporsi (%)	Kelompok
Warna/kondisi kurang baik	7	58,3	Sensorik/fisik
Ikan mati/rusak	6	50,0	Kondisi fisik
Tekstur tidak sesuai	4	33,3	Sensorik
Ukuran tidak sesuai	3	25,0	Ukuran
Ukuran tidak seragam	3	25,0	Ukuran
Bau lumpur	3	25,0	Sensorik
Luka fisik	1	8,3	Fisik
Spesifikasi BL/NBL	1	8,3	Spesifikasi produk

Keterangan: jawaban bersifat multirespons sehingga persentase tidak dijumlahkan menjadi 100%.

Faktor yang paling sering disebut adalah warna atau kondisi kurang baik pada tujuh UPI (58,3%), ikan mati atau rusak pada enam UPI (50,0%), dan tekstur tidak sesuai pada empat UPI (33,3%). Sebanyak enam UPI menyatakan memberi potongan harga ketika mutu bahan baku tidak memenuhi spesifikasi, sedangkan enam lainnya tidak. Dataset tidak mencatat volume yang ditolak, besarnya potongan, atau hasil pengujian mutu objektif; oleh sebab itu frekuensi jawaban tidak diubah menjadi nilai kerugian ekonomi.

3.3. Bentuk bahan baku dan kemunculan hasil samping

Lima UPI ikan utuh/segar mengomersialkan hasil samping (tipologi A, 41,7%), empat UPI ikan utuh/segar hanya memanfaatkannya secara nonkomersial (tipologi B, 33,3%), dan tiga UPI berbahan baku beku tidak mencatat hasil samping positif (tipologi C, 25,0%). Hubungan antara kelompok bahan baku dan kemunculan hasil samping positif disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hubungan kelompok bahan baku dan pelaporan hasil samping positif pada tingkat UPI.

Table 3. Association between raw-material group and positive side-stream reporting at FPU level.

Kelompok bahan baku	Hasil samping positif	Tidak positif	Total
Ikan utuh/segar	9	0	9
Bahan baku beku	0	3	3
Total	9	3	12

Keterangan: uji eksak Fisher dua sisi $p = 0,005$. Odds ratio tidak terestimasi secara terbatas karena terdapat dua sel bernilai nol.

Semua sembilan UPI yang menerima ikan utuh/segar melaporkan sedikitnya satu hasil samping positif, sedangkan tidak satu pun dari tiga UPI berbahan baku beku melaporkannya.

3.4. Volume, harga, dan nilai komersial hasil samping

Lima UPI mencatat penjualan hasil samping dengan volume dan harga yang dapat dihitung. Total volume komersial mencapai 206.124,2 kg dengan nilai penjualan kotor Rp1.768.798.520. Kepala-tulang mendominasi volume sebanyak 125.586,2 kg (60,9%), sedangkan tetelan memberikan kontribusi nilai terbesar sebesar Rp789.393.200 (44,6%). Rincian volume, harga, dan nilai disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Volume, harga, dan nilai penjualan kotor hasil samping terlapor.

Table 4. Volume, price, and gross sales value of reported side streams.

Hasil samping	Volume (kg)	Pangsa volume (%)	Obs. harga-volume	Median harga (Rp/kg)	Rentang harga (Rp/kg)	Harga tertimbang (Rp/kg)	Nilai kotor (Rp)	Pangsa nilai (%)
Kepala-tulang	125.586,2	60,9	6	4.000	1.000–5.000	4.801	602.931.720	34,1
Kulit	27.588,4	13,4	7	11.000	1.500–15.000	13.646	376.473.600	21,3
Tetelan	52.949,6	25,7	6	15.000	7.000–16.000	14.908	789.393.200	44,6
Total	206.124,2	100,0	19	-	-	8.581*	1.768.798.520	100,0

Keterangan: *harga tertimbang gabungan seluruh hasil samping adalah Rp8.581/kg. Nilai merupakan penjualan kotor dan tidak memperhitungkan biaya produksi, penyimpanan, pengangkutan, pajak, atau modal.

Harga tertimbang kepala-tulang adalah Rp4.801/kg dengan median Rp4.000/kg, kulit Rp13.646/kg dengan median Rp11.000/kg, dan tetelan Rp14.908/kg dengan median Rp15.000/kg. Nilai-nilai tersebut merupakan harga bahan hasil samping terlapor, bukan harga produk kolagen, gelatin, hidrolisat, atau produk akhir lainnya. Volume hasil samping positif yang dimanfaatkan secara nonkomersial mencapai 1.608,1 kg; 10,1 kg digunakan untuk pakan, 2 kg diolah sendiri, dan 1.596 kg diberikan kepada pihak lain. Beberapa unit menyatakan membuang hasil samping, tetapi volume yang tercatat nol sehingga jumlah pembuangan tidak dapat dihitung.

3.5. Konsentrasi komersialisasi hasil samping

Setelah nilai setiap UPI dibagi jumlah kombinasi tahun-bulan penjualan yang teramati, total rata-rata nilai bulanan lima UPI komersial mencapai Rp524.890.345. UPI terbesar menyumbang 73,1%, UPI kedua 17,8%, dan UPI ketiga 7,3%. Dua UPI lainnya masing-masing menyumbang 1,8% dan kurang dari 0,1%. CR3 mencapai 98,2% dan HHI sebesar 0,571 (Tabel 5).

Tabel 5. Konsentrasi nilai hasil samping setelah normalisasi per bulan penjualan teramati.

Table 5. Side-stream value concentration after normalisation per observed sales month.

Kode UPI	Bulan penjualan teramati	Rata-rata nilai/bulan (Rp)	Pangsa (%)
UPI-12	4	383.560.875	73,1
UPI-06	2	93.225.000	17,8
UPI-01	1	38.500.000	7,3
UPI-03	1	9.603.920	1,8
UPI-07	2	550	< 0,1
Total	-	524.890.345	100,0

Keterangan: CR1 = 73,1%; CR3 = 98,2%; HHI = 0,571. Indikator bersifat deskriptif untuk dataset analitik dan bukan ukuran struktur pasar nasional.

4. Pembahasan

Struktur hilirisasi patin siam pada 12 UPI terpilih masih berpusat pada fillet. Temuan ini sejalan dengan karakteristik industri patin global yang menjadikan fillet sebagai produk utama karena kemudahan standardisasi dan distribusi (Phan et al., 2009; De Silva & Phuong, 2011). Dominasi fillet membatasi diversifikasi produk utama, meskipun dua UPI telah menunjukkan kemungkinan diversifikasi awal. Data belum memisahkan biaya, margin, dan stabilitas permintaan setiap produk, sehingga jumlah jenis produk tidak dapat langsung diterjemahkan menjadi tingkat profitabilitas atau kedalaman hilirisasi.

Hubungan yang kuat antara bentuk bahan baku dan kemunculan hasil samping ($p = 0,005$) konsisten dengan logika material: kepala, tulang, kulit, dan tetelan muncul pada lokasi perubahan bentuk ikan utuh. Pada unit penerima bahan beku, pemisahan bagian kemungkinan telah dilakukan di fasilitas sebelumnya. Interpretasi tersebut tidak membuktikan bahwa pembekuan menyebabkan hilangnya hasil samping, melainkan menunjukkan perpindahan tahap pemisahan material ke hulu rantai pasokan. Temuan ini memperkuat kebutuhan untuk memetakan titik pemisahan material dan tidak mencampurkan fasilitas pengolahan dengan unit yang hanya memindahkan atau menjual kembali fillet beku.

Faktor penolakan yang paling sering dilaporkan — warna atau kondisi kurang baik, ikan mati atau rusak, dan tekstur tidak sesuai — mencerminkan tekanan pada manajemen rantai dingin dari sentra budidaya ke UPI. Keberadaan mekanisme potongan harga pada separuh UPI mengindikasikan bahwa ketidaksesuaian mutu telah memiliki respons pasar, meskipun bukan selalu berupa penolakan penuh. Praktik tersebut sejalan dengan arah regulasi

penerapan standar bahan baku pengolahan ikan (Kementerian Kelautan dan Perikanan [KKP], 2025b), meskipun penerapannya di tingkat UPI masih bertumpu pada penilaian sensorik. Namun, penelitian ini tidak membuktikan bahwa provinsi atau lokasi budidaya tertentu menghasilkan mutu lebih baik atau lebih buruk karena alamat pemasok dan pengukuran mutu objektif tidak tersedia. Skema kemitraan sebaiknya menghubungkan spesifikasi tersebut dengan prosedur panen, pemberokan, transportasi, inspeksi, dan insentif harga yang transparan.

Struktur volume dan nilai menunjukkan prioritas intervensi yang berbeda. Kepala-tulang menyumbang 60,9% volume tetapi hanya 34,1% nilai, sehingga kelayakannya sangat sensitif terhadap jarak angkut, frekuensi pengambilan, dan skala agregasi; pengolahan dekat sumber menjadi tepung, silase, atau hidrolisat dapat dipertimbangkan setelah volume dan pasar dikonfirmasi. Tetelan hanya 25,7% volume tetapi menyumbang 44,6% nilai karena masih mengandung fraksi daging dan mempunyai harga tertimbang tertinggi. Kulit patin mempunyai potensi teknologi tinggi untuk gelatin dan kolagen (Singh et al., 2011; Nurilmala et al., 2021, 2022, 2023), tetapi harga kulit mentah dalam dataset tidak dapat disamakan dengan nilai produk ekstraksi. Realisasi nilai tinggi tetap memerlukan pemisahan higienis, stabilitas pasokan, pengawetan, investasi proses, sertifikasi, dan pembeli industri.

Konsentrasi komersialisasi yang sangat tinggi — satu UPI menyumbang 73,1% nilai setelah normalisasi (HHI = 0,571) — memperlihatkan bahwa kemampuan menjual hasil samping belum menyebar merata. Pola tersebut berbeda dengan industri patin Vietnam yang telah mengintegrasikan pengolahan hasil samping secara sistemik (Hapsari, 2023). Konsentrasi dapat dipengaruhi oleh volume pengolahan, pemisahan material, mutu dan suhu hasil samping, jadwal pengambilan, jarak terhadap pembeli, serta kesinambungan kontrak. Dataset belum mengukur masing-masing faktor secara lengkap, sehingga penjelasan tersebut diposisikan sebagai mekanisme yang perlu diuji, bukan sebagai hasil kausal.

Pendekatan rantai nilai holistik menghubungkan pemasok, teknologi pemulihan, pengguna, dan standar produk (Cadena et al., 2024). Untuk patin Indonesia, agregator dapat mengumpulkan kulit atau kepala-tulang dari beberapa UPI, melakukan pra-pengolahan, menjaga suhu, dan memasok pengguna akhir. Kontrak pengambilan perlu menetapkan jenis material, kebersihan, kemasan, suhu, volume minimum, jadwal, dan pembayaran. Komersialisasi juga harus menjaga keamanan: material yang kembali ke rantai pangan memerlukan GMP, SSOP, HACCP, ketertelusuran, serta kontrol bahaya kimia dan mikrobiologi (Socas-Rodríguez et al., 2021). Jalur pangan, pakan, pupuk, atau penggunaan industri perlu dipisahkan sejak sumber agar klaim nilai sesuai dengan mutu aktual. Penilaian dampak lingkungan produk olahan perikanan juga menuntut batas sistem dan alokasi yang konsisten antara produk utama dan hasil samping (Ruiz-Salmón et al., 2021), sehingga pencatatan fraksi di tingkat UPI menjadi prasyarat evaluasi keberlanjutan.

Implikasi bagi kebijakan hilirisasi adalah perlunya bergerak dari pendekatan berbasis aset menuju pendekatan berbasis rantai material. Penyediaan mesin tidak cukup apabila bahan baku, mutu, volume hasil samping, pembeli, logistik, dan standar tidak terhubung. Evaluasi kebijakan sebaiknya memisahkan UPI yang melakukan perubahan bentuk dari distributor yang hanya memindahkan produk. Bagi UPI, prioritas pertama adalah pemisahan, pendinginan, dan pencatatan fraksi, bukan langsung investasi ekstraksi berteknologi tinggi. Bagi pemerintah daerah dan KKP, survei lanjutan perlu menambahkan identitas serta koordinat pemasok, jarak dan waktu angkut, suhu penerimaan, hasil uji bau lumpur, warna, tekstur, dan mikrobiologi, serta volume penolakan per batch.

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan. Dataset analitik mencakup seluruh catatan yang memenuhi kriteria, tetapi bukan sampel probabilitas dan tidak mewakili seluruh UPI patin Indonesia. Cakupan bulan tidak seimbang antar-UI dan satu fasilitas tercatat dua kali dengan sebagian variabel profil yang bertentangan. Lokasi pembudi daya tidak tersedia sehingga jarak pemasok–UPI dan pengaruh lokasi terhadap mutu tidak dapat diuji. Mutu hanya direkam sebagai kriteria penolakan multirespons

tanpa skor objektif, volume penolakan, atau hasil laboratorium. Bentuk bahan baku beku belum selalu dibedakan antara ikan utuh beku, fillet beku, dan produk setengah jadi. Data biaya tidak tersedia sehingga nilai yang disajikan merupakan penjualan kotor, bukan laba, profitabilitas, atau nilai tambah bersih. Lemak abdomen, viscera, darah, dan air proses belum dicatat secara konsisten (Nurbayasari et al., 2016), sehingga neraca material penelitian ini masih terbatas pada tiga golongan hasil samping.

5. Simpulan

Setelah distributor murni, unit praoperasional atau tidak sesuai spesies, unit tanpa persetujuan penggunaan data agregat, dan duplikasi fasilitas dikeluarkan, dataset analitik terdiri atas 12 UPI di tujuh provinsi. Struktur hilirisasi tetap berpusat pada fillet: sepuluh UPI (83,3%) hanya menghasilkan fillet dan dua UPI juga menghasilkan steak atau potongan. Seluruh sembilan UPI yang menerima ikan utuh/segar melaporkan hasil samping positif, sedangkan tiga UPI berbahan baku beku tidak melaporkannya (uji eksak Fisher dua sisi, $p = 0,005$). Lima UPI mengomersialkan hasil samping dengan total penjualan 206.124,2 kg dan nilai kotor Rp1,769 miliar; kepala-tulang mendominasi volume sedangkan tetelan mempunyai harga tertimbang tertinggi dan menyumbang 44,6% nilai. Komersialisasi sangat terkonsentrasi ($CR1 = 73,1\%$; $CR3 = 98,2\%$; $HHI = 0,571$). Faktor penolakan utama adalah warna atau kondisi kurang baik, ikan mati atau rusak, dan tekstur tidak sesuai, tetapi pengaruh lokasi pembudi daya terhadap mutu tidak dapat disimpulkan. Penguatan hilirisasi memerlukan standarisasi titik penimbangan, pemisahan bahan sejak sumber, ketertelusuran material, dan agregasi pasar antar-UI.

Konflik kepentingan (Competing interests)

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan yang relevan dengan artikel ini.

Sumber dana (Funding sources)

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

Ucapan terima kasih (Acknowledgements)

Tidak berlaku / Not applicable.

Kontribusi penulis (Authors' contributions)

C.P.A.: conceptualization, methodology, investigation, data curation, writing — original draft, writing — review & editing, project administration; B.S.: conceptualization, methodology, investigation, writing — review & editing, supervision; G.P.: investigation, data curation; T.H.R.: investigation, data curation; R.M.I.: investigation, data curation; M.Y.: investigation, data curation; U.K.: investigation, data curation; W.R.: investigation, data curation; S.W.: investigation, data curation; M.R.H.: investigation, formal analysis; F.D.S.: investigation, data curation. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi naskah yang diterbitkan.

Ketersediaan data (Availability of data and materials)

Data agregat yang mendukung temuan penelitian ini tersedia dari penulis korespondensi berdasarkan permintaan yang wajar, dengan tetap melindungi identitas UPI dan responden.

Persetujuan etik (Ethics approval and consent to participate)

Penelitian ini menggunakan data usaha yang dikumpulkan dengan persetujuan tertulis dari unit pengolahan yang berpartisipasi. Penggunaan data agregat anonim tidak memerlukan persetujuan komisi etik formal; seluruh prosedur pengumpulan data mengikuti prinsip kerahasiaan dan perlindungan identitas responden sesuai pedoman kelembagaan.

ORCID

Catur Pramono Adi: <https://orcid.org/0009-0007-7554-4896>

Daftar Pustaka

Ahuja, I., Dauksas, E., Remme, J. F., Richardsen, R., & Løes, A. K. (2020). Fish and fish waste-based fertilizers in organic farming—With status in Norway: A review. *Waste*

- Management, 115, 95–112.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.025>
- Bosma, R. H., Anh, P. T., & Potting, J. (2011). Life cycle assessment of intensive striped catfish farming in the Mekong Delta for screening hotspots as input to environmental policy and research agenda. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16(9), 903–915.
<https://doi.org/10.1007/s11367-011-0324-4>
- Cadena, E., Kocak, O., Dewulf, J., Iñarra, B., Bald, C., Gutierrez, M., San Martin, D., Ibarruri, J., Sørensen, A.-D. M., Hyldig, G., Abdollahi, M., Undeland, I., Forghani, B., Wu, H., Bruggeman, G., & Jacobsen, C. (2024). Valorisation of seafood side-streams through the design of new holistic value chains: WaSeaBi project. *Sustainability*, 16(5), 1846.
<https://doi.org/10.3390/su16051846>
- Coppola, D., Lauritano, C., Palma Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C., & de Pascale, D. (2021). Fish waste: From problem to valuable resource. *Marine Drugs*, 19(2), 116.
<https://doi.org/10.3390/md19020116>
- De Silva, S. S., & Phuong, N. T. (2011). Striped catfish farming in the Mekong Delta, Vietnam: A tumultuous path to a global success. *Reviews in Aquaculture*, 3(2), 45–73.
<https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2011.01046.x>
- Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya, KKP. (2025). *Rencana strategis Direktorat Jenderal Perikanan Budi Daya tahun 2025–2029*. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Fisher, R. A. (1922). On the interpretation of chi-square from contingency tables, and the calculation of P. *Journal of the Royal Statistical Society*, 85(1), 87–94.
<https://doi.org/10.1111/j.2397-2335.1922.tb00768.x>
- Food and Agriculture Organization. (2024). *The state of world fisheries and aquaculture 2024: Blue transformation in action*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Hapsari, N. A. (2023, 21 Juli). Peluang dan tantangan industri patin Indonesia (Part 2): Belajar dari Vietnam. *All Fish News — Aquaculture and Seafood Insight*.
- Hastarini, E., Fardiaz, D., Irianto, H. E., & Budhijanto, S. (2012). Karakteristik minyak ikan dari limbah pengolahan filet ikan patin siam (*Pangasius hypophthalmus*) dan patin jambal (*Pangasius djambal*). *agriTECH*, 32(4), 403–410.
<https://doi.org/10.22146/agritech.9584>
- Honrado, A., Miguel, M., Ardila, P., Beltrán, J. A., & Calanche, J. B. (2024). From waste to value: Fish protein hydrolysates as a technological and functional ingredient in human nutrition. *Foods*, 13(19), 3120.
<https://doi.org/10.3390/foods13193120>
- Ikbali, I., Riza, S., Gevisonier, Syah, S. U., Ilham, A. M., & Mastina, T. (2023). Pemanfaatan limbah industri pengolahan ikan patin (*Pangasius* sp.) di Kabupaten Kampar. *Jurnal Kebijakan Pembangunan dan Inovasi*, 6(1), 1–12.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2025a). *KKP optimalkan serapan cat fish dengan pertemuan asosiasi hulu–hilir*. KKP.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2025b). *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2025 tentang penerapan standar bahan baku pengolahan ikan*. JDIH KKP.
- Kvangarsnes, K., Dauksas, E., Tolstorebrov, I., Rustad, T., Bartolomei, M., Xu, R., Lammi, C., & Cropotova, J. (2023). Physicochemical and functional properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) hydrolysate. *Heliyon*, 9, e17979.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17979>
- Nguyen, H. T., Bao, H. N. D., Dang, H. T. T., Tómasson, T., Arason, S., & Guðjónsdóttir, M. (2022). Protein characteristics and bioactivity of fish protein hydrolysates from Tra catfish (*Pangasius hypophthalmus*) side stream isolates. *Foods*, 11(24), 4102. <https://doi.org/10.3390/foods11244102>
- Nurbayasari, R., Utomo, B. S. B., Basmal, J., & Hastarini, E. (2016). Pemurnian minyak ikan patin dari hasil samping pengasapan ikan. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 11(2), 171–182.
<https://doi.org/10.15578/jpbkp.v11i2.224>
- Nurilmala, M., Darmawan, N., Putri, E. A. W., Jacoeb, A. M., & Irawadi, T. T. (2021). Pangasius fish skin and swim bladder as gelatin sources for hard capsule material. *International Journal of Biomaterials*, 2021, 6658002.
<https://doi.org/10.1155/2021/6658002>
- Nurilmala, M., Suryamarevita, H., Hizbullah, H. H., Jacoeb, A. M., & Ochiai, Y. (2022). Fish skin as a biomaterial for halal collagen and gelatin. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(2), 1100–1110. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.09.056>
- Nurilmala, M., Sriwahyuni, D., Nugraha, R., Kartika, V. R., Darmawan, N., Putri, E. A. W., Pranata, A. W., & Ochiai, Y. (2023). Response surface methodology for optimization of gelatin extraction from pangasius fish skin and its utilization for hard capsules. *Arabian Journal of Chemistry*, 16, 104938.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104938>
- Panjaitan, F. C. A., Utari, S. S. D., Kartiana, A., & Putri, A. D. (2024). Penerapan sanitasi, mutu bahan baku dan rendemen pengolahan filet ikan patin (*Pangasius* sp.). *Buletin Jalandidhitah Sarva Jivitam*, 6(1), 35–46.
<https://doi.org/10.15578/bjsj.v6i1.13865>
- Phan, L. T., Bui, T. M., Nguyen, T. T. T., Gooley, G. J., Ingram, B. A., Nguyen, H. V., Nguyen, P. T., & De Silva, S. S. (2009). Current status of farming practices of striped catfish, *Pangasianodon hypophthalmus*, in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture*, 296(3–4), 227–236.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.08.017>
- Quynh, N. D., Khoi, N. V., Thuy, L. T. M., & Muoi, N. V. (2023). Effect of temperature and time on fat recovery from the by-products of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) using organic solvents. *AACL Bioflux*, 16(5), 2409–2418.
- Remme, J. F., Korsnes, S., Steen, S., Durand, R., Kvangarsnes, K., & Stangeland, J. (2023). The effects of enzymes, species, and storage of raw material on physicochemical properties of protein hydrolysates from whitefish heads. *Marine Drugs*, 21(11), 587. <https://doi.org/10.3390/md21110587>
- Ruiz-Salmón, I., Laso, J., Margallo, M., Villanueva-Rey, P., Rodríguez, E., Quinteiro, P., Dias, A. C., Almeida, C., Nunes, M. L., & Marques, A. (2021). Life cycle assessment of fish and seafood processed products—A review of methodologies and new challenges. *Science of the Total Environment*, 761, 144094. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144094>
- Singh, P., Benjakul, S., Maqsood, S., & Kishimura, H. (2011). Isolation and characterisation of collagen extracted from the skin of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*). *Food Chemistry*, 124(1), 97–105.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.111>
- Singh, S., Negi, T., Sagar, N. A., Kumar, Y., Tarafdar, A., Sirohi, R., Sindhu, R., & Pandey, A. (2022). Sustainable processes for treatment and management of seafood solid waste. *Science of the Total Environment*, 817, 152951.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152951>
- Socas-Rodríguez, B., Álvarez-Rivera, G., Valdés, A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2021). Food by-products and food wastes: Are they safe enough for their valorization? *Trends in Food Science & Technology*, 114, 133–147.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.002>
- Syahrlul, Dewita, Effendi, I., & Suwondo. (2023). The use of striped catfish (*Pangasianodon hypophthalmus*) abdominal fat as a raw material for highly nutritional fish oil. *AACL Bioflux*, 16(2), 979–988.
- Xia, F. L. W., Supri, S., Djamaludin, H., Nurdiani, R., Lim, L. S., Koh, W. Y., & Rovina, K. (2024). Turning waste into value: Extraction and effective valorization strategies of fish processing by-products. *Waste Management Bulletin*, 2(3), 84–100. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.06.008>