

## PENGARUH WAKTU PENYIMPANAN TERHADAP MUTU IKAN CAKALANG (*Katsuwonus pelamis L.*) ASAP YANG DIBERI PIGMEN FIKOERITRIN DARI ALGA *Halymenia durvillei*

*The Effect of Storage Time on The Quality of Smoked Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis L.*) Treated with Phycoeritrin Pigment from *Halymenia durvillei* Algae*

**Marselino Stevano Gerung<sup>1)\*</sup>, Desy Maria Helena Mantiri<sup>2)</sup>, Nurmeilita Taher<sup>3)</sup>, Netty Salindeho<sup>3)</sup>, Kurniati Kemer<sup>2)</sup>, Deiske Adeliene Sumilat<sup>2)</sup>, Nurfadillah Kadang<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Magister Ilmu Perairan, Program Pascasarjana, Universitas Sam Ratulangi

<sup>2)</sup>Program Studi Ilmu Kelautan, Jurusan Manajemen Sumberdaya Perairan,  
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi

<sup>3)</sup>Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Jurusan Pengolahan Hasil Perikanan,  
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi

\*Penulis koresponden: marselinogerung@yahoo.com

(Diterima 24-11-2025; Direvisi 08-12-2025; Dipublikasi 22-12-2025)

Smoked skipjack tuna (cakalang fufu) is a traditional fishery product from North Sulawesi with strong cultural and economic value. Typically, its natural color ranges from reddish to brownish. However, to enhance visual appeal, some producers add synthetic dyes, including Rhodamine-B, which poses potential health risks to consumers. This study aims to evaluate the potential of phycoerythrin pigment derived from the red alga *Halymenia durvillei* as a safe and functional natural colorant for smoked skipjack tuna, assessed through physicochemical, microbiological, and organoleptic characteristics during cold storage. The research employed a completely randomized design (CRD) with four treatment factors: phycoerythrin concentration, soaking duration, smoking temperature, and smoking duration. Parameters analyzed included moisture content, pH, Total Plate Count (TPC), and organoleptic attributes. Analyses were conducted on day 0 and day 7 of cold storage in vacuum packs. Results showed that moisture content decreased during storage. pH values also declined but did not differ significantly among treatments. TPC tended to increase over storage time but remained far below the maximum allowable microbial limits. Organoleptic evaluation indicated that phycoerythrin addition significantly improved product appearance without reducing acceptance of aroma, taste, or texture. The best overall sensory performance was observed in treatments incorporating phycoerythrin pigment. This study demonstrates that phycoerythrin has strong potential as a safe and effective natural colorant for smoked skipjack tuna, enhancing visual quality while maintaining product stability during storage.

**Kata kunci:** moisture content, pH, phycoerythrin, smoked skipjack tuna, Total Plate Count (TPC)

Cakalang asap (cakalang *fufu*) merupakan produk perikanan tradisional khas Sulawesi Utara yang memiliki nilai budaya dan ekonomi tinggi. Pada umumnya warna yang dihasilkan dari produk *cafu* merah kecoklatan, untuk meningkatkan minat pembeli para pelaku usaha menggunakan pewarna sintetis. Salah satu pewarna sintetis yang digunakan yaitu Rhodamin-B. Namun, praktik penambahan pewarna sintetis seperti Rhodamin-B untuk memperkuat warna produk berpotensi membahayakan kesehatan konsumen. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi pigmen fikoeritrin dari alga merah *Halymenia durvillei* sebagai pewarna alami fungsional pada cakalang asap ditinjau dari karakteristik fisikokimia, mikrobiologis, dan organoleptik selama penyimpanan dingin. Metode penelitian menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan yaitu konsentrasi pigmen fikoeritrin, lama perendaman, suhu pengasapan, dan lama pengasapan. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air, derajat kesamaan (pH), Angka Lempeng Total (ALT), serta uji organoleptik. Pengujian dilakukan pada hari ke-0 dan hari ke-7 penyimpanan suhu dingin dalam kemasan vakum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air mengalami penurunan selama penyimpanan. Nilai pH mengalami penurunan namun tidak menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. ALT menunjukkan kecenderungan meningkat selama penyimpanan, tetapi masih berada jauh di bawah batas maksimum cemaran mikroba yang ditetapkan. Uji organoleptik menunjukkan bahwa penambahan pigmen fikoeritrin meningkatkan kenampakan produk secara signifikan tanpa menurunkan tingkat penerimaan terhadap aroma, rasa, dan tekstur. Kombinasi penambahan pigmen fikoeritrin terhadap cakalang asap menunjukkan hasil terbaik berdasarkan penilaian sensori baik. Penelitian ini, penambahan pigmen fikoeritrin berpotensi digunakan sebagai pewarna alami yang aman dan efektif pada cakalang asap serta mampu meningkatkan mutu visual dan mempertahankan stabilitas kualitas selama penyimpanan.

**Kata kunci:** angka lempeng total (ALT), cakalang asap, derajat kesamaan (pH), fikoeritrin, kadar air

## PENDAHULUAN

Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis* L.) asap di Sulawesi Utara (Sulut) lebih dikenal dengan istilah cakalang *fufu* (*cafū*), dimana kata *fufu* dalam bahasa suku Minahasa mempunyai arti “diasapi”. Pada tahun 2019 produk *cafū* melalui Pemerintah Sulut telah ditetapkan sebagai Warisan Budaya Takbenda (WBTb) oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Suprihati, 2023), karena itu *cafū* dianggap sebagai *exotic indigenous food* yang berarti makanan tradisional khas daerah dari Sulut. Salah satu yang menjadi daya tarik konsumen dari *Cafū* adalah warna coklat-kemerahan yang disebabkan dari proses pengasapan. Selama proses pengasapan berlangsung, terjadi perubahan struktur kimia dari pewarna alami (pigmen) *myoglobin* dan *hemoglobin* di dalam jaringan otot ikan (Suwetja & Mentang, 2018). Namun tetap saja warna yang dihasilkan lebih cenderung kecoklatan. Oleh karena itu untuk meningkatkan warna menjadi lebih kemerahan banyak pelaku usaha menggunakan tambahan pewarna sintetik pada ikan yang kualitas kurang segar tujuanya untuk memikat minat konsumen terhadap produk *cafū*. Sedangkan pada ikan berkualitas baik akan terbentuk warna alami coklat kemerahan yang disebut *Maillard reaction*. Pada tahun 2011 ditemukan kandungan Rhodamin-B pada produk *cafū* yang dijual dari beberapa pasar di Kota Manado (Dianti & Yudistira, 2011). Rhodamin-B adalah pewarna sintetis tekstil, dan dilarang penggunaannya dalam produk makanan yang dituangkan sesuai dengan peraturan Undang-Undang (UU) Republik Indonesia (RI) Nomor 18 Tahun 2012.

Di sisi lain terdapat pigmen fikoeritrin yang merupakan pigmen berwarna merah terang termasuk dalam fikobiliprotein. Pigmen fikoeritrin dapat diekstrak dari alga merah *Halymenia durvillei* (Tumalun *et al.*, 2022; Mantiri *et al.*, 2021), pigmen ini tidak bersifat toksik sehingga aman untuk dikonsumsi (Mantiri *et al.*, 2024). Selain itu, pigmen ini mempunyai aktivitas antioksidan dan antimikroba (Nowruzi *et al.*, 2024; Mantiri *et al.*, 2021), sehingga dapat dikatakan pigmen fikoeritrin potensial untuk digunakan sebagai pewarna alami berbasis dari laut yang aman digunakan. Oleh karena itu, dilakukan penelitian dengan penambahan pewarna alami fikoeritrin pada ikan dengan kualitas kurang baik dalam proses *cafū* sebagai alternatif pewarna alami fungsional yang diekstrak dari alga *H. durvillei*.

## MATERIAL DAN METODE

### Material

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah ikan cakalang yang dibeli dari tempat pelelangan ikan (TPI) Tumumpa, Kecamatan Tumiting, Kota Manado, Sulawesi Utara dan alga *H. durvillei* sebagai sumber pigmen fikoeritrin diambil dari perairan laut Makalisung, Kecamatan Kombi, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Bahan pendukung antara lain air, aquades, *plate count agar* (PCA), kertas Whatman No 41, es balok, sabut dan tempurung kelapa. Sedangkan alat yang digunakan adalah tungku pengasapan, pisau, telenan, timbangan, termometer, lemari es, wadah, cawan petri, desikator, pH meter, oven, homogenizer.

### Metode Penelitian

Pada pembuatan ikan cakalang asap dengan penambahan pigmen fikoeritrin menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktor tunggal/sederhana dengan empat (4) perlakuan, yaitu konsentrasi pigmen (K), lama perendaman (L), suhu pengasapan (S), dan lama pengasapan (P). Pada rancangan penelitian di konsentrasi pigmen fikoeritrin 0% kombinasi 1 menggunakan suhu pengasapan 80°C dan waktu pengasapan 120 menit (K0L1S1P1) dan kombinasi 2 menggunakan suhu pengasapan 120°C dan lama pengasapan 180 menit (K0L1S2P2). Pada konsentrasi pigmen fikoeritrin 50% kombinasi 1 menggunakan lama perendaman 30 menit, suhu pengasapan 80°C dan lama pengasapan 120 menit (K1L2S1P1), kombinasi 2 menggunakan lama perendaman 30 menit, suhu pengasapan 80°C dan lama pengasapan 180 menit (K1L2S1P2), kombinasi 3 menggunakan lama perendaman 60 menit, suhu pengasapan 120°C dan lama pengasapan 120 menit (K1L3S2P1), kombinasi 4 menggunakan lama perendaman 60 menit, suhu pengasapan 120°C dan lama pengasapan 180 menit (K1L3S2P2). Pada konsentrasi pigmen fikoeritrin 80% kombinasi 1 menggunakan lama perendaman 30 menit, suhu pengasapan 80°C dan lama pengasapan 120 menit (K2L2S1P1), kombinasi 2 menggunakan lama perendaman 30 menit, suhu pengasapan 80°C dan lama pengasapan 180 menit (K2L2S1P2), kombinasi 3 menggunakan lama perendaman 60 menit, suhu pengasapan 120°C dan lama pengasapan 120 menit (K2L3S2P1), dan kombinasi 4 menggunakan lama perendaman 60 menit, suhu pengasapan 120°C dan

lama pengasapan 180 menit (K2L3S2P2). Total semua kombinasi yaitu sebanyak 10 kombinasi, di setiap kombinasi dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali ulangan sehingga total satuan percobaan yaitu sebanyak 30. Perlakuan waktu pengasapan dan suhu mengikuti penelitian Husen (2018), sedangkan penggunaan konsentrasi pigmen fikoeritrin sesuai hasil pra-penelitian. Pengamatan terhadap kombinasi perlakuan dilakukan pada waktu pengamatan 0 dan 7 hari.

### Prosedur Penelitian

Dimulai dengan proses ekstraksi pigmen fikoeritrin dari alga *H. durvillei* menggunakan prosedur penelitian telah dipatenkan Mantiri *et al.* (2025) dengan nomor paten IDS000009787 yaitu sebagai berikut: Sampel alga *H. durvillei* ditimbang seberat 500 g lalu dimasukan dalam wadah lalu ditambahkan aquades 500 mL kemudian ditutup rapat dan dimasukan ke dalam lemari es dengan suhu -9°C sampai -14 °C sampai membeku. Selanjutnya dicairkan pada suhu ruang, setelah mencair buka tutup wadah kemudian digunakan spatula untuk menghomogenkan cairan aquades dengan alga, setelahnya ditutup dan dibekukan kembali pada suhu yang sama. Hasil pembekuan diperoleh kemudian dicairkan kembali lalu pisahkan alga dengan pigmen. Pigmen yang diperoleh disaring menggunakan kain kasa dan kapas, disaring kembali menggunakan kertas Whatman no. 41. Tujuan dari penyaringan untuk mendapatkan pigmen yang jernih, bebas dari partikel-partikel lainnya.

Prosedur pembuatan *cafū* mengikuti penelitian Dotulong *et al.* (2018); Utami *et al.* (2019); Salindeho, (2017) yang dimodifikasi. Berikut adalah langkah-langkah dalam pembuatan *cafū* dengan penambahan pigmen fikoeritrin: Ikan cakalang segar dengan ukuran ± 1-2 kg per ekor dibersihkan dan dikeluarkan isi perut, insang, serta tulang, kemudian dibersihkan sisa darah dengan air mengalir. Sebelum diasapi, ikan dibelah menjadi empat bagian (*fillet*), kemudian direndam ke dalam konsentrasi pigmen fikoeritrin 50% dan 80% selama 30 menit dan 60 menit. Setelah proses perendaman selesai, daging ditiriskan dan hasil perendaman diposisikan rak-rak pengasapan kemudian diasapi. Alat yang digunakan untuk pengasapan adalah tungku asap yang didesain sendiri berukuran persegi 40x40x100 cm dengan mempunyai 2 rak pengasapan. Proses pengasapan dengan suhu 80°C dan 120°C selama 120 menit dan 180 menit. Selama proses pengasapan dioleskan dengan pigmen fikoeritrin dengan interval 30 menit. Setelah itu diperoleh produk *cafū*, kemudian dikemas secara hampa udara dengan menggunakan mesin vakum lalu dilanjutkan pada pengujian produk.

### Pengujian Produk

#### Uji Kadar Air

Pengujian dilakukan menggunakan metode pengeringan menggunakan oven. Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui tingkat kekeringan dan daya simpan produk. Sampel *cafū* yang digunakan untuk diuji kadar air yaitu sampel pada penyimpanan hari ke 0 dan hari ke 7 selama penyimpanan dingin pada suhu 10°C. Prosedur pengujian ini yaitu memanaskan cawan kosong dalam oven pada suhu 105°C selama 30 menit, kemudian didinginkan dalam desikator selama 15 menit sebelum ditimbang untuk mendapatkan berat awal ( $W_0$ ). Selanjutnya, sebanyak 2gram sampel dimasukkan ke dalam cawan yang sudah diketahui beratnya, lalu ditimbang kembali ( $W_1$ ). Sampel kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 3 jam, didinginkan dalam desikator selama 15-30 menit, dan ditimbang bersama cawan. Proses pengeringan dilanjutkan selama 1 jam, diikuti dengan pendinginan dalam desikator dan penimbangan terakhir ( $W_2$ ). Kadar air dihitung menggunakan rumus  $(W_1-W_2 / W_1-W_0) \times 100\%$ .

#### Uji Derajat Keasaman (pH)

Pengujian dilakukan menggunakan metode potensiometri, yaitu pengukuran pH menggunakan pH meter. Sampel *cafū* yang digunakan untuk diuji pH yaitu pada penyimpanan hari ke 0 dan hari ke 7 selama penyimpanan dingin pada suhu 10°C. Prosedur metode ini yaitu mengambil sampel *cafū*, ditimbang sebanyak 5 gram, dihancurkan dengan menggunakan mortir dan ulekan, hingga menjadi adonan homogen. Tambahkan aquades ke dalam adonan dan aduk hingga homogen. Siapkan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan buffer pH 7. Celupkan elektrode pH meter ke dalam adonan sampel yang sudah homogen. Tunggu hingga nilai pH stabil dan nilai pH dicatat seperti yang tertera pada layar pH meter.

### Uji Angka Lempeng Total (ALT)

Pengujian dilakukan menggunakan metode hitung cawan. Sampel *cafu* yang digunakan untuk diuji ALT yaitu pada penyimpanan hari ke 0 dan hari ke 7 selama penyimpanan dingin pada suhu 10°C. Prosedur metode ini yaitu 25 gram daging cakalang asap diambil dengan cara aseptik. Masukkan ke dalam blender steril bersama 225 mL larutan pengencer (1:9). Dihomogenkan selama ±1 menit (pengenceran  $10^{-1}$ ). Ambil 1 mL dari homogenat ( $10^{-1}$ ), masukkan ke dalam 9 mL pengencer (pengenceran  $10^{-2}$ ). Dilanjutkan prosedur yang sama hingga pengenceran  $10^{-6}$ . Siapkan 2 cawan petri untuk setiap tingkat pengenceran. Ambil 1 mL dari masing-masing tingkat pengenceran lalu tuangkan ke tengah cawan petri. Tambahkan 15 mL media PCA steril yang masih cair (suhu 45 °C), lalu aduk perlahan dengan gerakan memutar agar merata. Biarkan media mengeras dan inkubasi cawan secara terbalik pada suhu 35–37°C selama 24–48 jam. Jumlah koloni bakteri yang tumbuh dihitung (CFU = *colony forming unit*) pada cawan yang memiliki koloni 25–250 CFU. Dihitung rata-rata dan dijumlahkan sesuai rumus:

$$Jumlah mikroba (CFU/g) = \frac{Jumlah koloni rata - rata \times faktor pengenceran}{Volume yang diinokulasikan} \times 100\%$$

### Uji Organoleptik (SNI 2725:2013)

Pengujian ini melibatkan 24 orang panelis terhadap tingkat kesukaan pada produk dengan menggunakan panduan *score sheet* skala 1-9 dengan parameter pengamatan yaitu kenampakan, bau, rasa, dan tekstur.

### Analisis Data

Data dalam penelitian ini dianalisis secara kuantitatif, yaitu dengan menggunakan data numerik untuk menguji hipotesis yang telah dirumuskan. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) dengan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antar perlakuan, dilanjutkan dengan uji Duncan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kadar Air

Kadar air merupakan karakteristik yang sangat berpengaruh terhadap bahan makanan, terutama terhadap penampakan, tekstur, dan citarasa makanan. Kadar air yang tinggi mengakibatkan bakteri, kapang dan khamir mudah tumbuh, sehingga akan terjadi perubahan pada bahan pangan (Winarno, 1996). Berikut ini adalah hasil analisis kadar air *cafu* dengan penambahan pigmen fikoeritrin pada suhu dingin penyimpanan 0 hari dan 7 hari.

Tabel 1. Hasil analisis kadar air *cafu* dengan dan tanpa penambahan pigmen fikoeritrin

Kode	Kombinasi	Nilai Kadar air	
		Rataan 0 hari	Rataan 7 hari
1	K0L1S1P1	57.04 ± 2.57 <sup>a</sup>	54.58 ± 2.62 <sup>a</sup>
2	K0L1S2P2	56.49 ± 7.50 <sup>a</sup>	56.49 ± 6.93 <sup>a</sup>
3	K1L2S1P1	60.17 ± 2.82 <sup>b</sup>	57.38 ± 3.01 <sup>b</sup>
4	K1L2S1P2	48.06 ± 3.36 <sup>b</sup>	45.81 ± 2.93 <sup>b</sup>
5	K1L3S2P1	45.12 ± 1.09 <sup>b</sup>	43.01 ± 1.13 <sup>b</sup>
6	K1L3S2P2	56.42 ± 2.94 <sup>b</sup>	54.17 ± 3.05 <sup>b</sup>
7	K2L2S1P1	55.44 ± 0.40 <sup>ab</sup>	52.85 ± 0.55 <sup>ab</sup>
8	K2L2S1P2	51.32 ± 2.50 <sup>ab</sup>	48.76 ± 2.38 <sup>ab</sup>
9	K2L3S2P1	54.59 ± 3.37 <sup>ab</sup>	52.04 ± 3.0 <sup>ab</sup>
10	K2L3S2P2	57.70 ± 5.16 <sup>ab</sup>	55.18 ± 4.59 <sup>ab</sup>

Keterangan: (a, b, c, dst) = Rerata yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan menurut uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ), sedangkan huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata.

Hasil ANOVA yang dilanjutkan dengan uji Duncan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nyata ( $P < 0,05$ ) kadar air pada hari ke-0 dan hari ke-7, di mana setiap kombinasi perlakuan konsentrasi pigmen fikoeritrin, lama perendaman, suhu, dan lama pengasapan memberikan pengaruh signifikan terhadap kadar air cakalang asap. Nilai kadar air pada hari ke-0 berkisar antara 45,12% hingga 60,17%, yang menggambarkan adanya variasi proses dehidrasi yang dipengaruhi oleh intensitas perlakuan pengasapan. Secara umum, kadar air tertinggi ditemukan pada perlakuan K1L2S1P1 ( $60,17 \pm 2,82\%$ ), sedangkan kadar air terendah terdapat pada K1L3S2P1 ( $45,12 \pm 1,10\%$ ). Sedangkan nilai kadar air pada hari ke-7 berkisar antara 43,01% hingga 58,05%, yang menunjukkan terjadinya penurunan kadar air jika dibandingkan dengan hari ke-0. Penurunan kadar air pada produk *cafū*, disebabkan karena adanya tekanan pada saat vakum berlangsung dan terlepasnya cairan dari jaringan ikan (*purge drip loss*) selama proses penyimpanan berlangsung sehingga kandungan air menurun (Fidalgo *et al.*, 2021; Zouharová *et al.*, 2023). Penelitian dilakukan oleh Mentang *et al.* (2022) pada produk pampis ikan asap yang disimpan dalam lemari pendingin dan dikemas secara vakum juga mengalami penurunan kadar air pada masa simpan berlangsung. Menurut Tapia *et al.* (2020), kadar air yang menurun berpengaruh positif terhadap mutu simpan produk karena menurunkan aktivitas air ( $A_w$ ) dan menghambat pertumbuhan mikroba pembusuk.

Perlakuan dengan suhu pengasapan rendah ( $80^\circ\text{C}$ ) dan durasi pengasapan pendek (120 menit) menghasilkan kadar air lebih tinggi. Kondisi ini disebabkan oleh rendahnya laju evaporasi air selama proses pemanasan, sehingga air yang terperangkap dalam jaringan daging ikan tidak keluar secara optimal. Hal ini sejalan dengan temuan Strzelczak *et al.* (2021); Yang *et al.* (2023) yang menjelaskan bahwa suhu pengolahan rendah mempertahankan kelembaban jaringan ikan karena proses denaturasi protein berlangsung lebih lambat. Dengan demikian, kombinasi perlakuan suhu rendah dan waktu pengasapan pendek secara signifikan menghambat penurunan kadar air.

Pada perlakuan kadar air terendah K1L3S2P1, kadar air menurun secara signifikan akibat suhu tinggi ( $120^\circ\text{C}$ ) yang mempercepat denaturasi protein miofibril dan sarkoplasma, sehingga ruang intramuskular menyempit dan air terdorong keluar. Cara kerja ini telah dijelaskan oleh Liu *et al.* (2025); Song *et al.* (2021), di mana pengolahan pada suhu tinggi menyebabkan kontraksi protein yang meningkatkan kehilangan air bebas (*moisture loss*). Lama perendaman 60 menit turut meningkatkan penetrasi pigmen dan komponen aktif lainnya, yang berpotensi menurunkan aktivitas air dan memfasilitasi dehidrasi lebih cepat saat proses pengasapan.

Faktor konsentrasi fikoeritrin juga memberikan kontribusi terhadap retensi air. Perlakuan dengan konsentrasi 50% dan 80% menunjukkan kecenderungan mempertahankan kadar air lebih tinggi dibanding kontrol. Hal ini diduga berkaitan dengan sifat hidrofilik protein pigmen fikoeritrin yang mampu berinteraksi dengan molekul air dan jaringan daging ikan, sehingga meningkatkan kemampuan *water-holding capacity*. Hal ini sejalan dengan temuan Dagnino-leone *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa *Phycobiliproteins* (PBPs) adalah protein yang larut dalam air yang stabil lewat interaksi non-kovalen antara subunit protein dan kromofor.

### Derajat Keasaman pH

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu parameter kimia yang berperan penting dalam menentukan mutu dan keamanan produk perikanan, termasuk cakalang asap. Nilai pH berpengaruh langsung terhadap stabilitas mikrobiologis, karakteristik sensori, serta proses perubahan kualitas selama penyimpanan (Jes *et al.*, 2024; Puke & Galoburda, 2020).

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa penambahan pigmen fikoeritrin pada berbagai konsentrasi, lama perendaman, suhu pengasapan, dan lama pengasapan tidak berpengaruh nyata ( $p > 0,05$ ) terhadap nilai pH cakalang asap, baik pada hari ke-0 dan hari ke-7 hari. Hal ini berarti bahwa variasi perlakuan tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap tingkat keasaman produk.

Berdasarkan hasil pengamatan yang disajikan pada Tabel 2, nilai pH cakalang asap berkisar antara 5,77 hingga 6,19 pada hari ke-0, dan mengalami sedikit penurunan menjadi 5,74 hingga 5,96 setelah penyimpanan selama 7 hari. Secara umum, nilai pH pada hari ke-7 sedikit lebih rendah dibandingkan dengan hari ke-0, namun penurunan tersebut tidak signifikan secara statistik.

Nilai pH awal yang berada pada kisaran 6,0 menunjukkan bahwa cakalang asap memiliki sifat yang relatif netral hingga sedikit asam. Berdasarkan beberapa penelitian, pH ikan asap umumnya berada pada rentang 5,5–6,5 tergantung pada jenis ikan dan metode pengasapan (Alinti *et al.*, 2018; Kaban *et al.*, 2019; Mailoa *et al.*, 2019). Penelitian Mentang *et al.* (2022) pada pampis ikan asap yang disimpan dalam

lemari pendingin yang dikemas vakum juga mengalami penurunan pada penyimpanan hari ke 9. Penurunan nilai pH selama penyimpanan disebabkan oleh proses biokimia dalam jaringan ikan terutama glikolisis *post-mortem* (akumulasi asam laktat), proteolisis enzimatik, dan aktivitas mikroba yang memfermentasi substrat menjadi asam organik sehingga pH menurun seiring waktu dan mempengaruhi mutu produk menjadi lebih baik (Duarte *et al.*, 2020; Lorenzo *et al.*, 2018).

Proses pengasapan menghasilkan senyawa fenolik dan formaldehida yang bersifat antimikroba dan antioksidan, sehingga mampu menekan penurunan pH yang drastis selama penyimpanan (Hadiwiyoto *et al.*, 2000; Hardianto & Yunianta, 2015). Selain itu, penambahan pigmen fikoeritrin yang memiliki sifat antioksidan kuat (Nowruzi *et al.*, 2024; Mantiri *et al.*, 2021) juga berperan dalam menjaga kestabilan pH dengan cara menghambat reaksi oksidasi lipid yang dapat menghasilkan asam lemak bebas.

Tabel 2. Hasil analisis pH *cafū* dengan dan tanpa penambahan pigmen fikoeritrin

Kode	Kombinasi	Nilai pH	
		Rataan 0 hari	Rataan 7 hari
1	K0L1S1P1	6.01 ± 0.53 <sup>a</sup>	5.74 ± 0.56 <sup>a</sup>
2	K0L1S2P2	5.80 ± 0.34 <sup>a</sup>	5.77 ± 0.29 <sup>a</sup>
3	K1L2S1P1	6.00 ± 0.36 <sup>a</sup>	5.80 ± 0.36 <sup>a</sup>
4	K1L2S1P2	6.02 ± 0.64 <sup>a</sup>	5.95 ± 0.78 <sup>a</sup>
5	K1L3S2P1	6.03 ± 0.60 <sup>a</sup>	5.86 ± 0.65 <sup>a</sup>
6	K1L3S2P2	6.01 ± 0.85 <sup>a</sup>	5.96 ± 0.78 <sup>a</sup>
7	K2L2S1P1	6.06 ± 0.74 <sup>a</sup>	5.96 ± 0.74 <sup>a</sup>
8	K2L2S1P2	6.06 ± 0.74 <sup>a</sup>	5.92 ± 0.75 <sup>a</sup>
9	K2L3S2P1	6.16 ± 0.58 <sup>a</sup>	5.80 ± 0.84 <sup>a</sup>
10	K2L3S2P2	6.19 ± 0.54 <sup>a</sup>	5.79 ± 0.40 <sup>a</sup>

Keterangan: (a, b, c, dst) = Rerata yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan menurut uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ), sedangkan huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata.

### Angka Lempeng Total

ALT merupakan parameter mikrobiologis penting yang menggambarkan jumlah total bakteri hidup dalam suatu produk pangan dan sering digunakan sebagai indikator awal mutu serta keamanan mikrobiologis (FAO, 1992; FSA, 2022).

Tabel 3. Hasil uji ALT *cafū* dengan dan tanpa penambahan pigmen fikoeritrin

Kode	Kombinasi	Nilai ALT	
		0 hari	7 hari
1	K0L1S1P1	1.4 x 10 <sup>2</sup>	1.8 x 10 <sup>2</sup>
2	K0L1S2P2	1.5 x 10 <sup>2</sup>	1.6 x 10 <sup>2</sup>
3	K1L2S1P1	1.4 x 10 <sup>2</sup>	1.7 x 10 <sup>2</sup>
4	K1L2S1P2	1.4 x 10 <sup>2</sup>	1.9 x 10 <sup>2</sup>
5	K1L3S2P1	1.5 x 10 <sup>2</sup>	2.1 x 10 <sup>2</sup>
6	K1L3S2P2	1.7 x 10 <sup>2</sup>	1.7 x 10 <sup>2</sup>
7	K2L2S1P1	1.5 x 10 <sup>2</sup>	1.5 x 10 <sup>2</sup>
8	K2L2S1P2	1.6 x 10 <sup>2</sup>	1.9 x 10 <sup>2</sup>
9	K2L3S2P1	1.5 x 10 <sup>2</sup>	1.6 x 10 <sup>2</sup>
10	K2L3S2P2	1.8 x 10 <sup>2</sup>	2.0 x 10 <sup>2</sup>

Berdasarkan hasil analisis ALT pada produk cakalang asap, terlihat adanya dinamika jumlah bakteri selama penyimpanan dari hari ke-0 hingga hari ke-7. Hampir seluruh perlakuan menunjukkan tren peningkatan nilai ALT setelah 7 hari penyimpanan, meskipun peningkatannya tergolong rendah dan masih dalam kisaran yang stabil. Nilai ALT pada hari ke-0 berada pada rentang  $1,4 \times 10^2$  hingga  $1,8 \times 10^2$  CFU/g, sedangkan pada hari ke-7 meningkat menjadi  $1,5 \times 10^2$  hingga  $2,1 \times 10^2$  CFU/g. Hal ini menunjukkan bahwa selama penyimpanan terjadi pertumbuhan bakteri, namun laju pertumbuhan tersebut tidak signifikan. Menariknya, beberapa kombinasi perlakuan menunjukkan stabilitas ALT, seperti pada K1L3S2P2 (nilai tetap  $1,7 \times 10^2$  CFU/g) dan K2L2S1P1 (tetap  $1,5 \times 10^2$  CFU/g). Hal ini mengindikasikan bahwa pada kombinasi tersebut memberikan efek penghambatan terhadap pertumbuhan mikroba. Pigmen fikoeritrin yang berasal dari alga merah diketahui memiliki sifat bioaktif, termasuk aktivitas antimikroba (Nowruzi *et al.*, 2024; Mantiri *et al.*, 2021) yang dapat memperlambat proliferasi bakteri pembusuk.

Sedangkan untuk nilai ALT tertinggi ditemukan pada perlakuan K1L3S2P1 di hari ke-7, yaitu  $2,1 \times 10^2$  CFU/g, yang meskipun meningkat, masih berada jauh di bawah batas maksimum cemaran mikroba untuk produk ikan olahan menurut standar mutu pangan ( $5.0 \times 10^5$  CFU/g). Ini menunjukkan bahwa seluruh perlakuan masih tergolong aman dan layak dikonsumsi secara mikrobiologis hingga hari ke-7 penyimpanan. Penelitian Mentang *et al.* (2022) pada produk pampis ikan asap yang disimpan dalam lemari pendingin yang dikemas vakum juga mengalami peningkatan ALT pada penyimpanan hari ke 0 yaitu sebesar  $6.7 \times 10^1$  CFU/g pada hari ke 6 meningkat menjadi  $2.1 \times 10^2$  CFU/g, dan pada penyimpanan hari ke 9 meningkat lagi menjadi  $2.6 \times 10^3$  CFU/g. Hasil ini memperlihatkan bahwa produk cakalang asap dengan penambahan pigmen fikoeritrin memiliki stabilitas mikrobiologis yang baik, dengan peningkatan ALT yang rendah dan terkendali selama penyimpanan.

### **Uji Organoleptik**

Uji organoleptik dilakukan untuk mengetahui tingkat kesukaan panelis terhadap cakalang asap yang dibuat dengan berbagai kombinasi perlakuan serta penambahan pigmen fikoeritrin sebagai pewarna alami. Hasil penelitian pada uji hendonik yang meliputi kenampakan, aroma, rasa, dan tekstur pada sampel cakalang asap dengan penambahan pigmen fikoeritrin dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai mean dan standar deviasi pada *cafū* dengan dan tanpa penambahan pigmen fikoeritrin

Kode Sampel	Kombinasi	Parameter			
		Kenampakan	Aroma	Rasa	Tekstur
1	K0L1S1P1	$5.6 \pm 1.82^{ab}$	$7.2 \pm 1.76^b$	$7.5 \pm 1.79^{de}$	$6.4 \pm 2.39^{bcd}$
2	K0L1S2P2	$6.3 \pm 1.63^{bc}$	$6.8 \pm 1.8^{ab}$	$6.8 \pm 2.04^{cde}$	$6.8 \pm 1.89^{cde}$
3	K1L2S1P1	$4.5 \pm 1.89^a$	$5.9 \pm 1.86^a$	$5.9 \pm 1.95^{bc}$	$5.7 \pm 2.33^{bc}$
4	K1L2S1P2	$5.8 \pm 2.19^{bc}$	$6.7 \pm 2.01^{ab}$	$6.9 \pm 1.72^{cde}$	$5.2 \pm 2.57^{ab}$
5	K1L3S2P1	$6.5 \pm 1.98^{bc}$	$6.9 \pm 1.72^{ab}$	$6.3 \pm 1.93^{bcd}$	$5.8 \pm 2.11^{bc}$
6	K1L3S2P2	$6.9 \pm 2.17^{c*}$	$6.7 \pm 1.83^{ab}$	$6 \pm 1.77^{bc}$	$5.3 \pm 1.89^{ab}$
7	K2L2S1P1	$6.5 \pm 2.3^{bc}$	$7.3 \pm 1.48^{b*}$	$6.8 \pm 2.76^{cde}$	$7.8 \pm 1.75^{e*}$
8	K2L2S1P2	$6 \pm 2.1^{bc}$	$7.1 \pm 2^{ab}$	$7.7 \pm 1.63^{e*}$	$7.4 \pm 1.67^{de}$
9	K2L3S2P1	$5.9 \pm 1.95^{bc}$	$6.3 \pm 2.01^{ab}$	$5.5 \pm 2.23^{ab}$	$5.5 \pm 2.78^{abc}$
10	K2L3S2P2	$5.6 \pm 2.47^{ab}$	$6.8 \pm 2.88^{ab}$	$4.7 \pm 2.68^a$	$4.3 \pm 2.63^a$

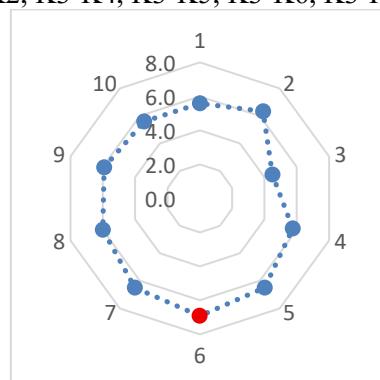
Keterangan:

1= amat sangat tidak suka; 2=sangat tidak suka; 3=tidak suka; 4=agak tidak suka; 5=netral; 6=agak suka; 7=suka; 8=sangat suka; 9=amat sangat suka. (a, b, c, dst) = Rerata yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan menurut uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf signifikansi 5% ( $\alpha = 0,05$ ), sedangkan huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata. (\*) = paling disukai.

Hasil analisis menggunakan SPSS uji ANOVA berdasarkan *Test of Between-Subject Effects* nilai signifikansi dari setiap parameter yaitu  $P < 0.05$ , setiap kombinasi pada sampel berbeda signifikan. Sehingga dilakukan uji lanjutan *Post Hoc Test* menggunakan Duncan.

### **Kenampakan**

Berdasarkan hasil uji Duncan pada parameter kenampakan diperoleh 3 kolom subset dinotasikan menjadi (<sup>a,b,c</sup>) yang berbeda, pada kombinasi sampel kode (K) K1-K2-K10 (3 kombinasi), K1-K10-K4-K9-K8-K2-K5-K7 (8 kombinasi), dan K2-K4-K5-K6-K7-K8-K9 (7 kombinasi) tidak berbeda signifikan ( $P > 0.05$ ) karena menempati kolom subset yang sama. Namun terdapat perbedaan signifikan ( $P < 0.05$ ) pada kombinasi sampel antara K3-K2, K3-K4, K3-K5, K3-K6, K3-K7, K3-K8, K3-K9 (7 kombinasi).



Gambar 1. Grafik visual parameter kenampakan

Nilai kenampakan berkisar antara 4.5–6.9, yang menunjukkan bahwa tingkat penerimaan panelis berada pada kategori netral hingga agak suka. Perlakuan K1L3S2P2 memperoleh nilai tertinggi yaitu  $6.9 \pm 2.17^*$ , sehingga dinyatakan sebagai perlakuan yang paling disukai untuk parameter kenampakan. Sementara itu, nilai terendah ditunjukkan oleh perlakuan K1L2S1P1 ( $4.5 \pm 1.89$ ), yang menandakan warna dianggap kurang menarik oleh panelis. Perbedaan ini juga menunjukkan bahwa komposisi konsentrasi pigmen, lama perendaman, suhu dan lama pengasapan berperan penting dalam pembentukan warna akhir produk. Penelitian yang dilakukan juga oleh Bulele *et al.* (2017) tingkat penerimaan panelis terhadap ikan cakalang asap yang direndam dalam ekstrak kulit manggis lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan dari segi kenampakan.

#### Aroma

Hasil uji Duncan pada parameter aroma diperoleh 2 kolom subset dinotasikan menjadi <sup>(a,b)</sup> yang berbeda, pada kombinasi sampel K3-K2-K4-K5-K6-K7-K8-K9-K10 (9 kombinasi), dan K1-K2-K4-K5-K6-K7-K8-K9-K10 (9 kombinasi) tidak berbeda signifikan ( $P > 0.05$ ) karena menempati kolom subset yang sama. Namun terdapat perbedaan signifikan ( $P < 0.05$ ) pada kombinasi sampel antara K3-K1 dan K3-K7 (2 kombinasi).

Penilaian aroma berada pada rentang 5.9–7.3, yang termasuk kategori agak suka hingga suka. Perlakuan K2L2S1P1 memiliki nilai aroma tertinggi yaitu  $7.3 \pm 1.48^*$  dan dinyatakan sebagai perlakuan paling disukai. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi perlakuan tersebut menghasilkan aroma asap yang lebih seimbang, tidak terlalu menyengat, serta mempertahankan aroma khas ikan cakalang. Penelitian yang dilakukan juga oleh Bulele *et al.* (2017) tingkat penerimaan panelis terhadap ikan cakalang asap yang direndam dalam ekstrak kulit manggis lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan dari segi aroma.



Gambar 2. Grafik visual parameter aroma

#### Rasa

Hasil uji Duncan pada parameter rasa diperoleh 5 kolom subset dinotasikan menjadi <sup>(a,b,c,d,e)</sup> yang berbeda, pada kombinasi sampel K10-K9 (2 kombinasi), K9-K6-K5-K3 (4 kombinasi), K2-K3-K4-K5-K6-K7 (6 kombinasi), K1-K2-K4-K5-K7 (5 kombinasi), dan K1-K2-K4-K7-K8 (5 kombinasi) tidak berbeda signifikan ( $P > 0.05$ ). Namun terdapat perbedaan signifikan ( $P < 0.05$ ) pada kombinasi sampel antara K10-K8, K10-K7, K10-K6, K10-K5, K10-K4, K10-K3, K10-K2, dan K10-K1.



Gambar 3. Grafik visual parameter rasa

Nilai rasa menunjukkan variasi yang cukup besar, yaitu antara 4.7–7.7. Nilai tertinggi diperoleh oleh perlakuan K2L2S1P2 ( $7.7 \pm 1.63^*$ ), yang menandakan perlakuan ini memiliki rasa paling disukai panelis. Penelitian yang dilakukan juga oleh Bulele *et al.* (2017) tingkat penerimaan panelis terhadap ikan cakalang asap yang direndam dalam ekstrak kulit manggis lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan dari segi rasa.

Perlakuan dengan nilai terendah yaitu K2L3S2P2 ( $4.7 \pm 2.68$ ) berada pada kategori agak tidak suka hingga netral, menunjukkan bahwa komposisi perlakuan tersebut kurang optimal, kemungkinan karena tingkat kekeringan lebih tinggi atau rasa asap yang terlalu kuat.

### Tekstur

Hasil uji Duncan pada parameter tekstur diperoleh 5 kolom subset dinotasikan menjadi <sup>(a,b,c,d,e)</sup> yang berbeda, pada kombinasi perlakuan K10-K9-K6-K4 (4 kombinasi), K9-K6-K5-K4-K3 (5 kombinasi), K9-K5-K3-K2-K1 (5 kombinasi), dan K8-K2-K1 (3 kombinasi) tidak berbeda signifikan ( $P > 0.05$ ). Namun terdapat perbedaan signifikan ( $P < 0.05$ ) pada kombinasi perlakuan antara K10-K8, K10-K7, K10-K5, K10-K3, K10-K2, K10-K1 (6 kombinasi perlakuan).

Tekstur merupakan salah satu parameter penting pada produk cakalang asap. Nilainya berkisar antara 4.3–7.8, yang menunjukkan bahwa sebagian besar perlakuan berada pada kategori netral hingga suka. Perlakuan K2L2S1P1 kembali menunjukkan performa terbaik pada parameter tekstur dengan nilai  $7.8 \pm 1.75^*$ . Penelitian yang dilakukan juga oleh Bulele *et al.* (2017) tingkat penerimaan panelis terhadap ikan cakalang asap yang direndam dalam ekstrak kulit manggis lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penambahan dari segi kenampakan.



Gambar 4. Grafik visual parameter tekstur

Uji organoleptik pada penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan pigmen fikoeritrin dapat diterima panelis dan tidak memberikan efek negatif terhadap aroma, rasa, dan tekstur. Justru, pigmen ini memberikan peningkatan signifikan pada kenampakan, terutama pada perlakuan dengan level pigmen dan proses pengasapan yang tepat. Berdasarkan keempat parameter uji, perlakuan konsentrasi pigmen 80%, lama perendaman 30 menit, suhu pengasapan 80°C, lama pengasapan 120 menit (K2L2S1P1) dan konsentrasi pigmen 80%, lama perendaman 30 menit, suhu pengasapan 80°C, lama pengasapan 180 menit (K2L2S1P2) tampak menjadi kombinasi terbaik karena menunjukkan nilai yang tinggi pada sebagian besar karakter sensori.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian penambahan pigmen fikoeritrin dari alga *Halymenia durvillei* terhadap mutu cakalang (*Katsuwonus pelamis L.*) asap pada penyimpanan dingin, maka dapat disimpulkan bahwa penambahan pigmen fikoeritrin dari alga merah *Halymenia durvillei* sebagai pewarna alami pada produk cakalang asap (cakalang *fufu*) menunjukkan potensi yang baik sebagai alternatif pengganti pewarna sintetis yang berbahaya. Penggunaan pigmen fikoeritrin tidak hanya aman, tetapi juga mampu meningkatkan mutu visual produk tanpa memberikan dampak negatif terhadap kualitas fisikokimia, mikrobiologis, maupun sensori selama penyimpanan dingin dalam kemasan secara vakum. Hasil analisis kimiawi dan total mikroba menunjukkan bahwa kadar air mengalami penurunan selama masa simpan, yang berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas produk. Nilai pH mengalami penurunan ringan namun memberikan pengaruh yang sama antar perlakuan, menandakan bahwa variasi konsentrasi

pigmen, lama perendaman, suhu, dan waktu pengasapan tidak memengaruhi tingkat keasaman secara signifikan. Nilai Angka Lempeng Total (ALT) berada jauh di bawah batas maksimum cemaran mikroba, sehingga menunjukkan mutu produk ini tetap aman dikonsumsi. Hasil uji organoleptik, menunjukkan penambahan pigmen fikoeritrin terbukti meningkatkan kenampakan produk secara signifikan dan tetap mempertahankan tingkat kesukaan panelis terhadap aroma, rasa, dan tekstur pada konsentrasi pigmen 80%, lama perendaman 30 menit, suhu pengasapan 80°C, lama pengasapan 120 menit (perlakuan K2L2S1P1) dan konsentrasi pigmen 80%, lama perendaman 30 menit, suhu pengasapan 80°C, lama pengasapan 180 menit (perlakuan K2L2S1P2) menunjukkan formulasi terbaik berdasarkan parameter sensori.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi (Kemdiktisaintek), melalui Basis Informasi Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (BIMA) yang telah mendanai penelitian ini melalui skema penelitian dasar penelitian pascasarjana.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alinti, Z., Timbowo, S. M., & Mentang, F. (2018). Kadar Air , pH , dan Kapang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) Asap Cair yang Dikemas Vakum. Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan, 6(1), 6–13.
- Bulele, A. Y., Pongoh, J., & Reo, A. (2017). Tingkat Kesukaan Konsumen terhadap Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis* L.) Asap yang Direndam dalam Ekstrak Kulit Manggis. Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan, 5(1), 19–23.
- Dagnino-leone, J., Pinto, C., Latorre, M., Donoso, A., Vallejos-almirall, A., Agurto-muñoz, A., Pavón, J., & Agurto-muñoz, C. (2022). Phycobiliproteins : Structural aspects , functional characteristics, and biotechnological perspectives. Computational and Structural Biotechnology Journal, 20, 1506–1527. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.02.016>
- Dianti, N. W. F., & Yudistira, A. (2011). Analisis Keberadaan Rhodamin B Analysis Of The Presence Of Rhodamin B In Cakalang Fufu In Market Manado City. FMIPA, 33–40.
- Dotulong, V., Montolalu, L. A., & Damongilala, L. J. (2018). Teknologi Pengolahan Ikan Cakalang Asap Untuk Peningkatan Mutu Dan Pendapatan Pengolah. Media Teknologi Hasil Perikanan, 6(2), 33. <https://doi.org/10.35800/mthp.6.2.2018.19522>
- Duarte, A. M., Silva, F., Pinto, F. R., Barroso, S., & Gil, M. M. (2020). Quality Assessment of Chilled and Frozen Fish — Mini Review. Foods, 9, 1–26.
- FAO, F. and N. P. A. W. (1992). Manuals of food quality control: 4. Microbiological analysis.
- Fidalgo, L. G., Simões, M. M. Q., Casal, S., Lopes, J. A., Delgadillo, I., & Saraiva, J. A. (2021). Enhanced preservation of vacuum - packaged Atlantic salmon by hyperbaric storage at room temperature versus refrigeration. Scientific Reports, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81047-4>
- FSA, F. S. A. N. Z. (2022). Compendium of Microbiological Criteria for Food (Issue March).
- Hadiwiyoto, S., Darmadji, P., & Purwasari, S. R. (2000). Perbandingan Pengasapan Panas dan Penggunaan Asap Cair pada Pengolahan Ikan; Tinjauan Kandungan Benzopiren, Fenol dan Sifat Organoleptik Ikan Asap. Agritech, 20(1), 14–19.
- Hardianto, L., & Yunianta. (2015). The Effect of Liquid Smoke on Chemical And Organoleptic Of Tuna (*Euthynnus affinis*). Jurnal Pangan Dan Agroindustri, 3(4), 1356–1366.
- Husen, A. (2018). Pengolahan Ikan Cakalang Asap (*Katsuwonus pelamis*) Dengan Penilaian Organoleptik. Techno: Jurnal Penelitian, 7(2), 165–169. <https://doi.org/10.33387/th.v7i2.667>
- Jes, A. De, Diaz-ram, M., Torres-chooa, E., Aguilar-toal, E., & Salgado-cruz, M. D. P. (2024). Processing , Quality and Elemental Safety of Fish. Applied Sciences, 14, 1–18.
- Kaban, D. K., Timbowo, S. M., Pandey, E. V., Mewengkang, H. W., Palenewen, J. C. V., Mentang, F., & Dotulong, V. (2019). Analisa Kadar Air, pH, dan Kapang Pada Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis* L.) Asap yang Dikemas Vakum Pada Penyimpanan Suhu Dingin. Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan, 7(3), 72–79.
- Liu, Y., Gu, Q., Huang, M., Zhao, Y., Guo, Z., Zuo, H., Zhu, L., & Zhang, Y. (2025). Investigating the effects of protein thermal denaturation on the water-holding capacity of beef: insights from. International Journal of Food Science and Technology, 60(1), 1–10.
- Lorenzo, J. M., Munekata, P. E., & Dominguez, R. (2018). Main Groups of Microorganisms of Relevance for Food Safety and Stability : General Aspects and Overall Description (Issue January). <https://doi.org/DOI: http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811031-7.00003-0>
- Mailoa, M. N., Lokollo, E., Nendissa, D. M., & Harsono, P. I. (2019). Karakteristik mikrobiologi dan kimiawi ikan tuna asap. JPHPI, 22(1), 89–99.
- Mantiri, D. M. H., Kepel, R. C., Paulus, J. J. H., Paransa, D. S. J. (2025). Paten Sederhana: Metode Ekstraksi Pigmen Fikoeritrin dari Alga Merah *Halymenia durvillei* (IDS000009787).
- Mantiri, D. M. H., Kepel, R. C., Boneka, F. B., & Sumilat, D. A. (2021). Phytochemical screening, antioxidant and antibacterial tests on red algae, *Halymenia durvillaei*, and phycoerythrin pigments. AACL Bioflux, 14(6), 3358–3365.
- Mantiri, D. M. H., Kepel, R. C., Paulus, J. J. H., Kawung, N. J., Paransa, D. S. J., & Gerung, M. S. (2024). Antioxidant and proximate analysis on agar from *Eucheuma denticulatum* algae, supplemented with chlorophyll pigments extracted from pandan leaves Pandanus amaryllifolius. AACL Bioflux, 17(2), 690–700.

- Mentang, F., Montolalu, R. I., Dien, H. A., Meko, A., & Berhimpon, S. (2022). Shelf life and presence of pathogens in liquid-smoked Skipjack pampus packed in vacuum packaging (VP), modified atmosphere packaging (MAP), and stored at ambient temperature. Nutr Clín Diet Hosp, 42(4), 73–78. <https://doi.org/10.12873/424mentang>
- Nowruzi, B., Ahmadi, M., Bouaïcha, N., Khajerahimi, A. E., & Anvar, S. A. A. (2024). Studying the impact of phycoerythrin on antioxidant and antimicrobial activity of the fresh rainbow trout fillets. Scientific Reports, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52985-6>
- Puke, S., & Galoburda, R. (2020). Factors Affecting Smoked Fish Quality: A Review. Food Science, 35, 132–139. <https://doi.org/10.22616/rrd.26.2020.020>
- Salindeho, N. (2017). Physico-Chemical Characteristics and Fatty acid Profiles of Smoked Skipjack Tuna (*Katsuwonus pelamis*) Using Coconut Fiber and nutmeg Shell Smoking materials. Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia, 20(2), 392. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20i2.18107>
- Song, Y., Huang, F., Li, X., Han, D., & Zhang, C. (2021). Effects of different wet heating methods on the water distribution , microstructure and protein denaturation of pork steaks. International Journal of Food Science and Technology, 56, 4627–4638. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15248>
- Strzelczak, A., Balejko, J., Szymczak, M., & Witczak, A. (2021). Effect of Protein Denaturation Temperature on Rheological Properties of Baltic Herring (*Clupea harengus membras*) Muscle Tissue. Foods, 10(829), 1–11.
- Suprihati. (2023). Cakalang Fufu Warisan Budaya Tak Benda dari Sulawesi Utara. Kompasiana. [https://www.kompasiana.com/nprih/63f2e7aa04dff048fb4e9512/cakalang-fufu-warisan-budaya-takbenda-dari-sulawesi-utara?page=4&page\\_images=1](https://www.kompasiana.com/nprih/63f2e7aa04dff048fb4e9512/cakalang-fufu-warisan-budaya-takbenda-dari-sulawesi-utara?page=4&page_images=1)
- Suwetja, I. K., & Mentang, F. (2018). Uji Mutu Ikan dengan Indeks Mioglobin. LPPM UNSRAT.
- Tapia, Maria S., Alzamora, Stella M., & Chirife, J. (2020). Effects of Water Activity (a w ) on Microbial Stability as a Hurdle in Food Preservation.
- Tumalun, A. J., Mantiri, D. M. H., Paransa, D. S. J., Rompas, R. M., & Mudeng, J. (2022). Pigmen Fikoeritrin Pada Karagenan dari Alga *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty 1996. Jurnal Ilmiah PLATAK, 10(December), 385–391.
- Utami, S. P., Metusalach, M., & Amir, N. (2019). Proses Pengasapan Dan Kualitas Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) Dan Tuna Sirip Kuning (*Thunnus abacares*) Asap Di Desa Singa Kecamatan Herlang Kabupaten Bulukumba. Jurnal IPTEKS Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, 6(11), 128–153. <https://doi.org/10.20956/jipsp.v6i11.6382>
- Winarno, F. G. (1990). Teknologi Pengelolaan Rumput Laut. Pustaka Sinar Harapan.
- Yang, L., Li, Z., Xie, T., Feng, J., Xu, X., Zhao, Y., & Gao, X. (2023). Effects of Sous-Vide on Quality, Structure and Flavor Characteristics of Tilapia Fillets. Molecules, 28(8075), 1–19.
- Zouharová, A., Bartáková, K., Bursová, Š., Necidová, L., Haruštiaková, D., Klimešová, M., & Vorlová, L. (2023). Meat and fish packaging and its impact on the shelf life - a review. ACTA Vet. BRNO, 92, 95–108. <https://doi.org/https://doi.org/10.2754/avb202392010095>