



Mikroenkapsulasi Minyak Bandeng Omega-3 Melalui *Wet Rendering* dan Netralisasi Alkali Teroptimasi untuk Mutu Oksidatif

Nurlaeli Fattah^{1*}, Rahmawati Saleh², Ernawati Jassin³, Imran Muhtar⁴

¹⁻⁴ Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan, Indonesia

Email: nurlaelifattah@polipangkep.ac.id^{1*}

Alamat: Jalan Poros Makassar - Parepare Km. 83, Mandalle, Pangkep, Kabupaten Pangkajene Dan Kepulauan, Sulawesi Selatan 90761

*Penulis Korespondensi

Abstract. *The use of fish oil as a natural source of omega-3 fatty acids, particularly EPA and DHA, often encounters challenges such as oxidative instability, unpleasant fishy odor, and variations in composition. This research focused on producing omega-3-enriched milkfish (*Chanos chanos*) oil that meets quality standards for microencapsulation, applying the wet rendering method followed by alkali neutralization with NaOH. The process involved varying temperatures of 70, 80, 90, and 100 °C and heating times of 30, 40, and 60 minutes. The crude oil obtained was refined using different NaOH concentrations, then evaluated for oxidative parameters including peroxide value (PV), p-anisidine value (p-AV), total oxidation value (TOTOX), and acidity levels (acid value/free fatty acids, FFA), all compared with International Fish Oil Standards (IFOS). The maximum yield recorded was 0.29% at 100 °C for 60 minutes. The results showed that PV and p-AV values were still within acceptable IFOS limits (3.44 meq/kg and 11.75 meq/kg), and TOTOX values remained below 20, indicating good oxidative stability. However, prolonged heating led to increased acid values/FFA ranging from 2.43% to 2.68%, surpassing IFOS limits and reflecting hydrolytic degradation of the oil. These findings demonstrate the trade-off between achieving higher yields under higher temperature and longer heating versus maintaining oil quality. Therefore, optimal processing at a maximum of 100 °C and not exceeding 30 minutes, combined with alkali neutralization, is recommended to ensure the production of stable, high-quality milkfish oil suitable for encapsulation and incorporation into health-oriented functional foods.*

Keywords: *alkali neutralization; fish-oil quality; lipid oxidation; microencapsulation; milkfish oil; omega-3; wet rendering.*

Abstrak. Penggunaan minyak ikan sebagai sumber alami asam lemak omega-3, terutama EPA dan DHA, sering menghadapi tantangan seperti ketidakstabilan oksidatif, bau amis yang tidak sedap, dan variasi komposisi. Penelitian ini difokuskan pada produksi minyak bandeng (*Chanos chanos*) yang diperkaya omega-3 yang memenuhi standar kualitas untuk mikroenkapsulasi, menerapkan metode rendering basah diikuti oleh netralisasi alkali dengan NaOH. Proses ini melibatkan berbagai suhu 70, 80, 90, dan 100 °C dan waktu pemanasan 30, 40, dan 60 menit. Minyak mentah yang diperoleh dimurnikan menggunakan berbagai konsentrasi NaOH, kemudian dievaluasi untuk parameter oksidatif termasuk angka peroksida (PV), angka p-anisidin (p-AV), nilai oksidasi total (TOTOX), dan tingkat keasaman (nilai asam/asam lemak bebas, FFA), semuanya dibandingkan dengan Standar Minyak Ikan Internasional (IFOS). Hasil maksimum yang tercatat adalah 0,29% pada 100 °C selama 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai PV dan p-AV masih berada dalam batas IFOS yang dapat diterima (3,44 meq/kg dan 11,75 meq/kg), sementara nilai TOTOX tetap di bawah 20, menunjukkan stabilitas oksidatif yang baik. Namun, pemanasan yang terlalu lama menyebabkan peningkatan nilai asam/FFA berkisar antara 2,43% hingga 2,68%, melampaui batas IFOS dan mencerminkan degradasi hidrolitik minyak. Temuan ini menunjukkan adanya trade-off antara mencapai rendemen yang lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi dan pemanasan yang lebih lama dibandingkan mempertahankan kualitas minyak. Oleh karena itu, pemrosesan optimal pada suhu maksimum 100 °C dan tidak melebihi 30 menit, dikombinasikan dengan netralisasi alkali, direkomendasikan untuk memastikan produksi minyak bandeng yang stabil dan berkualitas tinggi yang cocok untuk enkapsulasi dan inkorporasi ke dalam pangan fungsional yang berorientasi kesehatan.

Kata Kunci: mikroenkapsulasi; minyak bandeng; mutu minyak ikan; netralisasi alkali; omega-3; oksidasi lipid; *wet rendering*.

1. LATAR BELAKANG

Permintaan global terhadap minyak ikan kaya EPA dan DHA terus meningkat, tetapi keberhasilan komersialisasi sangat ditentukan oleh stabilitas oksidatif dan penerimaan sensori. Oksidasi lipid dipicu panas, oksigen, cahaya, dan katalis logam, menghasilkan hidroperoksida (tahap primer) yang selanjutnya terurai menjadi aldehida/keton volatil (tahap sekunder) sehingga menurunkan kualitas gizi dan sensori (Frankel, 2005; Shahidi & Ambigaipalan, 2018).

Mikroenkapsulasi merupakan pendekatan hulu–hilir untuk melindungi lipid tak jenuh dari oksidasi, meningkatkan kestabilan penyimpanan, dan memudahkan fortifikasi pada matriks pangan. Pemilihan bahan dinding (mis. gum arab dan maltodekstrin) dan kondisi proses (ukuran partikel, viskositas emulsi, total padatan) menentukan efisiensi enkapsulasi, ketahanan oksidasi, serta kelarutan kembali (Gharsallaoui et al., 2007; Augustin & Hemar, 2009; McClements, 2015).

Walau banyak studi melaporkan keberhasilan enkapsulasi minyak ikan laut, kajian terpadu yang mengaitkan optimasi ekstraksi wet rendering dan pemurnian alkali dengan mutu oksidatif sebagai prasyarat mikroenkapsulasi pada bahan baku lokal seperti bandeng masih terbatas. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menyajikan parameter proses yang pragmatis dan kompatibel dengan skala industri kecil–menengah (Ganesan et al., 2014).

Asam lemak tak jenuh ganda omega-3, terutama eikosapentaenoat (EPA) dan dokosaheksaenoat (DHA), memiliki beragam manfaat kesehatan, termasuk perlindungan kardiovaskular, peranan antiinflamasi, serta dukungan perkembangan otak dan retina. Minyak ikan laut merupakan sumber alami EPA dan DHA yang efisien serta mudah diakses, namun pemanfaatannya pada produk konsumen kerap terhalang oleh ketidakstabilan oksidatif, bau/taste amis, dan variasi komposisi. Indonesia memiliki potensi besar untuk mengembangkan produk bernilai tambah berbasis omega-3 dari komoditas lokal, salah satunya ikan bandeng (*Chanos chanos*) yang lazim dibudidayakan dan dilaporkan memiliki kandungan omega-3 tinggi.

Mikroenkapsulasi merupakan strategi kunci untuk meningkatkan stabilitas dan penerimaan sensori minyak ikan dengan mengubah minyak cair menjadi mikrokapsul berbentuk bubuk yang lebih stabil, mudah ditangani, dan siap difortifikasi. Di sisi hulu, kualitas minyak terenkapsulasi sangat bergantung pada tahapan ekstraksi dan pemurnian. Metode wet rendering, yang memanfaatkan pemanasan dalam medium berair, relatif sederhana dan ekonomis, tetapi berpotensi mempercepat oksidasi atau hidrolisis bila parameter proses tidak

terkelola. Pemurnian melalui netralisasi alkali (NaOH) lazim digunakan untuk mengurangi asam lemak bebas dan pengotor teroksidasi sehingga meningkatkan kemurnian dan stabilitas.

Penelitian ini memadukan optimasi ekstraksi wet rendering dengan pemurnian alkali dan evaluasi parameter mutu mengacu IFOS sebagai pijakan kelayakan mikroenkapsulasi. Fokus kami adalah menilai pengaruh suhu dan waktu terhadap rendemen, bilangan peroksida, nilai anisidina, TOTOX, serta nilai asam/FFA minyak ikan bandeng.

2. KAJIAN TEORITIS

Asam lemak tak jenuh ganda rantai panjang Omega-3 (LC-PUFA)—terutama EPA dan DHA—dikaitkan dengan manfaat kardioprotektif, perkembangan saraf, dan antiinflamasi, mendorong permintaan berkelanjutan akan minyak laut sebagai sumber yang efektif dan bioavailable (Shahidi & Ambigaipalan, 2018). Namun, lipid tak jenuh tinggi ini secara intrinsik rentan terhadap oksidasi. Oksidasi primer menghasilkan hidroperoksida yang selanjutnya terurai menjadi volatil sekunder (aldehida/keton), yang menurunkan kualitas nutrisi dan sensoris (Frankel, 2005). Panas proses, oksigen terlarut, cahaya, dan logam jejak mempercepat jalur ini, menjadikan pengendalian oksidasi sebagai pusat pemrosesan dan formulasi minyak ikan (Frankel, 2005).

Rendering basah—perlakuan termal dalam fase air yang diikuti dengan pemisahan—banyak digunakan karena kesederhanaan dan efisiensi biayanya. Kualitas produk bergantung pada profil suhu-waktu dan rasio air-terhadap-jaringan yang memengaruhi pelepasan minyak, sisa kelembapan, dan paparan lipid terhadap kondisi pro-oksidan (Chantachum dkk., 2000). Suhu yang lebih tinggi dan waktu yang lebih lama umumnya meningkatkan rendemen tetapi dapat meningkatkan angka peroksida (PV), angka p-anisidina (p-AV), dan asam lemak bebas (FFA) melalui oksidasi dan hidrolisis—dua cacat yang mengganggu stabilitas hilir dan penerimaan sensoris (Frankel, 2005). Oleh karena itu, proses praktis harus menyeimbangkan pemulihan dengan pengendalian oksidatif dan hidrolitik.

Minyak ikan mentah biasanya mengandung FFA, pigmen, dan produk oksidasi minor. Netralisasi alkali (NaOH) menghilangkan FFA sebagai sabun dan ikut menghilangkan beberapa produk oksidasi polar, sehingga meningkatkan stabilitas oksidatif dan sifat sensoris (AOCS, 2017; AOAC, 2005). Studi tentang minyak laut yang dapat dimakan melaporkan bahwa netralisasi—baik sendiri maupun dikombinasikan dengan adsorpsi/pemutihan—mengurangi keasaman dan memperbaiki warna/bau tanpa kehilangan komponen bermanfaat secara berlebihan jika dikontrol dengan tepat (Huang & Sathivel, 2010). Meskipun demikian, pemrosesan berlebih atau langkah termal yang keras dapat memicu oksidasi; oleh karena itu,

pemurnian harus disesuaikan dengan keadaan oksidatif minyak mentah dan divalidasi terhadap spesifikasi seperti batas IFOS untuk PV, p-AV, dan TOTOX.

Mikroenkapsulasi mengubah minyak ikan cair menjadi mikrokapsul yang terlindungi, mengurangi oksidasi, menutupi aroma amis, meningkatkan penanganan/alur, dan memungkinkan fortifikasi makanan dan nutrasetikal (Augustin & Hemar, 2009; Ganesan dkk., 2014). Pengeringan semprot adalah metode yang paling umum dalam makanan karena skalabilitas dan biaya, di mana emulsi minyak dalam air diatomisasi dan dikeringkan untuk menghasilkan bubuk (Gharsallaoui dkk., 2007). Kinerja enkapsulasi bergantung pada (i) bahan dinding (misalnya, gom arab untuk emulsifikasi/pembentukan film, maltodekstrin untuk padatan dan matriks kaca), (ii) sifat emulsi (distribusi ukuran tetesan, viskositas, total padatan), dan (iii) kondisi pengeringan (suhu masuk/keluar, waktu tinggal) (Gharsallaoui dkk., 2007; McClements, 2015). Minyak dengan PV/p-AV/TOTOX rendah dan FFA terkontrol secara konsisten menunjukkan efisiensi penjerapan yang lebih tinggi dan stabilitas penyimpanan yang lebih baik.

Kerangka kerja Standar Minyak Ikan Internasional (IFOS)—yang umum dikutip dalam industri—menggunakan PV, p-AV, dan TOTOX untuk menyaring kualitas oksidatif. Meskipun batas pasti dapat bervariasi tergantung program, menjaga PV dan p-AV tetap rendah dan TOTOX < ~20 merupakan target pragmatis untuk bahan-bahan yang ditujukan untuk konsumsi manusia premium dan untuk enkapsulasi (AOCS, 2017). Karena FFA meningkatkan asap/bau dan dapat mengkatalisis oksidasi, meminimalkan FFA melalui netralisasi juga penting sebelum emulsifikasi (AOAC, 2005; AOCS, 2017).

Meskipun telah banyak dilakukan penelitian pada tuna, herring, salmon, dan spesies lainnya (misalnya, Chantachum dkk., 2000), studi terpadu yang (i) mengoptimalkan parameter rendering basah, (ii) menerapkan netralisasi alkali, dan (iii) mengevaluasi metrik kualitas bergaya IFOS sebagai kriteria gerbang pra-enkapsulasi untuk bandeng masih terbatas. Mengatasi kesenjangan ini relevan bagi rantai nilai akuakultur Indonesia, di mana bandeng melimpah dan berpotensi kaya akan omega-3.

3. METODE PENELITIAN

Desain percobaan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial dengan dua faktor: suhu (70, 80, 90, 100°C) dan waktu (30, 40, 60 menit). Minyak kasar dimurnikan melalui netralisasi alkali menggunakan larutan NaOH pada beberapa derajat Baumé. Parameter mutu dianalisis mengikuti rujukan standar: bilangan peroksida (PV) mengacu ISO 3960/AOCS

Cd 8b-90, nilai anisidina (p-AV) mengikuti AOCS Cd 18-90/metode setara, sedangkan TOTOX dihitung sebagai $2 \times \text{PV} + \text{p-AV}$ (AOCS, 2017; Perrin, 1996).

Untuk menunjang kelayakan mikroenkapsulasi, minyak hasil pemurnian disiapkan dalam kondisi terkontrol (pendinginan cepat, headspace rendah oksigen, cahaya minimal). Rencana formulasi emulsi pra-spray-drying memanfaatkan gum arab/maltodekstrin sebagai bahan dinding dengan total padatan 30–40% dan pengaturan homogenisasi untuk memperoleh distribusi ukuran droplet yang sempit, sesuai praktik terbaik yang dilaporkan literatur (Gharsallaoui et al., 2007; McClements, 2015).

Bahan

Bahan utama berupa ikan bandeng (*Chanos chanos*, Forsskål; 200–300 g/ekor) yang diperoleh dari Kabupaten Pangkep. Bahan kimia meliputi NaOH (berbagai konsentrasi/derajat Baumé), KOH, CH₃COOH, kloroform, Na₂SO₃, trimetilpentana, dan larutan p-anisidin. Peralatan utama: water bath, sentrifus (Hettich Zentrifugen EBA-20/Hitachi), spektrofotometer UV-Vis (Shimadzu/Agilent 8453), kromatografi gas (Shimadzu GC-2010 Plus), dan peralatan analitik standar lainnya.

Lokasi Penelitian

Analisis dilakukan di beberapa laboratorium: Laboratorium Pengolahan Hasil Perikanan dan Laboratorium Biokimia Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan; Laboratorium Teknik Kimia Politeknik Negeri Makassar; Laboratorium Terpadu Program Studi Teknologi Hasil Perairan IPB; serta Laboratorium Kesehatan Makassar.

Prosedur Ekstraksi dan Pemurnian

Ekstraksi wet rendering mengacu pada metode rujukan yang dimodifikasi: daging ikan dicacah dan dimasak uap dalam medium berair (perbandingan bahan:air $\approx$ 1:2) pada suhu 70, 80, 90, dan 100°C selama 30, 40, atau 60 menit. Fraksi minyak dipisahkan melalui penyaringan dan/atau sentrifugasi dan dihitung rendemennya. Minyak kasar kemudian dimurnikan melalui netralisasi alkali menggunakan larutan NaOH dengan beberapa derajat Baumé. Campuran dipanaskan pada 60°C selama 30 menit dan didiamkan (dekantasi) 15 jam untuk memisahkan sabun (fase padat) dari minyak jernih (fase cair).

Analisis Mutu

Parameter mutu oksidatif meliputi bilangan peroksida (AOAC, 2005), nilai anisidina (Watson, 1994), dan total oksidasi (TOTOX; Perrin, 1996). Parameter keasaman dinilai sebagai nilai asam/bilangan asam (AV) dan/atau asam lemak bebas (FFA; AOAC, 2005). Hasil dievaluasi terhadap ambang IFOS. Analisis statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial dengan uji ANOVA; bila berbeda nyata ($\alpha = 0,05$) dilanjutkan uji Duncan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kenaikan suhu dan lama pemanasan meningkatkan rendemen hingga maksimum 0,29% pada 100°C–60 menit, namun diikuti kecenderungan peningkatan FFA pada pemanasan berkepanjangan. Secara mekanistik, hidrolisis trigliserida dalam medium berair pada suhu tinggi mempercepat pembentukan FFA, yang selanjutnya memperburuk stabilitas oksidatif dan karakter sensori (Frankel, 2005).

Pada kondisi moderat ($\leq 100^\circ\text{C}$, ≤ 30 menit), PV dan p-AV tetap di bawah ambang IFOS, menghasilkan TOTOX < 20 . Rentang ini menandakan potensi jendela operasi yang menyeimbangkan pelepasan lipid dan pembatasan oksidasi primer/sekunder. Optimasi ini krusial karena minyak dengan PV/p-AV rendah dan FFA terkontrol menunjukkan performa lebih baik pada tahap emulsifikasi dan pengeringan, serta menghasilkan mikrokapsul yang lebih stabil selama penyimpanan (Ganesan et al., 2014; McClements, 2015).

Implikasi praktisnya, setelah ekstraksi disarankan penerapan strategi protektif (pendinginan cepat, inertisasi headspace, penggunaan antioksidan yang diizinkan) sebelum formulasi emulsi. Dalam konteks bahan dinding, kombinasi gum arab–maltodekstrin lazim digunakan untuk menyeimbangkan kemampuan emulsifikasi dan pembentukan film, sehingga menekan difusi oksigen ke inti lipid dan memperpanjang umur simpan produk (Gharsallaoui et al., 2007; Augustin & Hemar, 2009).

Rendemen

Rendemen meningkat seiring kenaikan suhu dan perpanjangan waktu ekstraksi; capaian tertinggi 0,29% diperoleh pada 100°C selama 60 menit. Walaupun demikian, rendemen ini lebih rendah dibandingkan beberapa spesies lain yang dilaporkan dalam literatur, yang kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan spesies/bagian tubuh, faktor biologis (umur, musim, pakan), serta karakteristik proses. Pada wet rendering, keberadaan air dapat menghambat pelepasan lipid secara optimal sehingga rendemen relatif rendah.



Gambar 1. Grafik Rendemen Minyak Ikan Bandeng.

Bilangan Peroksida (PV) dan Nilai Anisidina (AV)

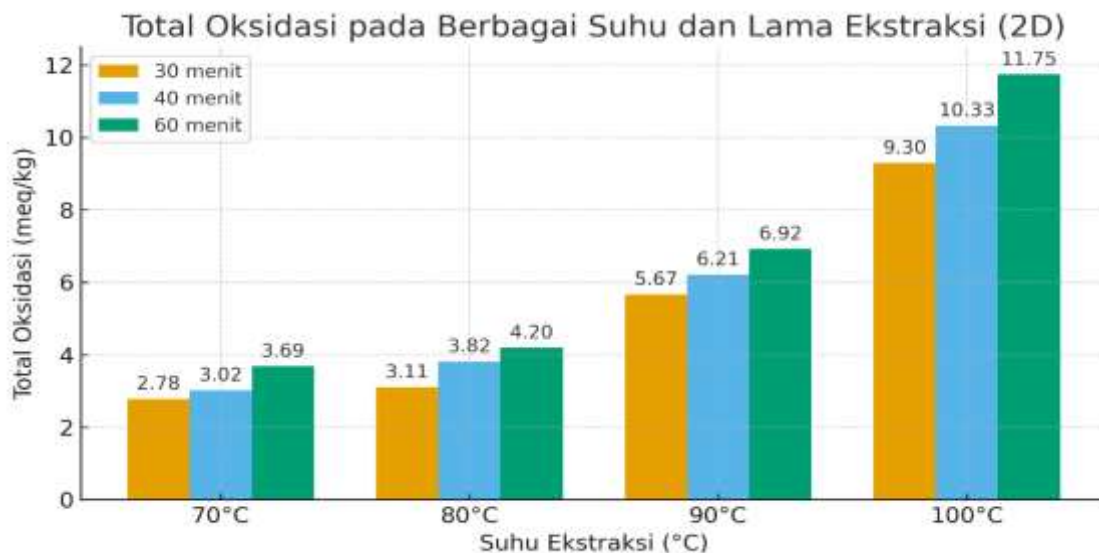
Peningkatan suhu dan durasi pemanasan cenderung menaikkan PV dan AV. Pada kondisi 100°C selama 30 menit, PV mencapai 3,44 meq/kg dan AV 11,75 meq/kg—keduanya masih berada dalam ambang IFOS. Hal ini menunjukkan oksidasi primer dan sekunder relatif terkendali pada jendela proses yang moderat.



Gambar 2. Grafik Bilangan peroksida Minyak Ikan Bandeng.

Total Oksidasi (TOTOX)

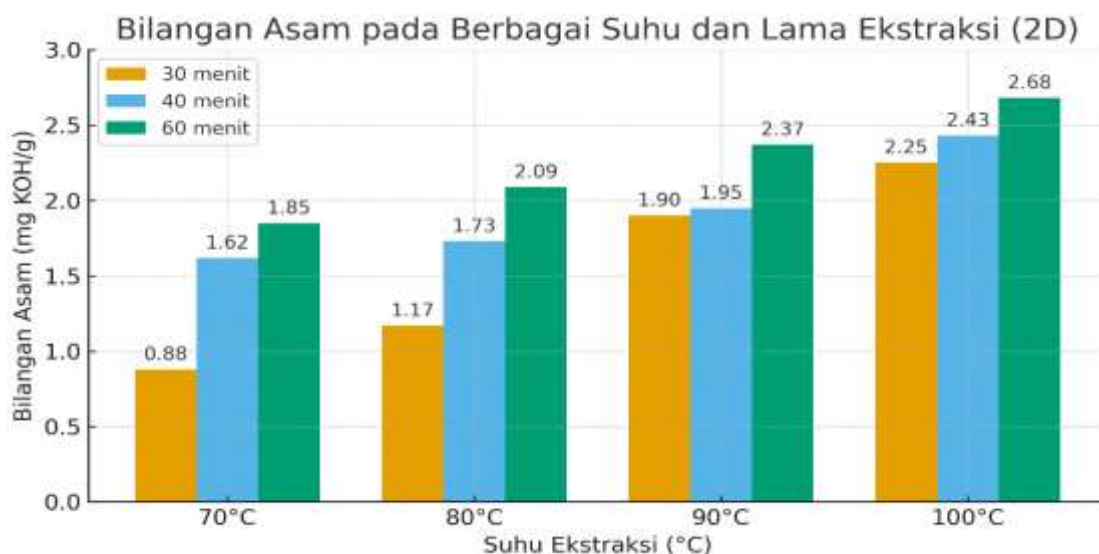
Nilai TOTOX ($2 \times \text{PV} + \text{AV}$) tetap <20 pada seluruh perlakuan, mengindikasikan kualitas oksidatif minyak masih dapat diterima untuk tujuan pangan/nutrasetikal. Namun, tren kenaikan TOTOX pada suhu/waktu tinggi menegaskan pentingnya kontrol termal.



Gambar 3. Grafik Total Oksidasi Minyak Ikan Bandeng.

Nilai Asam/FFA

Pada 100°C dengan durasi 40–60 menit, nilai asam/FFA tercatat 2,43–2,68% dan tidak memenuhi ambang IFOS. Temuan ini konsisten dengan potensi hidrolisis trigliserida yang dipicu pemanasan berkepanjangan dalam medium berair, yang memutus ikatan ester menjadi asam lemak bebas dan gliserol. Konsekuensinya, kualitas sensori dan stabilitas menurun.



Gambar 4. Grafik Bilangan Asam Minyak Ikan Bandeng.

Implikasi Proses terhadap Mikroenkapsulasi

Mikroenkapsulasi menuntut minyak dengan parameter oksidasi rendah dan FFA terkendali. Berdasarkan hasil, disarankan jendela proses praktis: suhu 90–100°C dengan durasi ≤ 30 menit untuk menyeimbangkan rendemen dan mutu, diikuti pemurnian alkali guna menurunkan FFA/pengotor. Tahap pasca-ekstraksi seperti pendinginan cepat, minimisasi paparan oksigen/cahaya, dan penambahan antioksidan yang diizinkan dapat dipertimbangkan untuk menjaga kualitas sebelum proses emulsifikasi dan pengeringan. Pemilihan bahan dinding (mis. gum arab, maltodekstrin) serta pengaturan kondisi homogenisasi penting untuk mencapai ukuran partikel seragam dan stabilitas mikrokapsul yang baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Ekstraksi wet rendering yang diikuti netralisasi alkali menghasilkan minyak ikan bandeng dengan PV, AV, dan TOTOX dalam ambang IFOS pada kondisi pemanasan moderat; namun pemanasan berkepanjangan meningkatkan FFA di atas ambang, menurunkan kualitas minyak. Optimalisasi suhu-waktu ($\leq 100^\circ\text{C}$, ≤ 30 menit) dan pemurnian alkali diperlukan untuk menghasilkan minyak yang layak dimikroenkapsulasi dan diintegrasikan ke produk pangan fungsional.

Secara praktis, penelitian ini menegaskan adanya trade-off antara peningkatan rendemen dan stabilitas oksidatif. Jendela operasi yang direkomendasikan—90–100°C dengan durasi ≤ 30 menit—memberi kompromi terbaik: rendemen meningkat tanpa menaikkan PV/p-AV/TOTOX melewati ambang mutu, sementara netralisasi alkali efektif menurunkan FFA dan pengotor sehingga minyak lebih stabil untuk tahap formulasi.

Implikasi hilirnya, minyak yang memenuhi parameter IFOS (khususnya PV, p-AV, dan TOTOX rendah) menunjukkan kesiapan untuk mikroenkapsulasi menggunakan bahan dinding umum (mis. gum arab/maltodekstrin). Dengan kontrol pasca-ekstraksi (pendinginan cepat, minim oksigen/cahaya) dan homogenisasi yang memadai, diharapkan diperoleh mikrokapsul dengan ukuran partikel seragam, perlindungan oksidatif lebih baik, dan sifat sensorial yang lebih dapat diterima pada aplikasi pangan berfokus kesehatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada laboratorium dan institusi yang mendukung pelaksanaan penelitian ini. Bagian ini dapat disesuaikan sesuai ketentuan jurnal.

DAFTAR REFERENSI

- AOAC. (2005). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). AOAC International.
- AOCS. (2017). *Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society* (7th ed.). AOCS Press.
- Augustin, M. A., & Hemar, Y. (2009). Encapsulation systems for food ingredients and nutraceuticals. *Chemical Society Reviews*, 38(4), 902–912. <https://doi.org/10.1039/B801739P>
- Chantachum, S., Benjakul, S., & Sriwirat, N. (2000). Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked skipjack tuna heads by a wet reduction method. *Food Chemistry*, 69(3), 289–294. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00266-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00266-6)
- Estiasih, T., dkk. (2009; 2013). [Optimasi pemurnian dan penurunan FFA pada minyak ikan]. [Detail jurnal/artikel belum lengkap].
- Finotelli, P. V., & others. (2009). [Ukuran partikel dan stabilitas mikroenkapsulasi]. [Detail jurnal/artikel belum lengkap].
- Frankel, E. N. (2005). *Lipid oxidation* (2nd ed.). Oily Press/Woodhead. <https://doi.org/10.1533/9780857097927>
- Ganesan, B., Brothersen, C., & McMahon, D. J. (2014). Fortification of foods with omega-3 fatty acids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(1), 98–114. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.578221>
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.004>
- Huang, J., & Sathivel, S. (2010). Purifying salmon oil using adsorption, neutralization, and a combined method. *Journal of Food Engineering*, 96(1), 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.042>
- Kanakdande, D., Bhosale, R., & Singhal, R. S. (2007). Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin and modified starch. *Carbohydrate Polymers*, 67(4), 536–541. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.023>
- McClements, D. J. (2015). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques* (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18868>
- Perrin, J. L. (1996). The determination of peroxide value and anisidine value and the calculation of TOTOX. [Guideline/technical note]. [Tidak tersedia DOI resmi].
- Pestana-Bauer, V. R., Zambiazzi, R. C., Mendonça, C. R. B., Beneito-Castillo, A., & Ramis-Ramos, G. (2012). Quality changes and tocopherols and γ -oryzanol concentrations in rice bran oil during the refining process. *Ciência e Tecnologia de Alimentos / Food Science and Technology (Campinas)*, 32(2), 354–359. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612012005000050>
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2018). Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits. *Annual Review of Food Science and Technology*, 9, 345–381. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-111317-095850>
- Velasco, J., Dobarganes, C., & Márquez-Ruiz, G. (2003). Variables affecting lipid oxidation

in dried microencapsulated oils. *Grasas y Aceites*, 54(3), 304–314.
<https://doi.org/10.3989/gya.2003.v54.i3.246>

Watson, C. A. (Ed.). (1994). *Official and standardized methods of analysis* (3rd ed.). Royal Society of Chemistry.