

PENGARUH PENYIMPANAN TERHADAP PROFIL FORMALDEHIDA ALAMI DAN KEMUNDURAN MUTU PADA IKAN BELOSO (*Saurida tumbil*)

Umi Anissah, Giri Rohmad Barokah, Farida Ariyani

Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan,

Jalan KS Tubun, Petamburan VI, Jakarta Pusat, 10260

Korespondensi : umi.anissah@gmail.com

Diterima: 18 Juli 2019/ Disetujui: 18 Desember 2019

Cara sitasi: Anissah U, Barokah GR, Ariyani F. 2019. Pengaruh penyimpanan terhadap profil formaldehida alami dan kemunduran mutu pada ikan beloso. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 22(3): 535-547.

Abstrak

Ikan beloso (*Saurida tumbil*) merupakan spesies ikan hasil tangkapan yang dikonsumsi dalam bentuk segar dan olahan. Ikan beloso diketahui memiliki kandungan formaldehida alami relatif tinggi dan pada umumnya mengalami peningkatan selama penyimpanan. Formaldehida merupakan senyawa kimia yang dapat membunuh bakteri pembusuk, patogen dan kapang. Senyawa ini bersifat karsinogenik sehingga berbahaya bagi manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menggali informasi mengenai profil formaldehida dan kemunduran mutu ikan beloso selama penyimpanan suhu beku. Bahan utama dalam penelitian ini adalah ikan beloso segar yang diambil dari TPI Cituis, Tangerang, Banten. Pengambilan sampel dan analisis dilakukan satu kali setiap bulan selama 4 bulan. Sampel dianalisis profil formaldehida (analisis formaldehida, TMA, TMAO dan DMA) dan profil kemunduran mutunya (TVB-N, derajat keasaman, angka lempeng total dan organoleptik). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ikan beloso memiliki kandungan formaldehida $8,62 \pm 3,4$ ppm yang meningkat pada bulan penyimpanan pertama kemudian mulai menurun pada penyimpanan selanjutnya, kandungan TMA dan TMAO cenderung meningkat selama penyimpanan. Hasil analisis kemunduran mutu ikan beloso selama penyimpanan menunjukkan bahwa kandungan TVB-N meningkat. Kesegaran ikan beloso yang disimpan dalam keadaan beku secara organoleptik hanya mampu bertahan sampai 3 bulan, sedangkan nilai pH dan total bakteri daging ikan beloso mengalami kenaikan seiring dengan lamanya waktu penyimpanan.

Kata kunci : formaldehida, ikan beloso (*Saurida tumbil*), kemunduran mutu, penyimpanan, suhu beku

*The Effect of Storage on Natural Formaldehyde and Deterioration Quality of Greater Lizardfish (*Saurida tumbil*)*

Abstract

Greater lizardfish (*Saurida tumbil*) is known to contain endogenous formaldehyde content. Formaldehyde can kill spoilage bacteria, pathogens, and molds. However, this compound is also carcinogenic. The present research was conducted to determine the profile of endogenous formaldehyde and deterioration in the quality deterioration of greater lizardfish during frozen storage. The sample was provided from TPI Cituis, Tangerang, Banten. Sampling and analysis to determine the formaldehyde profile and fish deterioration were conducted once in a month for four months. The samples were then analyzed for formaldehyde profiles (formaldehyde, TMA, TMAO, and DMA) and quality deterioration profiles (TVB-N, acidity, TPC, and organoleptic plates). The results showed that greater lizardfish had 8.62 ± 3.4 ppm formaldehyde content, which increased in the first-month storage and then decreased in subsequent months. The content of TMA and TMAO increased during frozen storage. Greater lizardfish quality deterioration analysis during storage showed the increasing of TVB-N content. Based on the organoleptic score, greater lizardfish can be stored for up to three months. The pH value and total bacteria of greater lizardfish increased in line with storage time.

Keywords: deterioration, formaldehyde, frozen, greater lizardfish (*Saurida tumbil*), storage

PENDAHULUAN

Ikan beloso (*Saurida tumbil*) dapat ditemukan di beberapa wilayah perairan di dunia seperti Samudera Hindia Barat dan Timur hingga Australia, dan Laut Cina. Ikan ini ditemukan di perairan dasar berlumpur pada kedalaman antara 20 dan 60 m, maupun di perairan yang lebih dangkal. Ikan beloso merupakan ikan pemakan udang dan cumi-cumi, sehingga menjadi hasil samping kegiatan penangkapan udang (FAO 2019).

Masyarakat umumnya mengkonsumsi ikan beloso dalam bentuk segar dan olahan. Tingginya kemampuan membentuk gel pada daging ikan beloso membuat ikan ini sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan produk *fish jelly* dan produk surimi (Yasui dan Lim 1987, Riyadi 2006), akan tetapi adanya proses pengolahan dan distribusi hingga ke konsumen menimbulkan adanya proses penyimpanan atau pengawetan yang mengakibatkan perubahan kualitas ikan.

Kecenderungan konsumsi ikan dalam bentuk olahan yang beragam mengakibatkan adanya variasi metode penyimpanan. Panjangnya jalur distribusi ikan membutuhkan metode pengawetan yang sesuai agar kemunduran mutu ikan dapat diperlambat. Penyimpanan suhu rendah adalah salah satu metode utama untuk menjaga kesegaran ikan. Pada beberapa spesies ikan, penyimpanan dengan suhu rendah bukan merupakan cara yang efektif untuk memperlambat terjadinya perubahan atau kerusakan daging ikan yang disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dan aktivitas enzim (Leelapongwattana *et al.* 2007).

Formaldehida alami merupakan hasil proses metabolisme yang terkandung dalam beberapa bahan makanan seperti pada produk perikanan laut, daging, dan tumbuhan. Beberapa kajian terkait kandungan formaldehida alami pada beberapa ikan pelagis telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Riyanto *et al.* 2006, Rachmawati *et al.* 2007, Murtini *et al.* 2014, Jaman *et al.* 2015, Barokah *et al.* 2018). Pada umumnya kandungan formaldehida alami pada ikan berkisar 0,08 – 0,29 ppm sebelum penyimpanan dan mencapai 0,73 – 3,8 ppm setelah disimpan pada beberapa kondisi penyimpanan. Ikan beloso memiliki kandungan formaldehida alami yang secara

umum meningkat selama penyimpanan beku (Nurhayati *et al.* 2019, Arbajayanti 2017). Nurhayati *et al.* (2019) melakukan penelitian pembentukan formaldehida ikan beloso pada penyimpanan beku dengan parameter analisis meliputi organoleptik, pH, *total volatile base* (TVB), trimetilamin (TMA), dimetilamin (DMA), dan formaldehida. Pada penelitian ini dilakukan skema rancangan penelitian yang serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Nurhayati *et al.* (2019) tanpa perbedaan perlakuan sampel ikan (penyiangan dan tanpa penyiangan) serta penambahan parameter pengujian yaitu angka lempeng total (ALT), trimetilamin oksida (TMAO) dan asam amino. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa formaldehida alami ikan beloso tidak terdeteksi pada awal penyimpanan pada suhu *chilling* dan mulai terdeteksi pada penyimpanan hari ke-3. Kandungan formaldehida tertinggi terdeteksi pada penyimpanan hari ke-9 dan menurun pada penyimpanan selanjutnya (Arbajayanti 2017). Nuraini *et al.* (2017) melaporkan bahwa kandungan formaldehida, DMA dan TMAO-ase ikan beloso mengalami kenaikan selama penyimpanan pada suhu *chilling*. Keberadaan formaldehida pada makanan diduga terjadi karena proses enzimatik dan proses pemanasan (Benjakul *et al.* 2003). Pada tahun 2002, *World Health Organization* (WHO) dalam data konsumsi pangan aktual menyatakan batasan dan asumsi paparan harian formaldehida pada bahan tambahan makanan dan sumber nutrisi tambahan yang dapat diterima orang dewasa sekitar 1,5 mg hingga 14 mg per hari.

Ikan beloso merupakan ikan yang umumnya tidak dikonsumsi dalam bentuk segar dan merupakan bahan olahan produk perikanan sehingga perlu diawetkan pada kondisi tertentu. Selain itu, ikan beloso juga memiliki karakteristik kandungan formaldehida alami yang relatif tinggi dalam tubuhnya dan konsentrasinya berpotensi meningkat selama penyimpanan (Benjakul *et al.* 2004). Dengan latar belakang tersebut, maka penelitian ini selain mengonfirmasi hasil penelitian sebelumnya (Nurhayati *et al.* 2019) dengan waktu pengambilan sampel yang berbeda, yaitu tahun 2018. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui profil kandungan formaldehida beserta beberapa parameter kemunduran

mutu ikan beloso selama penyimpanan beku dengan parameter yang lebih lengkap. Hasilnya diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai penurunan kualitas ikan beloso yang disimpan dalam kondisi beku dan dalam jangka waktu tertentu.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2018. Bahan utama yang digunakan adalah ikan beloso dengan berat $\pm 250-350$ g/ekor. Sampel ikan diperoleh dari TPI Cituis, Kabupaten Tangerang, Banten sesaat setelah ikan didaratkan dari nelayan *one day fishing*.

Bahan kimia yang digunakan adalah *trichloroacetic acid* (TCA) (Merck), formaldehida 37% (Merck), H_3BO_3 (Merck), K_2CO_3 (Merck), KOH (Merck), asetil aseton (Merck), ammonium asetat (Merck), DMA. HCl (Merck), HCl (Merck), sodium asetat *anhydrous* (Merck), *toluene* (Merck), *cupri sulfat* (Merck), KH_2PO_4 (Merck), karbon disulfida (Merck), ammonia pekat (Merck), NaOH (Merck), PCA (Oxoid), petri *disposable*, *amino acid standard* (Sigma-aldrich).

Alat yang dipakai adalah blender (Phillips HR 1603), cawan *Conway*, inkubator (Mettler IN55 plus, Germany), spektrofotometer UV-Vis (Perkin Elmer Lambda 25, USA), *autoclave* (Hirayama, Japan), timbangan (Mettler Toledo, USA), *biosafety cabinet* (Esco, Singapore), *hotplate* (Velp, Italy), vorteks (Thermo, England), *colony counter*, *gas chromatography* (GC) (Agilent/7890A, USA), dan pHmeter (Mettler Toledo 1120, USA).

Metode Penelitian

Sampel ikan diambil dari lokasi dalam kondisi segar dan dibawa ke laboratorium

Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan untuk dianalisis dan dilakukan penyimpanan dalam suhu beku ($-18^\circ C$). Rancangan percobaan yang digunakan pada penelitian ini adalah rancangan acak lengkap dengan tiga kali ulangan. Pengambilan sampel dan analisis untuk mengetahui kemunduran mutu ikan dilakukan satu kali setiap bulan selama empat bulan. Parameter yang dianalisis pada penelitian ini adalah TVB, TMA, dan TMAO (AOAC 2005), formaldehida, DMA (Benjakul *et al.* 2004), ALT (BSN 2015) serta sensori (BSN 2011, BSN 2013), sedangkan analisis proksimat (AOAC 2005) dan asam amino (Shumilina *et al.* 2015) hanya dilakukan pada awal penyimpanan. Data dianalisis menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan disajikan secara deskriptif dengan menampilkan nilai rata-rata beserta standar deviasinya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia Daging Ikan Beloso

Hasil analisis proksimat ikan beloso dalam penelitian ini (*Table 1*) menunjukkan bahwa kandungan protein ikan yaitu 20,34%. Nilai kadar air, kadar abu, dan kadar protein sampel ikan beloso pada penelitian ini lebih tinggi daripada hasil pengujian sampel ikan beloso yang dilakukan oleh Supriyanti *et al.* (2013). Perbedaan habitat hidup dari ikan sangat berpengaruh terhadap kandungan kimia didalam dagingnya seperti proksimat, asam amino dan asam lemak (Aziz *et al.* 2013).

Kandungan lemak dan protein pada daging ikan memiliki peranan dalam pembentukan formaldehida alami pada fase setelah kematian. Ikan beloso dalam penelitian memiliki kadar protein lebih dari 20% sehingga masuk dalam kategori ikan

Table 1 Proximate of greater lizardfish

Parameter	% ^a	% ^b
Moisture	78.62 \pm 0.57	77.75
Ash	1.24 \pm 0.15	0.40
Protein	20.34 \pm 0.55	15.44
Lipid	0.53 \pm 0.07	5.6

Information: ^a: research data, ^bSupriyanti *et al.* (2013)

dengan kadar protein tinggi (Stansby 1967). Dalam kompleks protein daging ikan terdapat senyawa TMAO hasil degradasi dari senyawa kolin dalam matriks protein daging ikan yang dapat terurai menjadi formaldehida dan DMA selama proses kemunduran mutu ikan. Kadar lemak sampel ikan beloso pada penelitian yaitu 0,53%. Angka ini berbeda dengan kadar lemak ikan beloso yang didapatkan pada penelitian yang dilakukan oleh Supiryanti *et al.* (2013) yaitu 5,6% berat basah. Menurut Stansby (1962), ikan digolongkan sebagai ikan berlemak rendah jika mengandung lipid kurang dari 2%; ikan berlemak sedang mengandung 2-5% lipid dan ikan berlemak tinggi mengandung lipid di atas 5%. Menurut kategorisasi tersebut, maka sampel ikan beloso pada penelitian ini dan penelitian Mulye *et al.* (2015) tergolong ikan berlemak rendah, sedangkan ikan beloso pada penelitian yang dilakukan oleh Supriyanti *et al.* (2013) tergolong ikan berlemak tinggi. Perbedaan kandungan lemak tersebut dapat diakibatkan oleh lingkungan tempat ikan beloso tersebut berkembang dan juga ketersediaan makanan di lingkungan perairan tersebut (Ramlah *et al.* 2016). Kandungan lemak daging ikan berkaitan secara tidak langsung pada pembentukan formaldehida selama proses kemunduran mutu. Menurut Barokah *et al.* (2018) kandungan lemak daging juga berkorelasi tidak langsung pada pembentukan formaldehida ikan selama proses kemunduran mutu dengan cara

pembentukan asam lemak bebas yang pada tahap lebih lanjut dapat diuraikan menjadi kolin kemudian menjadi TMAO.

Profil Senyawa Amina, Formaldehida, dan Asam Amino pada Daging Ikan Beloso Selama Penyimpanan Beku

Trimetilamin oksida (TMAO)

Trimetilamine oksida (TMAO) biasanya terdapat pada kelompok ikan laut (Jaman *et al.* 2015) dan kekerangan yang memiliki peran penting dalam fungsi fisiologis dalam sistem osmoregulasi pada saat ikan hidup. Kandungan TMAO pada ikan bervariasi tergantung pada jenis spesies, habitat dan perubahan musim (Sotelo dan Rahbein 2000, Seibel dan Walsh 2002, Bennion dan Daggett 2004).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan TMAO ikan beloso cenderung meningkat selama disimpan dalam kondisi penyimpanan beku (*Figure 1*). Peningkatan kandungan TMAO ikan beloso yang signifikan terjadi pada bulan pertama penyimpanan. Hal ini disebabkan masih terdapatnya senyawa lipoprotein pada matriks daging ikan yang dapat diuraikan melalui aktivitas enzimatik. Degradasi senyawa lipoprotein pada penyimpanan suhu rendah secara enzimatik masih dapat terjadi, sehingga senyawa lipoprotein tersebut kemudian diuraikan menjadi kolin dan selanjutnya diuraikan menjadi TMAO oleh enzim

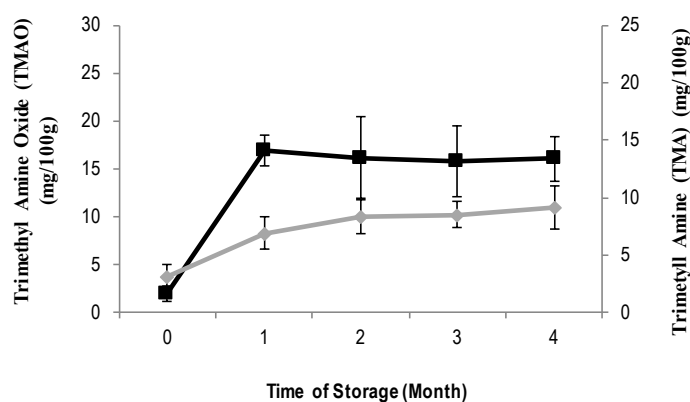


Figure 1 Trimetilamine oxide (TMAO) (■) and trimetilamine (TMA) (◆) of greater lizardfish during frozen storage

dehidrogenase (Yasuhara dan Shibamoto 1995). Hal tersebut mengakibatkan terjadinya peningkatan kandungan TMAO pada daging ikan. Kecepatan proses perombakan TMAO pada ikan tergantung pada beberapa faktor, diantaranya kondisi penyimpanan, suhu penyimpanan, integritas daging ikan dan spesies (Parkin dan Hultin 1982).

Trimetilamin (TMA)

Trimetilamin (TMA) merupakan salah satu basa volatil yang terbentuk dari reduksi TMAO oleh bakteri pembusuk. Kandungan TMA ikan beloso pada penelitian terus meningkat selama penyimpan beku (*Figure 1*). Kecepatan peningkatan kandungan TMA tinggi hingga bulan penyimpanan kedua kemudian cenderung menurun dan stabil pada bulan-bulan berikutnya. Pola perubahan TMA ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Jitesh *et al.* 2011, Murtini *et al.* 2014, Arbajanti 2017, Barokah *et al.* 2018, Nurhayati *et al.* 2019, dan Joshi *et al.* 2015 yang menyatakan bahwa nilai TMA pada butiran daging ikan kering jenis *S.tumbil* ditemukan meningkat selama 3 bulan masa penyimpanan. Hal tersebut terjadi karena pada saat ikan membusuk senyawa-senyawa TMA mulai terbentuk terutama pada ikan-ikan air laut, serta basa-basa volatil yang menguap. Senyawa-senyawa tersebut akan meningkat lebih cepat dengan semakin tingginya suhu penyimpanan. Kadar TMA berhubungan dengan perubahan sensori selama penyimpanan (Ibrahim dan Dewi 2008). Fluktuasi yang terjadi selama pembentukan TMA pada ikan beloso kemungkinan disebabkan oleh aktivitas mikroba yang kurang optimum dalam menguraikan senyawa TMAO dalam kondisi penyimpanan beku (Gram dan Dalgaard 2002). Jacobsen *et al.* (2010) menyatakan bahwa laju pembentukan TMA pada ikan selama fase kemunduran mutu sejalan dengan laju perombakan TMAO. Peningkatan kadar TVB paralel dengan peningkatan TMA selama pembusukan. Hal ini disebabkan oleh adanya peningkatan aktivitas bakteri pembusuk setelah kematian ikan sehingga reduksi TMAO menjadi TMA meningkat (Jinadasa 2014). Benjakul *et al.* (2003) juga menyatakan

bahwa perubahan kadar TVB dan TMA pada daging ikan selama penyimpanan dengan es mengalami peningkatan seiring dengan lamanya waktu penyimpanan.

Formaldehida (FA)

Formaldehida pada ikan secara alamiah terbentuk melalui reaksi reduksi trimetilamin oksida (TMAO) menjadi formaldehida secara enzimatik dengan bantuan enzim TMAO-ase dengan hasil samping dimetilamin (DMA) (Murtini *et al.* 2014). Beberapa penelitian terdahulu (Murtini *et al.* 2014, Rachmawati *et al.* 2007) juga menyatakan bahwa kandungan formaldehida dapat terbentuk secara alami dalam tubuh ikan sebagai hasil dari proses deteriorasi protein. Nilai FA pada ikan beloso selama penyimpanan suhu beku disajikan pada *Figure 2*. Terbentuknya formaldehida pada penelitian ini (*Figure 2*) memiliki pola yang sama dengan kadar TMAO (*Figure 1*) yaitu konsentrasi meningkat pada bulan pertama kemudian menurun pada bulan penyimpanan selanjutnya. Hal ini terjadi karena pada bulan pertama penyimpanan, jumlah TMAO yang tereduksi menjadi formaldehida jauh lebih kecil daripada jumlah TMAO yang terbentuk dari senyawa lipoprotein pada matriks daging ikan beloso (Yasuhara dan Shibamoto 1995). Pada penyimpanan selanjutnya, seluruh senyawa lipoprotein daging ikan beloso telah diuraikan menjadi TMAO.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi pembentukan formaldehida alami pada ikan beloso selama penyimpanan beku. Pola pembentukan formaldehida alami pada ikan beloso meningkat hingga bulan penyimpanan pertama kemudian mulai menurun pada bulan-bulan penyimpanan selanjutnya. Hal tersebut diduga terjadi karena sifat formaldehida yang bebas dan sangat reaktif. Faktor utama yang mempengaruhi kandungan formaldehida yang terbentuk tergantung pada waktu dan fluktuasi suhu pada kondisi penyimpanan (Lee *et al.* 2007).

Kandungan formaldehida alami ikan beloso sebelum penyimpanan pada penelitian ini $8,6 \pm 3,4$ ppm. Arbajanti (2017) dan Nurhayati *et al.* (2019) menyatakan bahwa kandungan formaldehida alami ikan beloso

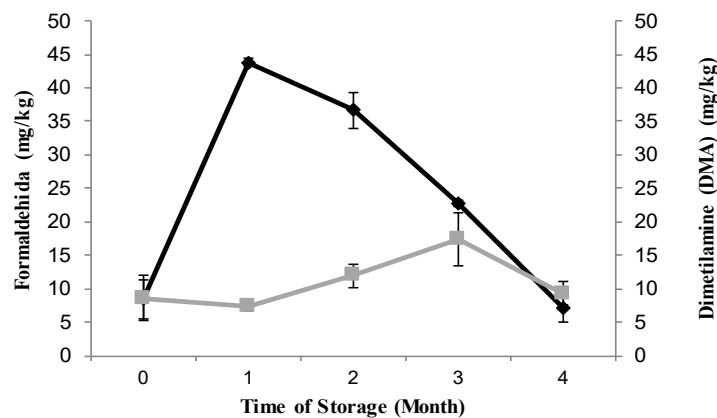


Figure 2 Formaldehyde (FA) (■) and dimetilamine (DMA)(▲)of greater lizardfish during frozen storage

tercatat sebesar 0 ppm pada saat kondisi segar. Penelitian lain (Nuraini *et al.* 2017) menyatakan kandungan formaldehida ikan beloso segar sebesar $0,22 \pm 0,00$ ppm. Perbedaan kandungan formaldehida alami ikan dengan spesies yang sama dipengaruhi oleh waktu dan suhu penyimpanan (Li *et al.* 2007).

Dimetilamin (DMA)

Dimetilamin (DMA) merupakan bagian dari basa volatil yang diproduksi oleh enzim selama penyimpanan. Dimetilamin dan formaldehida terbentuk secara alami sebagai hasil samping reduksi TMAO oleh enzim endogenus TMAO-ase (Murtini *et al.* 2014). Kandungan DMA pada ikan segar hasil tangkapan berkisar antara 0,2 mg/100 g (Oehlenschlanger 2002). Kandungan DMA tiap spesies jenis ikan berbeda-beda bergantung pada kandungan dan aktivitas enzim TMAO-ase atau TMAO dimetilase yang berperan dalam mengubah TMAO menjadi DMA dan formaldehida secara ekuimolar kuantitatif (Huss 1995).

Hasil penelitian menunjukkan adanya fluktuasi kadar DMA selama penyimpanan beku. Akan tetapi secara umum kadar DMA ikan beloso cenderung meningkat seiring dengan lamanya waktu penyimpanan beku (Figure 2). Kandungan DMA ikan beloso selama penyimpanan beku relatif tidak berubah pada penyimpanan bulan pertama

kemudian meningkat hingga bulan ke-3. Menurut Khidhir (2011) dimetilamin diproduksi secara autolisis selama penyimpanan beku dan berhubungan dengan membran dalam otot ikan. Pembentukan DMA akan lebih tinggi pada ikan dengan penanganan yang kasar serta terjadinya fluktuasi suhu selama masa penyimpanan dingin. Kandungan DMA yang terbentuk pada ikan beloso lebih rendah dibandingkan dengan kandungan formaldehidanya. Secara umum, kadar DMA meningkat seiring dengan lamanya waktu penyimpanan, sama halnya dengan formaldehida. Hasil penelitian menyatakan bahwa kadar DMA dan FA ditemukan meningkat pada filet ikan cod yang disimpan beku dengan suhu -20°C dan -30°C (Leblanc dan Leblanc 2007). Kadar formaldehida dan DMA ikan beloso selama penyimpanan beku dengan penyiangan lebih tinggi daripada tanpa penyiangan (Nurhayati *et al.* 2019).

Analisis DMA dapat dianggap sebagai penanda yang efektif untuk kesegaran ikan namun penggunaannya terbatas untuk beberapa jenis ikan yang mengandung TMAO dan enzim TMAO-ase. Aplikasi analisis DMA sebagai penanda kesegaran ikan dapat diaplikasikan pada ikan cod (*Gadus morhua*), haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) dan whiting (*Merlangius merlangus*). Selain itu, analisis DMA dapat digunakan untuk menguji kualitas ikan gadoid yang disimpan pada suhu beku (Etienne *et al.* 2005).

Table 2 Amino acid profile of greater lizardfish

Amino acid	mg/g
Alanine	2.96 ± 0.23
Aspartic Acid	0.16 ± 0.01
Cystine	0.54 ± 0.07
Glutamic acid	
Glycine	2.05 ± 0.17
Valine	2.22 ± 0.24
Histidine	1.62 ± 0.15
Isoleucine	2.09 ± 0.23
Leucine	5.41 ± 0.53
Lysine	5.44 ± 0.61
Methionine	7.74 ± 0.58
Phenylalanine	4.70 ± 0.40
Proline	2.01 ± 0.16
Serine	2.00 ± 0.18
Threonine	2.04 ± 0.17

Asam Amino

Komposisi asam amino pada daging ikan digunakan untuk mengetahui reaksi antara gugus formaldehida serta gugus protein. Analisis kandungan asam amino ini juga dilakukan untuk mengetahui kemiripan komposisi asam amino yang terdapat pada daging ikan yang mengandung formaldehida alami. Hasil analisis asam amino ikan beloso disajikan pada *Table 2*. Berdasarkan hasil analisis, asam amino leusina, metionina dan lisina merupakan asam amino yang kandungannya cukup tinggi pada matriks daging ikan beloso. Menurut Viljanen (2005)

asam amino histidina, metionina, lisina, dan sisteina merupakan jenis asam amino yang paling mudah berinteraksi dengan senyawa golongan aldehid dan keton. Kandungan asam amino histidina pada sampel ikan beloso tergolong rendah. Beberapa jenis asam amino esensial pada daging ikan beloso juga memiliki kandungan yang cukup rendah. Hal tersebut diakibatkan karena laju pertumbuhan bakteri yang cukup rendah karena adanya proses pembentukan formaldehida alami pada matriks daging ikan beloso.

Profil Kemunduran Mutu Ikan

Total volatile base (TVB)

Pengujian TVB merupakan metode pengukuran untuk menentukan kesegaran ikan yang didasarkan pada akumulasi senyawa-senyawa basa seperti amonia (NH_3), TMA, DMA, dan senyawa volatil lainnya yang mudah menguap. Komponen basa volatil pada ikan, terakumulasi pada daging sesaat setelah mati (Jinadasa 2014). Hasil analisis menunjukkan kandungan TVB-N ikan beloso meningkat setelah disimpan dalam kondisi penyimpanan beku (*Figure 3*). Suwetja (2011) menyatakan bahwa suhu penyimpanan dapat mempengaruhi kandungan TVB-N pada daging ikan. Liu *et al.* (2010) menjelaskan bahwa TVB merupakan senyawa hasil degradasi protein yang menghasilkan sejumlah basa yang mudah menguap seperti amonia, histamin, hidrogen sulfida dan trimetilamin. Kandungan TVB-N pada ikan beloso yang meningkat pada penyimpanan

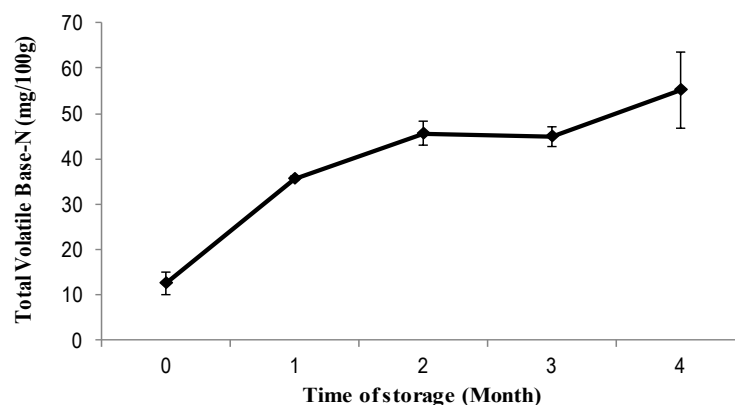


Figure 3 Total volatile base-nitrogen (TVB-N) of greater lizardfish during frozen storage.

beku menunjukkan bahwa meskipun terjadi pembentukan formaldehida secara enzimatis, pembentukan TVB dapat terjadi sesuai dengan pernyataan Özogul dan Özogul (2000) bahwa kenaikan nilai TVB disebabkan oleh aktivitas bakteri pembusuk maupun aktivitas enzimatis.

Ikan termasuk dalam kategori sangat segar bila nilai TVB kurang dari 10 mgN/100g. Nilai TVB ikan antara 10-20 mgN/100g masuk kriteria segar. Nilai TVB antara 20-30 mgN/100g merupakan batas penerimaan ikan untuk dikonsumsi, sedangkan jika nilai TVB lebih dari 30 mgN/100g ikan dikategorikan busuk. Nilai TVB ikan beloso pada awal masa penyimpanan dapat dikategorikan segar karena berada pada kisaran 10-20 mg/100g, sedangkan setelah satu bulan penyimpanan beku sampel ikan beloso masuk kategori busuk (Farber 1965).

Pengamatan kandungan TVB-N ikan beloso pada penyimpanan beku juga dilakukan oleh Nurhayati *et al.* (2019). Pada penelitian tersebut diketahui bahwa secara umum kandungan TVB-N ikan beloso meningkat selama waktu penyimpanan, tetapi cenderung tidak stabil. Perbedaan kestabilan nilai TVB-N dipengaruhi oleh spesies, metode pengolahan dan suhu penyimpanan (Mahmoudzadeh *et al.* 2010). Selain itu, jenis kelamin, umur, habitat, kebiasaan makan dan siklus pemijahan juga mempengaruhi kestabilan TVB-N ikan selama penyimpanan (Begum *et al.* 2011).

Derajat keasaman (pH)

Nilai pH (*power of hydrogen*) atau derajat keasaman merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk menentukan tingkat kesegaran ikan. Variasi perubahan nilai pH tergantung pada spesies, proses penangkapan, kondisi biologis, variasi musim, dan metode penanganan (Susanto *et al.* 2011). Perubahan pH daging ikan sangat besar perannya karena berpengaruh terhadap proses autolisis dan serangan bakteri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH daging ikan beloso mengalami kenaikan yang tidak signifikan seiring dengan lamanya waktu penyimpanan. Peningkatan nilai pH pada daging ikan pada fase kemunduran mutu juga

disertai dengan meningkatnya kandungan basa volatil yang terdapat pada daging ikan. Variasi perubahan nilai pH tergantung pada spesies, proses penangkapan, kondisi biologis, variasi musim, dan metode penanganan.

Nilai pH ikan beloso selama penyimpanan beku sedikit meningkat hingga bulan ke-2, kemudian sedikit menurun pada bulan ke-3. Penurunan nilai pH ikan beloso selama penyimpanan disebabkan akumulasi asam laktat pada daging ikan. Keadaan ketika jaringan otot menjadi lentur pada ikan setelah mati, secara biokimia ditandai oleh penurunan ATP dan keratin fosfat. Energi pada jaringan otot ikan diperoleh secara anaerobik dari pemecahan glikogen yang menghasilkan ATP dan asam laktat yang menyebabkan penurunan nilai pH (Eskin 1990). Nilai pH ikan beloso kembali meningkat pada penyimpanan bulan ke-4. Tinggi rendahnya pH ikan tergantung pada glikogen yang ada. Peningkatan nilai pH disebabkan oleh proses autolisis pada daging ikan yaitu terjadinya penguraian protein oleh enzim menjadi senyawa-senyawa sederhana.

Pola perubahan pH ikan beloso selama penyimpanan suhu beku serupa dengan pola perubahan pH ikan beloso selama penyimpanan suhu *chilling* (Arbajayanti 2017). Selama penyimpanan suhu *chilling*, ikan beloso mengalami penurunan pH pada hari ke-3 penyimpanan kemudian kembali naik pada hari ke-6.

Angka lempeng total (ALT)

Hasil analisis secara mikrobiologi dengan parameter angka lempeng total menunjukkan bahwa di awal penyimpanan ikan beloso memiliki angka lempeng total 10^5 CFU/g (*Figure 4*). Selama penyimpanan, total bakteri ikan beloso semakin meningkat dengan bertambahnya waktu penyimpanan dan pada penyimpanan empat bulan peningkatannya terlihat nyata. Mekanisme peningkatan angka lempeng total pada ikan beloso selama penyimpanan beku ini belum diketahui secara pasti. Kemungkinan terdapat jenis bakteri tertentu pada ikan beloso yang dapat bertahan dan jumlahnya cenderung meningkat dalam suhu beku. Hal ini serupa dengan penelitian terdahulu yang menyatakan adanya peningkatan angka lempeng total pada

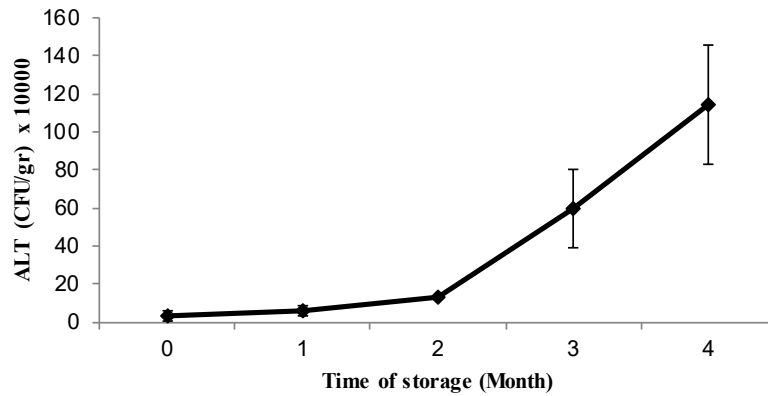


Figure 4 Total plate count (TPC) of greater lizardfish during frozen storage.

cumi yang disimpan dalam suhu beku selama empat bulan (Farida *et al.* 2018).

Organoleptik

Ikan merupakan bahan pangan yang mudah mengalami kerusakan dan kemunduran mutu. Kerusakan ini dapat terjadi secara biokimiawi maupun mikrobiologi. Ikan yang telah mati akan mengalami perubahan biokimia dan fisikokimia yang mengakibatkan turunnya kesegaran ikan. Interval waktu terjadinya perubahan yang menyebabkan pembusukan ditentukan oleh fase *post mortem* (Munandar *et al.* 2009).

Kesegaran ikan beloso dalam penelitian ini diamati secara sensori baik sebelum penyimpanan maupun selama masa penyimpanan suhu beku (Figure 5). Kondisi ikan beloso sebelum penyimpanan memiliki kesegaran baik/cukup dengan nilai rata-rata tujuh yang berlangsung sampai satu

bulan penyimpanan dan menurun pada penyimpanan berikutnya kemudian relatif stabil. Berdasarkan penilaian panelis, ikan beloso ditolak setelah tiga bulan penyimpanan dengan kondisi bola mata agak cekung, kornea agak keruh, pupil agak keabu-abuan, agak mengilap spesifik jenis ikan, warna insang cenderung gelap, bau asam, tekstur lunak dan kurang elastis. Hasil pengamatan sensori ini serupa dengan penelitian pengamatan sensori ikan beloso dalam penyimpanan beku yang dilakukan oleh Nurhayati *et al.* (2019). Pengamatan sensori terhadap kemunduran mutu ikan beloso yang disimpan dalam suhu *chilling* (Arbajayanti 2017) menyatakan bahwa ikan beloso sudah dalam kondisi busuk pada penyimpanan hari ke-9 yang ditandai dengan tekstur daging ikan menjadi lunak. Hasil ini berbeda untuk ikan hasil budidaya yang mempunyai kesegaran prima pada saat akan dilakukan penyimpanan. Analisis kesegaran

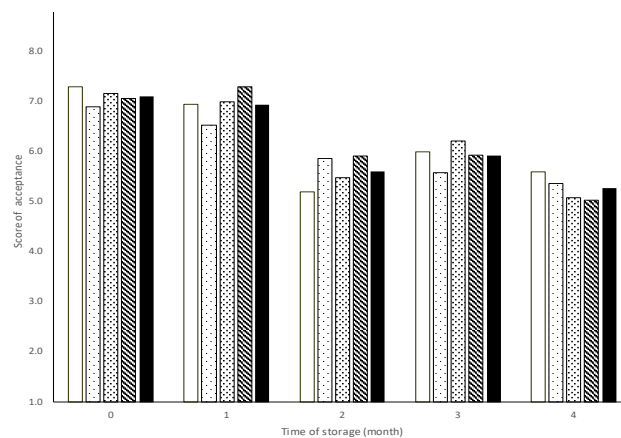


Figure 5 Score of greater lizardfish acceptance (□ appearance, ▨ meat, ▩ smell, ▪ texture, ■ total acceptance) during frozen storage.

sampel ikan hasil budidaya dapat diperoleh dalam keadaan hidup kemudian dimatikan dan segera dilakukan penyimpanan.

Perbandingan kemunduran mutu penyimpanan ikan beloso

Penyimpanan ikan beloso mempengaruhi kecepatan kemunduran mutunya. Hasil dari penelitian yang dilakukan dan beberapa hasil penelitian terdahulu (Nurhayati *et al.* 2019, Arbajayanti 2017, Nuraini *et al.* 2017) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kecepatan penurunan kualitas ikan yang diawetkan. Hal ini terlihat secara nyata pada pengamatan organoleptik. Pada pengawetan suhu *chilling*, ikan mulai tercium bau busuk mulai hari keenam (Arbajayanti 2017) sedangkan pada pengawetan suhu beku, ikan layak dikonsumsi hingga penyimpanan selama 3 bulan. Pengawetan ikan beloso pada suhu *chilling* diketahui bahwa TMAO-ase (U) meningkat sedangkan TMAO-ase protein menurun (Nuraini *et al.* 2017). Pengawetan suhu beku dan *chilling* tidak menyebabkan perubahan pH secara signifikan sedangkan nilai TVB dan TMA meningkat, akan tetapi nilai DMA dan FA tidak menunjukkan pola yang konsisten (Nurhayati *et al.* 2019, Arbajayanti 2017, Nuraini *et al.* 2017).

KESIMPULAN

Ikan beloso merupakan jenis ikan hasil tangkapan yang memiliki kandungan formaldehid alami relatif tinggi. Daging ikan beloso memiliki kompleks protein dengan senyawa TMAO yang dapat terurai secara enzimatis menjadi formaldehida dan DMA selama proses kemunduran mutu ikan. Korelasi kandungan formaldehida alami dan senyawa DMA pada ikan beloso tidak memperlihatkan pola yang konsisten. Peningkatan indikator pembusukan secara mikrobiologi dan sensori menunjukkan ikan beloso hanya dapat bertahan hingga tiga bulan dalam penyimpanan beku.

DAFTAR PUSTAKA

[AOAC] Association of Analytical Communities. 2005. Official Methods of Analysis. Washington (US): Benjamin Franklin Station.

Arbajayanti RD. 2017. Pembentukan formaldehid alami pada ikan beloso (*Saurida tumbil*) selama penyimpanan suhu *chilling*. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

Ariyani F, Setyawan A, Ibrahim R. 2008. Persentasi residu formalin dalam ikan kembung (*Rastreliger neglectus*) setelah perlakuan perendaman dan pemanasan. [Prosiding]. Malang (ID): Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya.

Ariyani F, Wibowo S, Januar HI, Andayani F, Barokah GR, Anissah U, Putri AK. 2018. Riset kandungan formaldehida alami pada pada ikan demersal. [Laporan Teknis]. Jakarta (ID) : Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan.

Aziz AF, Nematollahi, Siavash, Dehkordi. 2013. Proximate composition and fatty acid profile of edible tissues of *Capoeta damascina* (Valenciennes, 1842) reared in freshwater and brackish water. *Journal of Food Composition and Analysis* 32 :150-154.

Begum M, Pollen AA, Newaz AW, Kamal M. 2011. Shelf life of giant freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) under different storage conditions. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*. 9(1): 159-168.

Barokah GR, Putri AK, Anissah U, Murtini JT. 2018. Pembentukan formaldehida alami dan penurunan mutu ikan kerapu cantik (*Epinephelus fuscogatus* x *E. microdon*) selama penyimpanan pada suhu beku. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 13 (1) : 71 – 78.

Benjakul S, Visessanguan W, Tanaka M. 2004. Induced formation of dimethylamine and formaldehyde by lizardfish (*Saurida micro pectoralis*) kidney trimethylamine-N-oxide demethylase. *Food Chemistry*, 84(2), 297–305. doi:10.1016/S0308-8146(03)00214-0.

Benjakul S, Visessanguan W, Tanaka M. 2003. Partial purification and characterization of trimethylamine-N-oxide demethylase from lizardfish kidney. *Comparative*

- Biochemistry and Physiology Part B* 135 (2003) 359-371.
- Bennion BJ, Daggett V. 2004. Counteraction of urea-induced protein denaturation by trimethylamine N-oxide: A chemical chaperone at atomic resolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 101(17):6433-6438.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Petunjuk Pengujian Organoleptik dan atau Sensori pada Produk Perikanan SNI 2346:2011*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Indonesia.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2013. *Ikan Segar SNI 2729:2013*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Indonesia.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2015. *Cara Uji Mikrobiologi - Bagian 3: Penentuan Angka Lempeng Total (ALT) pada Produk Perikanan SNI 2332.3.2015*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Indonesia.
- Eskin NAM. 1990. *Biochemistry of Foods*. Second Edition. San Diego (US): Academic Press.
- Etienne M, Ifremer, Nantes. 2005. *Methods for Chemical Quality Assessment-Volatile Amines as Criteria for Chemical Quality Assessment*. France(FR): Seafoodplus.
- Farber L. 1965. *Freshness Test*. Borgstorm G (editor). Fish as Food Vol IV. New York (US) : Academic Press.
- [FAO] Food and Agricultural Organization of the United Nations. 1987. *Species identification sheets : synodontidae (Lizardfishes)*. Hush HH (ed).
- [FAO] Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2019. *Saurida tumbil* (Bloch, 1795). Species Fact Sheets. Fisheries and aquaculture department. [Internet]. [diunduh 2019 Mei 17]. Tersedia pada: <http://www.fao.org/fishery/species/2984/en>.
- Gram L, Dalgaard. 2002. Fish spoilage bacteria—Problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*. 13(3) : 262–26.
- Hoque MS, Jacxsens L, Meulenaer B, Alam AKMN. 2016. Quantitative risk assessment for formalin treatment in fish preservation: Food safety concern in local market of Bangladesh. *Procedia Food Science*. 6: 151–158. doi: 10.1016/j.profoo.2016.02.037.
- Huss HH. 1995. *Quality and quality changes in fresh fish*. FAO Fisheries Technical Paper No: 348.
- Ibrahim K, Dewi EN. 2008. Pendinginan ikan bandeng (*Chanos chanos* Forsk.) dengan es air laut serpihan (sea water flake ice) dan analisis mutunya. *Jurnal Sainstek Perikanan* 3(2):27-32.
- Irianto HE, Giyatmi S. 2009. *Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan*. Jakarta(ID): Universitas Terbuka.
- Jacobsen C, Nielsen HH, Jorgensen B, Nielsen J. 2010. Chemical processes responsible for quality deterioration in fish. Di dalam : Skibsted LH, Risbo J, Andersen ML, editor. *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food Beverages*. Denmark (DK) : Wood Head Publishing.
- Jaman N, Hoque MS, Chakraborty SC, Hoq ME, SealH P. 2015. Determination of formaldehyde content by spectrophotometric method in some fresh water and marine fishes of Bangladesh. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. 2(6 B): 94–98.
- Jinadasa BKK. 2014. Determination of quality of marine fishes based on total volatile base nitrogen test (TVB-N). *Journal Nature and Science*. 12(5):106-111.
- Jitesh SB, Syed ZM, Hitendra PL, Ashok DR, Anil KS, Balakrishnan G. 2011. Effect of egg albumen (protein additive) on surimi prepared from lizardfish (*Saurida tumbil*) during frozen storage. *International Journal of The Bioflux Society*. 4(3): 306-312.
- Joshi BN, Koli JM, Sharangdher ST. 2015. Development of edible texturised dried fish granules from low-value fish (*Saurida tumbil*). *International Journal of Sciences and Applied Research*. 2(8):69-77
- Khidhir ZK . 2011. Comparative Quality Assessments of Five Local Fresh Fish in Sulaimani City Markets. [Thesis]. Turki (TR): College of Veterinary Medicine, University of Sulaimani.
- Leblanc EL, Leblanc RJ. 2007. Effect of

- frozen storage temperature on free and bound formaldehyde content of cod (*Gadus morhua*) fillets. *Journal of Food Processing and Preservation*. 12(2):95-113. Doi:10.1111/j.1745-4549.1988.tb00070.
- Leelapongwattana K, Benjakul S, Visessanguan W, Howell NK. 2007. Effect of trimethylamine-N-oxide demethylase from lizardfish kidney on biochemical changes of haddock natural actomyosin stored at 4 and -10°C. *European Food Research and Technology*. 226 (4), 833-841.
- Leelapongwattana K, Benjakul S, Visessanguan W, Howell NK. 2008. Effect of some additives on the inhibition of lizardfish trimethylamine-N-oxide demethylase and frozen storage stability of minced flesh. *International Journal of Food Science & Technology*. 43(3) : 448-455.
- Li J, Zhu J, Ye L. 2007. Determination of formaldehyde in squid by high-performance liquid chromatography. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 16(1):127-130.
- Mulye VB, Zofair JK, Gohel RM, Kadri, Baraiya KG. 2015. Recovery of protein from lizardfish (*Saurida tumbil*) surimi-leached water using spray drying technique. *Fishery Technology*. 52(2015):67-70.
- Munandar A, Nurjanah, Nurilmala M. 2009. Kemunduran mutu ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada penyimpanan suhu rendah dengan perlakuan cara kematian dan penyiangan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 7(2):88-101.
- Murtini JT, Riyanto R, Priyanto N, Hermana I. 2014. Pembentukan formaldehida alami pada beberapa jenis ikan laut selama penyimpanan dalam es curai. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan Perikanan*. 9(2):143-151.
- Noordiana N, Fatimah AB, Farhana Y. 2011. Formaldehyde content and quality characteristics of selected fish and seafood from wet markets. *International Food Research Journal*. 18:125-136.
- Nuraini A, Nurhayati T, Nurilmala M. 2017. Aktivitas trimethylamine-n-oxide demethylase (TMAOase) dalam pembentukan formaldehida alami pada ikan beloso (*Saurida tumbil*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20(3):549-558.
- Nurhayati T, Abdullah A, Sari SN. 2019. Penentuan formaldehid ikan beloso (*Saurida tumbil*) selama penyimpanan beku. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 22(2): 236-245.
- Oehlschlager J. 2002. Identifying heavy metals in fish. Bremmer HA (editor). *Safety and quality issues in fish processing*. Cambridge (UK): Woodhead Publishing Limited.
- Ozogul F, Ozogul Y. 2000. Comparison of methods used for determination of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in rainbow trout. *Turkey Journal of Zoology* 24, 113-120.
- Parkin KL, Hultin HO. 1982. Some factors influencing the projection of dimethylamine and formaldehyde in minced and intact red hake muscle. *Journal of Food Processing and Preservation*. 6(2): 73-97.
- Rachmawati N, Riyanto R, Ariyani F. 2007. Pembentukan formaldehida pada ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) selama penyimpanan pada suhu kamar. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 2(2), 137-143.
- Ramlah E, Soekendarsi, Hasyim Z, Hasan MS. 2016. Perbandingan kandungan gizi ikan nila *Oreochromis niloticus* asal Danau Mawang Kabupaten Gowa dan Danau Universitas Hasanuddin Kota Makassar. *Jurnal Biologi Makassar (Bioma)*. 1(1): 39-46.
- Riyadi PH. 2006. Pemanfaatan ikan beloso sebagai bahan baku pembuatan pasta ikan dengan penambahan tepung garut. *Jurnal Saintek Perikanan*. 2(1): 8-21.
- Riyanto R, Kusmarwati A, Dwiyoitno. 2006. Pembentukan formaldehida pada ikan kerapu (*Epinephelus fuscoguttatus*) selama penyimpanan pada suhu kamar. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 1(2): 111-116.
- Sari SN. 2017. Pembentukan formaldehida alami ikan beloso (*Saurida tumbil*) pada penyimpanan suhu freezing. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

- Seibel BA, Walsh PJ. 2002. Trimethylamine oxide ac cumulation in marine animals: relationship to acylglycerol storage. *The Journal of Experimental Biology*. 306: 297-306.
- Shumilina E, Ciampa A, Capozzi F, Rustad T, Dikiy A. 2015. NMR approach for monitoring post mortem changes in atlantic salmon fillets stored at 0 and 4°C. *Food Chemistry*. 185 (2): 12-22.
- Sotelo CG, Rehbein H.2000. TMAO-degrading enzymes. Haard NF, Simpson BK (editors). *Seafood Enzymes*. New York (US): Marcel Dekker.
- Stansby ME. 1962. Proximate Composition of Fish. Di dalam *Fish In Nutrition*. London (UK): FAO Fishing News.
- Standsby ME. 1967. Fish Oils. The AVI Publishing Company, Inc. Wesport, Connecticut. Di dalam Salamah E, Hendarwan, Yunizal 2004. Studi Tentang Asam Lemak Omega-3 dari Bagian-Bagian Tubuh Ikan Kembung Laki-Laki (*Rastrelliger kanagurta*). *Buletin Teknologi Hasil Perikanan*. 8(2): 34:40.
- Supriyanti F, Dwiyantri G, Muliani P. 2013. Surimi dari ikan beloso (*Saurida tumbil*) dan analisis kandungan gizinya. *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia*. 4(2): 125-134.
- Susanto E, Agustiani TW, Ritanto EP, Dewi EN, Swastawati F. 2011. Changes in oxidation and reduction potential (Eh) and pH of tropical fish during storage. *Journal of Coastal Development*. 14(3):223-234.
- Suwetja. 2011. Biokimia Hasil Perikanan. Jakarta (ID): Media Prima.
- Dinas Perikanan TPI Cituis. 2018. *Jumlah Hasil Produksi Ikan TPI Cituis*. Banten (ID): Dinas Perikanan.
- Viljanen K, Kivikari R, Heinonen M. 2004. Proteinlipid interactions during liposome oxidation with added anthocyanin and others phenolic compounds. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 52: 1104-1111.
- [WHO] World Health Organization. 2002. *Formaldehyde: Concise International Chemical Assessment Document 40*. Geneva (CH): Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Yasuhara A, Shibamoto T. 1995. Quantitative analysis of free and bound formaldehyde formed from various kinds of fish flesh during heat treatment. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 43:94-97.
- Yasui A, Lim Y. 1987. Changes in chemical and physical properties of lizardfish meat during ice and frozen storage. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*. 34(1): 54-60.