

PEMBENTUKAN FORMALDEHIDA ALAMI DAN PENURUNAN MUTU IKAN KERAPU CANTIK (*Epinephelus fuscoguttatus* × *E. microdon*) SELAMA PENYIMPANAN PADA SUHU BEKU

*Formation of Natural Formaldehyde and Deterioration of Cantik Grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* × *E. microdon*) during Frozen Storage*

Giri Rohmad Barokah*, Ajeng Kurniasari Putri, Umi Anissah, dan Jovita Tri Murtini

Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan,
Jl. KS Tubun Petamburan VI, Slipi, Jakarta, Indonesia

*Korespondensi Penulis: girirohmadbarokah@gmail.com

Diterima: 2 Januari 2018; Direvisi: 16 Maret 2018; Disetujui: 22 Mei 2018

ABSTRAK

Formaldehida merupakan bahan yang dilarang digunakan sebagai bahan tambahan pangan (BTP) berdasarkan Permenkes No 033 Th 2012. Namun demikian, pada beberapa produk pangan termasuk ikan, formaldehida dapat terbentuk secara alami karena terjadinya proses penurunan mutu melalui penguraian secara enzimatis. Pembentukan formaldehida alami pada ikan terjadi melalui proses degradasi *trimethylamine oxide* (TMAO) oleh enzim TMAO-ase. Berdasarkan latar belakang tersebut, dilakukan penelitian untuk mengkaji pembentukan formaldehida dan beberapa parameter penurunan kualitas pada ikan kerapu cantik (*Epinephelus fuscoguttatus* × *E. microdon*) selama penyimpanan beku. Penelitian dilakukan melalui kuantifikasi pembentukan formaldehida alami, *total volatile base* (TVB), trimetilamin (TMA), dan TMAO dalam sampel ikan kerapu cantik sesaat setelah kematian dan selama penyimpanan beku dalam kurun waktu lima bulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan TMA, TVB dan formaldehida alami antar individu sampel ikan kerapu cantik dalam populasi yang sama memiliki perbedaan yang nyata. Pembentukan formaldehida alami dalam sampel ikan kerapu cantik selama lima bulan penyimpanan pada kondisi beku membentuk pola parabolik, di mana kadar formaldehida meningkat seiring waktu dan mencapai nilai maksimum hingga bulan ke-2 kemudian menurun hingga bulan ke-5. Pembentukan formaldehida alami dalam sampel ikan kerapu cantik selama penyimpanan dalam suhu beku berkorelasi positif dengan proses penurunan mutunya berdasarkan parameter TVB dan TMA.

KATA KUNCI: formaldehida, penurunan mutu, kerapu cantik, penyimpanan beku

ABSTRACT

*Formaldehyde is banned to be used as food additive under the Ministry of Health Regulation Number 033/2012. However, in some food products including fish, formaldehyde can be formed naturally due to deterioration process through degradation enzymatically. Endogenous formaldehyde in fish formed through degradation of trimethylamine oxide (TMAO) by TMAO-ase. Based on these, a study on the formation of formaldehyde and some deterioration parameters of cantik grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* × *E. microdon*) during frozen storage condition has been conducted. The research was conducted by observing the immediate post mortem formation of natural formaldehyde, total volatile base (TVB), trimethylamine (TMA) and TMAO of cantik grouper and during frozen storage within five months. The results showed that TMA, TVB and natural formaldehyde among individual samples of cantik groupers in the same population were significantly different. The formation of natural formaldehyde in cantik grouper within five months frozen storage form a parabolic pattern, in which formaldehyde content increased and reached a maximum point in the 2nd month and then decreased until the 5th month. The formation of natural formaldehyde in cantik grouper samples during frozen storage positively correlated with their deterioration processes based on TVB and TMA parameters.*

KEYWORDS: formaldehyde, deterioration, cantik grouper, frozen storage

PENDAHULUAN

Fenomena dan isu-isu terkait keamanan produk pangan secara global sedang berkembang pesat dewasa ini. Hal tersebut ditandai dengan meningkatnya minat kegiatan penelitian keamanan produk pangan untuk menjamin keamanan produk makanan yang beredar secara global kepada konsumen. Sampai saat ini, bahaya kontaminasi kimia masih merupakan salah satu penyebab signifikan timbulnya penyakit dan gangguan kesehatan pada konsumen (FDA, 2018). Salah satu kontaminasi kimia yang perlu mendapatkan perhatian secara serius adalah formaldehida yang telah diklasifikasikan oleh *International Agency for Research on Cancer* sebagai senyawa yang bersifat karsinogenik pada manusia bila terpapar melalui rute inhalasi (IARC, 2004). Formaldehida merupakan kelompok senyawa aldehyd yang bersifat sangat reaktif. Formaldehida pada umumnya terbentuk akibat reaksi oksidasi katalitik pada metanol yang bersumber dari pembakaran bahan yang mengandung karbon seperti asap kendaraan, asap industri dan asap rokok (ATSDR, 1999; WHO, 2010). Selain itu, senyawa formaldehida juga dapat terbentuk secara alami pada tubuh makhluk hidup melalui proses metabolisme sekunder senyawa asam amino purin, tirimidin dan kolin (Moeller et al., 2011). *US Environmental Protection Agency* (US EPA) menetapkan *oral reference dose* (Rfd) formaldehid adalah 0,2 mg/kg berat badan/hari (Wang, Cui & Fang, 2007). Sedangkan *International Programme on Chemical Safety* (IPCS) menetapkan bahwa batas aman paparan formaldehida yang terkandung dalam makanan dan masuk ke tubuh manusia adalah 1,5 - 14 mg/hari untuk orang dewasa.

Senyawa formaldehida dapat terbentuk secara alami pada berbagai jenis produk pangan, misalnya sayur, buah-buahan, daging dan buah-buahan (Yeh, Lin, Chen & Wen, 2013). Formaldehida pada produk perikanan terbentuk selama proses kemunduran mutu dari penguraian *trimethylamine-N-oxide* (TMAO) menjadi formaldehida dan *dimethylamine* melalui proses enzimatis (Badii & Howell, 2002). Beberapa jenis ikan dilaporkan memiliki kandungan formaldehida yang tinggi seperti *bombay duck* yang berkisar antara 54-190 ppm serta beloso yang berkisar antara 39-110 ppm (Chung & Chan, 2009; Jaman et al., 2015). Sedangkan, hasil penelitian tentang kandungan formaldehida alami di Indonesia memperlihatkan beberapa jenis ikan, seperti ikan bawal bintang, kakap putih, cobia, bandeng, kakap merah, kerapu cantrang, dan kerapu macan, bervariasi antara 0,09-3,00 ppm tergantung jenis dan pola penyimpanannya (Murtini, Riyanto, Priyanto & Hermana, 2014;

Rachmawati, Riyanto & Ariyani, 2007; Riyanto, Kusmarwati & Dwiyoitno, 2007).

Ikan kerapu cantik merupakan komoditas yang prospektif di sektor perikanan budidaya. Ikan ini adalah jenis ikan hybrid hasil persilangan antara ikan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*) betina dan kerapu batik (*E. microdon*) jantan yang relatif tahan terhadap penyakit serta memiliki kelebihan dari segi pemeliharaan yang lebih mudah, resiko kegagalan panen lebih rendah, dan harga jual di pasaran yang cukup tinggi (Ismi, Yusmina & Daniar, 2013; Yudha & Sutarmat, 2014). Komoditas ini dibudidayakan untuk memenuhi pasar ekspor ke berbagai negara, di antaranya Malaysia, Hongkong, China dan Jepang. Namun sebagai produk ekspor, ikan ini akan memiliki jeda waktu dari pascapanen hingga dikonsumsi. Hal ini berdampak terhadap kemungkinan peningkatan konsentrasi formaldehida, sehingga informasi mengenai kandungan formaldehida yang terbentuk pada ikan kerapu cantik selama proses penyimpanan beku menjadi penting. Selain itu penelitian tentang pembentukan formaldehida selama fase penurunan mutu pada ikan kerapu yang telah dilakukan hingga saat ini masih terbatas pada kondisi suhu kamar dan penyimpanan dalam es curai (Murtini et al., 2014; Rachmawati et al., 2007; Riyanto et al., 2006). Hal ini lah yang mendasari dilakukannya penelitian ini. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pembentukan formaldehida pada ikan kerapu cantik selama proses penurunan mutu pada saat disimpan pada kondisi beku. Korelasi terhadap TVB juga dilakukan untuk mengetahui korelasi kadar formaldehida yang terbentuk dengan parameter kimia yang penting bagi penurunan mutu produk perikanan (Amegovu, Serunjogi, Ogwok & Makokha, 2012; Wu & Bechtel, 2008). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan langkah pengendalian yang dapat dilakukan dalam meminimalkan pembentukan formaldehida alami pada ikan kerapu cantik.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah ikan kerapu cantik budidaya dari hasil persilangan antara ikan kerapu macan dan kerapu batik (*Epinephelus fuscoguttatus* x *E. microdon*) yang diambil dari Balai Layanan Usaha Produksi Budidaya (BLUPB) Karawang dalam keadaan hidup. Ikan kerapu cantik yang diambil berusia 6 bulan dengan berat yang relatif sama yaitu (233,3±17,19 g); panjang (25,2±2,07 cm) dan lebar (10,55±1,19 cm). Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

asam borat (Merck), TCA (*trichloroacetic acid*) (Merck) asetil aseton (Merck), ammonium asetat (Merck), Asam asetat glacial (Merck), HCl (*hidrochloric acid*) (Merck), kalium karbonat (Merck) dan larutan standar formalin 100 ppm yang ditetapkan dari larutan baku formalin 37% (Merck) dengan metode titrasi asam basa sesuai dengan prosedur farmakope Indonesia. Sedangkan alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya adalah : cawan Conway, timbangan analitik (Metler Toledo), oven (Yamato) dan spektrofotometer UV-Vis (Perkin Elmer).

Metode

Ikan kerapu cantik dimatikan dengan cara dimasukkan dalam bak air yang telah berisi es dan telah dikondisikan suhunya pada 4 °C kemudian dibiarkan hingga mengalami kematian (hipotermal). Ikan dibagi menjadi 3 kelompok sebagai ulangan sebelum disimpan pada freezer pada suhu (-18 °C) selama 5 bulan. Analisis dilakukan pada titik ke-0 yaitu sesaat setelah ikan dimatikan, kemudian setiap bulan hingga bulan ke 5 pada tanggal yang sama setiap bulannya. Parameter analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah *total volatile base* (TVB) (Conway, 1968 in Ozogul & Ozogul, 2000), trimetilamin (TMA) dan trimetilamin oksida (TMAO) (Hebard, Flicks & Martin, 1982), dan formaldehida (Siang, 1992) yang dilakukan sesuai dengan metode yang dideskripsikan dalam masing-masing pustaka. Selain itu pada penelitian ini digunakan juga parameter analisis proksimat (kadar air, kadar protein, kadar abu dan kadar lemak) sesuai dengan SNI 01-2354.2-2006 (BSN, 2006) yang dilakukan hanya pada pengamatan titik ke-0 pasca kematian untuk melihat komposisi

kimia daging ikan kerapu cantik. Percobaan dilakukan dengan tiga kali ulangan dan setiap ulangan dilakukan analisis secara triplo.

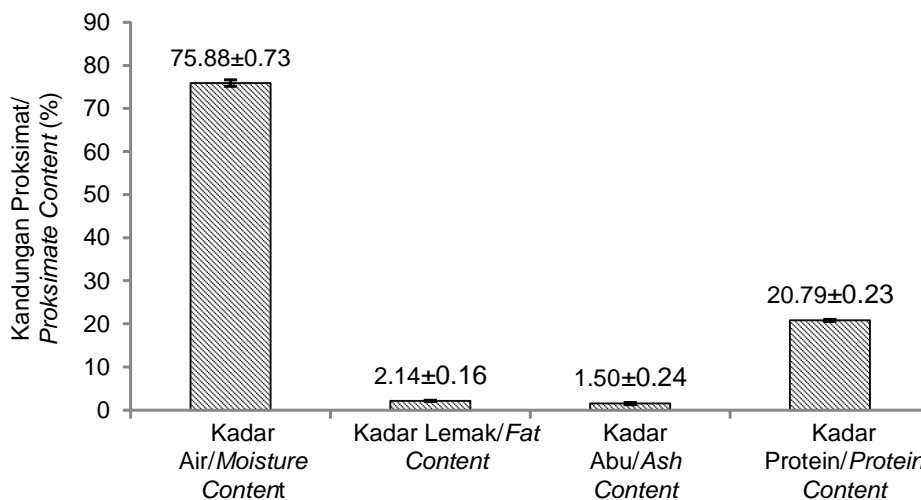
Analisis Data

Data hasil penelitian yang disajikan berupa nilai rata-rata disertai dengan standar deviasinya. Data yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan software statistik '*Statistical Package for Social Science*' (SPSS Windows version 17.0). Analisis data statistik uji *one way ANOVA* digunakan untuk membandingkan rata-rata kandungan formaldehida, TMA, TVB dan TMAO berdasarkan individu spesies ikan kerapu cantik dan berdasarkan pengaruh waktu penyimpanan dalam suhu beku (Aminah, Zailina & Fatimah, 2013). Sebelum dilakukan analisis statistik *one way ANOVA*, dilakukan pengujian normalitas data hasil analisis laboratorium menggunakan uji Kolmogorov – Smirnov. Selain itu, hubungan korelasi antar parameter pengujian (TVB, TMA, TMAO, dan Formaldehida) dianalisis dengan analisis korelasi Spearman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Kimia Ikan Kerapu Cantik (*E. fuscoguttatus* × *E. microdon*)

Analisis proksimat menunjukkan ikan kerapu cantik memiliki kadar air sebesar 75,88±0,73 %, kadar abu sebesar 1,50±0,24 %, kadar lemak sebesar 2,14±0,16 % dan kadar protein sebesar 20,79±0,23% (Gambar 1). Perbandingan data ini terhadap hasil penelitian serupa oleh Mukadar (2007) menunjukkan



Gambar 1. Kandungan proksimat ikan kerapu cantik sebelum perlakuan penyimpanan beku

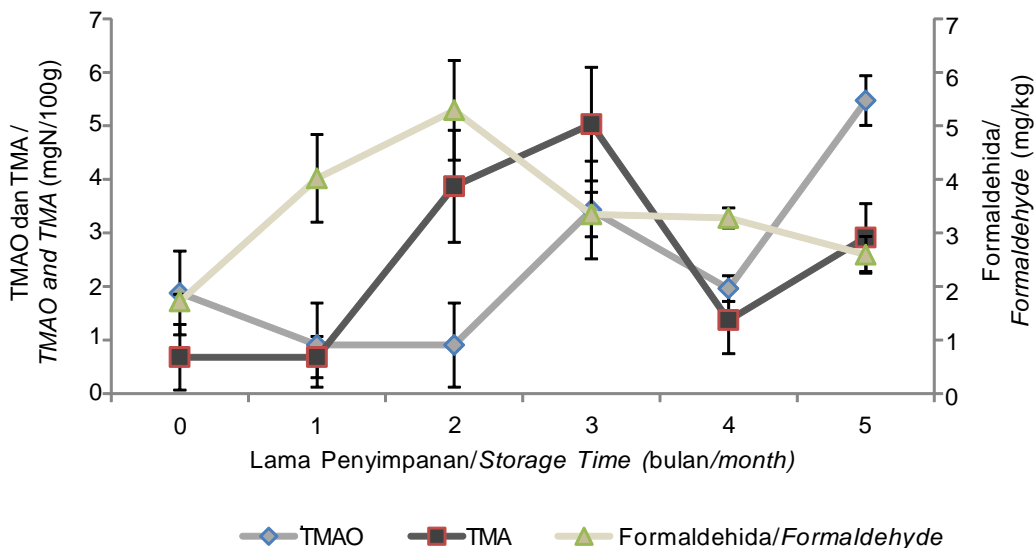
Figure 1. Proximate content of cantik grouper before frozen storage treatment

bahwa kadar air hasil penelitian lebih rendah (kadar air penelitian Mukadar sebesar 79,2%) sedangkan komposisi kadar lemak dan protein lebih tinggi (kadar lemak penelitian Mukadar sebesar 1,02% dan kadar proteinnya sebesar 19,8%). Selanjutnya, data penelitian ini selaras dengan hasil penelitian Murtini et al. (2014), yang menyatakan bahwa komposisi proksimat ikan kerapu *hybrid* jenis cantrang memiliki kadar air sebesar 77,17 %, kadar abu 1,20%, kadar protein 18,93% dan kadar lemak 2,40 %. Kandungan komposisi kimia pada ikan dapat bervariasi tergantung pada spesies, umur dan habitat biota (Purwaningsih, Salamah & Riviani, 2013).

Kadar lemak dan protein yang tinggi sangat erat kaitannya dengan pembentukan formaldehida pada biota perikanan. Berdasarkan pernyataan Standsby (1967) ikan kerapu cantik yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam kategori ikan dengan kadar protein tinggi karena kandungannya yang lebih dari 20%. Selanjutnya Seibel dan Walsh (2002) menyatakan bahwa dalam kompleks protein daging ikan terkandung senyawa TMAO hasil degradasi dari senyawa kolin, yang menjadi sumber pembentukan formaldehida dan DMA selama proses kemunduran mutu ikan. Selain itu 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.

Kandungan Formaldehida, TMAO dan TMA Ikan Kerapu Cantik (*E. fuscoguttatus* x *E. microdon*)

Kadar formaldehida, TMAO, dan TMA ikan kerapu cantik pada penyimpanan beku selama 5 bulan memperlihatkan adanya deviasi yang tinggi antar sampel dalam satu waktu (Gambar 2). Walaupun demikian, pengujian statistik memperlihatkan kadar TMAO tiap individu ikan kerapu cantik pada penelitian ini tidak berbeda nyata ($p > 0,05$). Akan tetapi kandungan TMA dan formaldehida dari tiap individu berbeda nyata ($p < 0,05$) dalam satu waktu pengambilan sampel. Perbedaan kandungan TMA dan formaldehida pada tiap individu tersebut disebabkan oleh perbedaan aktivitas dan kecepatan bakteri dalam mendegradasi TMAO menjadi TMA dan perbedaan aktivitas enzim TMAO-ase dalam mendegradasi TMAO menjadi formaldehida. Menurut Chun, Kim dan Shin (2014) setelah ikan mengalami kematian, kelompok bakteri tertentu mulai melakukan aktivitasnya untuk merombak TMAO menjadi TMA dan aktivitas dari bakteri tersebut dipengaruhi oleh pH daging ikan serta suhu penyimpanan ikan. Sedangkan Benjakul, Visessanguan dan Muehiko (2004) menyatakan bahwa aktivitas enzim TMAO-ase pada setiap organ di dalam spesies ikan berbeda tergantung pada kadar pH yang terdapat pada organ tersebut. Selanjutnya, kandungan TMAO, TMA, dan formaldehida ikan kerapu cantik menunjukkan hasil yang berbeda nyata ($p < 0,05$) selama 5 bulan penyimpanan. Hal tersebut



Gambar 2. Kandungan trimetilamin oksida (TMAO), trimetilamin (TMA) dan formaldehida (FA) ikan kerapu cantik dalam kondisi penyimpanan beku selama 5 bulan.

Figure 2. Trimethylamine oxide (TMAO), trimethylamine (TMA) and formaldehyde (FA) contents of cantik grouper in frozen storage conditions during 5 months

disebabkan pola antar waktu pembentukan TMAO, TMA dan formaldehida yang berbeda dan cenderung berfluktuasi. Jika TMAO dan TMA cenderung meningkat, maka formaldehida membentuk kurva parabolik dengan kadar formaldehida maksimum terdapat pada bulan ke-2.

Trimetilamine oksida (TMAO) biasanya terdapat pada kelompok ikan laut dan kekerangan dan memiliki peran penting dalam fungsi fisiologis sistem osmoregulasi ikan pada saat hidup serta pada saat ikan memasuki fase penurunan mutu pasca kematian. Kandungan TMAO pada ikan bervariasi tergantung pada jenis spesies, habitat dan respon ikan terhadap perubahan musim (Seibel & Walsh, 2002; Sotelo & Rehbein, 2000). Kadar TMAO yang relatif sama dari tiap individu sampel dalam satu waktu analisis menunjukkan potensi yang homogen dari seluruh komunitas sampel pengujian dalam membentuk formaldehida dan TMA selama proses penurunan mutu. Peningkatan kandungan TMAO selama penyimpanan diduga karena adanya senyawa lipoprotein (Yasuhara & Shibamoto 1995). Degradasi senyawa lipoprotein secara enzimatik masih dapat terjadi dalam fase penurunan mutu ikan, sehingga senyawa lipoprotein tersebut kemudian diuraikan menjadi kolin dan selanjutnya diuraikan menjadi TMAO oleh enzim dehidrogenase. Kandungan TMAO ikan kerapu cantik pada saat disimpan dalam suhu beku selama lima bulan berkisar antara 2-6 mg/100 g. Kandungan tersebut selaras dengan hasil penelitian Murtini et al., (2014) pada ikan kerapu cantrang yang disimpan dalam es curai yang memiliki kandungan TMAO berkisar antara 2-5 mgN/100 g hingga akhir periode penyimpanannya. Kecepatan proses perombakan TMAO pada ikan tergantung pada beberapa faktor di antaranya adalah suhu penyimpanan, integritas daging ikan dan spesies (Parkin & Hultin, 1982).

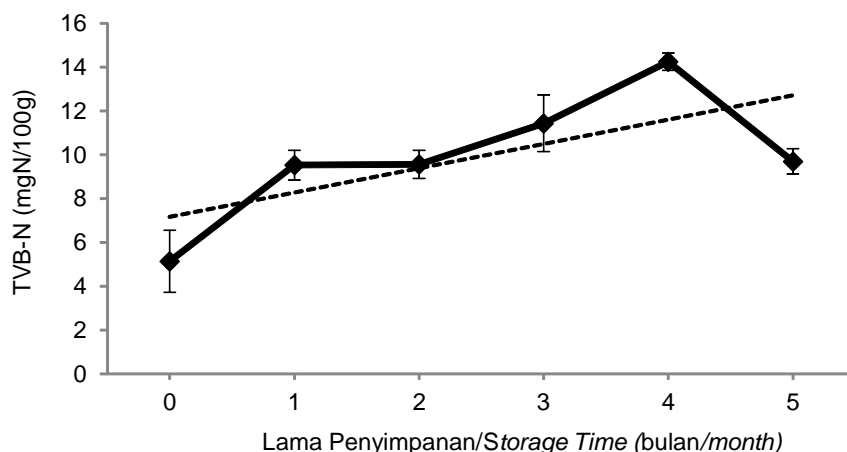
Walaupun memiliki kadar TMAO yang selaras dalam satu waktu analisis, variasi laju metabolisme pada tiap individu diduga menjadi penyebab adanya perbedaan yang signifikan antara kandungan TMA dan formaldehida dari tiap individu sampel yang diambil dalam rentang waktu yang sama. Proses degradasi TMAO dapat terjadi secara enzimatik menjadi equimolar dimetilamin (DMA) dan formaldehida (FA) dan secara non enzimatik menjadi trimetilamin (TMA) dengan laju penguraian yang tergantung pada beberapa faktor, di antaranya adalah suhu penyimpanan, aktivitas mikroba, serta integritas daging ikan dan spesies (Gram & Dalgaard, 2002; Leelapongwattana, Benjakul, Visesanguan & Howell, 2005; Mizuguchi, Kumazawa, Yamashita & Safey, 2011; Parkin & Hultin, 1982). Kandungan TMA, walaupun mengalami fluktuasi, masih menandakan bahwa mutu ikan kerapu cantik dalam keadaan baik

hingga bulan ke-5 penyimpanan. Hal ini terlihat dari kadar TMA yang masih kurang dari 15 mgN/100g (Guizani et al. 2005). Kadar TMA yang rendah dapat disebabkan oleh tertahannya laju aktivitas mikroba dalam menguraikan senyawa TMAO pada suhu rendah (Gelman, Glatman, Drabkin & Harpaz, 2001). Selain itu, respon individu dalam satu spesies ikan terhadap proses kematian ikan juga dapat mempengaruhi pembentukan TMA dan formaldehida di mana ikan yang mengeluarkan banyak energi sebelum kematian, pH nya akan lebih cepat turun dan mengaktifkan enzim katepsin yang mampu menguraikan senyawa-senyawa volatil (Munandar, Nurjanah & Nurimala, 2009).

Pola pembentukan formaldehida ikan kerapu cantik yang terlihat berbeda dengan TMA maupun TMAO disebabkan oleh karakteristik kimiawi formaldehida dan interaksinya dengan senyawa lain. Pola pembentukan formaldehida yang meningkat di awal bulan disebabkan oleh degradasi TMAO, selanjutnya kandungan formaldehida ikan kerapu cantik menurun akibat reaksi lanjutan menjadi senyawa lain dan berpolimerasi secara reaktif dengan senyawa lain membentuk senyawa baru (Ozogul & Ozogul, 2000; Rachmawati et al., 2007; Tsuda, Frank, Sato & Sugimura, 1988). Gugus senyawa yang paling reaktif dengan formaldehida adalah gugus fungsional protein. Reaksi antara keduanya akan membentuk kompleks yang memiliki struktur jembatan metilen intra – dan inter- molekuler sehingga menyebabkan daging ikan menjadi kenyal/liat (Sotelo, Pineiro & Perez-Martin, 1995). Pola yang serupa juga ditemukan oleh hasil penelitian Rachmawati et al., (2007) dan Riyanto et al., (2006) pada ikan kerapu macan (*E. fuscoguttatus*). Namun demikian, pengujian korelasi menunjukkan bahwa konsentrasi formaldehida alami yang terbentuk tidak berkorelasi dengan kuat dengan kadar TMAO dan TMA. Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan formaldehida alami pada ikan kerapu cantik selama disimpan pada suhu beku tidak sejalan dengan perombakan TMAO dan pembentukan TMAnya. Adams dan Moss (2008) menerangkan bahwa reaksi kimia pembentukan kadar TMA dan formaldehida dari TMAO adalah equimolar, akan tetapi berbagai faktor, seperti interaksi kedua senyawa ini dengan senyawa lainnya dalam matrik dapat menjadi penyebab variasi yang signifikan.

Korelasi Pembentukan Formaldehida dengan Kandungan TVB-N Ikan Kerapu Cantik (*E. fuscoguttatus* × *E. microdon*)

Hasil analisis selanjutnya memperlihatkan bahwa formaldehida memiliki korelasi moderat ($R > 0,5$) dan signifikan ($p < 0,05$) dengan parameter penurunan mutu ikan lainnya yaitu TVB-N. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan TVB-N ikan kerapu



Gambar 3. Kandungan TVB-N ikan kerapu cantik dalam kondisi penyimpanan suhu beku selama 5 bulan
 Figure 3. TVB-N content of cantik grouper within 5 months frozen storage conditions

cantik selama disimpan pada kondisi beku cenderung meningkat secara nyata ($p < 0,05$) dari bulan pertama hingga bulan ke empat kemudian bergerak turun pada penyimpanan bulan ke lima, selaras dengan pembentukan formaldehida (Gambar 3).

Peningkatan kadar TVB-N dari awal hingga bulan ke-4 merupakan hasil dari degradasi protein oleh aktivitas enzim dan aktifitas bakteri yang menghasilkan basa volatil seperti amonia, hidrogen sulfida, histamin, trimetil amine dan dimetil amine (Liu et al., 2010). Namun, penurunan kandungan TVB-N ikan kerapu cantik pada bulan ke 5 kemungkinan disebabkan oleh penguapan beberapa basa volatil seperti amonia. Selain itu, aktivitas penguraian basa volatil oleh bakteri juga terhambat pada suhu rendah (Gonzales-Rodriguez et al., 2001; Huss, 1995). Hasil secara umum memperlihatkan bahwa berdasarkan kadar TVB-N yang terukur hingga bulan ke 5 penyimpanan, ikan yang diuji masih termasuk kriteria ikan yang layak untuk dikonsumsi, karena kadar TVB-N masih kurang dari 20 mgN/100g sebagai ambang batas persyaratan produk ikan beku (Gulsun, Esmeray, Serhat, & Fatih, 2009; BSN, 2014). Korelasi yang signifikan antara TVB dengan formaldehida memperlihatkan bahwa laju penurunan mutu terkait erat dengan tingkat keamanan pangan produk perikanan terutama bahaya paparan formaldehida pada ikan kerapu tersebut. Pembentukan formaldehida alami pada ikan dapat berlangsung selama proses pembusukan, dengan semakin rendah mutunya, maka kadar formaldehida alaminya juga dapat tinggi (Murtini et al., 2014).

KESIMPULAN

Pembentukan formaldehida alami pada ikan kerapu cantik saat disimpan pada kondisi beku selama lima bulan membentuk pola parabolik, dengan kandungan

tertinggi pada bulan ke-2 sebesar 5,23 ppm dan setelah itu mengalami penurunan sampai bulan ke-5. Kadar formaldehida yang terbentuk tidak selaras dengan peningkatan kadar TMAO dan TMA, tetapi berkorelasi signifikan dengan peningkatan kadar TVB sebagai parameter lain penurunan mutu ikan. Setelah penyimpanan pada suhu beku selama lima bulan, ikan kerapu cantik secara umum masih layak untuk di konsumsi karena kandungan TVB yang terbentuk masih berada di bawah ambang batas persyaratan untuk produk ikan beku.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, R. M. & Moss, O. M. (2008). *Food Microbiology*, 3rd edn. University of Surrey, Guildford (UK): RSC publishers. p. 139-145.
- Amegovu, A. K., Serunjogi, M. L., Ogwok, P. & Makokha, V. (2012). Nucleotided degradation products, total volatile basic nitrogen, sensory and microbiological quality of Nile perch (*Lates niloticus*) filets under chilled storage. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 2 (2), 653-666.
- Aminah, S., Zailina, H. & Fatimah, A. B. (2013). Health risk assessment of adults consuming commercial fish contaminated with formaldehyde. *Food and Public Health*, 3(1), 52-58.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1999). *Toxicological Profile for Formaldehyde*. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services.
- Badii, F., & Howell, N. K. (2002). Changes in the texture and structure of cod and haddock filets during frozen storage. *Food Hydrocolloids*, 16, 313-319.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2006). *Cara Uji Kimia pada Produk Perikanan*. No. SNI 01-2354.2-2006. Badan Standardisasi Nasional. 4-6 pp.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2014). *Ikan beku : Persyaratan mutu dan keamanan pangan ikan beku*. No. 4110-2014/ Badan Standardisasi Nasional. 3 pp

- Benjakul, S., Visessanguan, W. & Munehiko, T. (2004). Induced formation of dimethylamine and formaldehyde by lizardfish (*Saurida micropectoralis*) kidney trimethylamine –N-oxide demethylase. *Food Chemistry*, 84, 297-305.
- Chun, H. N., Kim, B. & Shin H., S. (2014). Evaluation of Freshness Indicator for Quality of Fish Product During Storage. *Food Sci. Biotechnol.*, 23(5) ,1719-1725.
- Chung, S. W. C. & Chan, B. T. P. (2009). Trimethylamine oxide, dimethylamine, trimethylamine and formaldehyde levels in main traded fish species in Hongkong. *Food Additives & Contaminants : Part B : Surveillance.*, 2(1), 44-51
- Food and Drugs Administration (FDA). (2018) Foodborn illness Contaminant. www.fda.gov/Food/FoodbornIllnessContaminants/ChemicalContaminants/default.htm. [5 Februari 2018].
- Gelman, A., Glatman, L., Drabkin, V. & Harpaz, S. (2001). Effect of storage temperature and preservative treatment on shelf life of the pond-raised freshwater fish, silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Journal Food Protection*, 64,1584-1591
- Gonzalez-Rodriguez, M. N., Sanz, J. J., Santos, J. A., Otero, A., & Garcia-Lopez, M. L. (2001). Bacteriological quality of aquacultured freshwater fish portions in prepackaged trays stored at 3 degrees C. *J. Food Prot.*, 64(9), 399-404.
- Gram, L., & Dalgaard. (2002). Fish spoilage bacteria— Problems and solutions. *Current Opinion in Biotechnology*, 13(3), 262–266.
- Guizani, N., Al-Busaidy, M. A., Al-Belushi, I. M., Mothershaw, A. & Rahman, M. S. (2005). The effect of storage temperature on histamine production and the freshness of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Food Research International*, 38(2), 215 – 222.
- Gulsun, O., Esmeray, K., Serhat, O. & Fatih, O. (2009). Sensory, microbiological and chemical assessment of the freshness of red mullet (*Mullus barbatus*) and goldband goatfish (*Upeneus moluccensis*) during storage in ice. *Food chemistry*, 114, 505-510.
- Hebard, C. E., Flick, G. J. & Martin, R. E. (1982). Occurrence and significance of trimethylamine oxide and its derivatives in fish and shellfish. In: Martin, R. E., Flick, G. J., Hebard, C. E., Ward, D. R. (ed.) *Chemistry and biochemistry of marine food products*. AVI Publ., Westport. Connecticut. p. 149-304
- Huss, H. H. (1995). *Quality and quality changes in fresh fish*. Rome: Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2004). Monograph on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, vol 88, formaldehyde, 2-butoxyethanol and 1-tert-butoxy-2-propanol. Lyon. France.
- Ismi, S., Yusmina, N. A. & Daniar, K. (2013). Peningkatan Produksi dan Kualitas Ikan Kerapu Melalui Program Hibridisasi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 5 (2), 333-342.
- Jaman, N., Hoque, M.S., Chakraborty, S.C., Hoq, M.E., Seal, H. P. (2015). Determination of formaldehyde content by spectrophotometric method in some fresh water and marine fishes of Bangladesh. *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, 2, 94–98.
- Leelapongwattana, K., Benjakul, S., Visessanguan, W. & Howell, N. K. (2005). Physicochemical and biochemical changes during frozen storage of minced flesh of lizardfish (*Saurida micropectoralis*). *Food Chemistry*, 90, 141-150.
- Liu S., Fan W., Zhong S., Ma C., Li P., Zou K., Peng Z., & Zhu, M. (2010). Quality evaluation of tray-packed tilapia fillets stored at 0° C based on sensory, microbiological, biochemical and physical attributes. *African Journal of Biotechnology*, 9(5), 692–701.
- Mizuguchi, T., Kumazawa, K., Yamashita, S. & Safety, J. (2011). Factors that accelerate dimethylamine formation in dark muscle of three gadoid species during frozen storage. *Fisheries Science*, 77, 143-149.
- Moeller, B. C., Lu, K., Doyle-Eisele, M., McDonald, J., Gigliotti, A., & Swenberg, J. A. (2011). Determination of N2-hydroxymethyl-dG adducts in the nasal epithelium and bone marrow of nonhuman primates following 13 CD2-formaldehyde inhalation exposure. *Chem Res Toxicol.*, 24,162–164
- Mukadar, N. (2007). Analisis Kadar Protein Pada Ikan Kerapu Macan. Skripsi Jurusan Kimia FKIP Universitas Darussalam Ambon. <http://lib.fkip.unidar.ac.id> [15 November 2017]
- Munandar, A., Nurjanah & Nurimala, M. (2009). Kemunduran mutu ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada penyimpanan suhu Rendah dengan perlakuan cara kematian dan penyiangan. *Jurnal Teknologi Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 7(2), 88-101.
- Murtini, J. T., Riyanto, R., Priyanto, N. & Hermana, I. (2014). Pembentukan formaldehid alami pada beberapa jenis ikan laut selama penyimpanan dalam es curai. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan Perikanan*, 9(2),143-151.
- Noordiana, N., Fatimah, A. B., & Farhana Y. C. B. (2011). Formaldehyde content and quality characteristics of selected fish and seafood from wet markets. *International Food Research Journal*, 18, 125–136.
- Ozogul, F. & Ozogul, Y. (2000) Comparison of methods used for determination of total volatile basic nitrogen (TVB-N) in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Turkey Journal of Zoology*, 24, 113-120.
- Parkin, K. L., & Hultin, H. O. (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.
- Purwaningsih, S., Salamah, E. & Riviani. (2013). Perubahan komposisi kimia, asam amino dan kandungan taurin ikan glodok (*Periophthalmodon schlosseri*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 16 (1), 12 – 21.
- Rachmawati, N., Riyanto, R., & Ariyani, F. (2007). Pembentukan formaldehid pada ikan kerapu macan

- (*Epinephelus fuscoguttatus*) selama penyimpanan pada suhu kamar. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 2(2), 137–143.
- Riyanto, R., Kusmarwati, A. & Dwiyoitno. (2006). Pembentukan formaldehid pada ikan kerapu (*Epinephelus fuscoguttatus*) selama penyimpanan pada suhu kamar. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*, 1(2), 111-116.
- Seibel, B. A. & Walsh, P. J. (2002). Trimethylamine oxide accumulation in marine animals: relationship to acylglycerol storage. *The Journal of Experimental Biology. The Company of Biologists Limited 2002.*, 306, 297–306.
- Sotelo, C. G., Pineiro, C. & Perez-Martin, R. I. (1995). Denaturation of fish protein during frozen storage : role of formaldehyde. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und-Forschung*, 200, 14-23
- Sotelo, C. G. & Rehbein, H. (2000). TMAO-degrading enzymes. In: Haard NF, Simpson BK, editors. *Seafood Enzymes*. New York, NY: Marcel Dekker, p. 167–190.
- Tsuda, M., Frank, N. Sato, S. & Sugimura, T. (1988). Marked increase in urinary level of nitrosothioproline after ingestion of cod with vegetables. *Cancer Research*, 48, 4049-4052.
- Wang, S., Cui, X. J. & Fang, G. Z. (2007). Rapid determination of formaldehyde and sulfur dioxide in food products and Chinese herbals. *Food Chemistry*, 103(4), 1487-1493.
- World Health Organization (WHO). (2010). *Guidelines for Indoor Air Quality: Selected Pollutants*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization.
- Wu, T.H & Bechtel, P.J. (2008). Salmon by-product storage and oil extraction. *Food Chemistry*, 111, 868-871.
- Yasuhara, A. & Shibamoto, T. (1995). Quantitative analysis of volatile aldehydes formed from various kinds of fish flesh during heat treatment. *Journal of Agriculture Food Chemistry*, 43, 94-97.
- Yeh, T. S., Lin, T. C, Chen, C. C. & Wen, H. M. (2013). Analysis of free and bound formaldehyde in squid and squid products by gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Food and Drug Analysis*, 21, 190-197
- Yudha, H. T. & Sutarmat, T. (2014). Keragaan pertumbuhan kerapu macan (*Epinephelus fuscoguttatus*), kerapu batik (*Epinephelus microdon*) dan kerapu hibrida cantik sebagai hasil persilangan kerapu macan dan kerapu batik. *Prosiding FITA 2013*, 617-623.