

Mini Review: Pemanfaatan *Microbial Transglutaminase* (MTGase) pada Surimi Ikan Patin

Mini Review: Utilization of Microbial Transglutaminase (MTGase) on Catfish Based Surimi Production

Apristia Ruvinty¹, Devi Natalia¹, Warsono El Kiyat^{2*}, Dyah Ayu Pradnya Paramitha²

¹Departemen Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Ilmu Hayati, Universitas Surya

²Program Studi Manajemen Kuliner, Politeknik Pariwisata Batam

* Penulis Korespondensi: warsono.el.kiyat@gmail.com

ABSTRACT

Transglutaminase have attracted wide interest in the biotechnology industry due to its capacity to cross-link protein substrates. To obtain transglutaminase from animals, it is an extremely high-cost process. Actually, this enzyme can be produced by microorganisms and it is called as microbial transglutaminase (MTGase). The application of MTGase is wider than other resources. This study aimed to analyze the potential of MTGase application in catfish-based surimi processing. The results showed that in the food industry, MTGase has been used successfully to improve the mechanical properties of surimi from various fishes, especially in catfish. MTGase had a good prospect in Indonesia to be applied in catfish based surimi.

Keywords: *catfish; MTGase; surimi*

ABSTRAK

Transglutaminase banyak diminati oleh industri bioteknologi karena karakteristiknya yang dapat menghidrolisis substrat ikatan silang pada protein. Transglutaminase yang diekstrak dari hewan memerlukan biaya yang mahal, akan tetapi setelah enzim ini dapat dihasilkan dari mikroorganisme (MTGase), aplikasinya menjadi lebih luas. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis potensi MTGase dalam aplikasinya pada pembuatan surimi ikan patin siam. Hasil kajian menunjukkan bahwa dalam industri pangan, MTGase dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik surimi dari berbagai ikan, terutama ikan patin siam. MTGase memiliki prospek yang baik di Indonesia untuk diaplikasikan pada surimi ikan patin siam.

Kata kunci: MTGase; ikan patin siam; surimi

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil ikan kedua terbesar di dunia setelah Cina, dengan produksi di sektor perikanan sebesar 6,5 ton pada tahun 2014 (Tran, 2017). Luasnya lautan Indonesia merupakan potensi yang besar bagi perekonomian dan pembangunan bangsa. Secara khusus, dalam bidang pangan, hasil laut menjadi salah satu tumpuan

pemenuhan konsumsi masyarakat Indonesia di masa depan, walaupun perannya tidak terlalu besar di masa sekarang. Selain itu, hasil laut Indonesia, terutama ikan, juga sangat beragam. Terdapat lebih dari 8000 jenis ikan di Indonesia, baik ikan air tawar maupun ikan laut (Tran, 2017).

Berdasarkan laporan dari World Bank dan Food and Agriculture Organization (FAO), konsumsi ikan di dunia pada tahun 2006 sebesar 111.697.000 ton dan akan meningkat pada tahun 2030 mencapai 151.771.000 ton. Sementara itu, pada tahun 2006, konsumsi ikan di Asia Tenggara sebanyak 14.623.000 ton dan diproyeksikan meningkat pada tahun 2030 mencapai 19.327.000 ton (World Bank – FAO, 2013). Hal ini karena, daging ikan memiliki berbagai zat gizi dan menjadi sumber protein berkualitas yang dibutuhkan oleh manusia. Selain mengandung protein, ikan juga mengandung berbagai vitamin dan mineral, termasuk vitamin A, vitamin D, magnesium, fosfor, selenium, dan yodium. Asam lemak seperti omega 3 dan omega 6 juga terkandung dalam daging ikan (Norziah *et al.*, 2009). Oleh karena itu, ikan menjadi bahan pangan yang sangat esensial untuk dikonsumsi apalagi di negara berkembang seperti Indonesia. Dibandingkan dengan sereal, legum, dan daging lainnya, ikan memiliki nilai nutrisi yang lebih baik dan lebih mudah dicerna.

Ikan memang memiliki nilai nutrisi yang tinggi, namun ikan merupakan bahan pangan yang mudah rusak. Salah satu penyebabnya adalah kontaminasi mikroba dan kerusakan akibat penyimpanan pada suhu yang rendah. Penyimpanan ikan di dalam *freezer* dalam rangka memperpanjang umur simpan dapat menurunkan kualitas gel dari daging ikan (Okazaki dan Kimura, 2013). Hal tersebut akan menurunkan kualitas sensori ikan terutama tekstur selama periode penyimpanan.

Berbagai macam pengolahan hasil laut telah dilakukan, salah satunya dengan membuat surimi. Surimi adalah protein miofibril yang distabilkan dari daging ikan, yang dihilangkan tulangnya secara mekanis, yang dicuci dengan air dan dicampur dengan *cryoprotectant*. Pada umumnya, surimi diproses melalui pencincangan, pencucian, pencampuran dengan *cryoprotectant*, dan pembekuan (Nurkhoeriyati *et al.*, 2010). Terdapat beberapa jenis ikan yang biasa digunakan sebagai bahan baku surimi. Beberapa di antaranya yaitu: ikan pollock Alaska, ikan whiting Pasifik, ikan makarel, ikan menhaden, ikan kakap, ikan air tawar, dan ikan nila (Campo-Deano dan Tovar, 2009). Sementara itu, surimi yang selama ini diproduksi, teksturnya masih kurang baik karena metode yang dilakukan untuk memperbaiki teksturnya hanya secara mekanik saja yaitu dengan mencuci berkali-kali daging ikan yang diolah menjadi surimi. Teknik tersebut kurang efektif dan efisien dalam dunia industri. Oleh karena itu,

diperlukan teknik atau zat yang dapat memperbaiki tekstur surimi yang lebih mudah diaplikasikan. Salah satunya dengan menggunakan transglutaminase. Kualitas dari surimi ditentukan dengan karakteristik gel seperti tekstur dan kemampuan untuk membentuk gel (gelasi) (Yin dan Park, 2014). Dengan adanya enzim seperti *microbial transglutaminase* (MTGase), karakteristik gel dari surimi semakin baik. MTGase telah banyak digunakan untuk memperbaiki tekstur produk berbasis protein, termasuk surimi (Hemung dan Chin, 2013). Adapun kelebihan dari enzim ini yaitu dapat diproduksi secara masal dengan lebih efisien, dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Akan tetapi, berdasarkan penelitian dari Seighalani et al. (2017), penggunaan MTGase secara berlebihan menyebabkan stabilitas protein dalam membentuk gel cenderung menurun pada surimi.

Ikan patin merupakan salah satu jenis ikan yang dibudidayakan di Indonesia. Produksi ikan patin mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Data terbaru yaitu tahun 2016, produksi ikan patin di Indonesia mencapai 437,11 ton. Selain itu, ikan patin siam (*Pangasius hypothalamus*) mengandung asam amino esensial yang paling tinggi diantara seluruh jenis ikan patin dan ikan jenis lainnya (Kementerian Kesehatan RI, 2018). Oleh karena itu, ikan patin siam perlu diolah dan ditingkatkan masa simpannya agar tidak menjadi *food waste*. Surimi menjadi salah satu alternatif dalam pengolahan ikan patin siam. Melalui kajian ini, dilakukan analisis potensi aplikasi *microbial transglutaminase* (MTGase) pada produk surimi ikan patin siam serta menganalisis prospek pengembangan produk surimi ikan patin siam dan MTGase.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Surimi

Kualitas surimi yang baik dapat dilihat dari kekuatan gel, *water holding capacity* (WHC), dan derajat putih. Ketiga parameter tersebut dipengaruhi oleh faktor intrinsik dari jenis ikan yang digunakan, misalnya kadar protease dan endogenous transglutaminase yang berperan dalam pembentukan gel pada surimi, serta meningkatkan kekuatan gel dengan penambahan protein tambahan (Campo-Deano dan Tovar, 2009).

Transglutaminase sudah banyak diaplikasikan pada produk tahu, sosis, dan mi (Motoki dan Seguro, 1998). Enzim ini berfungsi memperbaiki solubilitas dan meningkatkan pembentukan gel, emulsifikasi, *foaming*, viskositas, dan *water holding capacity* (Gaspar dan de Góes-Favoni, 2015). Dari fungsi tersebut, transglutaminase berpotensi untuk diaplikasikan pada surimi. Umumnya, transglutaminase dapat dihasilkan dari mamalia, salah satunya berasal dari hati marmut. Namun, harga enzim ini sangat mahal. MTGase yang notabene dihasilkan

dari mikroba memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan transglutaminase yang diproduksi dari hati marmut. MTGase dapat diproduksi dengan biaya yang lebih rendah dan dalam jumlah besar melalui proses fermentasi, sehingga menghasilkan enzim yang lebih murah. Hal ini juga diperkuat dengan Tabel 1, yang menunjukkan bahwa penambahan MTGase dapat memperkuat gel surimi dengan peningkatan nilai kekuatan gel, sehingga tekstur surimi menjadi tidak mudah putus. Begitu juga untuk nilai deformasi gel, penambahan MTGase menghasilkan tekstur surimi menjadi lebih kuat. Selain itu, derajat putih dari surimi yang ditambahkan dengan MTGase lebih tinggi dibandingkan tanpa MTGase (Seighalani *et al.*, 2017).

Tabel 1. Perbandingan karakteristik gel surimi pada konsentrasi MTGase yang berbeda

Konsentrasi MTGase (unit/g surimi)	Kekuatan gel (g)	Deformasi gel (mm)	Derajat putih	<i>Expressible</i> <i>water</i> (%)
0,00	434,36	10,50	76,53	11,70
0,10	435,17	10,60	78,38	11,25
0,20	438,00	13,13	78,02	11,13
0,30	763,70	14,79	79,73	10,50

Sumber: Seighalani *et al.* (2017)

Aplikasi MTGase pada Produk Surimi

MTGase dapat diaplikasikan di berbagai bahan baku, baik dalam bentuk yang kering maupun rehidrasi tergantung pada sifat bahan baku yang ditambahkan. Suhu yang dipakai akan mempengaruhi reaksi. Suhu yang lebih tinggi akan membutuhkan waktu yang lebih singkat pada reaksi antara kelompok protein dan MTGase. MTGase aktif secara optimal pada kisaran suhu 50 °C dan 55 °C dan cukup stabil pada kisaran suhu 0 °C sampai dengan 60 °C. Enzim ini stabil pada pH 5-9. MTGase dapat diinaktivasi pada suhu diatas 60 °C dengan durasi inaktivasi yang ditentukan dari jenis bahan pangan (Vácha *et al.*, 2006). Produksi MTGase dari mikroorganisme dapat dilakukan melalui proses ekstraksi dan pemisahan senyawa protein dari mikroorganisme sumber. Adapun enzim ini dapat diproduksi dari *Streptomyces thioluteus*. Sebanyak 10% starter dari mikroorganisme tersebut ditambahkan ke dalam 50 ml media pertumbuhan pada labu ukur 200 ml. Kemudian dilakukan inkubasi selama 5 hari pada 125 inkubator shaker, suhu 25 – 35°C. Setelah itu, larutan kemudian dimasukkan ke dalam *centrifuge* pada suhu 4°C, 8000 g selama 15 menit. Supernatan hasil sentrifugasi kemudian dimasukkan ke dalam kolom kromatografi untuk dilakukan pemisahan berdasarkan karakteristik dari MTGase, sehingga diperoleh larutan protein yang dapat diidentifikasi sebagai MTGase.

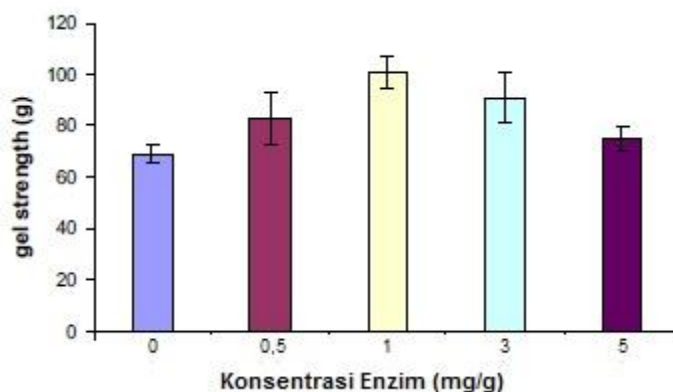
Untuk melakukan validasi enzim tersebut, larutan enzim dapat ditambahkan dengan substrat agar dapat diketahui aktivitasnya (Fawzya et al., 2016).

Adapun mekanisme kerja dari MTGase secara umum yaitu terlabat dalam reaksi polimerisasi, yang menghasilkan perubahan hidrofobisitas molekul (Gaspar dan de Góes-Favoni, 2015). Pembentukan ikatan kovalen non-disulfida pada protein, khususnya ikatan silang ϵ -(γ -glutamil) lisin, dikatalisis oleh MTGase melalui transfer asil antara gugus γ -amida dari residu glutamin dan gugus ϵ -amino dari residu lisin, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kualitas gel pada surimi (Chanarat dan Benjakul, 2013). MTGase memodifikasi protein dengan memasukkan amina, dan memengaruhi ikatan silang intra dan intermolekul atau deamidasi, menyebabkan perubahan besar pada struktur molekulnya (Celis, 2009).

Reaksi transfer asil terjadi melalui transfer gugus c-karboksamida dari peptida yang terikat pada residu glutamin (donor asil) pada berbagai amina primer (asil akseptor), termasuk gugus e-amino dari residu lisin (Bagagli, 2009). Ketika gugus e-amino dari residu lisin pada molekul protein bertindak sebagai akseptor asil, ikatan silang e-(c-glutamil)-lisin (G-L) intra- dan antar-molekul dapat terbentuk. Ikatan isopeptida ini membentuk jaringan protein stabil yang penting, seperti dalam pembentukan gel (Parkin, 2010), yang menghasilkan perubahan hidrofobisitas permukaan protein, mempengaruhi kelarutan dan sifat fungsional lain yang ditentukan pada karakteristiknya, seperti: gelasi, emulsifikasi, pembentukan busa dan viskositas. Ketika lisin dihasilkan, lisin bebas atau amina primer tidak berada dalam sistem reaksi, di mana air menjadi akseptor asil, sementara dehidrasi hidrolitik residu glutamin terjadi, sehingga menjadi asam glutamat. Reaksi ini mengubah muatan protein, yang juga menyebabkan terjadinya perubahan solubilitas protein (Damodaran, 2010). Baik dengan deamidasi atau polimerisasi, penggunaan MTGase mempengaruhi struktur sistem protein. Hal ini menyebabkan perubahan yang terjadi pada sifat fungsionalnya, yaitu menjadikan protein sebagai agen transformasi yang efisien, sehingga mampu menghasilkan produk dengan karakteristik tekstur yang lebih baik (Gaspar dan de Góes-Favoni, 2015).

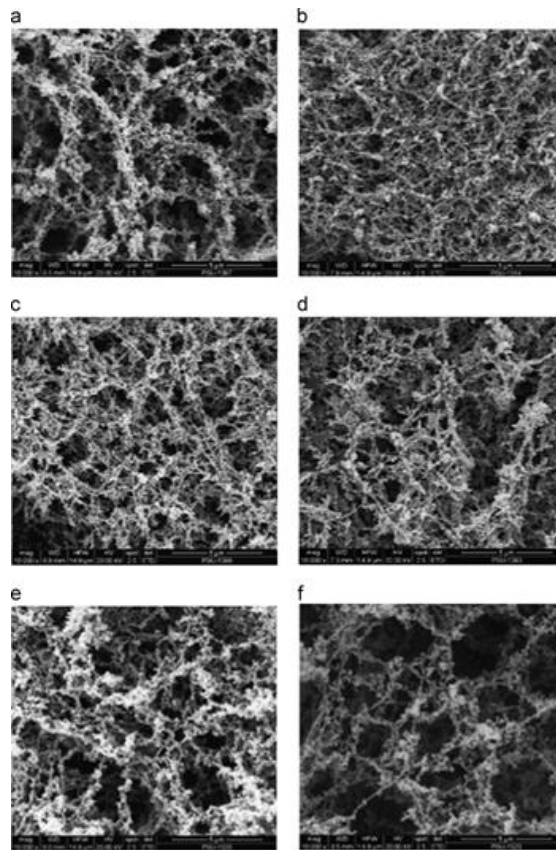
Pada penelitian yang dilakukan oleh Norziah *et al.* (2009), secara spesifik dijelaskan mengenai efek dari penambahan MTGase terhadap kekuatan gel. Gambar 1 menunjukkan kekuatan gel dari sampel gelatin ikan yang telah diekstrak yang ditambahkan dengan TGase dengan jumlah yang berbeda-beda. Secara umum, penambahan MTGase meningkatkan kekuatan gel pada sampel secara signifikan. Namun, penambahan enzim yang lebih banyak akan menurunkan kekuatan gel. Ini dapat disebabkan karena ikatan silang yang berlebihan

menyebabkan menurunnya kekuatan gel melalui penghambatan agregasi antarmolekul yang mengurangi pembentukan jaringan gel (Jongjareonrak *et al.*, 2006).



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi MTGase terhadap Kekuatan Gel (Kuraishi *et al.*, 2000)

Pada proses pembuatan gel surimi, penambahan MTGase dapat meningkatkan karakteristik gel surimi. Dengan adanya MTGase, kemampuan gel pada surimi untuk terjadi pemutusan ikatan gel semakin rendah (Kaewudom *et al.*, 2013). Sementara menurut penelitian dari Vácha *et al.* (2006), kapasitas penyimpanan air dan tingkat kekerasan pada ikan mas meningkat akibat ditambahkan MTGase. Pada Gambar 2, penambahan 1,2 unit MTGase/g surimi akan memperhalus jaringan gel surimi menjadi lebih halus dan padat. Jaringan gel kompak dan padat dihasilkan oleh protein miofibrilar yang membentuk ikatan silang dengan adanya penambahan MTGase sehingga kualitas surimi semakin meningkat (Kaewudom *et al.*, 2013). Penelitian yang dilakukan oleh (Chanarat dan Benjakul, 2013) juga melaporkan hasil yang sama. Penambahan MTGase 0,6 unit/g pada isolat protein ikan makarel India akan menyebabkan ikatan silang yang lebih efektif serta dapat memperbaiki matriks gel dari sampel dan mempengaruhi sifat *gelling* dari sampel tersebut. MTGase yang diproduksi dari *Streptoverticillium ladakanum* dapat memperbaiki sifat daging ikan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kekuatan gel ikan meningkat sebesar 22 kali dengan penambahan 1% MTGase bersama dengan 1% NaCl dan 1% sodium caseinat (Fawzya *et al.*, 2011).



Gambar 2. *Electron microscopic* dari gel surimi yang ditambahkan gelatin dan MTGase. Keterangan : a=gel surimi tanpa penambahan gelatin dan MTGase; b=gel surimi ditambahkan MTGase; c=gel surimi ditambahkan enzim MTGase dan 5% gelatin; d=gel surimi ditambahkan MTGase dan 10% gelatin; e=gel surimi ditambahkan MTGase dan 15% gelatin; f=gel surimi ditambahkan MTGase dan 20% gelatin. (Jongjareonrak *et al.*, 2006)

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kaewudom *et al.* (2013), secara spesifik dijelaskan mengenai karakteristik surimi yang dipengaruhi oleh penambahan MTGase. Gelatin yang ditambahkan sebanyak 15% pada sampel, menurunkan *expressible moisture content* yang menunjukkan bahwa surimi dapat mengikat air dengan lebih baik. Ketika ditambahkan dengan MTGase, nilai *expressible moisture content* juga mengalami penurunan secara signifikan ($p < 0,05$). Penambahan MTGase menyebabkan ikatan silang protein, sehingga terbentuk matriks gel sehingga dapat mengikat air dengan lebih baik.

Prospek Pengembangan Surimi Ikan Patin Siam di Indonesia

Surimi ikan patin siam tidak diproduksi secara massal sehingga persaingan belum ketat, namun sudah ada produk surimi lain yang berbasis udang, kepiting, ikan jenis lain. Peluang

bisnis untuk surimi ikan patin siam masih terbuka lebar, asal dikelola dengan benar dan memiliki karakteristik sensori yang disukai konsumen. Selain itu, surimi ikan patin siam juga dapat diolah menjadi berbagai varian produk, misalnya: sosis, pempek, dan hekung yang berasal dari bahan baku yang sama yaitu adonan ikan.

Ikan patin siam memiliki nilai tambah dibandingkan ikan jenis lain karena memiliki asam amino esensial yang paling banyak dan lengkap (Suryaningrum *et al.*, 2010). Pada tahun 2015, tingkat konsumsi ikan di Indonesia mencapai 41,11 kg/kapita/tahun. Walaupun angka tersebut masih terbilang rendah jika dibandingkan dengan Malaysia yaitu 70 kg/kapita/tahun, konsumsi ikan di Indonesia mengalami peningkatan sebesar 8,32% per tahunnya. Situasi inilah yang cocok dimanfaatkan untuk mengembangkan berbagai produk olahan ikan, misalnya surimi ikan patin siam. Harga patin siam yang murah dan ketersediannya yang cukup banyak juga sangat mendukung pengembangan produk berbahan dasar ikan patin siam.

MTGase dihasilkan dari mikroorganisme seperti bakteri *Streptoverticillium ladakanum* (Fawzya *et al.*, 2011). Substrat yang digunakan umumnya masih menggunakan bahan sintesis yang relatif mahal seperti sodium kaseinat. Maka dari itu, diperlukan sumber substrat lain yang lebih murah harganya sebagai alternatif (Rodríguez-Castillejos *et al.*, 2014). Alternatif yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan limbah surimi. Industri surimi menghasilkan banyak limbah. Limbah-limbah ini masih belum banyak dimanfaatkan dan dapat menimbulkan masalah lingkungan (H-Kittikun *et al.*, 2012). Air limbah surimi mengandung banyak nutrisi. Protein hidrolisat dari limbah surimi dapat menggantikan media pertumbuhan bakteri yang harganya relatif mahal. Protein hidrolisat dapat dibuat dengan hidrolisis enzimatis dari otot ikan atau produk sampingan ikan yang harganya murah, seperti ikan selar kuning (Klompong *et al.*, 2009).

KESIMPULAN

MTGase dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki tekstur dari surimi ikan patin siam dengan jumlah yang optimal. Limbah dari surimi juga dapat dimanfaatkan untuk media pertumbuhan bakteri penghasil MTGase. Selain itu, surimi ikan patin siam juga memiliki prospek yang baik untuk dikembangkan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Bagagli M. 2009. Produção de transglutaminase de *Streptomyces* sp. P20, caracterização e aplicação da enzima bruta. Universidade Estadual de Campinas.

- Campo-Deano L, dan Tovar C. 2009. The effect of egg albumen on the viscoelasticity of crab sticks made from Alaska pollock and Pacific whiting surimi. *Food Hydrocolloids*. Vol 23 No 7: page 1641–1646. doi:doi:10.1016/j.foodhyd.2009.03.013.
- Celis F. 2009. Efeito da reticulação induzida pela transglutaminase e o glutaraldeído sobre as propriedades das micropartículas obtidas por coacervação complexa. Universidade Estadual de Campinas.
- Chanarat S, dan Benjakul S. 2013. Impact of microbial transglutaminase on gelling properties of Indian mackerel fish protein isolates. *Food Chemistry*. Vol 136 No 2: page 929–937. doi:10.1016/j.foodchem.2012.09.021.
- Damodaran S. 2010. Química de alimentos de Fennema. In: Damodaran S, Parkin K, Fennema R, editor. *Aminoácidos, peptídeos e proteínas*. 4 ed. Porto Alegre: Artmed. hal. 179–262.
- Fawzya Y, Zilda D, Poernom A, Indra K, dan Nursyam H. 2011. Karakterisasi dan aplikasi enzim transglutaminase dari *Streptoverticillium ladakanum* pada daging lumat ikan mata goyang. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. Vol 6 No 2: page 157–166. doi:dx.doi.org/10.15578/jpbkp.v6i2.408.
- Fawzya Y, Zilda D, Prestisia H, Lisdiyanti P, dan Khasanah N. 2016. Screening of Indonesian *Streptomyces* sp. capable of secreting transglutaminase (MTGase) and optimization of MTGase production using different growth media. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*. Vol 11 No 1: page 13–21. doi:dx.doi.org/10.15578/squalen.v11i1.195.
- Gaspar A, dan de Góes-Favoni S. 2015. Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review. *Food Chemistry*. Vol 171: page 315–322. doi:dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.019.
- H-Kittikun A, Bourneow C, dan Benjakul S. 2012. Hydrolysis of surimi wastewater for production of transglutaminase by *Enterobacter* sp. C2361 and *Providencia* sp. C1112. *Food Chemistry*. Vol 135 No 3: page 1183–1191. doi:10.1016/j.foodchem.2012.05.044.
- Hemung B, dan Chin K. 2013. Effects of fish sarcoplasmic proteins on the properties of myofibrillar protein gels mediated by microbial transglutaminase. *Food Science and Technology (Campinas)*. Vol 53 No 1: page 184–190. doi:doi.org/10.1016/j.lwt.2013.02.008.
- Jongjareonrak A, Benjakul S, Visessanguan W, Prodpran T, dan Tanaka M. 2006. Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe, red snapper and bigeye snapper. *Food Hydrocolloids*. Vol 20 No 4: page 492–501. doi:doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.04.007.
- Kaewudom P, Benjakul S, dan Kijroongrojana K. 2013. Properties of surimi gel as influenced by fish gelatin and microbial transglutaminase. *Food Bioscience*. Vol 1: page 39–47. doi:doi.org/10.1016/j.fbio.2013.03.001.
- Kementerian Kesehatan RI. 2018. Industri patin Indonesia rebut pasar global. [diakses 2019

April 10]. <http://www.depkes.go.id/article/view/18041100002/industri-patin-indonesia-rebut-pasar-global.html>.

- Klompong V, Benjakul S, Yachai M, Visessanguan W, Shahidi F, dan Hayes K. 2009. Amino acid composition and antioxidative peptides from protein hydrolysates of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*). *Journal of Food Science*. Vol 74 No 2: page C126–C133.
- Kuraishi C, Nakagoshi H, Tanno H, dan Tanaka H. 2000. Application of transglutaminase for food processing. In: Nishinari K, editor. *Hydrocolloids*. 2 ed. Osaka: Elsevier B.V. hal. 281–285.
- Motoki M, dan Seguro K. 1998. Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in Food Science & Technology*. Vol 9 No 5: page 204–210. doi:doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00038-7.
- Norziah M, Al-Hassan A, Khairulnizam A, Mordi M, dan Norita M. 2009. Characterization of fish gelatin from surimi processing wastes: Thermal analysis and effect of transglutaminase on gel properties. *Food Hydrocolloids*. Vol 23 No 6: page 1610–1616. doi:doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.12.004.
- Nurkhoeriyati T, Huda N, dan Ahmad R. 2010. Surimi-like material: challenges and prospects. *International Food Research Journal*. Vol 17 No 3: page 509–517.
- Okazaki E, dan Kimura I. 2013. Frozen surimi and surimi-based products. In: Boziaris I, editor. *Seafood processing: technology, quality and safety*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. hal. 209–234.
- Parkin K. 2010. Enzimas. In: Damodaran S, Parkin K, Fennema O, editor. *Química de alimentos de Fennema*. 4th editio. Porto Alegre: Artmed. hal. 263–342.
- Rodríguez-Castillejos G, Tellez-Luis S, Vázquez M, Lois-Correa J, dan Ramírez J. 2014. Evaluation of sorghum grain hydrolysates and dried distillers grains with solubles for the production of microbial transglutaminase. *Cyta - Journal of Food*. Vol 12 No 2: page 115–120. doi:doi.org/10.1080/19476337.2013.801520.
- Seighalani FZB, Bakar J, Saari N, dan Ali K. 2017. Thermal and physicochemical properties of red tilapia (*Oreochromis niloticus*) surimi gel as affected by microbial transglutaminase. *Animal Production Science*. Vol 57: page 993–1000. doi:dx.doi.org/10.1071/AN15633.
- Suryaningrum T, Muljanah I, dan Tahapari E. 2010. Profil sensori dan nilai gizi beberapa jenis ikan patin dan hibrid nasutus. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. Vol 5 No 2: page 1–12. doi:dx.doi.org/10.15578/jpbkp.v5i2.419.
- Tran N. 2017. Indonesia aquaculture futures: An analysis of fish supply and demand in Indonesia 2030 and role of aquaculture using the asiafish model. *Marine Policy*. Vol 79: page 25–32. doi:doi.org/10.1016/j.marpol.2017.02.002.
- Vácha F, Novik I, Špička J, dan Podola M. 2006. Determination of the effect of microbial transglutaminase on technological properties of common carp (*Cyprinus carpio* L.) meat.

Czech Journal of Animal Science. Vol 51 No 12: page 535–542. doi:10.17221/3975-CJAS.

World Bank – FAO. 2013. Fish to 2030: Prospects for fisheries and aquaculture, agriculture and environmental services - Discussion Paper 03. Washington DC.

Yin T, dan Park J. 2014. Effects of nano-scaled fish bone on the gelation properties of Alaska pollock surimi. Food Chemistry. Vol 150: page 463–468. doi:doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.041.