



Artikel

Ulasan Ilmiah: Peran ATP dalam Rigor Mortis Kerang-kerangan

The Role of Adenosine Triphosphate (ATP) in the Rigor Mortis of Shellfish: A Review

Rina Heldiyanti^{1*}, Ni Wayan Putu Meikapasa²

^{1,2} Staf Pengajar Fakultas Teknik, Univeristas Bumigora

INFORMASI ARTIKEL

Genesis artikel:

Diterima : 03 Desember 2022

Disetujui : 05 Januari 2023

Keywords:

ATP

Muscle stiffness

Postmortem

Rigor mortis

Shellfish

ABSTRACT

Shellfish are the Bivalvia Group which is one of the source of animal protein. After harvested, all fishery products, including shellfish, experienced rigor mortis which is an indicator of quality changes. Rigor mortis affect the texture of shellfish and caused the softening due to the activity of proteolytic enzymes. This review aims to provide information, of how Adenosine Triphosphate (ATP) plays a major role in changing the postharvest quality of shellfish and how to maintain its postharvest quality. Based on the literature study, it was found that rigor mortis is a process in which fishery products lose their flexibility due to increased muscle tension and correlates with a decrease in ATP. The degradation of ATP components begins 6 hours after harvest, especially in high temperature. In general, shellfish becomes soft quickly during storage which indicates damage. The harvest process and storage conditions influence postmortem changes. Various types of cooling systems have been widely used to preserve shellfish at temperatures of -4 to 0°C: cold storage, ice water, shaved ice, dry ice and ozone-shaved ice combinations. Shelf life can be extended by storage at sub-zero temperatures. Storage temperature can limit softening by reducing protease activity. Cooling temperatures can be advantageous in maintaining freshness and suppressing the growth of harmful microbes.

ABSTRAK

Keywords:

ATP

Kekakuan otot

Kerang-kerangan

Postmortem

Rigor mortis

Kerang-kerangan merupakan kelompok Bivalvia yaitu salah satu produk hasil perikanan yang menjadi sumber protein hewani. Setelah ditangkap semua produk perikanan termasuk kerang-kerangan mengalami peristiwa rigor mortis yang merupakan indikator perubahan kualitas pada produk hasil laut termasuk kerang. Rigor mortis mempengaruhi tekstur dari kerang dan menyebabkan pelunakan akibat aktivitas enzim proteolitik. Review ini bertujuan untuk memberikan informasi, gagasan maupun gambaran perihal bagaimana Adenosine Triphosphate (ATP) berperan besar dalam perubahan kualitas pascapanen pada kerang-kerangan serta langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mempertahankan kualitas pascapanennya. Berdasarkan studi pustaka yang telah dilakukan, didapatkan bahwa rigor mortis merupakan sebuah proses produk perikanan kehilangan fleksibilitasnya karena meningkatnya ketegangan otot dan berkorelasi dengan penurunan senyawa (ATP). Degradasi komponen ATP dimulai 6 jam setelah penangkapan, terutama jika suhu penangkapannya tinggi. Secara umum, daging kerang cepat mengalami kelembekan selama penyimpanan. Kelembekan ini mengindikasikan kerusakan. Proses penangkapan dan kondisi penyimpanan mempengaruhi perubahan postmortem. Berbagai jenis sistem pendinginan telah secara luas digunakan untuk mengawetkan kerang-kerangan pada suhu -4 s/d 0°C diantaranya yaitu dengan cold storage, air es, es serut, es kering dan kombinasi ozon-es serut. Masa simpan dapat diperpanjang dengan penyimpanan pada suhu di bawah nol derajat. Suhu penyimpanan dapat membatasi pelunakan dengan cara menurunkan aktivitas protease. Suhu pendinginan dapat menguntungkan dalam mempertahankan kesegaran dan menekan pertumbuhan mikroba berbahaya.

*Penulis Korespondensi :

Email: rina@universitاسbumigora.ac.id

doi: [10.30812/jtmp.v1i2.2544](https://doi.org/10.30812/jtmp.v1i2.2544)

Hak Cipta © 2023 Penulis, Dipublikasi oleh Jurnal Teknologi dan Mutu Pangan

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Cara Sitasi: Heldiyanti, R., & Meikapasa, N.W.P. (2023). Peran ATP dalam Rigor Mortis Kerang-kerangan:

Review. *Jurnal Teknologi Dan Mutu Pangan*, 1(2), 90-95. <https://doi.org/https://doi.org/10.30812/jtmp.v1i2.2544>

1. PENDAHULUAN

Kerang-kerangan merupakan salah satu produk hasil perikanan yang menjadi sumber protein hewani. Kerang-kerangan termasuk ke dalam kelompok Bivalvia karena jenis binatang ini mempunyai 2 valve atau cangkang. Bivalvia memiliki ciri khas berupa dua bagian cangkang yang memiliki ukuran simetris (Sjafaraenan & Umar, 2009), cangkang terdiri dari dua katup yang dihubungkan oleh satu engsel (Indrawan, 2019). Habitat utama kerang adalah perairan pantai yang relatif tenang dan memiliki pasir berlumpur hingga kedalaman $\pm 4-6$ meter. Selain itu, kerang juga ditemukan di daerah muara, terumbu karang dan hutan mangrove. Jenis – jenis yang hidup di daerah muara antara lain Kerang hijau (*Perna viridis*), Kerang darah (*Anadara granosa*), Tiram (*Crassostrea* spp.), Serimping (*Amusium pleuronectes*), Simping (*Placuna placenta*). Sementara itu jenis-jenis kerang yang hidup di ekosistem terumbu karang antara lain *Pinctada maxima*, *Pinctada margaritifera* atau lebih banyak dikenal sebagai kerang mutiara (Noto, 2015).

Pada umumnya kerang dimanfaatkan sebagai bahan pangan karena dagingnya merupakan sumber protein. Sementara itu cangkangnya dimanfaatkan sebagai perhiasan dan bahan kerajinan. Selain memiliki nilai ekonomis, kerang-kerangan juga memiliki fungsi secara ekologis. Kerang dapat menjadi salah satu biota yang digunakan sebagai indikator tingkat pencemaran perairan (Putri et al., 2011). Setelah ditangkap semua produk perikanan termasuk kerang-kerangan mengalami peristiwa rigor mortis. Secara garis besar perubahan yang dialami berlangsung dalam tiga fase yaitu fase pre-rigor mortis, rigor mortis dan post-rigor mortis. Pre-rigor terjadi sesaat setelah kerang-kerangan mati ditandai dengan melemasnya otot, rigor mortis ditandai dengan terjadinya kejang pada tubuh kerang, sementara itu post rigor terjadi ditandai dengan melunaknya tekstur daging (Naiu et al., 2018)

Perubahan fase ini dapat digunakan sebagai indikator perubahan kualitas pada produk hasil laut termasuk kerang. Peristiwa rigor mortis mempengaruhi kualitas kerang terutama tekstur. Tekstur kerang cenderung menjadi lunak akibat aktivitas enzim proteolitik. Terjadinya rigor mortis telah dihubungkan dengan berkurangnya Adenosine Triphosphate (ATP). ATP telah banyak dilaporkan berkorelasi dengan perkembangan rigor mortis dengan cara mengatur postmortem glikolisis (Hamm, 1977; Watabe et al., 1991). ATP adalah sumber energi dan substrat utama fosforilasi yang menyediakan gugus fosfatase ke protein dengan adanya protein kinase. sedangkan fosfatase menghilangkan gugus fosfat dan mengkatalisis defosforilasi sehingga dapat mengatur fungsi protein (Gannon et al., 2008). Degradasi ATP merupakan sebuah perubahan biokimia yang penting dalam postmortem produk perikanan karena menjadi suatu cara untuk mengevaluasi tingkat kesegaran produk perikanan. Oleh karena itu studi literatur yang dilakukan ini bertujuan untuk mencari peran ATP dalam peristiwa rigor mortis pada produk hasil laut yaitu kerang untuk memberikan informasi, gagasan maupun gambaran berdasarkan hasil penelitian maupun sumber lainnya perihal bagaimana perubahan kualitas pascapanen kerang-kerangan yang dipengaruhi oleh ATP serta langkah-langkah yang dapat dilakukan untuk mempertahankan kualitas pascapanennya terutama pada produk kerang-kerangan.

2. METODE PENELITIAN

Data dalam penelitian ini dikumpulkan dengan mencari kata kunci judul subjek dari "Rigor-mortis", "ATP", "Adenosin Triphosphate" "Kerang", "kekakuan otot", untuk jurnal berbahasa Indonesia serta "Rigor-mortis", "ATP", "Adenosin Triphosphate", "Shelfish" "Muscle stiffness", "postmortem", "postharvest" untuk kata kunci berbahasa inggris dan daftar referensi yang relevan secara manual. dicari di database Research gate, Google Scholar dan ScienceDirect. Semua artikel yang relevan dalam basis data di atas disertakan dan didiskusikan secara naratif dalam artikel ulasan ini

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kerang-kerangan

Bivalvia adalah kelas dalam Mollusca yang mencakup semua kerang-kerangan yang memiliki sepasang cangkang. Nama lainnya adalah Lamelli branchia, Pelecypoda, atau Bivalva. Kelompok ini termasuk berbagai Kerang, Kupang, Remis, Kijing, Lokan, Simping, Tiram, serta Kima. Mollusca adalah hewan inveterbrata yang berarti tidak memiliki kerangka, tidak memiliki tulang belakang, memiliki tubuh yang lunak, dan termasuk hewan yang berdarah dingin. Tubuh Mollusca terdiri dari tiga yaitu kepala, mantel, dan kaki otot. Mollusca termasuk hewan hidup secara heterotrof dengan memakan ganggang, udang, ikan ataupun sisa organisme (Ariani et al., 2019).

Kerang merupakan hewan aquatik yang hidup pada substrat dasar perairan dan ada juga yang menempel pada substrat keras pada badan perairan. Kerang hidup pada semua tipe perairan yaitu air tawar, estuari dan perairan laut. Kerang laut terdistribusi dari daerah intertidal atau daerah pasang surut, perairan laut dangkal dan ada yang mendiami perairan laut dalam (Bachok et al., 2006).

Kerang memiliki adaptasi khusus yang memungkinkan dapat bertahan hidup pada daerah yang memperoleh tekanan fisik dan kimia seperti terjadi pada daerah intertidal. Organisme ini juga memiliki adaptasi untuk bertahan terhadap arus dan gelombang. Namun hewan ini tidak memiliki kemampuan untuk berpindah tempat secara cepat (motil), sehingga menjadi organisme yang sangat mudah untuk ditangkap (dipanen). Kerang-kerangan banyak bermanfaat dalam kehidupan manusia sejak masa purba, dagingnya dimakan sebagai sumber protein. Sementara itu cangkangnya dimanfaatkan sebagai perhiasan dan bahan kerajinan tangan. Kerang - kerangan juga menjadi biofilter terhadap polutan perairan (Setyono, 2006).

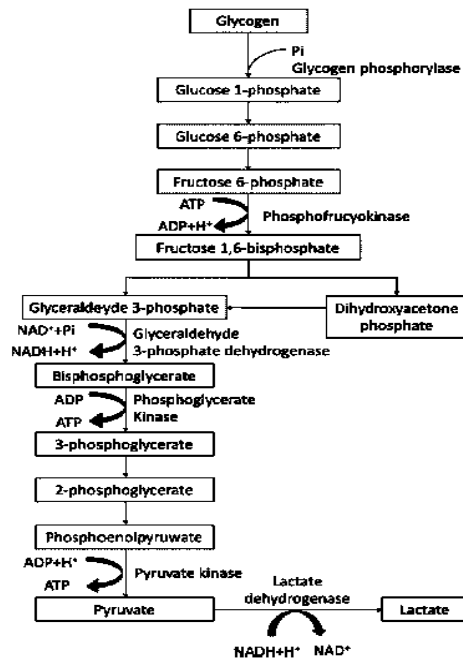
3.2. Rigor Mortis dan peran ATP

Secara umum kerang didistribusikan dengan berbagai jenis es (es balok, es serut, es kering dsb). Hal ini membuatnya menjadi sangat mudah mengalami pelunakan tekstur. Kerusakan ini biasanya dipengaruhi oleh aktivitas enzim (peptidase dan proteinase) pencernaan (Sriket et al., 2010). Ikan dan kerang sangat mudah rusak dibandingkan dengan makanan yang berkomposisi serat-serat otot lainnya. Produk perikanan mengalami rigor mortis beberapa jam setelah kematian. Rigor mortis merupakan sebuah proses ketika produk perikanan mengalami kehilangan fleksibilitasnya karena kekakuan otot. Meningkatnya ketegangan otot saat mulainya rigor mortis ini berkorelasi dengan penurunan kandungan senyawa ATP. Degradasi komponen ATP dimulai 6 jam setelah penangkapan terutama jika suhu penangkapaannya berlangsung pada suhu tinggi (Hong et al., 2017).

Ketika hewan laut ditangkap, terjadi proses perlawanan yang menyebabkan kelelahan antemortem cadangan energi, terutama glikogen dan energi fosfat. Perubahan postmortem di dalam jaringan otot dapat diringkas sebagai berikut: penangkapan, rigor mortis, post rigor mortis dan autolisis. Kecepatan kerusakan dipengaruhi oleh spesies, komposisi, suhu saat penangkapan, prosedur penangkapan dan penanganan pascapenannya (Hamada-Sato et al., 2005).

Adenosin-5'-trifosfat (ATP) adalah nukleotida dominan dalam sel otot hewan dan merupakan sumber energi metabolis yang tersedia. ATP mengatur banyak proses biokimia dan terus berlangsung hingga proses postmortem (Hong et al., 2017). ATP adalah pengatur penting proses biokimia pada semua hewan dan terus demikian selama proses postmortem. Salah satu hal yang paling mencolok dalam perubahan postmortem adalah perubahan rigor mortis. Rigor mortis dengan demikian merupakan konsekuensi langsung dari penipisan jumlah ATP. ATP berfungsi sebagai ko-enzim untuk transportasi energi kimia dari dalam sel ke berbagai ruang intraseluler. Enzim yang digunakan berfungsi untuk menjalankan fungsi proses metabolisme. Sebagian besar energi digunakan oleh sel otot untuk melakukan kerja mekanik dan untuk sintesis protein, urea dan metabolit intermediate lainnya. Dengan demikian, organisme hidup berusaha mempertahankan jumlah ATP yang relatif konstan di dalam setiap sel. Namun, selama penyimpanan postmortem kerang, ATP di otot jaringan terdegradasi dalam serangkaian reaksi biokimia. Degradasi ATP merupakan sebuah bagian integral pada proses perubahan postmortem di dalam produk hasil laut. Pada fase hidup, semua organ dan sistem di dalam tubuh bekerjasama untuk mempertahankan sebuah lingkungan internal yang dapat melakukan fungsi secara efisien. Ketika lingkungan stabil terganggu, darah tidak lagi dipompa oleh hati, dan enzim bertanggung jawab atas degradasi ATP (Hong et al., 2017).

Selama masih dalam fase hidup, kebutuhan ATP pada kerang untuk otot dipenuhi oleh sistem oksidasi aerobik. Ketika ATP habis, terjadi proses anaerobik dan produksi beberapa asam laktat. Untuk menghasilkan ATP saat postmortem, harus menggunakan dua jalur yang tersisa: jalur creatine fosfat (PCr) atau jalur glikolisis anaerobik. Jalur PCr menggunakan *creatine kinase* (CK) di otot hewan untuk mengubah ADP dan PCr menjadi ATP dan Cr (Morris & Adamczewska, 2002). Pada proses glikolisis, glikogen otot dipecah dan dimetabolisme melalui glikolisis menjadi piruvat. Piruvat kemudian diubah menjadi asam laktat oleh laktat dehidrogenase bila oksigen terbatas (Gambar 1). Glukosa juga bisa masuk ke jalur glikolisis setelah difosforilasi oleh heksokinase. Dalam jaringan anaerobik seperti otot postmortem jaringan, ATP dapat dihasilkan dari glikogen oleh glikolisis. ATP dalam jumlah kecil juga dapat dihasilkan oleh zat lain, termasuk creatine atau arginin fosfat, glukosa, dan adenosin difosfat (ADP) (Hong et al., 2017).

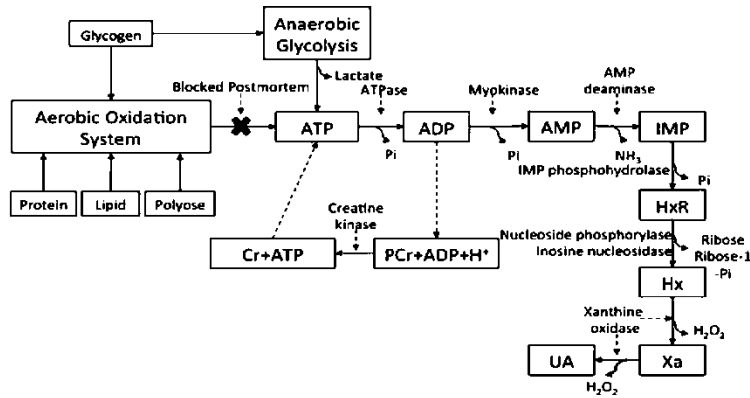


Gambar 1 proses glikolisis (Sumber: Hong et al., 2017)

Glikogen terdegradasi oleh glikogen fosforilase, menghasilkan glukosa-1-fosfat. Glikogen fosforilase dihambat oleh glukosa-1-fosfat dan glukosa dan diaktifkan oleh AMP. Glukosa-1-fosfat selanjutnya diubah menjadi glukosa-6-fosfat oleh fosfoglukomutase. Glukosa-6-fosfat terdegradasi lebih lanjut oleh glikolisis, yang mengarah ke pembentukan ATP, piruvat, dan NADH. NADH berasal dari pengurangan NAD selama glikolisis. Tanpa adanya oksigen, NAD diregenerasi oleh dehidrogenase laktat, seperti piruvat direduksi menjadi laktat. Pembentukan laktat menyebabkan pH menjadi turun (Simpson et al., 2012)

Tingkat glikolisis tergantung pada suhu dan diperlambat oleh suhu penyimpanan yang lebih rendah. Fenomena asphyxia terjadi dengan pembentukan kondisi anoxial bertahap di dalam otot. Jaringan enzim melanjutkan metabolisme cadangan energi. Degradasi fosfat berenergi tinggi akhirnya menghasilkan hypoxanthine, diikuti formasi pembentukan formaldehid, amonia, fosfat anorganik, dan fosfat ribosa. Degradasi glikogen ikan mengikuti jalur Embden-Meyerhof-Parnas melalui rute amilolitik, dikatalisis oleh enzim endogen. Ini menghasilkan akumulasi asam laktat dan reduksi pH (7.2-5.5), menyebabkan kontraksi jaringan dan mendorong rigor mortis (Simpson et al., 2012).

Creatine fosfat menyediakan sumber energi yang dapat dikonversi menjadi ATP dengan transfer reversibel kelompok fosforil berenergi tinggi ke ADP dikatalisis oleh kreatin kinase sarkoplasma (Chiba et al., 1991). Di banyak invertebrata, termasuk kerang, kreatin fosfat sering digantikan oleh arginin fosfat sehingga ATP dihasilkan oleh arginin kinase (Takeuchi et al., 2004). ATP juga dibentuk oleh enzim adenilat kinase, yang mengkatalisis transfer dari gugus fosforil antara dua molekul ADP, menghasilkan ATP dan adenosine monophosphate (AMP). Ketika AMP terbentuk, adenylate kinase berpartisipasi juga dalam degradasi nukleotida adenin. ATP dapat dimetabolisme oleh berbagai ATPase. ATPase menghidrolisis terminal ikatan ester fosfat, membentuk ADP. ADP kemudian terdegradasi oleh adenylate kinase, membentuk AMP. Degradasi ADP oleh AMP deaminase menghasilkan monophosphate inosin (IMP) dan ammonia (Hong et al., 2017). Proses degradasi ATP dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 proses degradasi ATP pada rigor mortis kerang (Sumber: Hong et al. (2017))

ATP terdegradasi dengan cepat dengan penipisan PCr dan glikogen secara bertahap. Pada saat yang sama, rincian ATP menghasilkan peningkatan jumlah ADP, yang merupakan substratnya untuk reaksi adenilat kinase yang menghasilkan 1 ATP dan 1 AMP dari 2 ADP. Akibatnya, AMP meningkat dan saat itulah deaminasi ke IMP (Massa et al., 2005). IMP adalah nukleotida utama yang terdapat pada postmortem, sedangkan AMP tetap merupakan nukleotida utama pada krustasea (Mendes et al., 2001). IMP terdegradasi lebih lanjut ke Ino (Inosin) dan hilangnya IMP telah dikaitkan dengan hilangnya kesegaran pada beberapa spesies ikan. Ino (Inosin) kemudian ditransformasikan ke Hx (Hipoxantin) oleh enzim nukleosida fosforilase (NP). Hx akhirnya diubah menjadi Xa, asam urat (UA) dan lainnya produk pembelahan cincin oleh mikroflora pembusukan yang sedang berkembang (Mohan et al., 2009).

Hilangnya ATP terjadi sangat cepat, hanya beberapa jam untuk mencapai tingkat yang kecil. Perubahan utama pada pemecahan produk nukleotida terjadi selama beberapa hari dalam postmortem. ATP dan AMP yang merupakan produk intermediate, hilang dalam 24 jam postmortem. IMP mencapai maksimum pada 1 hari postmortem tetapi beberapa jumlah substansial masih dapat ditemukan setelah 7 hari postmortem. Di sisi lain, inosin dan hipoksantin, sebagai produk akhir dari reaksi ini, meningkat hingga 7 hari postmortem (Simpson et al., 2012). Depleksi ATP dan timbulnya rigor mortis sangat berkorelasi dengan glikogen pada saat kematian dan dengan tingkat penipisan ATP. Permulaan rigor mortis hanya dapat terjadi beberapa menit setelah kematian atau mungkin ditunda hingga beberapa hari tergantung teknik panen, teknik penanganan, dan kondisi penyimpanan optimal digunakan (Skjervold et al., 2001).

3.3. Penanganan Pascapanen untuk Menghambat Rigor Mortis

Secara umum, daging kerang cepat mengalami kelembekan selama penyimpanan. Kelembekan ini mengindikasikan kerusakan. Proses penangkapan dan kondisi penyimpanan mempengaruhi perubahan postmortem (Álvarez et al., 2009). Dengan demikian penting untuk menunda atau mencegah fenomena rigor mortis ini untuk mempertahankan kesegarannya. Secara umum, kerang diawetkan secara tradisional dengan pendinginan.

Menurut Naiu et al. (2018) secara umum efisiensi pendinginan akan sangat bergantung pada tingkat kesegaran produk hasil perikanan sesaat sebelum didinginkan. Pendinginan sesegera mungkin dilakukan setelah hasil perikanan dipanen. Media pendingin yang paling umum digunakan adalah es. Media es dapat berbentuk es balok, es serut, dan es curah. Ketiganya dapat dibuat dari air tawar, air laut, dan air larutan garam yang didinginkan. Wadah yang digunakan dapat berupa box berbentuk peti dengan teknik penyusunan secara rak/berlapis (shelf storage) atau secara curah (bulk storage). Suhu 0 °C semaksimal mungkin harus dapat dipertahankan dimulai dari pascapanen hingga distribusi ke konsumen. Menurut Ando et al. (2005) suhu penyimpanan dapat membatasi pelunakan dengan cara menurunkan aktivitas protease. Suhu pendinginan dapat menguntungkan dalam mempertahankan kesegaran dan menekan pertumbuhan mikroba berbahaya.

Berbagai jenis sistem pendinginan lainnya telah secara luas digunakan untuk mengawetkan produk perikanan pada suhu -4 - 0°C seperti kombinasi ozon-es serut (Pena et al., 2009) dan penggunaan agen pendingin seperti es kering atau karbondioksida padat (Jeyasekaran et al., 2006).

4. KESIMPULAN

Produk kerang-kerangan mengalami rigor mortis beberapa jam setelah kematian. Rigor mortis merupakan sebuah proses dimana produk hewani mengalami kehilangan fleksibilitasnya karena kekakuan otot. Peristiwa rigor mortis menyebabkan kelunakan tekstur pada kerang sehingga menurunkan kualitasnya. Meningkatnya ketegangan otot saat mulainya rigor mortis berkorelasi dengan penurunan senyawa ATP. ATP di jaringan otot terdegradasi dalam serangkaian reaksi biokimia. Selama masih dalam fase hidup, kebutuhan ATP pada kerang untuk otot dipenuhi oleh sistem oksidasi aerobik. Ketika ATP habis, terjadi proses anaerobik dan produksi beberapa asam laktat. Namun, untuk menghasilkan ATP saat postmortem, hanya dapat menggunakan dua jalur yang tersisa yaitu jalur creatine fosfat (PCr) atau jalur glikolisis anaerobik. Proses penangkapan dan kondisi penyimpanan mempengaruhi perubahan postmortem. Dengan demikian penting untuk menunda atau mencegah fenomena rigor mortis dalam rangka mempertahankan kualitas kerang. Penyimpanan dingin atau rantai dingin merupakan suatu upaya yang dapat dilakukan untuk menjaga kualitas kerang setelah dipanen hingga sampai ke tangan konsumen.

5. DEKLARASI

5.1. Pernyataan Kepentingan Bersaing

Artikel ini dan isinya belum pernah dipublikasikan sebelumnya oleh salah satu penulis, juga tidak sedang dipertimbangkan untuk dipublikasikan di jurnal lain saat ini. Semua penulis telah melihat dan menyetujui naskah yang direvisi untuk diserahkan.

5.2. Taksonomi Peran Kontributor

Rina Heldiyanti : Penulisan – draf asli, Semua penulis menulis naskah dan menyetujui versi finalnya. **Ni Wayan Puti Meikapasa**: Penulisan – Revisi, Semua penulis menulis naskah dan menyetujui versi finalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Álvarez, V., Feás, X., Barros-Velázquez, J., & Aubourg, S. P. (2009). Quality changes of farmed blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*) subjected to slaughtering and storage under flow ice and ozonised flow ice. *International Journal of Food Science and Technology*, *44*(8). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01836.x>
- Ando, M., Takenaga, E., Hamase, S., & Yamane, A. (2005). Effect of super-chilling storage on maintenance of quality and freshness of swordtip squid *Loligo edulis*. *Food Science and Technology Research*, *11*(3). <https://doi.org/10.3136/fstr.11.355>
- Ariani, D., Swasta, J., & Adnyana, B. (2019). Studi Tentang Keanekaragaman dan Kemelimpahan Mollusca Bentik serta Faktor-Faktor Ekologis yang Mempengaruhinya di Pantai Mengening, Kabupaten Badung, Bali. *Jurnal Pendidikan Biologi Undiksha*, *6*(3).
- Bachok, Z., Mfilinge, P. L., Tsuchiya, M., & Meziane, T. (2006). *Food Sources Of Coexisting Suspension-Feeding Bivalves as Indicated By Fatty Acid Biomarkers, Subjected To The Bivalves Abundance On A Tidal Flat. Journal of Sustainability Science and Management* (Vol. 1).
- Chiba, A., Hamaguchi, M., Kosaka, M., Tokuno, T., Asai, T., & Chichibu, S. (1991). Quality Evaluation of Fish Meat by 31 Phosphorus- Nuclear Magnetic Resonance. *Journal of Food Science*, *56*(3). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb05351.x>
- Gannon, J., Staunton, L., O' Connell, K., Doran, P., & Ohlendieck, K. (2008). Phosphoproteomic analysis of aged skeletal muscle. *International Journal of Molecular Medicine*, *22*(1). <https://doi.org/10.3892/ijmm.22.1.33>
- Hamada-Sato, N., Usui, K., Kobayashi, T., Imada, C., & Watanabe, E. (2005). Quality assurance of raw fish based on HACCP concept. *Food Control*, *16*(4). <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.02.001>
- Hamm, R. (1977). Postmortem breakdown of ATP and glycogen in ground muscle: A review. *Meat Science*, *1*(1). [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(77\)90029-8](https://doi.org/10.1016/0309-1740(77)90029-8)
- Hong, H., Regenstein, J. M., & Luo, Y. (2017). The importance of ATP-related compounds for the freshness and flavor of post-mortem fish and shellfish muscle: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.1001489>
- Indrawan, G. S. (2019). *Pemanfaatan Kerang (Bivalvia) dan Peranannya di Ekosistem Laut*. Bali. Retrieved from <http://erepo.unud.ac.id/id/eprint/29285/1/542a86a8fe169274799eb0dfdc617372.pdf>
- Jeyasekaran, G., Ganesan, P., Anandaraj, R., Jeya Shakila, R., & Sukumar, D. (2006). Quantitative and qualitative studies on the bacteriological quality

- of Indian white shrimp (*Penaeus indicus*) stored in dry ice. *Food Microbiology*, 23(6). <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.09.009>
- Massa, A. E., Palacios, D. L., Paredi, M. E., & Crupkin, M. (2005). Postmortem changes in quality indices of ice-stored flounder (*Paralichthys patagonicus*). *Journal of Food Biochemistry*, 29(5). <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2005.00050.x>
- Mendes, R., Quinta, R., & Nunes, M. L. (2001). Changes in baseline levels of nucleotides during ice storage of fish and crustaceans from the Portuguese coast. *European Food Research and Technology*, 212(2). <https://doi.org/10.1007/s002170000222>
- Mohan, C. O., Ravishankar, C. N., Gopal, T. K. S., & Kumar, K. A. (2009). Nucleotide breakdown products of seer fish (*Scomberomorus commerson*) steaks stored in O₂ scavenger packs during chilled storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.11.012>
- Morris, S., & Adamczewska, A. M. (2002). Utilisation of glycogen, ATP and arginine phosphate in exercise and recovery in terrestrial red crabs, *Gecarcoidea natalis*. In *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology* (Vol. 133). [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(02\)00217-9](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(02)00217-9)
- Naiu, A. S., Konoyo, Y., Nursinar, S., & Kasim, F. (2018). *Penanganan Dan Pengolahan Hasil Perikanan*. (D. N. Fazrin, Ed.) (1st ed.). Gorontalo: CV. ATHRA SAMUDRA. Retrieved from file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Penanganan-dan-Pengolahan-Hasil-Perikanan-Book-Chapter.pdf
- Noto, D. R. (2015). Better Management Practices: Perikanan Kerang Panduan Penangkapan dan Penanganan. Retrieved from <https://www.wwf.id/publikasi/bmp-perikanan-kerang>
- Pena, I., Trigo, M., Bouzada, G., Fernández, D., Barros-Velázquez, J., & Aubourg, S. P. (2009). Chemical changes in chilled farmed sea bass (*dicentrarchus labrax*): Effect of advanced icing conditions. In *Czech Journal of Food Sciences* (Vol. 27). <https://doi.org/10.17221/1080-cjfs>
- Putri, R. A., Haryono, T., & Kuntjoro, S. (2011). Keanekaragaman Bivalvia dan Peranannya sebagai Bioindikator Logam Berat Kromium (Cr) di Perairan Kenjeran , Kecamatan Bulak Kota Surabaya. *Lentera Bio*, 1(2).
- Setyono, D. E. D. (2006). Karakteristik Biologi Dan Produk Kekekangan Laut. *Oseana*, 31(1).
- Simpson, B. K., Nollet, L. M. L., Toldrá, F., Benjakul, S., Paliyath, G., & Hui, Y. H. (2012). *Food Biochemistry and Food Processing: Second Edition. Food Biochemistry and Food Processing: Second Edition*. <https://doi.org/10.1002/9781118308035>
- Sjafaraenan, & Umar, M. R. (2009). Kajian Keragaman Genetik Jenis-jenis Kerang yang Digunakan Sebagai Obat Tradisional Masyarakat Kabupaten Musa Sulawesi Tenggara. *Prosiding Seminar Pemberdayaan Sains MIPA Dalam Pengelolaan Sumber Daya Alam*, 1, 1– 12.
- Skjervold, P. O., Fjæra, S. O., Østby, P. B., & Einen, O. (2001). Live-chilling and crowding stress before slaughter of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 192(2– 4). [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00447-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00447-6)
- Sriket, C., Benjakul, S., & Visessanguan, W. (2010). Post-mortem changes of muscle from fresh water prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) as influenced by spawning stages. *LWT*, 43(4). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.10.010>
- Takeuchi, M., Mizuta, C., Uda, K., Fujimoto, N., Okamoto, M., & Suzuki, T. (2004). Unique evolution of Bivalvia arginine kinases. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 61(1). <https://doi.org/10.1007/s00018-003-3384-1>
- Watabe, S., Kamal, M., & Hashimoto, K. (1991). Postmortem Changes in ATP, Creatine Phosphate, and Lactate in Sardine Muscle. *Journal of Food Science*, 56(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb07998.x>