



PERUBAHAN PROFIL PROTEIN DAN TEKSTUR RAJUNGAN (*Portunus pelagicus*) KUKUS SELAMA PENYIMPANAN DINGIN DAN BEKU

Megana Duanassurya¹, Roni Nugraha^{*1,2}, Mala Nurilmala¹

¹Departemen Teknologi Hasil Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, IPB University
Jalan Agatis, Kampus IPB Darmaga, Bogor Indonesia 16680

²Tropical Future Institutes, James Cook University Singapore
149 Sims Dr, Singapura 387380

Diterima: 27 Mei 2025/Disetujui: 21 November 2025

*Korespondensi: rnugraha@apps.ipb.ac.id

Cara sitasi (APA Style 7th): Duanassurya, M., Nugraha, R., & Nurilmala, M. (2025). Perubahan profil protein dan tekstur rajungan (*Portunus pelagicus*) kukus selama penyimpanan dingin dan beku. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 28(11), 966-980. <http://dx.doi.org/10.17844/y8fdxz35>

Abstrak

Rajungan (*Portunus pelagicus*), atau dikenal juga sebagai *blue swimming crab* merupakan sumber protein hewani berkualitas tinggi dengan tekstur yang khas. Proses penyimpanan dapat mengubah profil protein yang berakibat pada perubahan tekstur. Namun, belum ada penelitian yang mengamati perubahan profil protein rajungan selama penyimpanan setelah proses pengukusan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menentukan pengaruh pengukusan dan penyimpanan pada suhu dingin dan beku terhadap profil protein serta tekstur rajungan. Daging rajungan segar dan kukus dibagi menjadi tiga bagian untuk analisis, yaitu *claw meat* (CM), *jumbo lump* (JL) dan *leg meat* (LEG). Daging rajungan kukus disimpan pada suhu dingin (4°C) dan suhu beku (-18°C) pada waktu penyimpanan yang berbeda. Ketiga bagian daging rajungan memiliki profil protein dan tekstur yang berbeda. Bagian CM mengandung protein larut air tertinggi, yaitu sebesar 3,837±0,16 mg/mL, diikuti JL dan LEG. Secara umum, proses pengukusan mengubah profil protein dan tekstur ketiga bagian daging rajungan. Kandungan protein larut air mengalami penurunan yang signifikan terutama pada bagian CM, yaitu hampir 50%. Adapun nilai tekstur mengalami peningkatan terutama di bagian LEG. Penyimpanan suhu beku lebih mampu mempertahankan kondisi protein dibandingkan dengan suhu dingin. Kandungan protein larut air yang disimpan pada suhu beku cenderung stabil, namun fluktuatif pada daging yang disimpan pada suhu dingin. Analisis profil protein menggunakan SDS-PAGE memperlihatkan adanya penurunan jumlah pita protein setelah proses pengukusan terutama pita-pita protein berbobot molekul besar >50 kDa. Adapun proses penyimpanan baik suhu dingin maupun beku tidak banyak mengubah profil protein.

Kata kunci: kualitas daging, pengukusan, penyimpanan, rajungan, tekstur

Alterations in Protein Profile and Texture of Steamed Blue Swimming Crab (*Portunus pelagicus*) During Chilled and Frozen Storage

Abstract

The blue swimming crab (*Portunus pelagicus*) is a high-quality source of animal protein with a distinctive texture. Storage processes are known to alter protein profiles, leading to changes in the texture. However, no studies have examined the alterations in the protein profile of blue swimming crabs during storage after steaming. Therefore, this study aimed to determine the effects of steaming and subsequent storage under chilled and frozen conditions on the protein profile and texture of crab meat. Fresh and steamed crab meat samples were divided into three anatomical portions for analysis: claw meat (CM), jumbo lumps (JL), and leg meat (LEG). Steamed samples were stored under chilled (4°C) and frozen (-18°C) conditions for varying storage durations. The three anatomical portions exhibited distinct protein profiles and textural characteristics of the meat. The CM portion contained the highest concentration of water-soluble proteins (3.837±0.16 mg/mL), followed by JL and LEG, respectively. Overall, steaming altered

the protein profile and texture of all portions. The water-soluble protein content decreased significantly, particularly in CM, where the reduction reached nearly 50%. In contrast, the textural values increased, most notably in the LEG portion. Frozen storage better preserved protein characteristics than chilled storage. The water-soluble protein content remained relatively stable under frozen conditions but fluctuated in samples stored at chilled temperatures. SDS-PAGE analysis showed a reduction in the number of protein bands after steaming, especially for high-molecular-weight proteins (>50 kDa). Storage under either chilled or frozen conditions induced minimal changes in protein profiles.

Keywords: blue swimming crab, meat quality, steaming, storage, texture

PENDAHULUAN

Rajungan (*Portunus pelagicus*), atau dikenal sebagai *blue swimming crab*, merupakan salah satu jenis krustasea yang memiliki nilai ekonomi penting. Spesies ini umumnya ditemukan di daerah tropis, terutama di Asia Tenggara dan Asia Timur atau Samudera Hindia bagian timur dan Samudra Pasifik bagian barat (Food and Agriculture Organization [FAO], 2020). Di Indonesia, rajungan menempati posisi strategis perdagangan perikanan dan menjadi penyumbang nilai ekspor perikanan tertinggi setelah udang, kelompok tuna-tongkol-cakalang, dan kelompok cumi-sotong-gurita dengan nilai ekspor mencapai USD 613,2 juta dan berkontribusi sebesar 10,72% terhadap total ekspor hasil perikanan. Nilai ekspor rajungan-kepiting menunjukkan tren positif dengan peningkatan rata-rata sebesar 14,72% selama periode 2017-2021 (Kementerian Kelautan dan Perikanan [KKP], 2022).

Selain nilai ekonominya, daging rajungan digemari karena cita rasa yang khas dan kandungan gizi yang baik, terutama sebagai sumber protein hewani berkualitas tinggi bagi masyarakat baik di pasar domestik maupun internasional (Nanda *et al.*, 2021). Konsumsi produk perikanan laut seperti rajungan terus meningkat seiring dengan kesadaran akan pentingnya pangan bergizi. Dalam praktik industri, daging rajungan seringkali diklasifikasikan menjadi beberapa kategori berdasarkan bagian tubuh, di antaranya yang paling umum adalah daging bagian badan (*jumbo lump*), daging capit (*claw meat*), dan daging kaki (*leg meat*). Selain menjadi faktor yang menentukan harga jual, klasifikasi ini juga merefleksikan perbedaan karakteristik fisik dan biokimia (Tufan, 2023). Rajungan kaleng merupakan salah satu metode pengolahan yang paling banyak dilakukan. Salah satu titik kritis industri rajungan kaleng

adalah kualitas bahan baku. Industri rajungan kaleng di Indonesia umumnya mendapatkan bahan baku sudah dalam bentuk kukus segar atau kukus beku. Pengukusan rajungan mentah merupakan tahap awal yang sangat penting dalam proses pengalengan yang memiliki berbagai fungsi, terutama untuk memudahkan pengeluaran daging, mengembangkan cita rasa, memastikan kebersihan awal, serta mempersiapkan daging untuk proses pemanasan akhir di dalam kaleng (Ward *et al.*, 1983). Pengukusan meningkatkan sifat organoleptik seperti aroma atau cita rasa karena mempertahankan senyawa khas dari spesies tersebut (Dima *et al.*, 2012). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa proses pengukusan mampu mempertahankan lebih banyak senyawa yang larut dalam air serta meningkatkan cita rasa umami melalui pengaruh jenis media pemanasan dan suhu awal media terhadap kualitas rasa *P. trituberculatus* (Shi *et al.*, 2020). Akan tetapi, penelitian mengenai pengaruh pengukusan terhadap profil protein dan tekstur rajungan belum banyak dilakukan. Selain itu, daging rajungan kukus ini tidak langsung diolah lebih lanjut untuk menjadi rajungan kaleng. Daging rajungan kukus umumnya disimpan terlebih dahulu baik di suhu dingin atau suhu beku. Penyimpanan ini akan mengubah struktur protein karena adanya aktivitas enzim (Zhou *et al.*, 2023) atau bakteri yang masih aktif (Dong *et al.*, 2024).

Profil protein dan tekstur daging merupakan dua karakteristik yang saling terkait dan menentukan mutu dari daging rajungan di pasaran. Ren *et al.* (2024) menemukan 66 protein yang berpengaruh terhadap tekstur rajungan dan umumnya merupakan protein yang merupakan bagian dari protein struktur. Protein-protein struktur ini dapat dengan mudah diamati menggunakan metode elektroforesis gel.



Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh pengukusan dan penyimpanan pada suhu dingin dan beku terhadap profil protein serta tekstur rajungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan ilmiah mengenai pengaruh pengukusan terhadap stabilitas protein dan potensi alergenitas rajungan, yang berguna untuk penilaian risiko alergi dan pengembangan strategi pengolahan pangan yang lebih aman dan informatif bagi konsumen.

BAHAN DAN METODE

Persiapan Bahan Baku

Penelitian ini menggunakan bahan utama rajungan yang diperoleh dari daerah Gunung Anyar Tambak, Surabaya, Jawa Timur dengan berat rata-rata $186,97 \pm 11,10$ g. Rajungan ditransportasikan ke lab dalam kondisi hidup yang dipingsankan menggunakan suhu dingin. Setiba di laboratorium, rajungan dicuci bersih dengan air mengalir sampai bersih. Rajungan kemudian dikukus pada suhu 100°C selama 30 menit. Selanjutnya, daging rajungan dipisahkan berdasarkan bagian tubuhnya menjadi tiga jenis untuk keperluan analisis: daging capit (*claw meat*), daging badan (*jumbo lump*), dan daging kaki (*leg meat*). Penyimpanan rajungan kukus dilakukan pada dua tingkat suhu yang berbeda, yaitu suhu dingin (5°C) dan suhu beku (-18°C), dengan durasi penyimpanan selama 1 minggu untuk suhu *chilling* dan 1 bulan untuk suhu *freezing*. Total rajungan yang dipergunakan adalah sebanyak 30 rajungan untuk 5 waktu pengambilan sampel (0, 1, 3, 5, 7 hari atau 0, 1, 3, 5, 7 minggu).

Identifikasi Kandungan Protein

Konsentrasi protein larut air dari sampel daging rajungan sebelum dikukus dan setelah kukus diukur berdasarkan metode Bradford, dengan *Bovine Serum Albumin* (BSA) sebagai standar sesuai Nugraha *et al.* (2024) dengan modifikasi konsentrasi larutan standar. Protein larut air dipersiapkan dengan menghancurkan daging rajungan dalam larutan penyangga PBS (pH 7,2 0,1 M). Setelah itu daging disentrifugasi dengan kecepatan

10.000 rcf selama 20 menit dan difiltrasi menggunakan membran filter $0,45\ \mu\text{M}$ untuk mendapatkan supernatan. Pengujian Bradford dilakukan dengan mencampurkan 20 μL supernatant dengan 1 mL reagen Bradford dan menggunakan *Phosphate Buffered Saline* (PBS) sebagai blanko. Campuran tersebut diinkubasi pada suhu ruang selama 10 menit hingga larutan berubah warna menjadi biru, setelah itu absorbansi diukur menggunakan Spektrofotometer Thermo Scientific NanoDrop 2000c (Thermo scientific, AS) pada panjang gelombang 595 nm.

Identifikasi Profil Protein

Profil protein dilakukan menggunakan metode *Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis* (SDS-PAGE) mengacu pada Nurilmala *et al.* (2021) dengan beberapa modifikasi menggunakan konsentrasi *stacking gel* 3% dan *separating gel* 12,5%. Sampel dilarutkan dengan *sample buffer* (1:1) dan dipanaskan dalam *dry block thermostat* Bio TDB-100 (Biosan, Jerman) pada suhu 95°C selama 5 menit. *Marker protein* (Bobot molekul 10–250 kDa) sebanyak 5 μL dan sampel sebanyak 20 μL dimasukkan ke dalam sumur gel poliakrilamid. Proses elektroforesis dilakukan pada arus 12 mA dan voltase 170 V dengan *Mini-PROTEAN Tetra Vertical Electrophoresis Cell* (Bio-Rad, AS) selama kurang lebih 90 menit. Pewarnaan gel (*staining*) dilakukan menggunakan pewarna *Coomassie Brilliant Blue* (CBB) selama 1 jam hingga gel berwarna biru. Proses pencucian (*destaining*) dilakukan menggunakan 25% metanol dan 10% asam asetat selama 1 jam hingga warna gel menjadi bening dan pita protein sudah terlihat. Proses pewarnaan dan pencucian gel dilakukan di atas alat *Sun flower mini shaker* (Biosan, Jerman). Perhitungan bobot molekul dilakukan dengan perangkat lunak *PhotoCaptMw version 99.03*.

Analisis Tekstur Daging Rajungan

Analisis tekstur daging rajungan mengacu Zainal Abidin *et al.* (2023) dengan beberapa modifikasi. Daging yang digunakan berukuran sekitar $2,3 \times 0,5 \times 0,3\ \text{cm}^3$, dilakukan menggunakan peng analisis tekstur Brookfield CTX Ametek (Brookfield, Engineering Lab,

Inc., Middleboro, MA, AS) yang dilengkapi dengan sel beban 10 kg pada suhu ruangan (28 °C). Daging menjalani dua uji kompresi berturut-turut menggunakan probe TA41 silinder (diameter 6 mm dan panjang 35 mm) dalam kondisi berikut: kecepatan pra-uji 1,0 mm/s, kecepatan uji 5,0 mm/s, kecepatan pascauji 5,0 mm/s, mode target ditetapkan pada regangan 50%, dan gaya picu 5 g. Lima parameter diuji untuk mendapatkan gambaran tekstur daging rajungan yaitu *hardness*, *gumminess*, *chewiness*, *cohesiveness* dan *springiness*.

Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan rancangan acak lengkap (RAL) yang diulang tiga kali pada setiap perlakuan. Perbandingan data daging rajungan sebelum dan sesudah pengukusan dianalisis menggunakan uji t-test. Sementara, pengaruh lama penyimpanan pada suhu dingin (0, 1, 3, 5, dan 7 hari) dan lama penyimpanan pada suhu beku (0, 1, 2, 3, dan 4 minggu) dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) one-way untuk semua bagian daging rajungan. Data dianalisis dengan perangkat lunak R versi 4.3.1. menggunakan paket “agricolae”. Jika hasil berbeda nyata, maka dilanjutkan dengan uji Duncan dengan taraf kepercayaan 95% ($p > 0,05$).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelarutan protein dalam air merupakan salah satu aspek penting dalam ilmu protein yang ditentukan oleh struktur protein terutama sekuen primernya. Konsentrasi protein larut air secara luas digunakan sebagai indikator perubahan struktur pada protein (Qing *et al.*, 2022; Smialowski *et al.*, 2007). Kelarutan protein bisa digunakan sebagai indikasi terjadinya denaturasi protein. *Figure 1* menampilkan konsentrasi total protein pada ekstrak daging rajungan sebelum dan sesudah pengukusan.

Konsentrasi protein terlarut setelah proses pengukusan menunjukkan penurunan signifikan pada bagian CM dan JL ($p < 0,05$), tetapi tidak pada bagian LEG ($p > 0,05$). Penurunan kadar protein disebabkan oleh proses denaturasi dan koagulasi protein akibat pemanasan, yang menyebabkan sebagian protein menjadi tidak larut dan tidak terdeteksi dalam pengukuran. Selain itu, keluarnya cairan jaringan (*drip loss*) selama pengukusan juga dapat membawa sebagian fraksi protein larut keluar dari daging. Penurunan konsentrasi protein terlalu paling besar teramati pada bagian CM yaitu sebesar 44%, diikuti JL (21%) dan LEG (18%). Perbedaan tingkat penurunan antarbagian diduga terkait dengan variasi komposisi protein dan struktur jaringan otot. Penurunan kandungan

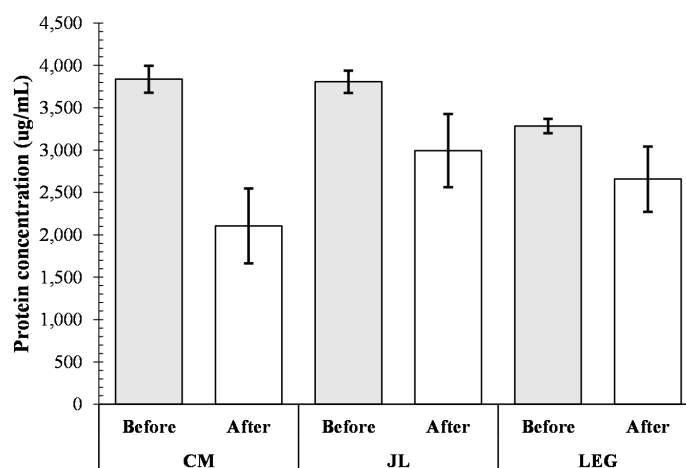


Figure 1 Protein concentration of crab meat before and after steaming; CM (claw meat), JL (jumbo lump), LEG (leg meat); *showed significant differences in the same edible part $p < 0.05$.

Gambar 1 Konsentrasi protein larut air daging rajungan sebelum dan sesudah dikukus; CM (daging capit), JL (daging badan), LEG (daging kaki); simbol (*) menunjukkan perbedaan signifikan pada organ yang sama ($p < 0,05$).



protein yang lebih tinggi pada CM dan JL diduga berkaitan komposisi protein yang membentuknya yaitu protein sarkoplasmik yang lebih tinggi dibandingkan dengan protein miofibril (Benjakul & Sutthipan, 2009). Protein sarkoplasmik merupakan protein yang mudah terdenaturasi dengan panas dan mudah larut dalam air, sehingga proses pengukusan menyebabkan penurunan yang signifikan. Sebaliknya, bagian LEG yang berada lebih distal umumnya memiliki lebih banyak jaringan ikat dan kolagen yang tahan panas (Vilaso-Martínez *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2020).

Hasil analisis konsentrasi protein pada penyimpanan suhu *chilling* dapat dilihat pada Figure 2. Figure 2 menunjukkan konsentrasi protein tertinggi pada daging rajungan yang dikukus dan disimpan pada suhu dingin ditemukan pada bagian *jumbo lump*. Hasil analisis konsentrasi protein pada daging rajungan bagian *jumbo lump* berkisar antara $1.517,45 \pm 325,64$ hingga $2.995,29 \pm 432,72$ $\mu\text{g/mL}$. Secara keseluruhan konsentrasi protein dari seluruh bagian daging mengalami penurunan pada hari ketiga, berkisar antara $1.256,27 \pm 195,22$ sampai $1.517,45 \pm 325,64$

$\mu\text{g/mL}$, dan kemudian stabil selama waktu penyimpanan selanjutnya.

Kondisi tersebut dapat terjadi karena pada suhu *chilling*, aktivitas enzim protease masih berlangsung, meskipun lebih lambat dibandingkan suhu ruang. Pada hari ketiga, bisa terjadi puncak aktivitas protease, sehingga menyebabkan degradasi protein lebih cepat. Menurut Tavares *et al.* (2021), aktivitas enzim proteolitik dan reaksi kimia yang menyebabkan degradasi protein lebih cepat. Enzim proteolitik menyebabkan akumulasi senyawa dengan berat molekul rendah. Tidak hanya komposisi protein yang terpengaruh, tetapi juga strukturnya, dipengaruhi oleh aktivitas enzim proteolitik (Hu *et al.*, 2023). Peningkatan selanjutnya pada hari ke-5 dan ke-7 bisa jadi disebabkan oleh autolisis lanjutan. Proses ini melepaskan lebih banyak protein yang sebelumnya terperangkap dalam struktur jaringan otot. Protein larut air seperti sarkoplasma dapat mengalami perubahan konformasi setelah proses denaturasi parsial (Zhang *et al.*, 2021).

Konsentrasi protein pada perlakuan penyimpanan beku ditampilkan pada Figure 3. Secara keseluruhan konsentrasi protein

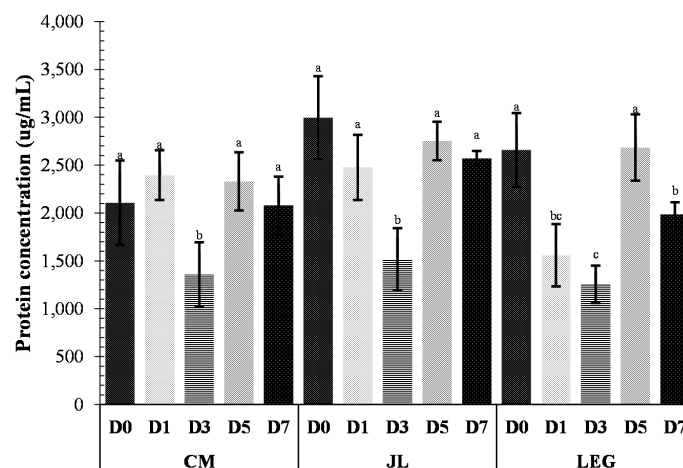


Figure 2 Protein concentration of crab meat during chilling temperature CM (claw meat), JL (jumbo lump), LEG (leg meat) every day 0 (D0), 1 (D1), 3 (D3), 5 (D5), and 7 (D7) of sampling. Different superscript letters indicate different significance at different time periods in the same edible part ($p < 0.05$).

Gambar 2 Konsentrasi protein daging rajungan pada penyimpanan suhu dingin pada CM (daging daging capit), JL (daging badan), LEG (daging kaki) setiap hari ke-0 (D0), ke-1 (D1), ke-3 (D3), ke-5 (D5), dan ke-7 (D7) pengambilan sampel. Huruf superskrip yang berbeda menunjukkan signifikan berbeda pada periode waktu berbeda pada organ yang sama ($p < 0,05$).

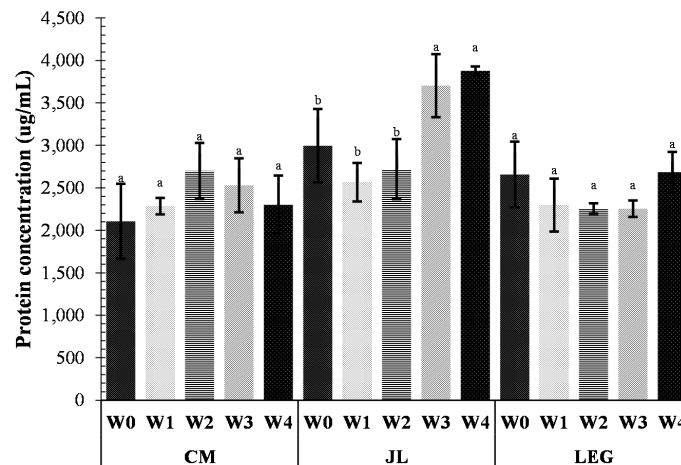


Figure 3 Protein concentration of crab meat during freezing temperature CM (claw meat), JL (jumbo lump), LEG (leg meat) every day 0 (D0), 1 (D1), 3 (D3), 5 (D5), and 7 (D7) of sampling. Different superscript letters indicate different significance at different time periods in the same edible part ($p < 0.05$).

Gambar 3 Konsentrasi protein daging rajungan pada penyimpanan suhu beku pada CM (daging capit), JL (daging badan), LEG (daging kaki) setiap hari ke-0 (D0), ke-1 (D1), ke-3 (D3), ke-5 (D5), dan ke-7 (D7) pengambilan sampel. Huruf superskrip yang berbeda menunjukkan signifikan berbeda pada periode waktu berbeda pada organ yang sama ($p < 0,05$).

sampel daging rajungan kukus penyimpanan beku selama empat minggu cenderung stabil. Hasil analisis konsentrasi protein tertinggi terdapat pada sampel daging rajungan bagian JL selama penyimpanan 4 minggu yaitu $2.995,29 \pm 432,72$ µg/mL sampai $3.877,16 \pm 53,13$ µg/mL. Stabilitas ini menunjukkan bahwa metode pembekuan efektif dalam mempertahankan kandungan protein. Pembekuan bekerja dengan memperlambat aktivitas mikroorganisme serta proses degradasi enzimatis, termasuk aktivitas proteolitik yang berkontribusi terhadap penurunan protein selama penyimpanan (Zhu *et al.*, 2025). Meskipun demikian, proses pembekuan tetap memiliki potensi denaturasi protein akibat pembentukan kristal es besar yang dapat merusak struktur jaringan dan mengekspos gugus hidrofobik protein, yang pada akhirnya dapat menyebabkan agregasi dan perubahan fungsional protein (Zhang *et al.*, 2022). Jun *et al.* (2017) melaporkan bahwa daging kepiting salju (*Chionoecetes japonicus*) mengalami penurunan kualitas setelah dua minggu penyimpanan pada suhu -20 °C.

Hasil Analisis Profil Protein

Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis (SDS-PAGE) adalah teknik elektroforesis yang dapat menganalisis profil protein karena kemampuannya untuk memisahkan dan mengidentifikasi berbagai fraksi protein berdasarkan berat molekulnya. Dalam penelitian ini, metode SDS-PAGE diterapkan untuk membandingkan profil protein daging rajungan sebelum dikukus dan sesudah pengukusan yang disimpan pada suhu dingin dan beku. Hasil SDS-PAGE pada daging rajungan dapat dilihat pada *Figure 4*.

Konsentrasi protein berbanding lurus dengan ketebalan pita protein yang terbentuk. Pita protein dapat dibedakan menjadi pita utama atau mayor dan pita samar atau minor. Ketebalan dan intensitas suatu pita berkaitan dengan jumlah molekul yang bermigrasi, dimana pita dengan muatan ionik yang lebih tinggi akan bermigrasi lebih jauh dibandingkan dengan pita yang memiliki muatan ionik lebih rendah (Fatma *et al.*, 2023). Hal ini dapat dilihat pada *Figure 4* bahwa daging rajungan segar memiliki pita yang lebih tebal dibandingkan dengan daging

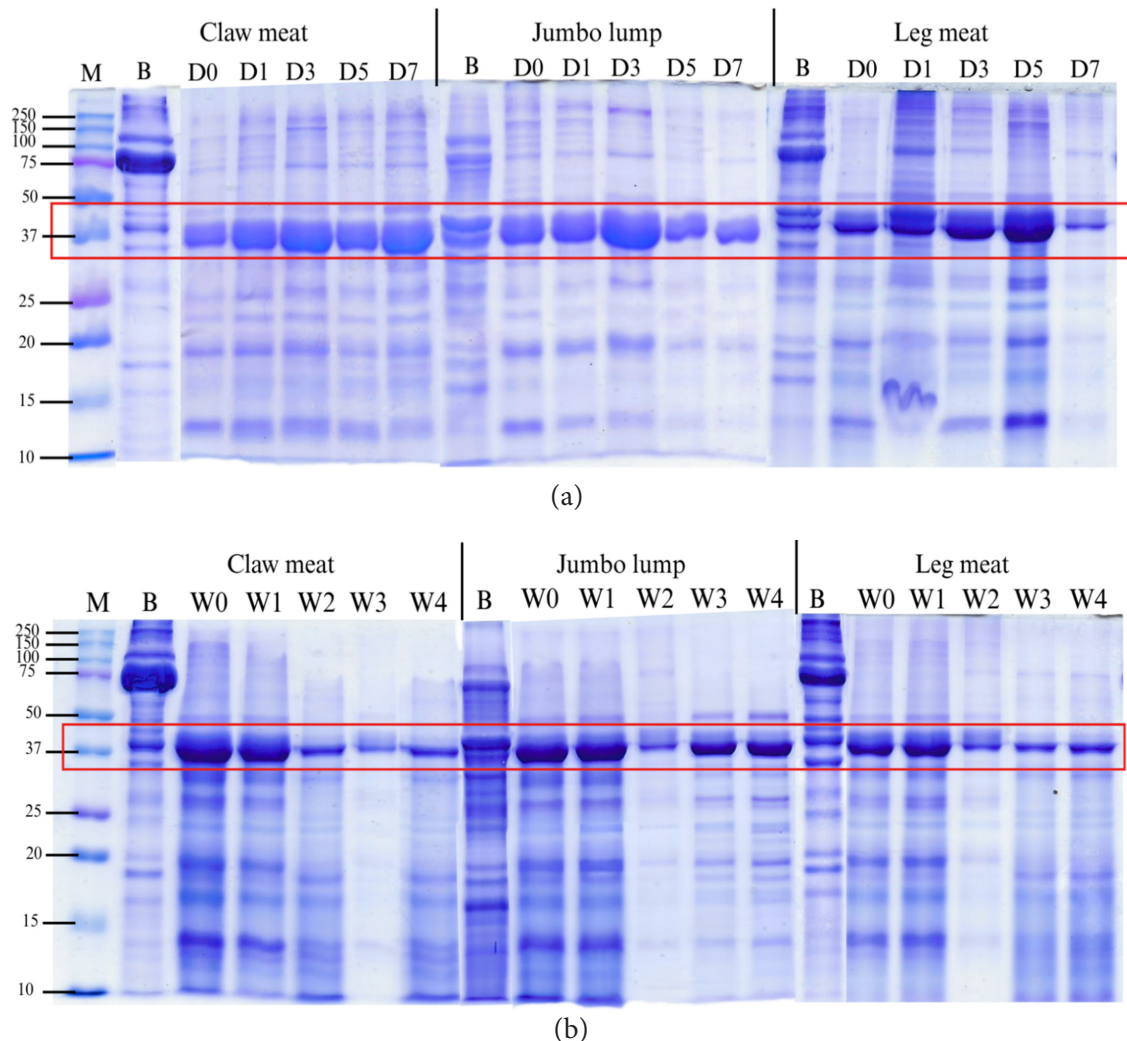


Figure 4 SDS-PAGE analysis of crab meat samples. (a) Crab meat stored at chilling temperature; (b) Crab meat stored at freezing temperature. Description: M= Marker, B= Before steaming, D0= Storage Day 0, D1= Storage Day 1, D3= Storage Day 3, D5= Storage Day 5, D7= Storage Day 7, W0= Storage Week 0, W1= Storage Week 1, W2= Storage Week 2, W3= Storage Week 3, and W4= Storage Week 4. The band shown in the red box is tropomyosin.

Gambar 4 Hasil analisis SDS-PAGE sampel daging rajungan. (a) Daging rajungan penyimpanan suhu dingin; (b) Daging rajungan penyimpanan suhu beku. Keterangan: M= Marker, B= Sebelum pengukusan, D0 = Penyimpanan Hari ke-0, D1= Penyimpanan hari ke-1, D3= Penyimpanan hari ke-3, D5= Penyimpanan hari ke-5, D7= Penyimpanan hari ke-7, W0= Penyimpanan minggu ke-0, W1= Penyimpanan minggu ke-1, W2= Penyimpanan minggu ke-2, W3= Penyimpanan minggu ke-3, dan W4= Penyimpanan minggu ke-4. Pita yang diberikan kotak merah adalah tropomiosin.

rajungan yang telah dikukus. Dalam penelitian ini, protein utama yang teridentifikasi dalam daging *claw*, *jumbo lump*, dan *leg meat* adalah *myosin heavy chain* (~200 kDa), hemosianin

(~75 kDa), tropomiosin (33-39 kDa), aktin (42 kDa), arginin kinase (38-45 kDa), dan *myosin light chain* (20 kDa) (Ruethers *et al.*, 2018; Pimsannil *et al.*, 2025; Thomassen *et al.*, 2022).

Pita protein lain juga teridentifikasi dalam sampel daging rajungan kukus dengan bobot molekul 10-100 kDa. Meskipun demikian, ketebalan pita-pita protein tersebut tergolong tipis, menunjukkan bahwa meskipun ada variasi dalam ukuran dan komposisi protein, struktur yang dihasilkan tetap memiliki karakteristik yang unik.

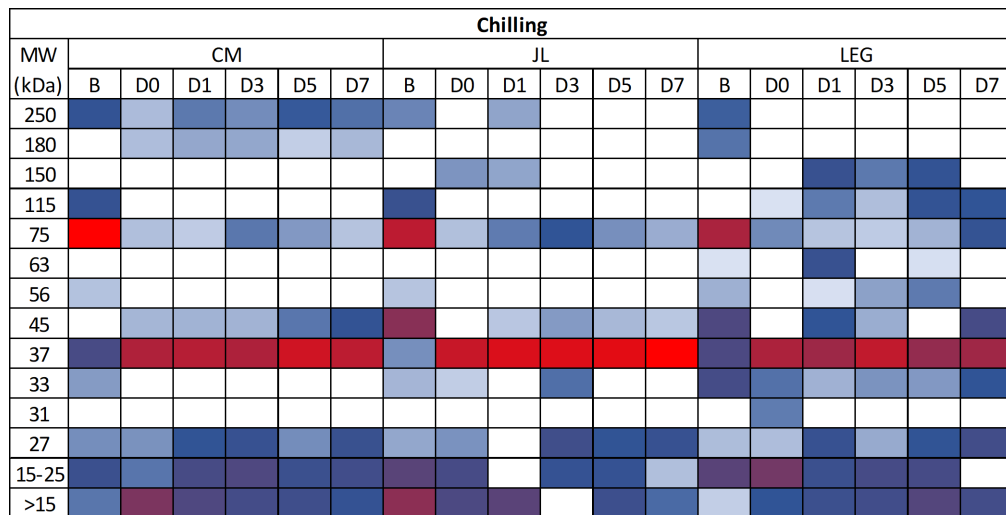
Profil SDS-PAGE menunjukkan bahwa daging rajungan segar didominasi oleh pita protein dengan berat molekul tinggi. Sebaliknya, pada daging rajungan kukus, terdapat penurunan intensitas pita, yang mengindikasikan terjadinya degradasi protein akibat pemanasan. Hal ini didukung oleh penelitian Arwani *et al.* (2022) bahwa selama proses pengolahan, penurunan kelarutan protein terjadi akibat denaturasi protein otot dan penggabungan protein yang menghasilkan agregat yang tidak larut. Komponen utama pada daging rajungan segar dari ketiga jenis daging adalah *myosin heavy chain* (MHC), actin, dan hemosianin. Miosin dan aktin tersusun menjadi filamen tipis dan tebal, merupakan dua protein yang paling dominan dalam miofibril otot rangka. Interaksi antara miosin dan aktin menghasilkan pembentukan aktomiosin, yang berperan penting dalam memberikan kekuatan untuk kontraksi otot serta menyebabkan kekakuan otot (Wang & Raunser, 2023). Hemosianin merupakan protein pengangkut oksigen yang terdapat dalam hemolimfa krustasea, yang menyumbang 75-95% dari total kandungan protein di dalamnya (Pedrosa *et al.*, 2015). Hemosianin dikategorikan dalam minor alergen (Zhao *et al.*, 2024).

Ekstrak yang dihasilkan dari penelitian ini terutama terdiri dari protein miofibril, yang merupakan komponen penting dalam struktur otot. Protein miofibril dapat diekstraksi menggunakan *buffer* yang memiliki kekuatan ion tinggi dan kandungan garam yang tinggi (Nugraha *et al.*, 2021). Hal ini sesuai dengan penelitian Premarathna *et al.* (2015). Berdasarkan *Figure 5*, tropomyosin ditemukan pada seluruh sampel daging rajungan. Protein tropomyosin merupakan protein miofibril yang berperan penting sebagai alergen utama pada krustasea dan moluska (Davis *et al.*,

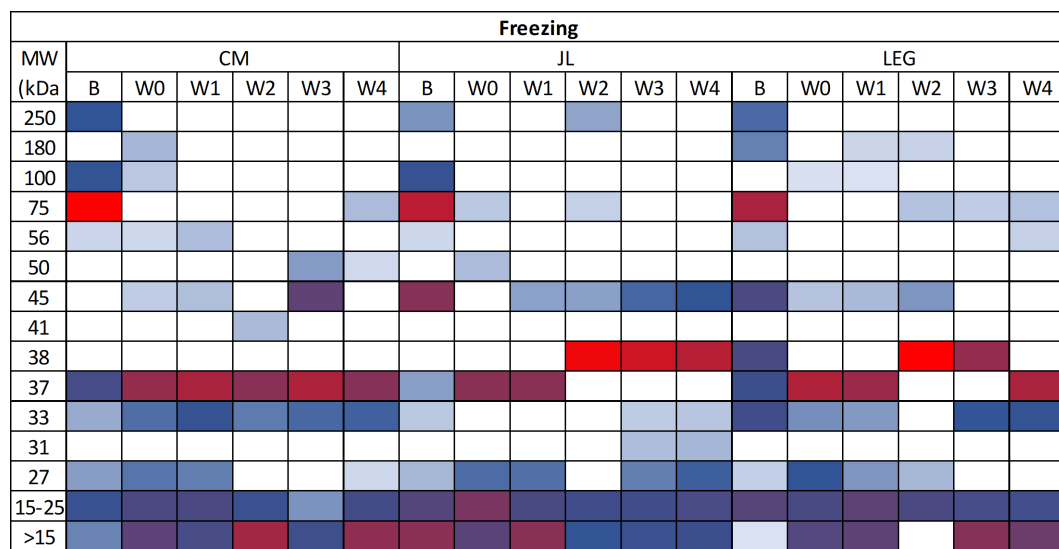
2020; Rolland *et al.*, 2018). Arginin kinase (AK) adalah protein monomerik yang larut dalam air dan telah diidentifikasi sebagai alergen tambahan setelah tropomiosin pada rajungan. AK merupakan enzim yang dapat membalikkan reaksi transfer fosfat antara ATP dan berbagai fosfagen pada semua invertebrata. Keberadaan AK dalam myosin menunjukkan keterkaitannya dengan fungsi otot, dimana miosin berperan dalam kontraksi otot (Misnan *et al.*, 2012).

Analisis SDS-PAGE pada daging rajungan ditampilkan pada *Figure 5*. Selama penyimpanan dingin hingga 7 hari (diuji pada hari ke 0, 1, 3, 5, dan 7) tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, sehingga daging rajungan tidak mengalami degradasi yang signifikan dalam periode tujuh hari pada masing-masing jenis daging. Hasil serupa juga ditemukan oleh Sun *et al.* (2017) pada rajungan (*Portunus trituberculatus*) selama penyimpanan 18 hari pada penyimpanan suhu *superchilling* (-3°C) dengan kemasan atmosfer yang dimodifikasi dan pada udang (*Penaeus chinensis*) selama penyimpanan 12 hari pada suhu dingin (Xu *et al.*, 2022). Namun, bagian *leg meat* dan *jumbo lump* pada hari ke-5 menunjukkan bahwa protein tropomyosin mulai samar, yang mengindikasikan bahwa terjadinya degradasi. Hal ini serupa pada penelitian Sun *et al.* (2017) pada perlakuan penyimpanan suhu *chilling* hari keempat. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh denaturasi, proteolisis, dan/atau oksidasi selama penyimpanan suhu rendah (Sun *et al.*, 2023). Selain itu, ditemukan pita baru pada berat molekul > 30 kDa selama penyimpanan. Hal ini disebabkan oleh pemecahan protein dengan berat molekul yang lebih tinggi.

Penyimpanan suhu *freezing* selama empat minggu memberikan pengaruh nyata terhadap stabilitas protein. Pada minggu ke-0, pita-pita protein yang terbentuk masih tampak jelas. Hal ini menandakan bahwa protein masih dalam kondisi utuh dan belum mengalami kerusakan. Namun, setelah penyimpanan minggu ke-3 dan minggu ke-4, mulai terlihat degradasi protein, ditandai dengan pelemahan pita tropomyosin. Penurunan ini terjadi akibat kontraksi atau kerusakan serat otot, sehingga



(a)



(b)

Band Intensity



Figure 5 Band intensity of crab meat samples. (a) Sliced meat stored at cold temperatures; (b) Sliced meat stored at frozen temperatures. Description: CM = claw meat, JL = jumbo lump, LEG = leg meat, D0 = Storage day 0, D1 = Storage day 1, D3 = Storage day 3, D5 = Storage day 5, D7 = Storage day 7, M0 = Storage week 0, M1 = Storage week 1, M2 = Storage week 2, M3 = Storage week 3, and M4 = Storage week 4.

Gambar 5 Intensitas pita sampel daging rajungan. (a) Daging rajungan penyimpanan suhu dingin; (b) Daging rajungan penyimpanan suhu beku. Keterangan: CM= claw meat, JL= jumbo lump, LEG= leg meat, D0= Penyimpanan Hari ke-0, D1= Penyimpanan hari ke-1, D3= Penyimpanan hari ke-3, D5= Penyimpanan hari ke-5, D7= Penyimpanan hari ke-7, M0= Penyimpanan minggu ke-0, M1= Penyimpanan minggu ke-1, M2= Penyimpanan minggu ke-2, M3= Penyimpanan minggu ke-3, dan M4= Penyimpanan minggu ke-4.

terjadi degradasi miofibril, kerusakan struktur jaringan sel otot, serta degradasi protein utama dalam protein miofibrilar (Ye *et al.*, 2021).

Kandungan protein pada pita-pita SDS-PAGE dari daging rajungan dianalisis secara semikuantitatif melalui visualisasi densitometri (Nugraha *et al.*, 2020). Intensitas pita ditunjukkan dengan gradasi warna yang ditampilkan pada *Figure 5*. Warna merah mempresentasikan intensitas tinggi sedangkan putih menunjukkan intensitas rendah. Visualisasi ini menunjukkan bahwa pita dengan bobot molekul 37-38 kDa tetap dominan dan stabil selama periode penyimpanan dalam kondisi penyimpanan dingin dan beku, terutama pada bagian JL, yang menunjukkan stabilitas protein allergen utama yaitu tropomiosin. Selain itu, pita-pita berukuran lebih besar (>100 kDa) yang muncul secara samar pada akhir penyimpanan dapat mencerminkan pelepasan protein-protein larut air akibat pelunakan jaringan. Penurunan intensitas pita dengan berat molekul rendah (< 30 kDa) pada beberapa bagian daging seperti CM dan JL menunjukkan degradasi protein menjadi fragmen-fragmen yang lebih kecil atau kemungkinan larutnya protein ke dalam media selama penyimpanan.

Hasil Tekstur

Tekstur merupakan salah satu atribut kualitas yang sangat penting dalam menentukan penerimaan daging rajungan oleh konsumen. *Texture Profile Analysis* (TPA) merupakan metode pengujian yang dirancang untuk meniru proses yang terjadi di dalam mulut, sehingga memungkinkan untuk memperoleh kurva gaya-waktu melalui dua siklus kompresi sampel, yang berfungsi untuk mengidentifikasi beberapa sifat tekstur dalam makanan (Nishinari *et al.*, 2019). Uji TPA dilakukan untuk mengukur parameter seperti *hardness*, *gumminess*, *chewiness*, *cohesiveness* dan *springiness* yang mencerminkan tekstur daging rajungan. Hasil dari pengujian tekstur daging rajungan dapat dilihat pada *Table 1*.

Analisis tekstur menunjukkan ketiga bagian rajungan memiliki profil yang berbeda-beda namun dengan tren yang konsisten antar bagian. *Hardness*, *gumminess* dan *chewiness* memiliki tren yang sama yaitu nilai CM >

JL > LEG. Adapun nilai *cohesiveness* dan *springiness* memiliki tren yang berkebalikan yaitu CM < JL < LEG. Otot pada capit (*claw meat*) berfungsi untuk aktivitas mencapit yang membutuhkan kekuatan mekanik tinggi, sehingga memiliki serat otot yang lebih tebal dan kompak. Sebaliknya, bagian kaki (*leg meat*) cenderung memiliki jaringan otot lebih halus dan kandungan air lebih tinggi, sehingga nilai kekerasannya lebih rendah. Capit mengandung proporsi protein sarkoplasmik yang lebih tinggi, sedangkan *jumbo lump* dan *leg* lebih kaya akan protein miofibril dan protein larut garam (*Figure 1*). Sebaliknya, tingginya protein sarkoplasmik menyebabkan *claw meat* memiliki nilai *cohesiveness* yang lebih rendah (Zhang *et al.*, 2021).

Setelah pengukusan, semua parameter tekstur mengalami peningkatan yang signifikan ($p < 0,05$) pada hampir semua bagian daging, kecuali *cohesiveness* pada CM yang tidak berbeda nyata. Pengukusan menyebabkan denaturasi protein miofibril, terutama aktin dan miosin, sehingga terbentuk struktur gel yang lebih padat dan kaku. Proses ini meningkatkan nilai *hardness*, *gumminess*, dan *chewiness* dengan peningkatan terbesar terlihat pada LEG diikuti dengan JL dan yang paling rendah adalah CM. Sebaliknya, parameter *cohesiveness* menunjukkan tren yang bervariasi. Pada CM nilainya relatif stabil ($0,30 \rightarrow 0,35$), namun pada JL dan LEG justru menurun signifikan (masing-masing -26% dan -51%). Penurunan ini menunjukkan bahwa jaringan menjadi lebih rapuh akibat denaturasi protein pengikat antar serat otot. *Springiness* meningkat signifikan pada CM (48%) dan JL (44%), namun menurun pada LEG (-19%). Tren yang berkebalikan dengan tekstur daging segar mendukung dugaan bahwa adanya perbedaan kandungan protein sarkoplasma dan miofibril pada ketiga bagian tersebut. Kandungan miofibril yang tinggi pada LEG dan JL meningkatkan nilai *hardness*, *gumminess*, dan *chewiness* namun menurunkan nilai *cohesiveness* dan *springiness* dikarenakan ketika protein miofibril mengalami denaturasi, protein tersebut akan terurai dan membentuk jaringan, sehingga membantu mempertahankan kelembapan serta menghasilkan kekenyalan atau



Table 1 Texture of crab meat before and after steaming
Tabel 1 Tekstur daging rajungan sebelum dan sesudah pengukusan

Parameter	Edible part	Steam Treatment	
		Before	After
Hardness (g)	claw meat	52.67±0.78 ^a	246.23±19.97 ^b
	jumbo lump	29.73±1.96 ^a	200.1±17.42 ^b
	leg meat	15.9±1.039 ^a	446.2±20.93 ^b
Gumminess (g)	claw meat	16.0±3.5 ^a	85.9±5.7 ^b
	jumbo lump	12.8±1.4 ^a	64.6±4.4 ^b
	leg meat	7.7±0.7 ^a	110.2±10.1 ^b
Chewiness (mJ)	claw meat	29.1±8.3 ^a	230.1±14.7 ^b
	jumbo lump	27.0±2.9 ^a	195.7±22.1 ^b
	leg meat	18.6±3.9 ^a	212.8±20.9 ^b
Cohesiveness (N)	claw meat	0.30±0.06 ^a	0.35±0.03 ^a
	jumbo lump	0.43±0.06 ^a	0.32±0.02 ^b
	leg meat	0.49±0.08 ^a	0.24±0.01 ^b
Springiness (mm)	claw meat	1.80±0.17 ^a	2.68±0.08 ^b
	jumbo lump	2.10±0.08 ^a	3.02±0.21 ^b
	leg meat	2.39±0.3 ^a	1.93±0.14 ^a

Different letter at the same row indicate significant differences ($p < 0.05$)

kekokohan yang diinginkan pada daging rajungan yang dimasak (Chen *et al.*, 2022; Xie *et al.*, 2024). Hasil serupa telah diteliti pada penelitian sebelumnya oleh (Wu *et al.*, 2021) pada *leg meat* kepiting (*Erichoir sinensis*) yang melaporkan adanya perubahan signifikan pada nilai tekstur akibat perlakuan pengukusan. Proses pengukusan memicu denaturasi protein, yang mengakibatkan perubahan struktural pada daging yang dipicu oleh berbagai proses, penyusutan serat daging, paparan area hidrofobik, agregasi, gelifikasi protein miofibril dan sarkoplasma, serta pelarutan jaringan ikat (Ovissipour *et al.*, 2017).

KESIMPULAN

Pada penelitian ini, perubahan profil protein dan tekstur akibat proses pengukusan pada tiga bagian daging rajungan yaitu *claw meat*, *jumbo lump* dan *leg* selama penyimpanan diamati. Tiga bagian tersebut memiliki komposisi protein yang berbeda dilihat dari kandungan protein terlarut

dan hasil elektroforesis SDS-PAGE. Profil protein yang berbeda ini menyebabkan ketiga bagian rajungan tersebut memiliki tekstur yang berbeda pula. Proses pengukusan menyebabkan perubahan signifikan pada profil protein daging rajungan. Suhu penyimpanan memberikan pengaruh yang nyata dalam perubahan profil protein. Suhu beku mampu mempertahankan kondisi protein selama proses penyimpanan hingga 4 minggu. Adapun suhu dingin tidak sepenuhnya menghentikan proses degradasi protein yang ditunjukkan adanya perubahan kandungan protein terlarut dan profil protein.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui pendanaan Program Penelitian Pascasarjana - Penelitian Tesis Magister-PPS PTM dengan nomor kontrak: 22301/IT3.D10/PT.01.03/P/B/2024 pada tanggal 12 Juni 2024 atas nama Roni Nugraha, S.Si., M.Sc., Ph.D.

DAFTAR PUSTAKA

- Arwani, A., Palupi, N. S., & Giriwono, P. E. (2022). Effects of different heat processing on molecular weight and allergenicity profile of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and mud crab (*Scylla serrata*) from Indonesian Waters. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 17(1), 13–22. <https://doi.org/10.15578/squalen.629>
- Benjakul, S., & Sutthipan, N. (2009). Comparative study on chemical composition, thermal properties and microstructure between the muscle of hard shell and soft shell mud crabs. *Food Chemistry*, 112(3), 627–633. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2008.06.019>
- Chen, Q., Zhang, Y., Jing, L., Xiao, N., Wu, X., Shi, W., Chen, Q., Zhang, Y., Jing, L., Xiao, N., Wu, X., & Shi, W. (2022). Changes in protein degradation and non-volatile flavor substances of swimming crab (*Portunus trituberculatus*) during steaming. *Foods*, 11(21), 3502–3512. <https://doi.org/10.3390/FOODS11213502>
- Davis, C. M., Gupta, R. S., Aktas, O. N., Diaz, V., Kamath, S. D., & Lopata, A. L. (2020). Clinical management of seafood allergy. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, 8(1), 37–44. <https://doi.org/10.1016/j.jaip.2019.10.019>
- Dima, J. B., Barón, P. J., & Zaritzky, N. E. (2012). Mathematical modeling of the heat transfer process and protein denaturation during the thermal treatment of Patagonian marine crabs. *Journal of Food Engineering*, 113(4), 623–634. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2012.07.007>
- Dong, R., Wu, Y., Du, Q., Lu, R., Benjakul, S., Zhang, B., & Shui, S. (2024). Changes in the physicochemical characteristics and microbial community compositions of the abdomen and cheliped muscles in swimming crab (*Portunus trituberculatus*) during frozen storage. *Food Chemistry: X*, 21, 101210. <https://doi.org/10.1016/J.FOCHX.2024.101210>
- FAO. (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Fatma, N., Metusalach, M., Taslim, N. A., & Nurimala, M. (2023). SDS-PAGE protein profile of albumin extracted by steaming from four marine and three brackish-water fishes. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(7), 4027–4033. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240740>
- Hu, S., Xu, X., Zhang, W., Li, C., & Zhou, G. (2023). Quality control of jinhua ham from the influence between proteases activities and processing parameters: A review. *Foods*, 12(7), 1454–1472. <https://doi.org/10.3390/foods12071454>
- Jun, J. Y., Jung, M. J., Kim, D. S., Jeong, I. H., & Kim, B. M. (2017). Postmortem changes in physiochemical and sensory properties of red snow crab (*Chionoecetes japonicus*) leg muscle during freeze storage. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 20(1), 2–7. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0057-9>
- KKP. (2024). Portal Data KKP. <https://portaldata.kkp.go.id/>
- Misnan, R., Hani, Z., Yadzir, M., Murad, S., Yadzir, M., & Abdullah, N. (2012). Identification of the major allergens of *Charybdis feriatus* (red crab) and its cross-reactivity with *Portunus pelagicus* (blue crab). *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*, 30(4), 285–293.
- Nanda, P. K., Das, A. K., Dandapat, P., Dhar, P., Bandyopadhyay, S., Dib, A. L., Lorenzo, J. M., & Gagaoua, M. (2021). Nutritional aspects, flavour profile and health benefits of crab meat based novel food products and valorisation of processing waste to wealth: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 252–267. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.059>
- Nishinari, K., Fang, Y., & Rosenthal, A. (2019). Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 50(5), 369–380. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12404>
- Nugraha, R., Pamingkas, I. D., Pertiwi, R.



- M., & Nurhayati, T. (2020). Penurunan kandungan protein penyebab alergi pada proses pembuatan surimi ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(3), 558-565. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i3.33639>
- Nugraha, R., Ruethers, T., Johnston, E. B., Rolland, J. M., O'Hehir, R. E., Kamath, S. D., & Lopata, A. L. (2021). Effects of extraction buffer on the solubility and immunoreactivity of the Pacific oyster allergens. *Foods*, 10(2), 409-425. <https://doi.org/10.3390/foods10020409>
- Nugraha, R., Safitri, N. G., Nurilmala, M., & Pertiwi, R. M. (2024). Purifikasi dan karakterisasi parvalbumin patin dan gurami. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 27(12), 1134-1145. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v27i12.52147>
- Nurilmala, M., Safithri, M., Pradita, F. T., & Pertiwi, R. M. (2021). Profil protein ikan gabus (*Channa striata*), toman (*Channa micropeltes*), dan betutu (*Oxyeleotris marmorata*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(3), 548-557. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v23i3.33924>
- Ovissipour, M., Rasco, B., Tang, J., & Sablani, S. (2017). Kinetics of protein degradation and physical changes in thermally processed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food and Bioprocess Technology*, 10(10), 1865-1882. <https://doi.org/10.1007/s11947-017-1958-4>
- Pedrosa, M., Boyano-Martínez, T., García-Ara, C., & Quirce, S. (2015). Shellfish allergy: a comprehensive review. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 49(2), 203-216. <https://doi.org/10.1007/s12016-014-8429-8>
- Pimsannil, K., Palamae, S., Fan, X., Zhao, Q., Zhang, B., & Benjakul, S. (2025). Edible portions of precooked blue swimming crab: Chemical composition and effect of chitooligosaccharide conjugate and high-pressure processing on microbial inactivation. *Food Chemistry: X*, 25, 102070-102079. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.102070>
- Premarathna, A. D., Rajapakse, R. P. V. J., Pathirana, E., Senaratne, V. P., Karunarathna, S. C., & Jayasooriya, A. P. (2015). Nutritional analysis of some selected fish and crab meats and fatty acid analysis of oil extracted from *Portunus pelagicus*. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 4 (7), 197-201.
- Qing, R., Hao, S., Smorodina, E., Jin, D., Zalevsky, A., & Zhang, S. (2022). Protein design: from the aspect of water solubility and stability. *Chemical Reviews*, 122(18), 14085-14179. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.1c00757>
- Ren, Y., Sun, J., & Mao, X. (2024). Quality changes in gazami crab (*Portunus trituberculatus*) during refrigeration. *Food Chemistry*, 437, 137942-137953. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2023.137942>
- Rolland, J. M., Varese, N. P., Abramovitch, J. B., Anania, J., Nugraha, R., Kamath, S., Hazard, A., Lopata, A. L., & O'Hehir, R. E. (2018). Effect of heat processing on IgE reactivity and cross-reactivity of tropomyosin and other allergens of asia-pacific mollusc species: identification of novel sydney rock oyster tropomyosin Sac g 1. *Molecular Nutrition & Food Research*, 62(14), 1800148-1800160 <https://doi.org/10.1002/mnfr.201800148>
- Ruethers, T., Taki, A. C., Johnston, E. B., Nugraha, R., Le, T. T. K., Kalic, T., McLean, T. R., Kamath, S. D., & Lopata, A. L. (2018). Seafood allergy: A comprehensive review of fish and shellfish allergens. *Molecular Immunology*, 100, 28-57. <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.04.008>
- Shi, S., Wang, X., Wu, X., & Shi, W. (2020). Effects of four cooking methods on sensory and taste quality of *Portunus trituberculatus*. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 1115-1124. <https://doi.org/10.1002/FSN3.1398>
- Smialowski, P., Martin-Galiano, A. J., Mikolajka, A., Girschick, T., Holak, T. A., & Frishman, D. (2007). Protein solubility: sequence based prediction and experimental

- verification. *Bioinformatics*, 23(19), 2536–2542. <https://doi.org/10.1093/BIOINFORMATICS/BTL623>
- Sun, B., Zhao, Y., Ling, J., Yu, J., Shang, H., & Liu, Z. (2017). The effects of superchilling with modified atmosphere packaging on the physicochemical properties and shelf life of swimming crab. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1809–1817. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2611-y>
- Sun, K., Pan, C., Chen, S., Tao, F., Liu, S., Zhao, Y., Li, C., & Wang, D. (2023). Quality deterioration of *Litopenaeus vannamei* associated with protein changes during partial freezing storage. *Food Science of Animal Products*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.26599/FSAP.2023.9240002>
- Tavares, J., Martins, A., Fidalgo, L. G., Lima, V., Amaral, R. A., Pinto, C. A., Silva, A. M., & Saraiva, J. A. (2021). Fresh fish degradation and advances in preservation using physical emerging technologies. *Foods*, 10(4), 780-800. <https://doi.org/10.3390/foods10040780>
- Thomassen, M. R., Kamath, S. D., Bang, B. E., Nugraha, R., Nie, S., Williamson, N. A., Lopata, A. L., & Aasmoe, L. (2021). Occupational allergic sensitization among workers processing king crab (*Paralithodes camtschaticus*) and edible crab (*Cancer pagurus*) in Norway and identification of novel putative allergenic proteins. *Frontiers in Allergy*, 2, 1-13. <https://doi.org/10.3389/falgy.2021.718824>
- Tufan, B. (2023). Biochemical composition of different sex and body parts of blue Crabs (*Callinectes sapidus*) caught from the Middle Black Sea Coast. *Marine Science and Technology Bulletin*, 12(1), 104–110. <https://doi.org/10.33714/MASTEB.1241601>
- Vilaso-Martínez, M., López-Hernández, J., & Lage-Yusty, M. A. (2007). Protein and amino acid contents in the crab, *Chionoecetes opilio*. *Food Chemistry*, 103(4), 1330–1336. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.10.045>
- Wang, Z., & Raunser, S. (2023). Structural biochemistry of muscle contraction. *Annual Review of Biochemistry*, 92(1), 411–433. <https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-052521-042909>
- Ward, D. R., Nickelson, R., Finne, G., & Hopson, D. J. (1983). Processing technologies and their effects on microbiological properties, thermal processing efficiency, and yield of blue crab. *Marine Fisheries Review*, 45, 38–43.
- Wu, S., Tong, Y., Zhang, C., Zhao, W., Lyu, X., Shao, Y., & Yang, R. (2021). High pressure processing pretreatment of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) for quality attributes assessment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 73, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102793>
- Xie, Y., Zhao, K., Yang, F., Shu, W., Ma, J., Huang, Y., Cao, X., Liu, Q., & Yuan, Y. (2024). Modification of miofibrillar protein structural characteristics: Effect of ultrasound-assisted first-stage thermal treatment on unwashed Silver Carp surimi gel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 107, 1-12. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2024.106911>
- Xu, W., Ma, Q., Sun, J., Li, Y., Wang, J., Tang, Y., Liu, Y., Mu, J., & Wang, W. (2022). Changes in quality characteristics of shrimp (*Penaeus chinensis*) during refrigerated storage and their correlation with protein degradation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 114, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104773>
- Ye, T., Chen, X., Chen, Z., Liu, R., Wang, Y., Lin, L., & Lu, J. (2021). Quality characteristics of shucked crab meat (*Eriocheir sinensis*) processed by high pressure during superchilled storage. *Journal of Food Biochemistry*, 45(4), 1-12. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13708>
- Zainal Abidin, M., Kourmentza, K., & Niranjan, K. (2023). Chitin oligosaccharide N,N'-Diacetylchitobiose (GlcNAc₂) as antimicrobial coating against *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat shrimp. *Sustainability*, 15(13), 1-11. <https://doi.org/10.3390/su151310099>
- Zhang, L., Guo, L., Mu, C., Ye, Y., & Wang,



- C. (2021). Postmortem metabolite profile changes of mud crab (*Scylla paramamosain*) under different storage conditions. *Journal of Ocean University of China*, 20(3), 608–618. <https://doi.org/10.1007/s11802-021-4558-x>
- Zhang, L., Wang, W., Zhou, F., Zheng, Y., & Wang, X. (2020). Meat tenderness and histochemistry of muscle tissues from *Eriocheir sinensis*. *Food Bioscience*, 34, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2019.100479>
- Zhang, L., Yin, M., & Wang, X. (2021). Meat texture, muscle histochemistry and protein composition of *Eriocheir sinensis* with different size traits. *Food Chemistry*, 338, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2020.127632>
- Zhang, Y., Kim, Y. H. B., Puolanne, E., & Ertbjerg, P. (2022). Role of freezing-induced miofibrillar protein denaturation in the generation of thaw loss: A review. *Meat Science*, 190, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108841>
- Zhao, J., Timira, V., Ahmed, I., Chen, Y., Wang, H., Zhang, Z., Lin, H., & Li, Z. (2024). Crustacean shellfish allergens: influence of food processing and their detection strategies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(12), 3794–3822. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2135485>
- Zhou, T., Ding, Y. X., Benjakul, S., Shui, S. S., & Zhang, B. (2023). Characterization of endogenous enzymes in sword prawn (*Parapenaeopsis hardwickii*) and their effects on the quality of muscle proteins during frozen storage. *LWT*, 177, 1–8. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2023.114563>
- Zhu, S., Zhang, C., Liu, Y., Jiang, D., Zhao, Q., Mao, X., Hu, X., & Jiang, B. (2025). Effect of protein oxidation on the quality of abalone (*Haliotis discus hannai*) during frozen storage under different packaging conditions. *Food Chemistry: X*, 27, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102357>