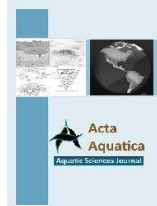




Acta Aquatica

Aquatic Sciences Journal



Potensi limbah perikanan sebagai alternatif sumber kalsium alami: sebuah kajian

The potential of fishery waste as an alternative source of natural calcium: a review

Received: 22 December 2022, Revised: 07 June 2023, Accepted: 01 July 2023
DOI: 10.29103/aa.v10i2.9755

Suprihadi Suprihadi^a, Azwar Thaib^b, Nurhayati Nurhayati^b, dan Lia Handayani^{c*}

^a Politeknik Ahli Usaha Perikanan Kampus Aceh, Aceh

^b Program Studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan, Universitas Abulyatama, Aceh

^c Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan, Universitas Abulyatama, Aceh

Abstrak

Saat ini penelitian mengenai mineral kalsium yang efektif dan aman bagi kesehatan dan lingkungan sedang banyak dikembangkan. Penelitian-penelitian tersebut bertujuan untuk mencari bahan alam yang mengandung kadar mineral tinggi, mempelajari metode yang efektif serta mempelajari karakteristik dari kalsium yang diperoleh. Kalsium alami menarik untuk dikembangkan karena berasal dari sumberdaya alam yang terbarukan seperti yang berasal dari limbah perikanan. Artikel ini berisi mengenai kajian mengenai potensi dari tulang ikan, cangkang kerang-kerangan dan cangkang krustacea sebagai sumber kalsium alami serta metode pembuatannya. Cangkang tiram yang dikalsinasi pada suhu 900°C selama 2 jam akan menghasilkan kadar Ca^{2+} sebesar 56,77% sedangkan kalsinasi selama 4 jam menghasilkan Ca^{2+} = 86,22%. cangkang langkitang yang dikalsinasi pada 900°C; 4 jam menghasilkan Ca^{2+} = 77,15%. Rendemen yang dihasilkan dengan waktu kalsinasi \geq 4 jam relatif stabil yaitu 55 –57 %.

Kata kunci: Cangkang Kerang; cangkang krustacea; kalsium; tulang ikan

Abstract

Research on calcium minerals that are effective and safe for health and the environment is being developed. These studies aim to find natural ingredients that contain high mineral levels, study effective methods, and study the characteristics of calcium obtained. Natural calcium is interesting to develop because it comes from renewable natural resources such as those fishery wastes. This article contains a study of the potential of fish bones, shellfish shells, and crustacean shells as natural sources of calcium and methods of manufacture. Oyster shells that are crushed at 900°C for 2 hours will produce Ca^{2+} levels of 56.77% while calcination for 4 hours produces Ca^{2+} = 86.22%. direct shells calcined at 900°C; 4 hours yields Ca^{2+} = 77.15%. The yield produced with a calcination time of \geq 4 hours is relatively stable, which is 55 -57 %.

Keywords: Calcium; Clam shells; crustacean shells; fish bones

1. Introduction

1.1. Latar Belakang

Kalsium merupakan salah satu mineral penting yang dibutuhkan oleh makhluk hidup sehingga tubuh dapat menjalankan fungsinya dengan baik, seperti manusia yang membutuhkan kalsium untuk pembentukan tulang dan gigi pada masa pertumbuhan. Kalsium dan fosfor merupakan salah satu contoh mineral esensial yaitu mineral yang dibutuhkan oleh tubuh dalam proses fisiologis makhluk hidup untuk membantu kerja enzim atau pembentukan organ termasuk pembentukan tulang dan gigi. Beberapa contoh yang termasuk mineral esensial adalah natrium, belerang, fosfor, kalsium, magnesium dan klor. Jika mineral-mineral tersebut tidak tercukupi oleh tubuh maka akan menyebabkan kelainan fisiologis atau biasa disebut penyakit defisiensi mineral.

* Korespondensi: Prodi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan, Universitas Abulyatama, Kabupaten Aceh Besar, Aceh, Indonesia.

Tel: +62-82363936898

e-mail: liahandayani_thp@abulyatama.ac.id

Peranan kalsium dalam tubuh dipengaruhi oleh komponen nutrisi yang lain yaitu vitamin D yang berperan dalam merangsang absorpsi kalsium oleh saluran pencernaan, merangsang pelepasan kalsium dari tulang ke dalam darah dan menunjang reabsorpsi kalsium dari dalam kurangnya asupan kalsium pada masa pertumbuhan dapat menyebabkan gangguan pertumbuhan. Tulang tidak kuat dan mudah bengkok dan rapuh. Wanita usia dewasa lebih dominan mengalami osteoporosis, hal ini disebabkan pada usia dewasa terjadi kehilangan kalsium pada tulangnya. Penyakit ini juga dipercepat oleh kondisi stress sehari-hari. Oleh karena itu, dianjurkan untuk memperhatikan asupan kalsium bagi tubuh. Kebutuhan kalsium bagi bayi (300-400 mg); anak-anak 500 mg; remaja (600-700 mg); dewasa (500-800 mg). Kekurangan asupan kalsium dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan, maka dianjurkan bagi ibu hamil agar mencukupi asupan kalsium agar pertumbuhan dan perkembangan janin berlangsung baik.

Hal serupa juga terjadi pada ikan dan udang yang membutuhkan kalsium bagi pertumbuhannya. Ikan membutuhkan kalsium pada saat melakukan proses osmoregulasi, sedangkan udang membutuhkan kecukupan cadangan kalsium agar tidak terjadinya kegagalan proses gastrolisis sehingga udang tidak mampu molting dengan sempurna.

Limbah perikanan merupakan hasil samping yang tidak diinginkan karena tidak bernilai ekonomis serta kehadirannya dapat menimbulkan permasalahan lingkungan. Limbah perikanan yang dimaksud dapat berupa cangkang, tulang, kulit ikan, jeroan, kepala, sisik, sirip, darah, air cucian ikan, dan lain-lain. Peningkatan jumlah hasil samping yang dibuang ke lingkungan dapat menimbulkan berbagai permasalahan, baik pencemaran lingkungan dan nilai estetika. Penumpukan yang terjadi secara terus menerus yang diakibatkan oleh ketidakmampuan mengolah hasil samping menjadi produk yang bernilai ekonomi, dapat mencemari lingkungan seperti munculnya aroma tidak sedap yang berakibat berkembangbiaknya bibit penyakit, selain itu sebagian besar hasil samping pengolahan perikanan dibuang ke aliran air seperti sungai, yang akan berakibat pada menurunnya kualitas air lingkungan perairan. Selain itu, penumpukan yang terjadi secara terus menerus juga akan mengganggu secara estetika.

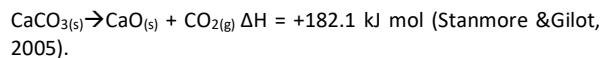
Selain yang telah disebutkan di atas, limbah hasil perikanan juga dapat berupa: 1) ikan rucah yang memiliki nilai ekonomis rendah, oleh karena itu belum dimanfaatkan sebagai pangan; 2) ikan yang tidak terserap oleh pasar, terutama saat hasil tangkapan melimpah; 3) bagian ikan yang tidak dimanfaatkan pada rumah tangga, rumah makan dan industri pengolahan ikan; 4) kesalahan penanganan hasil tangkapan maupun kesalahan pada proses pengolahan. Limbah-limbah yang telah disebutkan di atas akan merugikan lingkungan jika tidak diolah dengan benar.

Penanganan hasil samping perikanan dapat dilakukan melalui metode kimia maupun biologi, namun penanganan limbah menggunakan metode tersebut tidak menghasilkan produk baru yang bernilai ekonomis tinggi dan justru membutuhkan biaya yang cukup besar. Sehingga diharapkan terus dikembangkan teknik penanganan hasil samping yang dapat menghasilkan produk baru bernilai ekonomis. Penanganan limbah perikanan menjadi produk baru yang memiliki nilai ekonomi terus dikembangkan, beberapa di antaranya seperti mengubah cangkang kerang menjadi sumber kalsium, tulang diubah menjadi karbon aktif dan tepung, kulit udang menjadi kitosan, kulit ikan menjadi gelatin dan minyak ikan, serta masih banyak lagi produk baru yang masih dapat dihasilkan dengan mengolah hasil samping perikanan secara tepat dan efisien.

Limbah-limbah padat perikanan seperti tulang ikan, cangkang kerang-kerangan, kulit udang, cangkang kepiting, cangkang siput mengandung banyak mineral kalsium. Cangkang kerang (*bivalvia*) mengandung kalsium hingga 39,38% (Rohanah *et al.*, 2009), namun beberapa peneliti menemukan bahwa kandungan kalsium pada cangkang kerang-kerangan dapat melebihi nilai tersebut. Tidak hanya cangkang kerang, cangkang kepiting juga mengandung kalsium dalam bentuk senyawa kalsium karbonat (CaCO_3) yang dapat diubah menjadi kalsium oksida (CaO) yang persentasenya hingga 40,15% (Zufadhillah *et al.*, 2018).

Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi pada limbah padat perikanan menjadikannya berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber kalsium, karena CaCO_3 dapat dikonversikan menjadi CaO menggunakan metode *thermal decomposition*. Ada dua cara utama untuk mengkonversi CaCO_3 menjadi CaO , yaitu *thermal decomposition* dan sol-gel (Handayani & Syahputra, 2017b; Tang *et al.*, 2008). Pembuatan CaO menggunakan cara sol-gel membutuhkan biaya yang tinggi, selain itu juga proses sangat rumit serta membutuhkan waktu yang lama. Sehingga sulit untuk diterapkan pada industri. Berbeda dengan metode *thermal decomposition*, waktu yang dibutuhkan lebih singkat, mudah, biaya yang dibutuhkan rendah dan produk yang dihasilkan memiliki kemurnian yang tinggi. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian mengenai konversi kalsium karbonat (CaCO_3) menjadi kalsium oksida (CaO) menggunakan metode *thermal decomposition* atau sering disebut kalsinasi (Handayani & Syahputra, 2017a) (Mosaddegh & Asadollah, 2014; Zuhra *et al.*, 2015).

Kalsinasi dilakukan sebagai upaya untuk menghilangkan air, CO_2 , gas-gas lainnya termasuk senyawa organik yang terikat dengan CaCO_3 . Kalsinasi juga disebut *thermal decomposition* atau penguraian dengan temperatur. Sebelum dilakukan kalsinasi, kalsium dalam cangkang kerang-kerangan, siput, kepiting, udang berbentuk CaCO_3 . Setelah dikalsinasi pada suhu 900°C , kalsium karbonat (CaCO_3) dikonversi menjadi kalsium oksida (CaO) yang dapat digunakan sebagai sumber kalsium. Kalsinasi merupakan proses yang endotermik (dapat dilihat dari ΔH° yang positif). Panas yang diberikan memutus ikatan kimia dari air kristal karena atom-atom yang berikatan dengan kalsium karbonat akan bergerak sangat aktif dan bebas sehingga menyebabkan terputusnya ikatan-ikatan kimia yang ada di dalamnya. Di samping itu panas yang diberikan juga mengoksidasi limbah perikanan tersebut menjadi oksidanya. Reaksi pembentukan CaO melalui proses kalsinasi dapat dilihat pada reaksi berikut:



Namun pembuatan kalsium dari limbah perikanan tidak hanya terbatas pada penggunaan metode secara fisika/ kalsinasi (penggunaan panas) saja, beberapa peneliti juga telah menerapkan metode kimia, seperti presipitasi dan ekstraksi/hidrolisis protein (Lekahena *et al.*, 2014; Suptijah *et al.*, 2012; Trilaksana *et al.*, 2006). Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dari metode kimia adalah kalsium yang dihasilkan memiliki ukuran yang lebih homogeny dengan ukuran lebih kecil dari 100 nm serta tidak membutuhkan penggunaan energi yang tinggi, sedangkan metode fisika memiliki kelebihan yaitu kalsium yang dihasilkan memiliki tingkat kemurnian yang lebih tinggi dan prosesnya lebih mudah.

Selama ini yang direkomendasikan oleh pakar kesehatan sebagai sumber kalsium terbaik adalah susu dan keju. Namun harga kedua sumber kalsium tersebut bagi sebagian masyarakat masih tergolong mahal, dan hanya terjangkau oleh masyarakat

dengan tingkat ekonomi menengah ke atas, sehingga bagi masyarakat golongan ekonomi ke bawah tidak mampu mencukupi kebutuhan kalsium tubuh. Oleh karena itu perlu dicari alternatif sumber kalsium dengan harga yang lebih murah, mudah diperoleh dan tentu saja mudah diabsorpsi. Saat ini pemerintah sedang menggalakkan slogan-slogan bertema lingkungan seperti "go green", "back to nature", "cleaner production", "save our earth", "zero waste" atau "3R (Reduce, Reuse, Recycle)", adalah hal terbaik jika dapat mengurangi penumpukan sampah atau limbah dengan cara mengolahnya menjadi bahan yang lebih bermanfaat sehingga memiliki nilai ekonomis.

2. Methods

Metode yang dilakukan dalam penyusunan artikel ini adalah dengan melakukan studi kepustakaan termasuk mereview jurnal-jurnal ilmiah. Kepustakaan atau jurnal yang digunakan sebagai bahan referensi dipilih secara *purposive* yaitu yang memiliki keterkaitan dengan judul yang ingin di bahas yaitu hasil penelitian yang memiliki topik mengenai pemanfaatan limbah hasil perikanan sebagai kalsium. Artikel-artikel yang dipilih tersebut 80% terbit tidak lebih dari 10 tahun terakhir.

Artikel-artikel ilmiah yang telah terpilih berdasarkan pertimbangan kesesuaian topik dan judul dikelompokkan berdasarkan jenis sumber limbah yang digunakan sebagai *raw material* penelitian, kemudian dibandingkan kadar kalsium serta metode pembuatannya.

3. Result and Discussion

3.1. Tulang Ikan

Mineral kalsium yang berasal dari hewan seperti limbah tulang ikan hingga saat ini belum banyak dimanfaatkan untuk kebutuhan manusia maupun untuk kebutuhan lainnya. Tulang ikan merupakan salah satu bentuk limbah dari industri pengolahan ikan yang memiliki kandungan kalsium terbesar di antara bagian tubuh ikan lainnya, karena unsur utama dari tulang ikan adalah kalsium, fosfor dan karbonat.

Industri pengalangan ikan selalu menghasilkan limbah perikanan yang sebenarnya masih dapat dimanfaatkan untuk pembuatan tepung, seperti tulang ikan, sirip dan kepala. Industri ini pada umumnya menghasilkan 10-15% limbah tulang ikan. Sisa-sisa pengolahan ini mengandung banyak mineral, terutama kalsium. Tepung tulang ikan dapat dimanfaatkan untuk campuran makanan ternak seperti unggas, babi, makanan ikan. Selain itu tepung tulang ikan yang kaya kalsium juga sangat baik untuk dikonsumsi manusia sebagai upaya pemenuhan asupan kalsium bagi tubuh. Hal ini dapat dilakukan dengan memanfaatkan tepung tulang ikan untuk fortifikasi pada produk-produk pangan seperti kerupuk, biskuit dan produk pangan lainnya.

Kandungan kalsium pada tepung tulang ikan tergantung dari jenis ikan yang digunakan sebagai bahan bakunya serta proses pengolahan/ metode yang digunakan. Jika tepung tulang ikan yang diproduksi tidak hanya berasal dari tulang ikan saja, namun juga digunakan campuran kepala dan sirip, maka tepung tersebut selain mengandung mineral kalsium tinggi, juga akan mengandung mineral fosfor, besi, zink, mangan dan vitamin B₂ & B₃ dalam jumlah sedikit.

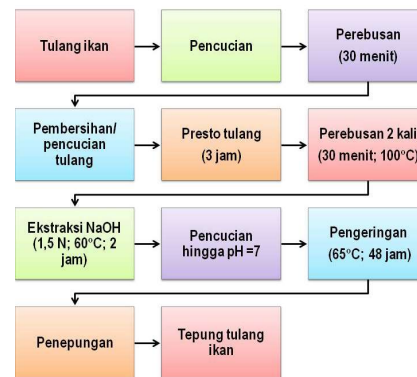
Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai pemanfaatan limbah tulang ikan sebagai tepung kaya kalsium di antaranya ekstraksi tulang ikan nila menggunakan larutan asam dan basa menjadi nanokalsium (Lekahena *et al.*, 2014), tulang ikan tuna menjadi sumber kalsium menggunakan metode hidrolisis protein (Trilaksana *et al.*, 2006). Selain menggunakan metode yang berbeda, peneliti juga mengolah tulang ikan menjadi tepung tulang tinggi kalsium menggunakan jenis tulang

ikan yang berbeda, di antaranya tulang ikan nila, lele, kakap, salmon dan tulang-tulang ikan lainnya. Perbedaan metode atau jenis bahan baku yang digunakan dapat menyebabkan berbeda pula kadar kalsium yang dihasilkan.

Selain mengandung bahan organik seperti protein, lipid dan karbohidrat, tulang ikan juga mengandung mineral anorganik seperti kalsium (Ca) dan fosfor (P). Kalsium tulang ikan membentuk kompleks dengan fosfor dalam bentuk apatit atau trikalsium fosfat, merupakan mineral yang dibutuhkan oleh tubuh sebagai komponen metabolisme pada berbagai proses biokimia, fisiologis dan pemeliharaan jaringan tulang (Sittikulwit, *et al.*, 2004). Limbah tulang ikan dengan kandungan mineral 60-70% dalam bentuk garam anorganik terutama kalsium fosfat, kreatin fosfat dan hidroksiapatit [Ca₁₀(OH)₂(PO₄)₆] yang merupakan bentuk kristal yang melekat pada kolagen fibril (Huang *et al.*, 2011).

Secara ringkas, pembuatan kalsium dari tulang ikan menggunakan metode ekstraksi dapat dilakukan dengan tahapan membersihkan tulang ikan dari sisa kotoran (daging) yang menempel, memperkecil ukuran agar mudah dicuci kembali, deproteinasi (penghilangan protein) menggunakan larutan alkali, pencucian kembali, pengeringan dan penepungan. Namun beberapa peneliti telah melakukan modifikasi pembuatan tepung tulang ikan untuk menemukan metode yang paling efektif terkait hasil yang diperoleh seperti ukuran dan jumlah kadar kalsium yang dihasilkan dalam tepung tulang tersebut.

Beberapa peneliti tersebut akan dibahas kemudian seperti pembuatan tepung tulang ikan dari ikan belida menggunakan metode hidrolisis protein yang menghasilkan tepung dengan kadar kalsium sebesar 30,93% dan rendemen tepung yang dihasilkan sebesar 27,77% (Putranto *et al.*, 2015a) adapun tahapan pembuatannya adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Alur pembuatan tepung tulang ikan (Putranto *et al.*, 2015a)

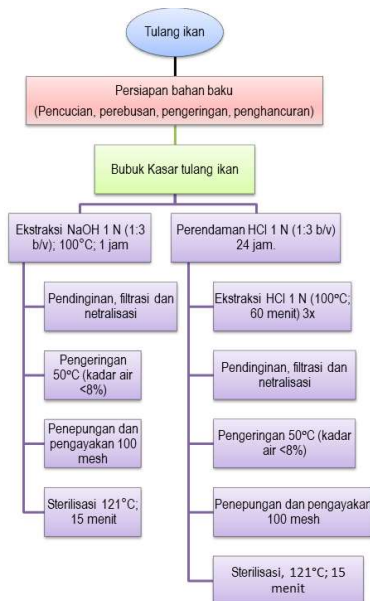
Selain tahapan yang tersaji pada Gambar 1, ada pula peneliti yang memodifikasinya seperti pada proses pembuatan tepung nanokalsium dari tulang ikan nila menggunakan metode ekstraksi larutan asam dan basa. Tepung tulang ikan tersebut diproses hingga berukuran nano, berbeda dengan proses pembuatan tepung tulang sebelumnya yang membuat tepung berkalsium dengan ukuran mikro. Pembuatan tepung tulang ikan nanokalsium bertujuan untuk mempermudah tubuh mengadsorpsi mineral tersebut. Kalsium umumnya tersedia dalam ukuran mikro (μ), diduga dalam proses metabolisme tubuh hanya terserap 50% dari total kalsium yang dikonsumsi, salah satu alternatif untuk meningkatkan penyerapan kalsium secara maksimal dengan membentuk nanokalsium (Suptijah *et al.*, 2010).

Nanokalsium adalah kalsium yang dihasilkan dengan memanfaatkan teknologi nano sehingga membentuk kalsium

dalam ukuran yang sangat kecil (nanometer, nm). Nanokalsium merupakan mineral predigestif yang sangat efisien dalam memasuki sel tubuh karena ukuran yang super kecil menyebabkan mudah memasuki reseptor sehingga dapat terabsorpsi secara cepat dan sempurna ke dalam tubuh. Sintesis nanomaterial dapat dilakukan secara *top down* dan *bottom up*.

Top down merupakan pembuatan struktur nano dengan memperkecil ukuran material, sedangkan *bottom-up* adalah dengan cara merangkai atom atau molekul dan menggabungkannya melalui reaksi kimia untuk membentuk struktur nano (Greiner, 2009). Metode *top down* adalah teknik pembentukan nanopartikel dengan proses penggilingan menggunakan *milling*, sedangkan metode *bottom up* adalah pembentukan menggunakan teknik sol-gel, presipitasi kimia, dan aglomerasi gas (Uskokovic, 2007).

Adapun tahapan-tahapan pembuatan tepung tulang ikan nanokalsium menggunakan ekstraksi pelarut asam dan basa dan bahan baku tulang ikan nila tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Bagan alir pembuatan tepung tulang ikan nanokalsium (Lekahena *et al.*, 2014)

Beberapa hasil penelitian pembuatan tepung tulang ikan dengan metode yang berbeda diperoleh kadar kalsium yang berbeda-beda pula di antaranya seperti pada tabel berikut:

Tabel 1
Penelitian-penelitian terkait komposisi kimia tulang ikan

Namaikan	Metode	Kalsium	Proksimat	Referensi
Ikan kambing-kambing (<i>Abalistes stellaris</i>)	Fisika (900°C; 4 jam)	25,20 %	-	(Restari <i>et al.</i> , 2019)
Ikan kambing-kambing (<i>Abalistes stellaris</i>)	Kimia (NaOH 1,5 N; 2 jam; 60°C)	35,75 %	Air 4,15%; abu 88,76%; lemak 0,11%;	(Husna <i>et al.</i> , 2020)
Ikan gabus (<i>Channa striata</i>)	Kimia (NaOH 6%; 2 jam; 70°C)	22,77 %	-	(Cucikodana <i>et al.</i> , 2012)
Ikan Belida (<i>Chitala sp.</i>)	Kimia (30,93 %	Air 3,12%; abu 88,13%; lemak 0,91%; protein 0,26%	(Putranto <i>et al.</i> , 2015b)
Ikan belida (<i>Chitala sp.</i>)	Kimia (NaOH 1,5 N; 80°C; 30 menit) perebusan 4 kali	31,31 %	Abu 86,32%; protein 9,87%; lemak 0,71%; air 2,91%	(Kusumaningrum <i>et al.</i> , 2016)

Ikan tuna (<i>Thunnus albacares</i>)	Kimia (NaOH 3%) 1:3 b/v; 50 menit; 100°C.	38,16%	Fosfor 23,31%; abu 77,97%; protein 16,10%; lemak 3,86%	(Nemati <i>et al.</i> , 2017)
Ikan cakalang (<i>Katsuwonus pelamis L.</i>)	Kimia (NaOH 1,5 N; 20 jam; 50°C)	26,2%	Abu 84,6%; protein 11,6%; lemak 1,1%; fosfor 42,2%	(Basmal <i>et al.</i> , 2000)
*Ikannya (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Kimia (HCL 1 N) 1:3 b/v; 24 jam. 100°C; 1 jam	21,48%	Fosfor 11,78%; Abu 85,44%; protein 7,03%; lemak 1,79%; air 4,34%	(Lekahena <i>et al.</i> , 2014)
*Ikan tuna (<i>Thunnus albacares</i>)	Kimia & fisika (HCl 1 N) 1:3 b/v; 24 jam, NaOH 1,5 N. 600°C; 6 jam.	83,25%	Fosfor 9,65%; abu 99,03%; protein 0,33%; lemak 0,19%;	(Prinaldi <i>et al.</i> , 2018)

*nanokalsium

Tahap perebusan dan presto pada pembuatan tepung tulang ikan sangat mempengaruhi karakteristik tepung tulang terutama parameter kadar kalsium yang terkandung di dalamnya. Meningkatnya lama presto akan menurunkan rendemen, kadar air, dan kadar protein. sebaliknya, kadar abu dan kadar kalsium cenderung meningkat (Putranto *et al.*, 2015a). Semakin tinggi frekuensi perebusan dan semakin lama proses presto dapat menurunkan rendemen, kadar air, lemak, protein dan pH tepung tulang ikan. Sebaliknya kadar abu, derajat putih, kadar kalsium, kadar fosfor cenderung meningkat (Trilaksana *et al.*, 2006).

3.2. Cangkang Kerang

Cangkang kerang-kerangan merupakan limbah padat yang belum dimanfaatkan secara optimal, sehingga penumpukannya di lingkungan dapat menimbulkan permasalahan lingkungan yang baru karena cangkang kerang-kerangan tidak dapat diurai dengan mudah oleh lingkungan. Kerang adalah salah satu hewan lunak (Mollusca) kelas Bivalvia atau Pelecypoda. Secara umum bagian tubuh kerang dibagi menjadi lima, yaitu (1) kaki (*foot byssus*), (2) kepala (*head*), (3) bagian alat pencernaan dan reproduksi (*visceral mass*), (4) selaput (*mantle*) dan cangkang (*shell*). Beberapa contoh hewan bivalvia adalah kupang, remis, tiram, kijing, kerang hijau dan sebagainya. Cangkang ini begitu kuat dan mengandung kalsium agar lapisannya keras dan tidak mudah dipecahkan. Berikut beberapa bagian dari cangkang kerang.

- 1) Periostrakum, bagian ini adalah lapisan terluar dari cangkang kerang. Periostrakum dibentuk dari konkiolin yang dapat melindungi kerang dari ancaman luar.
- 2) Prisma, bagian ini berada di tengah dan membentuk piramid.
- 3) Nakre, merupakan bagian induk mutiara yang tersusun dari karbonat yang mengilap.
- 4) Mantel, merupakan bagian paling bawah yang di dalamnya terdapat berbagai saraf pada kerang (Checa, 2000).

Fungsi dari permukaan luar mantel adalah mensekresi zat organik cangkang dan menimbun kristal-kristal kalsit atau kapur. Kulit kerang merupakan bahan sumber mineral yang pada umumnya berasal dari hewan laut berupa kerang yang telah mengalami penggilingan dan mempunyai karbonat tinggi. Pada umumnya cangkang kerang-kerangan tersusun dari 2 bentuk kalsium karbonat, yaitu aragonit dan kalsit. Kandungan kalsium dalam cangkang bivalvia sebesar 37% dan pada cangkang siput 39% (Karnkowska, 2005).

Tabel 2.

Kandungan Kimia Cangkang Kerang (Daud *et al.*, 2017)

Komponen	Kadar (% berat)
CaO	92.00
K ₂ O	3.55
Na ₂ O	0.92
Fe ₂ O ₃	0.80
SiO ₂	0.30
CO ₂	0.10
MgO	-
Al ₂ O ₃	-

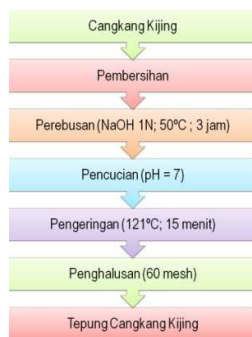
Analisa menggunakan X-ray fluorescence spectrometer (model Bruker S4 pioneer)

Beberapa peneliti telah membuat tepung cangkang kerang dengan menggunakan metode fisika (*thermal decomposition*) dan kimia (hidrolisis protein). Adapun langkah-langkah pembuatannya sebagai berikut:

1) Pembuatan secara Kimia Metode Hidrolisis Protein

Cangkang kijing yang dibuat menjadi tepung menghasilkan kadar kalsium sebesar 39,55%, kadar fosfor sebesar 0,28%, magnesium 0,01%, protein 1,85%, karbohidrat 2,94%, kadar abu 93,34% dan besarnya rendemen tepung cangkang kijing yang diperoleh adalah 42,82% (Abdullah *et al.*, 2010). Adapun tahapan pembuatan tepung cangkang kijing yang telah dilakukan:

- Cangkang kijing yang telah dibersihkan dari pengotor dan dagingnya dikeringkan dengan panas matahari selama 6-8 jam, kemudian cangkang direbus dalam larutan NaOH 1 N pada suhu 50 °C selama 3 jam. Perebusan dengan NaOH ini bertujuan untuk menghilangkan bahan-bahan organik yang terdapat pada cangkang kijing.
- Cangkang kijing yang telah direbus kemudian dinetralkan dengan pencucian, lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 121 °C selama 15 menit.
- Cangkang kijing yang telah dikeringkan, dihancurkan dengan menggunakan mortar lalu disaring dengan ayakan 60 mesh hingga menjadi tepung cangkang kijing.



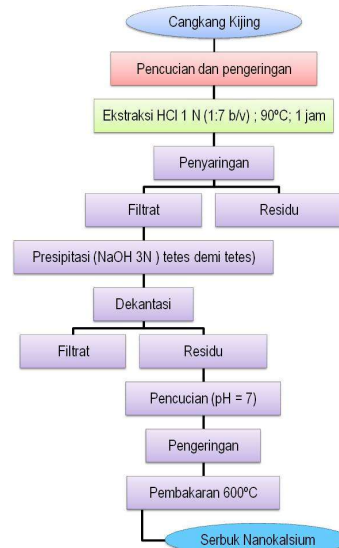
Gambar 3. Bagan alir pembuatan tepung Cangkang kijing dengan metode hidrolisis protein (Abdullah *et al.*, 2010)

Metode Presipitasi

Pembuatan nanokalsium dari cangkang kijing juga telah dilakukan dengan hasil kadar kalsium sebesar 85,57%, fosfor 0,15%, magnesium 6,23%, natrium 3,58% dan rendemen sebesar 5,02% (Khoerunnisa, 2011). Adapun tahapan dari metode ini adalah sebagai berikut:

- Cangkang kijing dibersihkan, dicuci dan dikeringkan pada panas matahari. Setelah kering cangkang dihaluskan hingga 60 mesh.
- Tepung cangkang selanjutnya dilakukan ekstraksi dengan pelarut HCl 1 N (1:7 b/v) pada suhu 90°C selama 1 jam. Hasil ekstraksi selanjutnya dilakukan penyaringan dengan kertas saring sehingga diperoleh cairan/filtrat.

- Filtrat yang diperoleh dilakukan presipitasi dengan penambahan NaOH 3 N tetes demi tetes dan dilakukan pengadukan serta dibiarkan sampai presipitasi tidak terbentuk lagi.
- Endapan yang diperoleh kemudian dipisahkan dengan cara dekantasi. Endapan tersebut selanjutnya dilakukan proses netralisasi menggunakan akuades sampai pH 7.
- Tahap selanjutnya adalah tahap pengeringan endapan dengan oven dan diteruskan dengan pembakaran dalam tanur pada suhu 600°C sehingga terbentuk serbuk kalsium.



Gambar 4. Bagan alir pembuatan serbuk nanokalsium cangkang kijing dengan metode presipitasi (Khoerunnisa, 2011)

2) Pembuatan secara Fisika

Telah dilakukan pembuatan kalsium dan nanokalsium dalam persenyawaan CaO dari berbagai cangkang kerang-kerang di antaranya:

Tabel 3

Kadar CaO pada cangkang kerang dengan berbagai metode pembuatan

Jenis kerang	metode	Kalsium (%)	Rendemen (%)	Referensi
*Cangkang tiram (<i>Crassostrea gigas</i>)	Thermal decomposition (900°C; 2 jam)	56,77	57,06	(Handayani & Syahputra, 2017a)
*Cangkang tiram (<i>Crassostrea gigas</i>)	Thermal decomposition (900°C; 4 jam)	86,22	56,41	(Fitriana <i>et al.</i> , 2019)
Cangkang kijing (<i>Pilsbryocncha exilis</i>)	Thermal decomposition (900°C; 4 jam)	77,15	63,80	(Asmaini <i>et al.</i> , 2020)
Cangkang langitang (<i>Faunus ater</i>)	Thermal decomposition (900°C; 4 jam)	33,0	67,63	(Handayani, Nurhayati, <i>et al.</i> , 2019)
Cangkang kerrang simping (<i>Amusium pleuronectes</i>)	Hidrolisis protein (HCl 1 N) 2:5 b/v. 60°C	17,23	62,30	(Agustini <i>et al.</i> , 2011)

*nanokalsium

Adapun proses pembuatannya sebagai berikut:

- Cangkang tiram yang telah dibersihkan dari pengotornya dicuci dan keringkan di bawah panas matahari selama 7 hari, kemudian dilakukan pengecilan ukuran dengan cara ditumbuk agar lebih mudah untuk dimilling menggunakan *ball mill*.
- Setelah dimilling hasil ayakan lolos 200 mesh dikalsinasi pada suhu 900°C selama 4 jam. Hasil yang diperoleh adalah tepung

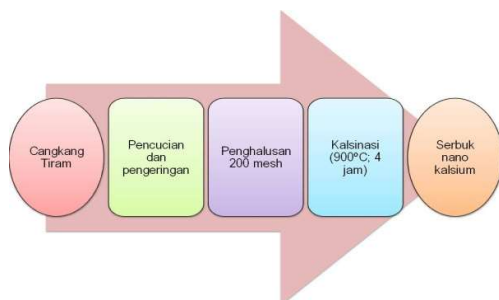
nanokalsium cangkang tiram dan siap untuk diaplikasikan pada produk yang diinginkan.

Cangkang kerang mulai terdekomposisi pada suhu 700°C, pada suhu 600°C-800°C semua senyawa volatil akan menguap. Proses kalsinasi bertujuan untuk mengkonversi senyawa kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi kalsium oksida (CaO). Rendemen yang dihasilkan dengan waktu kalsinasi ≥ 4 jam relatif stabil yaitu 55 – 57 %, berbeda dengan rendemen pada waktu kalsinasi 2 jam yaitu sebesar 70,91 % (Handayani & Syahputra, 2017b). Serupa dengan penelitian lainnya yang menyatakan bahwa kalsinasi pada suhu 500°C dan 600°C (temperatur rendah) diperoleh persentase rendemen masing-masing sebesar 96.65% dan 96.57%. dan pada suhu yang lebih tinggi yaitu 900°C dan 1100°C masing-masing diperoleh nilai rendemen sebesar 60.41% dan 54.87%.

Rendemen merupakan perbandingan jumlah (kuantitas) hasil reaksi dengan jumlah sampel yang digunakan, sehingga semakin besar rendemennya maka semakin efektif pula proses reaksi tersebut, karena menghasilkan nilai yang tinggi, namun berbanding terbalik reaksi dekomposisi CaCO₃ (Handayani *et al.*, 2020). Pada suhu ≥ 900°C, rendemen (massa kalsinasi) yang dihasilkan akan konstan. Rendemen sebesar 70% pada waktu kalsinasi selama 2 jam disebabkan oleh belum optimalnya CaCO₃ terdekomposisi menjadi CaO. Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa Tepung cangkang tiram yang dikalsinasi pada suhu 500°C, 700°C, 900°C dan 1100°C selama 2 jam, menunjukkan nilai rendemen pembentukan CaO secara berturut-turut adalah 96,65%; 96,57%; 60,41% dan 54,67 Sehingga produk kalsinasi yang dihasilkan belum murni, masih terdapat senyawa-senyawa lain selain CaO.

Rendemen adalah perbandingan jumlah (kuantitas) produk yang dihasilkan dari proses yang dilakukan (reaksi kimia yang terjadi) yang menggunakan satuan persen (%), semakin tinggi nilai rendemen yang diperoleh maka artinya semakin banyak pula produk yang dihasilkan. Adapun rumus untuk menghitung rendemen adalah sebagai berikut:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Jumlah produk yang dihasilkan}}{\text{Jumlah sampel awal sebelum mengalami reaksi}} \times 100$$



Gambar 5. Diagram pembuatan nanokalsium dengan metode *thermal decomposition* (kalsinasi)

3.3. Cangkang Krustacea

Komoditas yang termasuk krustacea tidak hanya aneka udang namun juga kepiting dan rajungan. Indonesia memiliki 170 perusahaan pengolahan udang dengan total produksi sekitar 500.000 ton per tahun, namun industri tersebut menyisakan hingga 75% dari berat total udang hingga menjadi limbah, yaitu bagian cangkang dan kepala. Limbah udang tersebut masih belum dimanfaatkan secara optimal. Sebagian dari limbah udang tersebut biasanya hanya digunakan untuk pakan ternak yang memiliki nilai ekonomis kecil.

Cangkang merupakan bagian terkeras dari semua komponen krustacea seperti udang dan kepiting. Cangkang ini dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan pupuk organik

karena kandungan mineralnya yang tinggi, terutama kandungan kalsium dan fosfor. Selain itu cangkang krustacea mengandung kitin, protein, CaCO₃, serta sedikit MgCO₃ dan pigmen *astaxanthin*.

Cangkang rajungan mengandung 24,78 % kalsium dan fosfor 0,49%, protein 13,58% dan kadar abu sebesar 55,21% (BBPMHP, 2000). Sedangkan jika cangkang rajungan dijadikan mineral nanokalsium menggunakan metode presipitasi kimia, maka akan dihasilkan serbuk nanokalsium dengan kadar kalsium (Ca) sebesar 51,27%, magnesium (Mg) 36,91%, fosfor (P) 0,64% dan Kalium (K) 0,54% (Minarty, 2012).

Cangkang kepiting yang dihaluskan hingga lolos ayakan 14,06% dan abu 74% (Handayani, Zuhrayani, *et al.*, 2019). Tingginya kadar kalsium pada cangkang kepiting membuat peneliti menguji coba kannya pada udang, 200 mesh dan dikalsinasi pada suhu 900°C selama 4 jam menghasilkan kalsium sebesar 40,15% (Zufadhillah *et al.*, 2018) cangkang kepiting yang menjadi *raw material* tersebut mengandung kadar kalsium awal sebesar untuk menekan kematian akibat kanibalisme serta mencegah kegagalan tahap molting pada udang (Fajri *et al.*, 2019; Handayani & Syahputra, 2018)

Sedangkan tepung kulit udang vannamei yang dijadikan mineral nanokalsium menggunakan metode yang sama diperoleh serbuk nanokalsium dengan rendemen sebesar 13,92% dan kadar mineral seperti kalsium 85,49%, magnesium 1,79%, fosfor 9,84% (Suptijah *et al.*, 2012). Selain itu kulit udang jerbung yang dijadikan serbuk mineral mikro kalsium menghasilkan nilai rendemen sebesar 1,33% dengan kandungan mineral kadar sebesar 88,42%, magnesium 0,09%, dan fosfor 3,34% (Rini, 2010).

3.4 Aplikasi Sebagai sumber Kalsium bagi udang

Seiring dengan perkembangan teknologi pengolahan pangan, suplementasi mineral dapat dilakukan melalui fortifikasi pangan, yaitu suatu langkah meningkatkan jumlah suatu komponen bahan pangan melalui langkah *enrichment* (perkayaan) komponen nutrisi melalui penambahan secara langsung nutrisi tersebut dalam bahan pangan. Selain vitamin dan antioksidan, enrichment mineral pada bahan pangan telah secara luas dilakukan. Beberapa contoh *enrichment* mineral yaitu penambahan iodium pada garam, penambahan kalsium pada susu, penambahan zat besi pada produk sereal.

Pemanfaatan limbah hasil perikanan sebagai sumber kalsium yang dijadikan sebagai fortifikasi pangan telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Selain fortifikasi pangan, kalsium juga dimanfaatkan sebagai pengkayaan komponen nutrisi (*enrichment*) pada pakan udang.

Sumber kalsium yang di peroleh dari limbah hasil perikanan tidak hanya dimanfaatkan sebagai produk pangan, namun juga telah dimanfaatkan sebagai pakan udang. Awal mula ide tersebut muncul adalah karena kebutuhan kalsium yang tinggi bagi crustacean pada saat melakukan tahap molting (pergantian eksoskeleton).

Proses molting menyebabkan terbentuknya cangkang baru, cangkang tersebut tersusun dari bahan-bahan yang sebagian besar merupakan kalsium, oleh karena itu ketika proses molting atau pembentukan eksoskeleton berlangsung, udang akan membutuhkan kalsium dalam jumlah yang lebih banyak. Berdasarkan proses tersebut, maka udang galah akan berada dalam lingkungan perairan yang sadah agar proses pembentukan eksoskeletonnya berlangsung lebih cepat (Zaidy, 2007). Lingkungan yang sadah adalah perairan yang banyak mengandung ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ biasanya terbentuk dari garam karbonat atau sulfat. Udang galah memperoleh kecukupan kalsium, tidak hanya dari perairan namun juga dari asupan pakan yang diberikan. Dalam pembentukan cangkang, terjadi proses

mineralisasi selaput baru menggunakan kalsium yang diserap dari lingkungan perairan setempat. Selain itu, dalam proses moulting juga dijumpai fenomena khas, yaitu berupa proses penyerapan kalsium dari kerangka lama yang disimpan dalam organ khusus dalam perut lobster air tawar, disebut sebagai *gastrolith*. Selain *gastrolith*, tempat utama penyimpanan kalsium di dalam tubuh lobster air tawar yaitu hemolimfe, hepatopankreas, dan cangkang baru

Gastrolisis berlangsung pada saat pergantian kulit akan terjadi. Salah satu penyebab kegagalan molting adalah tidak berhasilnya udang galah dalam proses gastrolisis, yaitu penyerapan kalsium yang ada di dalam tubuh. Kegagalan gastrolisis antara lain disebabkan oleh ketersediaan kalsium yang tidak mencukupi didalam tubuh dan sulitnya tubuh untuk menyerap asupan kalsium yang dikarenakan ukuran kalsium yang tidak optimal untuk proses penyerapan. Kalsium berperan penting dalam proses pengerasan kulit udang setelah molting (Greenway, 1974). Dalam pembentukan eksoskeleton pada udang, sangat diperlukan mineral kalsium. Dengan adanya penambahan kalsium dapat mempercepat proses pergantian kulit udang. Kalsium atau mineral lainnya selain berasal dari pakan juga didapatkan udang melalui pertukaran ion dari media hidupnya.

Beberapa penelitian yang memanfaatkan limbah perikanan sebagai kalsium yang ditambahkan pada pakan antara lain:

- Cangkang tiram yang dimanfaatkan sebagai sumber kalsium pada pakan lobster air tawar (Hakim, R. 2009) (Handayani & Syahputra, 2018) dan udang galah (Fitriana *et al.*, 2019)

Penambahan sebanyak 2% nanokalsium pada pakan lobster air tawar yang dipelihara selama 2 bulan memiliki nilai frekuensi molting sebesar 2,71 kali/ekor, sedangkan lobster air tawar yang tidak diberi tambahan nanokalsium pada pakan hanya memiliki nilai frekuensi molting sebesar 1.29 kali/ekor. Kadar Ca^{2+} dari nanokalsium yang ditambahkan kedalam pakan adalah 57.66% (Handayani & Syahputra, 2017a).

- Cangkang kepiting yang dimanfaatkan sebagai nano kalsium (Zufadhillah *et al.*, 2018) dan kalsium (Fajri *et al.*, 2019) pada pakan udang galah

Penambahan cangkang kepiting sebagai sumber kalsium dan nanokalsium pada pakan udang galah juga telah diteliti dan dapat meningkatkan frekuensi molting. Penambahan kalsium sebanyak 2% pada pakan udang menghasilkan frekuensi molting sebesar 1.57 kali/ekor (Fajri *et al.*, 2019), sedangkan penambahan nanokalsium frekuensi molting yang dihasilkan sebesar 1.97 kali/ekor (Zufadhillah *et al.*, 2018). Kadar kalsium pada cangkang kepiting sebesar 36% (Fajri *et al.*, 2019) dan 40.15% (Zufadhillah *et al.*, 2018). Kadar kalsium yang dihasilkan akan berbeda jika metode pembuatannya berbeda. Berdasarkan penelitian sebelumnya, cangkang kepiting mengandung 74% kadar abu. Hal ini menunjukkan bahwa cangkang kepiting mengandung mineral yang tinggi (Handayani *et al.*, 2019)

- Cangkang langkitang yang dimanfaatkan sebagai kalsium pada pakan udang galah (Handayani, Nurhayati, *et al.*, 2019).

Pemanfaatan cangkang langkitang sebagai sumber kalsium pada pakan udang sebanyak 2% menghasilkan frekuensi molting sebesar 2.27 kali/ekor, sedangkan penambahan pada lingkungan sebanyak 30 mg/l memiliki frekuensi molting senilai 2.1 kali/ekor. Pemeliharaan udang galah tersebut berlangsung selama 49 hari. Kadar Ca^{2+} dari

kalsium yang ditambahkan kedalam berdasarkan hasil analisa menggunakan metode AAS adalah sebesar 33% (Handayani, Nurhayati, *et al.*, 2019).

- Tulang ikan kambing-kambing yang dimanfaatkan sebagai sumber kalsium pada pakan udang galah (Restari *et al.*, 2019)

Penambahan kalsium dari tulang ikan kambing-kambing sebanyak 2% dari jumlah pakan, menghasilkan frekuensi molting sebesar 0.75 kali/ekor. Kadar Ca^{2+} pada tulang ikan yang ditambahkan adalah sebesar 25.20% (Restari *et al.*, 2019).

4. Conclusion

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, limbah-limbah padat perikanan seperti tulang, cangkang kerang-kerangan termasuk siput dan cangkang golongan krustacea mengandung kadar kalsium yang tinggi, sehingga sangat berpotensi digunakan sebagai alternative sumber kalsium alami. Kalsium dari limbah perikanan dapat dihasilkan dengan menggunakan metode kimia maupun fisika.

Bibliografi

- Abdullah, A., Nurjanah, N., & Wardani, Y. K. (2010). Karakteristik fisik dan kimia tepung cangkang kijing lokal (*Pilsbycon chaexilis*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, XIII(1), 48–57.
- Agustini, T. W., Suprijanto, J., & Yuwono, T. (2011). Pengaruh konsentrasi asam formiat dalam pembuatan silase yang berasal dari limbah kerang simping (*Amusium pleuronectes*). *Seminar Nasional Tahunan VIII Hasil Penelitian Perikanan Dan Kelautan*, 1–12.
- Asmaini, A., Handayani, L., & Nurhayati, N. (2020). Penambahan nano CaO limbah cangkang kijing (*Pilsbycon chaexilis*) pada media bersalinitas untuk pertumbuhan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 7(1): 1. <https://doi.org/10.29103/aa.v7i1.1927>.
- [BBPMPH] Balai Bimbingan dan Pengendalian Mutu Hasil Perikanan. 2000. Perekayasaan Teknologi Pengolahan Limbah. Jakarta: Direktorat Jenderal Perikanan.
- Basmal, J., Suprpto, R. H., & Murtiningrum, M. (2000). Penelitian Ekstraksi kalsium dari Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis* L.). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 6(1): 45–53.
- Checa, A. (2000). A new model for periostracum and shell formation in Unionidae (Bivalvia, Mollusca). *Tissue and Cell*, 32(5): 405–416. <https://doi.org/10.1054/tice.2000.0129>
- Cucikodana, Y., Supriadi, A., & Purwanto, B. (2012). Pengaruh perbedaan suhu perebusan dan konsentrasi NaOH terhadap kualitas bubuk tulang ikan gabus (*Channa striata*). *Fishtech*, 1(1): 91–101.
- Daud, Z., Abubakar, M. H., Kadir, A. A., Abdul, A. A., Awang, H., Halim, A. A., & Marto, A. (2017). Batch Study on COD and Ammonia Nitrogen Removal Using Granular Activated Carbon and Cockle Shells. *International Journal of Engineering TRANSACTIONS A: Basics*, 30(7): 937–944. <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2017.30.07a.02>

- Fajri, F., Thaib, A., & Handayani, L. (2019). Penambahan mineral kalsium dari cangkang kepiting bakau (*Scylla serrata*) pada pakan terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang galah (*Macrobrachium rosenbergii*). *Depik*, 8(3): 185–192. <https://doi.org/10.13170/depik.8.3.12090>
- Fitriana, N., Handayani, L., & Nurhayati, N. (2019). Penambahan nanokalsium cangkang tiram (*Crassostrea gigas*) pada pakan dengan dosis berbeda terhadap pertumbuhan udang galah (*Macrobrachium rosenbergii*). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 6(2): 80. <https://doi.org/10.29103/aa.v6i2.1423>
- Greenway, P. 1974. Calcium Balance at Postmoult stage of the Freshwater Crayfish *Austropotamobius pallipes* (*Lereboullet*). *J. Exp. Bio.*, 61: 35- 45.
- Greiner R. 2009. Current and projected of nanotechnology in the food sector. *J Nutrire - Revista da Sociedade Brasileira de Alimentação e Nutrição* 34: 243-260.
- Handayani, L., Nurhayati, & Nur, M. (2019). Perbandingan frekuensi molting Udang Galah (*Macrobrachium rosenbergii* de Man) yang diberi nano CaO Cangkang Langkitang (*Faunus ater*) pada pakan dan lingkungan. *Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu Universitas Asahan Ke -3*, 790–799.
- Handayani, L., & Syahputra, F. (2017a). Isolasi Dan Karakterisasi Nanokalsium Dari Cangkang Tiram (*Crassostrea gigas*). *JPHPI*, 20(3): 515–523.
- Handayani, L., & Syahputra, F. (2017b). Rendemen Nanokalsium Cangkang Tiram (Oyster) dengan Metode Top Down dan Thermal Decomposition. *Seminar Nasional Multi Disiplin Ilmu (SEMEDI)*, November, 207–211.
- Handayani, L., & Syahputra, F. (2018). Perbandingan frekuensi molting Lobster air tawar (*Cherax quadricarinatus*) yang diberi pakan komersil dan nanokalsium yang berasal dari cangkang tiram (*Crassostrea gigas*). *Depik*, 7(1): 76–83. <https://doi.org/10.13170/depik.7.1.8838>
- Handayani, L., Zuhrayani, R., Putri, N., & Nanda, R. (2020). Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Nilai Rendemen CaO Cangkang Tiram (*Crassostrea gigas*). *Tilapia*, 1(1), 1–6. www.jurnal.abulyatama.ac.id/tilapia
- Handayani, L., Zuhrayani, R., Thaib, A., & Raihanum, R. (2019). Karakteristik Kimia Tepung Cangkang Kepiting. *SEMEDI Unaya*, 112–116. <http://jurnal.abulyatama.ac.id/index.php/semdiunaya>.
- Huang YC, Hsiao PC, Chai HJ. 2011. Hydroxyapatite extracted from fish scale: Effects on MG63 osteoblast-like cells. *Ceram Int* 37: 1825-1831.
- Husna, A., Handayani, L., & Syahputra, F. (2020). Pemanfaatan tulang ikan kambing-kambing (*Abalistes stellaris*) sebagai sumber kalsium pada produk tepung tulang ikan. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 7(1): 13. <https://doi.org/10.29103/aa.v7i1.1912>
- Karnkowska, E. J. (2005). Some Aspects of Nitrogen, Carbon and Calcium Accumulation in Molluscs from the Zegrzyński Reservoir Ecosystem. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(2): 173–177.
- Khoerunnisa, K. (2011). *Isolasi dan Karakterisasi Nano Kalsium Dari Cangkang Kijing Lokal (Pilsbrycon chaexilis)* [SKripsi]. IPB.
- Kusumaningrum, I., Sutono, D., & Pamungkas, Bagus F (2016). Pemanfaatan Tulang Ikan Belida sebagai Tepung sumber kalsium dengan metode alkali. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 19(2): 148–155. <https://doi.org/10.17844/jphpi.2016.19.2.148>
- Lekahena, V., Nur Faridah, D., Syarief, R., & Perangin Angin, R. (2014). Karakterisasi Fisikokimia Nanokalsium Hasil Ekstraksi Tulang Ikan Nila Menggunakan Larutan Basa dan Asam. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 25(1): 57–64. <https://doi.org/10.6066/jtip.2014.25.1.57>
- Minarty, I. S. (2012). *APLIKASI NANOKALSIMUM DARI CANGKANG RAJUNGAN (Portunus sp.) PADA EFFERVESCENT* [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor.
- Mosaddegh E, Asadollah H. 2014. Preparation and characterization of nano-CaO based on eggshell waste: novel and green catalytic approach to highly efficient synthesis of pyrano[4,3-b] pyrans. *Chinese Journal of Catalysis*. 35: 351-356.
- Nemati, M., Huda, N., & Ariffin, F. (2017). Development of calcium supplement from fish bone wastes of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and characterization of nutritional quality. *International Food Research Journal*, 24(6): 2419–2426.
- Prinaldi, W. V., Suptijah, P., & Uju, U. (2018). Karakteristik sifat fisikokimia nano-kalsium ekstrak tulang ikan tuna sirip kuning (*Thunnus albacares*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 21(3): 385–395.
- Putranto, H. F., Asikin, A. N., & Kusumaningrum, I. (2015a). KARAKTERISASI TEPUNG TULANG IKAN BELIDA (*Chitala* sp.) SEBAGAI SUMBER KALSIMUM DENGAN METODE HIDROLISIS PROTEIN. *Ziraa'ah*, 40(1): 11–20.
- Putranto, H. F., Asikin, A. N., & Kusumaningrum, I. (2015b). Karakteristik tepung tulang ikan Belida (*Chitala* sp.) sebagai sumber kalsium dengan metode hidrolisis protein. *Ziraa'ah*, 40(1), 11–20.
- Restari, A. R., Handayani, L., & Nurhayati, N. (2019). Penambahan Kalsium Tulang Ikan Kambing-kambing (*Abalistes stellaris*) pada pakan untuk keberhasilan gastroisasi udang galah (*Macrobrachium rosenbergii*). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 6(2): 69. <https://doi.org/10.29103/aa.v6i2.1560>
- Rini, I. 2010. *Recovery dan karakterisasi kalsium dari limbah demineralisasi kulit udang jerbung (Penaeus merguensis de Man)*. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Rohanah S, Anton, Kosasih Y, Aristaking W. 2009. Pemanfaatan Tepung Limbah Kulit Kerang sebagai Bahan Paduan Semen Portland. *Karya Ilmiah PKMP 2009*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sittikulwit S, Sirichakwal PP, Puwastien P, Chavasit V, Sungpuag P. 2004. In vitro bioavailability of calcium from chicken bone extracts powder and its fortified products. *J Food Compos Anal*, 17: 321-329.
- Stanmore BR, Gilot P. 2005. Review: Calcination and carbonation of limestone during thermal cycling for CO2 sequestration. *Fuel Processing Technology*. 86: 1707-1743.
- Suptijah P, Hardjito L, Haluan J, Suhartono MG. 2010. Recovery dan manfaat nano kalsium hewan perairan (dari cangkang udang). *Logika* 2: 61-64.

- Suptijah, P., Jacob, A. M., & Deviyanti, N. (2012). Karakterisasi dan bioavailabilitas nanokalsium cangkang udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*). *Jurnal Akuatika*, III(1): 63–73. <https://doi.org/10.11758/yykxjz.20150510>
- Tang, Z. X., Claveau, D., Corcuff, R., Belkacemi, K., & Arul, J. (2008). Preparation of nano-CaO using thermal-decomposition method. *Materials Letters*, 62(14): 2100–2102. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.11.053>
- Trilaksani, W., Salamah, E., & Nabil, M. (2006). Pemanfaatan limbah tulang ikan tuna (*Thunnus* sp.) sebagai sumber kalsium dengan metode hidrolisis protein. *Buletin Teknologi Hasil Perikanan*, IX(2): 34–45.
- Uskokovic V. 2007. Nanotechnologies: What we do not know. *Technol Soc* 29: 43-61. DOI: 10.1016/j.techsoc.2006.10.005.
- Zaidy AB. 2007. Pendayagunaan Kalsium Media Perairan dalam Proses Ganti Kulit dan Konsekuensinya bagi Pertumbuhan Udang Galah *Macrobrachium rosenbergii* de Man. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Zufadhillah, S., Thaib, A., & Handayani, L. (2018). Efektivitas penambahan nano CaO cangkang kepiting bakau (*Scylla serrata*) ke dalam pakan komersial terhadap pertumbuhan dan frekuensi molting udang galah (*Macrobrachium rosenbergii*). *Acta Aquatica*, 5(2): 69–74. <https://doi.org/doi.org/10.29103/aa.v5i2.811>
- Zuhra, Husni H, Fikri H, Wahyu R. 2015. Preparasi katalisasi kulit kerang untuk transesterifikasi minyak nyamplung menjadi biodiesel. *Jurnal AGRITECH*. 35(1): 69-77.