

VALORISASI CANGKANG KIJING AIR TAWAR (*Pilsbryconcha sp.*) SEBAGAI SUMBER HIDROKSIAPATIT

Valorisation of Fresh Water Mussel (Pilsbryconcha sp.) Shells as Hydroxyapatite Source

Santhy Wisuda Sidauruk¹⁾, Dian Iriani, Andarini Diharmi, Anggi Anggraini

¹⁾Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Kelautan, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau, 28293, Indonesia

*korespondensi: santhy.sidauruk@lecturer.unri.ac.id

Diterima 16 Agustus 2022; Disetujui 17 Oktober 2022

ABSTRACT

The mussel shell is a solid waste resulting from the processing of the mussel with a proportion of 51.93%, even though the shell has a high calcium content of 61.39% so there is a need for a innovation in the utilization of mussel shells into value-added products through the valorisation of freshwater mussel shells as hydroxyapatite source. This research aimed to determine the characterisation of hydroxyapatite from freshwater mussel shells. The synthesis of hydroxyapatite was carried out using the hydrothermal method at 800 °C to obtain a source of calcium and a source of phosphate obtained from a solution of (NH₂)₄HPO₄. The test parameters were analysis of color, degree of whiteness, functional groups, diffractograms, and minerals. The hydroxyapatite characteristic of freshwater mussel shell has a white color with a whiteness value of 56.89%; identified functional groups PO₄³⁻, OH, CO₃²⁻, and CaO groups as constituents of hydroxyapatite; a high degree of crystallinity of 82.8%; 48.255% calcium; 1.474% Phosphor; and 0.009% kalium.

Keywords: diffractogram, functional group, hydroxyapatite, hydrothermal, valorisation

ABSTRAK

Cangkang kijing termasuk limbah padat hasil pengolahan kijing dengan proporsi sebesar 51,93%, padahal cangkang tersebut memiliki kandungan kalsium tinggi sebesar 61,39% sehingga perlu adanya terobosan pemanfaatan cangkang kijing menjadi produk yang bernilai tambah melalui valorisasi cangkang kijing air tawar sebagai sumber hidroksiapatit. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakterisasi hidroksiapatit dari cangkang kijing air tawar. Sintesis hidroksiapatit dilakukan menggunakan metode hidrotermal suhu 800°C untuk mendapatkan sumber kalsium dan sumber fosfat diperoleh dari larutan (NH₂)₄HPO₄. Parameter uji yang dilakukan adalah analisis warna, derajat putih, gugus fungsi, difraktogram, dan mineral. Karakteristik hidroksiapatit cangkang kijing air tawar memiliki warna putih dengan nilai derajat putih 56,89%; teridentifikasi gugus fungsi PO₄³⁻, OH, CO₃²⁻, dan gugus CaO sebagai penyusun hidroksiapatit; memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi sebesar 82,8%. Kandungan unsur Ca, P, dan K berturut-turut sebesar 48,255%, 1,474%, dan 0,009%.

Kata kunci: difraktogram, gugus fungsi, hidroksiapatit, hidrotermal, valorisasi

PENDAHULUAN

Kijing air tawar (*Pilsbryconcha sp.*) merupakan salah satu jenis kerang-kerangan air tawar dari filum moluska yang banyak digemari oleh masyarakat. Kijing air tawar ini dapat dijumpai hampir di seluruh perairan air tawar di provinsi Riau. Produksi perikanan Provinsi Riau dari jenis kekerangan dari tahun 2018 mengalami

peningkatan pada tahun 2019 berturut-turut sebesar 8.530 ton menjadi 9.009 ton (KKP, 2021).

Saat ini, kijing ini dimanfaatkan sebagai agen bioremediasi pada perairan terbuka maupun kolam budidaya ikan (Sulistiwana, 2011; Wildan *et al.*, 2021). Selain itu, kijing air tawar juga telah dimanfaatkan sebagai bahan pangan oleh masyarakat sekitar. Pemanfaatan kijing air tawar sebagai bahan

pangan masih sebatas pada pemanfaatan dagingnya saja, sedangkan cangkang kijing air tawar belum optimal dimanfaatkan dan berpotensi sebagai limbah padat. Padahal, proporsi daging kijing air tawar hanya sebesar 20,71%; proporsi jeroan kijing sebesar 27,36%; dan sisanya proporsi terbesar yaitu cangkang kijing sebesar 51,93% (Nurjanah et al., 2020).

Besarnya potensi limbah padat dari hasil pemanfaatan kijing air tawar tersebut, sehingga perlu adanya terobos agar pemanfaatan cangkang kijing air tawar menjadi lebih maksimal. Salah satu caranya melalui valorisasi cangkang kijing air tawar yang bertujuan untuk meningkatkan nilai tambah dan menghasilkan potensi keuntungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cangkang kijing air tawar kaya akan mineral, terutama tinggi dengan kandungan kalsium sebesar 61,39% (Iriani et al., 2020). Tingginya kandungan kalsium pada cangkang kijing air tawar tersebut menjadi dasar dalam melakukan valorisasi menjadi produk yang bernilai tambah tinggi. Sejauh ini, valorisasi yang telah dilakukan pada cangkang kijing baru dibidang pangan, yaitu pembuatan tepung cangkang kijing air tawar yang diaplikasikan pada cookies kaya mineral (Iriani et al., 2020; Iriani dan Sidauruk, 2021).

Padahal, valorisasi cangkang kijing air tawar tidak hanya dapat dilakukan untuk bidang pangan saja, melainkan dapat juga dilakukan dibidang kesehatan. Mengingat cangkang kijing diketahui memiliki kandungan kalsium karbonat sebesar 39,55% (Abdullah et al., 2010). Kalsium karbonat (CaCO_3) tersebut dapat dikembangkan sebagai biomaterial unggulan untuk diaplikasikan pada bidang kesehatan (ortopedi), salah satunya adalah hidroksiapatit (Palaveniene et al., 2018). Hidroksiapatit merupakan material maju yang dikembangkan sebagai perancah tulang (*scaffold*) misalnya implan pinggul, lutut, gigi, rahang atas, tulang belakang maupun sebagai pengisi tulang (Szczes et al., 2017).

Hidroksiapatit (HAp) terdiri dari senyawa mineral apatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_6$) yang membentuk tulang dan gigi manusia [18]. Hidroksiapatit memiliki harga jual yang tinggi

di Indonesia mencapai 1,5 juta per 5 miligram dikarenakan pabrikasi hidroksiapatit tersebut umumnya melibatkan bahan kimia sintetik (BPPT, 2018; RISTEKDIKTI, 2017). Sehingga perlu adanya terobosan sintesis hidroksiapatit dari bahan alam, salah satunya melalui valorisasi cangkang kijing air tawar. Berdasarkan pernyataan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakterisasi hidroksiapatit dari cangkang kijing air tawar.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei – Juli 2022 yang bertempat di Laboratorium Teknologi Hasil Perikanan dan Laboratorium Mikrobiologi dan Bioteknologi Hasil Perikanan Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau; Laboratorium Analisis Hasil Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Riau; Laboratorium BB Litbang Pascapanen Kampus Penelitian Cimanggu Bogor; serta Laboratorium Pusat Studi Biofarmaka dan Laboratorium Nutrisi Ternak Perah Fakultas Peternakan Institut Pertanian Bogor.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk sintesis hidroksiapatit adalah cangkang kijing air tawar (*Pilsbryconcha* sp.) yang diperoleh dari Sungai Paku Kecamatan Kampar Kiri Kabupaten Kampar Provinsi Riau, akuades dan $(\text{NH}_2)_4\text{HPO}_4$ (Merck, Jerman).

Alat yang digunakan adalah tanur *muffle furnace*, timbangan digital, cawan porselen, gelas ukur, pH meter, mortar, *magnetic stirer*, *hot plate*, termometer, instrumen *Color Analyzer*, instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*), instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*), dan instrumen FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*).

Prosedur Kerja

Proses sintesis hidroksiapatit diawali dengan proses kalsinasi cangkang kijing air tawar. Proses kalsinasi diawali dengan pembuatan tepung cangkang kijing yang selanjutnya dikalsinasi menggunakan suhu 1000°C selama 6 jam sehingga diperoleh

tepung kalsium oksida (CaO) (Modifikasi Dahlan *et al.*, 2009). Proses berikutnya adalah sintesis hidroksiapatit menggunakan metode hidrotermal suhu 800°C. Sintesis hidroksiapatit diawali dengan mereaksikan 1 M larutan CaO dengan 0,6 M larutan (NH₂)₄HPO₄ diaduk selama 1 jam pada suhu 90°C, kemudian dilakukan proses presipitasi selama 18 jam. Sintesis tersebut kemudian diambil filtrat apatit yang selanjutnya di-oven selama 3 jam pada suhu 110°C dan dikalsinasi pada suhu 800°C dengan laju kenaikan suhu 10°C/menit selama 6 jam hingga diperoleh bubuk apatit (Modifikasi Aksakal dan Demiral, 2015; Alqap dan Sopyan, 2009). Bubuk apatit yang diperoleh dikarakterisasi yang meliputi: analisis warna dan derajat putih, gugus fungsi, difraktogram, dan mineral.

Karakterisasi Fisikokimia

Karakterisasi fisikokimia yang dilakukan pada penelitian ini adalah analisis warna dan derajat putih menggunakan instrumen kromameter (Henggu, 2019). Analisis gugus fungsi menggunakan instrumen FTIR (*Fourier-Transform Infrared Spectroscopy*) (Walters *et al.*, 1990). Analisis difraktogram menggunakan instrumen XRD (*X-Ray Diffraction*) (Danilchenko *et al.*, 2002). Analisis mineral menggunakan instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) pada mineral Kalsium (Ca), Fosfor (P), dan Kalium (K).

Analisis data

Data yang diperoleh dari hasil analisis berupa nilai rata-rata (μ), standar deviasi (Δx). Penyajian data disajikan dalam bentuk deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Warna dan Derajat Putih

Warna merupakan salah satu penentu kualitas pengurai komponen penyusun hidroksiapatit cangkang kijing air tawar yang telah diberikan perlakuan suhu kalsinasi. Hidroksiapatit umumnya berwarna putih, abu-abu, kuning hingga hijau kekuningan. Hasil analisis warna dan derajat putih hidroksiapatit dari cangkang kijing air tawar disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. menunjukkan bahwa hidroksiapatit dari cangkang kijing air tawar yang dikalsinasi pada suhu 800°C memiliki warna putih dengan nilai derajat putih sebesar 56,89%. Warna putih yang dihasilkan menunjukkan bahwa senyawa organik telah terurai pada suhu kalsinasi 800°C. Warna dan derajat putih pada hidroksiapatit dipengaruhi oleh suhu kalsinasi yang diberikan. Perubahan warna tersebut diakibatkan karena terjadinya dekomposisi komponen penyusun material terutama senyawa organik seperti karbohidrat, lemak, protein, dan residu karbonat (Henggu, 2019).

Warna hidroksiapatit yang dihasilkan dengan suhu kalsinasi 800°C memiliki warna yang sama (putih) pada beberapa sumber berbeda, baik cangkang kerang mutiara maupun tulang ikan tuna (Rahayu *et al.* 2018; Riyanto *et al.*, 2013). Namun, hidroksiapatit dari cangkang keong bakau menggunakan suhu kalsinasi 600°C memiliki warna abu-abu (Astuti, 2017). Kondisi ini menunjukkan bahwa hidroksiapatit yang dihasilkan masih terdapat senyawa organik (Riyanto *et al.*, 2013).

Tabel 1. Profil warna dan derajat putih hidroksiapatit dari cangkang kijing air tawar

Sumber hidroksiapatit	Derajat putih (%)	Warna
Cangkang kijing air tawar (<i>Pilsbryconcha sp.</i>) suhu 800°C	56,89±2,14	Putih
Cangkang keong bakau (<i>Telescopium sp.</i>) suhu 600°C ¹	-	Abu-abu
Tulang ikan tuna (<i>Thunnus sp.</i>) suhu 800°C ²	-	Putih
Cangkang kerang Mutiara (<i>Pinctada maxima</i>) suhu 800°C ³	-	Putih

Sumber: ¹Astuti (2017), ²Riyanto *et al.* (2013), ³Rahayu *et al.* (2018)

Gugus Fungsi

Gugus fungsi dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur penyusun hidroksiapatit secara kualitatif melalui data FTIR (Gambar 1). Pergeseran bilangan gelombang dari hidroksiapatit disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Serapan inframerah hidroksiapatit cangkang kijing air tawar

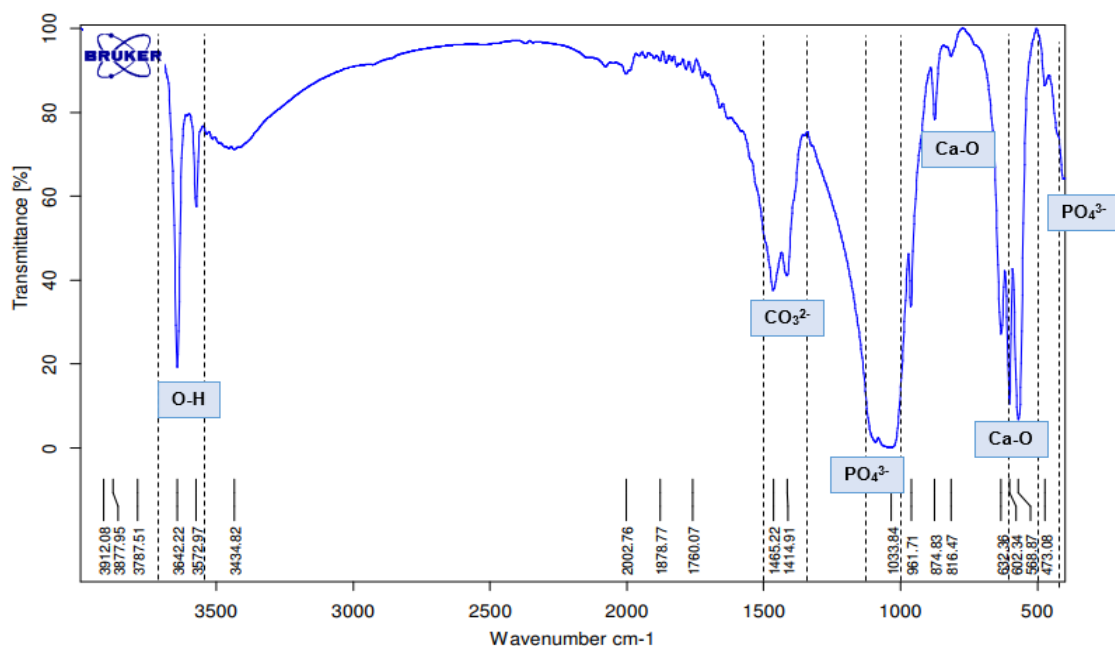
Gugus fungsi	Bilangan gelombang (cm^{-1})
PO_4^{3-}	473,08
	1033,84
OH^-	3572,97
	3642,22
CO_3^{2-}	1414,91
	1465,22
CaO	568,87
	602,34
	632,36
	816,47
	874,83
	961,71

Spektrum serapan gugus fungsi hidroksiapatit cangkang kijing air tawar menunjukkan bahwa hidroksiapatit tersebut ditemukan kandungan gugus PO_4^{3-} , OH^- , CO_3^{2-} , dan gugus CaO. Prabarakan dan Rajeswari (2006),

menyatakan bahwa hidroksiapatit memiliki kandungan gugus PO_4^{3-} , gugus OH^- , dan gugus CO_3^{2-} . Suchanek *et al.* (2004) menyebutkan bahwa gugus PO_4^{3-} dan gugus OH^- mengindikasikan telah terbentuknya hidroksiapatit dengan baik.

Spektrum hidroksiapatit cangkang kijing air tawar terdapat pita serapan gugus OH^- pada bilangan 3572,97 dan 3642,22 cm^{-1} . Hal ini didukung dengan pernyataan Venkatesan dan Kim (2010), bahwa gugus hidroksi teridentifikasi pada puncak bilangan gelombang 3300 – 3600 cm^{-1} . Temuan gugus OH^- ini juga sejalan dengan Henggu *et al.* (2019) bahwa gugus OH^- pada mineral apatit cangkang sotong (*Sepia* sp.) teridentifikasi pada bilangan gelombang 3572-3643 cm^{-1} .

Pita serapan gugus fosfat (PO_4^{3-}) bervibrasi asimetri *stretching* pada bilangan gelombang 1033,84 cm^{-1} dan bervibrasi asimetri *bending* pada bilangan gelombang 473,08 cm^{-1} . Pita serapan ini sejalan dengan Riyanto *et al.* (2013), bahwa pita serapan gugus fosfat teridentifikasi pada vibrasi asimetri *stretching* bilangan gelombang 1041–1095 cm^{-1} dan asimetri *bending* bilangan gelombang 570–601 cm^{-1} pada hidroksiapatit tulang ikan tuna. Pita serapan fosfat berbentuk asimetri menunjukkan bahwa hidroksiapatit berbentuk kristal.



Gambar 1. Spektrum serapan gugus fungsi hidroksiapatit cangkang kijing air tawar

Pita serapan gugus karbonat (CO_3^{2-}) teridentifikasi pada 1414,91 dan 1465,22 cm^{-1} yang merupakan pita serapan vibrasi asimetri *stretching*. Venkatesan dan Kim (2010), menyebutkan pita serapan gugus karbonat terdeteksi pada bilangan gelombang 1.414 dan 1457 cm^{-1} . Temuan gugus CO_3^{2-} ini juga sejalan dengan Henggu et al. (2019), bahwa gugus CO_3^{2-} pada mineral apatit cangkang sotong (*Sepia* sp.) teridentifikasi pada bilangan gelombang 1411-1473 cm^{-1} .

Vibrasi penciri kalsium (Ca-OH) teridentifikasi pada kisaran bilangan gelombang 568,87–961,71 cm^{-1} . Hal ini sejalan dengan Henggu et al. (2019) bahwa identifikasi ikatan Ca-OH terdapat pada bilangan gelombang 560–604 cm^{-1} dan Mondal et al. (2019), juga menyatakan bahwa umumnya transmisi kalsium apatit teridentifikasi pada bilangan gelombang 600–500 cm^{-1} .

Difraktogram

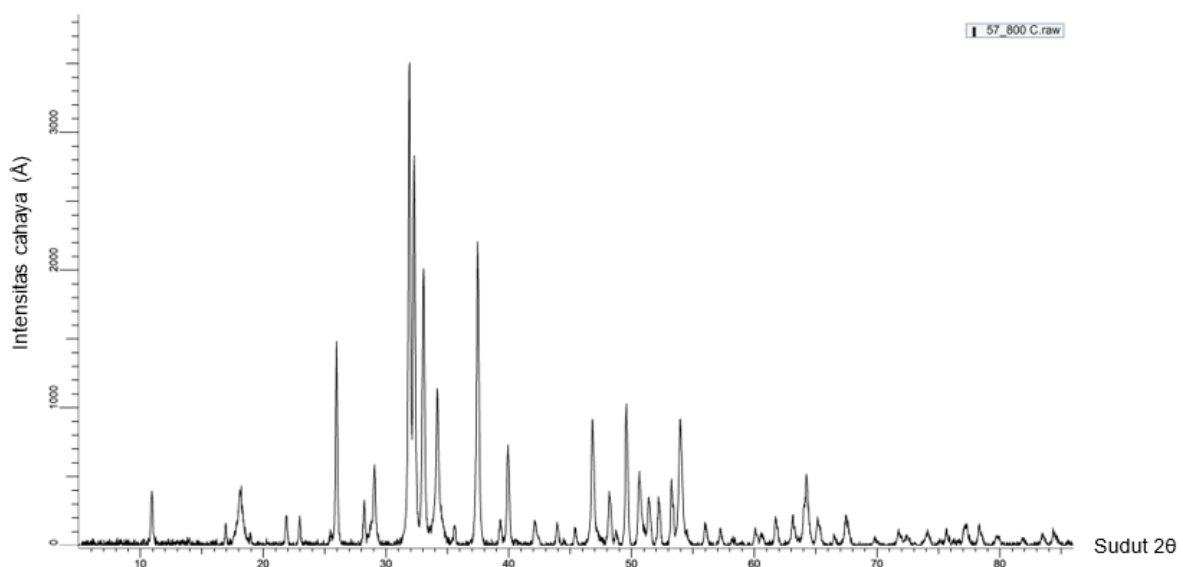
Difraktogram menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui fase yang terbentuk pada hidroksiapatit. Hasil analisis difraktogram disajikan pada Gambar 2.

Struktur difraktogram hidroksiapatit cangkang kijing air tawar menunjukkan pola puncak didominasi oleh fase hidroksiapatit yang ditunjukkan dengan terbentuk fase hidroksiapatit dengan intensitas tinggi pada nilai 2θ : $31,93^\circ$ dan $32,29^\circ$. Hal ini sejalan dengan penelitian Lee et al. (2013), bahwa puncak difraksi sinar-X hidroksiapatit terdeteksi pada nilai 2θ : $31,8^\circ$; $32,2^\circ$; dan $32,9^\circ$. Hasil analisis XRD tersebut sesuai dengan pola difraksi standar hidroksiapatit menurut *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS No. 09-0432) dengan pola puncak intensitas tertinggi berada pada nilai 2θ : $30 - 35^\circ$.

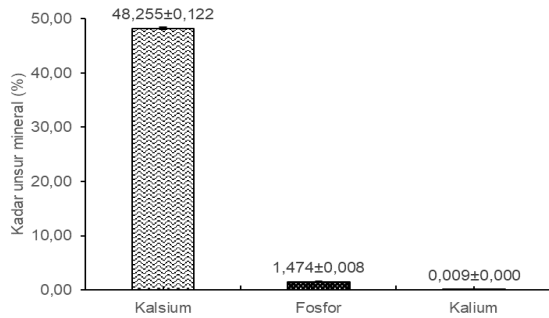
Gambar 2. menunjukkan hidroksiapatit cangkang kijing air tawar memiliki kristalinitas sebesar 82,8%. Hanura et al. (2017), melaporkan nano-hidroksiapatit tulang tuna memiliki presentase kristalinitas sebesar 82,9%. Semakin tinggi presentase kristalinitas, maka semakin banyak fase kristalin yang terbentuk.

Kandungan Unsur Mineral

Kandungan unsur mineral dominan pada hidroksiapatit adalah Kalsium (Ca), Fosfor (P), dan Kalium (K) yang disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Struktur difraktogram hidroksiapatit cangkang kijing air tawar



Gambar 3. Kandungan unsur mineral hidroksiapatit cangkang kijing air tawar

Kandungan unsur mineral paling dominan pada hidroksiapatit cangkang kijing air tawar adalah kalsium sebesar 48,255%, fosfor 1,474%, dan kalium 0,009%. Hal ini sejalan dengan penelitian Hanura et al. (2018), bahwa kadar mineral dominan pada hidroksiapatit tulang tuna berturut-turut yaitu kalsium 54,62%; fosfor 9,34%; dan kalium 0,02%. Astuti (2017) menyatakan bahwa kadar kalsium hidroksiapatit pada cangkang keong bakau (*Telescopium* sp.), keong matah merah (*Cerethidea obtuse*), dan kerang simping (*Placuna placenta*) berturut-turut adalah 42,82%; 41,97%; dan 41,66%.

Kandungan kalsium memiliki kadar lebih tinggi dibandingkan dengan fosfor. Hal ini disebabkan terdapat CaO yang memperbesar kadar kalsium pada sintesis hidroksiapatit tersebut (Muntamah, 2011). Suchanek et al. (2004), juga menyebutkan bahwa adanya gugus karbonat (CO_3^{2-}) mengindikasikan proses pengikatan fosfat yang tidak sempurna pada sintesis hidroksiapatit.

KESIMPULAN

Sintesis hidroksiapatit cangkang kijing air tawar menggunakan metode hidrotermal suhu 800°C memiliki karakteristik warna putih dengan nilai derajat putih 56,89%; teridentifikasi gugus fungsi PO_4^{3-} , OH^- , CO_3^{2-} , dan gugus CaO sebagai penyusun hidroksiapatit; memiliki tingkat kristalinitas yang tinggi sebesar 82,8%; dan kandungan unsur Ca, P, dan K berturut-turut sebesar 48,255%, 1,474%, dan 0,009%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Riau (LPPM UNRI) yang telah mendanai penelitian ini melalui DIPA LPPM UNRI 2022 Skema Penelitian Dosen Muda.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPPT] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2018. Technology sector material- bioceramic hydroxyapatite [Internet]. Jakarta (ID): BPPT.
- [KKP] Kementerian Kelautan Perikanan. 2021. Statistik KKP: Produksi Perikanan. [tps://statistik.kkp.go.id/home.php?m=prod_ikan_prov&i=2#panel-footer](https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=prod_ikan_prov&i=2#panel-footer) [diakses tanggal 10 Januari 2022].
- [RISTEKDIKTI] Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi. 2017. Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045. Jakarta (ID): KEMENRISTEK. hlm 69-72.
- Abdullah A, Nurjanah, Wardhani YK. 2010. Karakteristik fisik dan kimia tepung cangkang kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*). *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 13(1): 48-57.
- Aksakal B, Demirel M. 2015. Synthesis and fabrication of novel cuttlefish (*Sepia officinalis*) backbone biografts for biomedical applications. *Ceramics International*. 41(3): 4531-4537.
- Alqap SF, Sopyan I. 2009. Low Temperature Hydrothermal Synthesis of Calcium Phosphate Ceramics: Effect of Excess Ca Precursor on Phase Behaviour. *Indian Journal of Chemistry*. 48: 1492-1500.
- Astuti AS. 2017. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Limbah Cangkang Kerang Sipping (*Placuna placenta*), Keong Matah Merah (*Cerethidea obtusa*), dan Keong Bakau (*Telescopium* sp.) [Skripsi]. Bogor: IPB.

- Dahlan K, Prasetyanti F, Sari YW. 2009. Sintesis Hidroksiapatit dari Cangkang Telur Menggunakan Dry Metode. *J. Biofisika*. 5(2): 71-78.
- Danilchenko SN, Kukharenko OG, Moseke C, Protsenko IY, Sukhodub LF, Sulkiy B. 2002. Determination of the bone mineral crystallite size and lattice strain from diffraction line broadening. *Journal of Crystallography*. 37(11): 1234-1240.
- Hanura AB, Trilaksani W, Suptijah P. 2018. Characterization of nanohydroxyapatite from tuna's *Thunnus* sp. bone as biomaterials substance. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 9(2): 619-629.
- Henggu KU, Ibrahim B, Suptijah P. 2019. Hidroksiapatit dari cangkang sotong sebagai sediaan biomaterial perancah tulang. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 22(1): 1-13.
- Henggu KU. 2019. Sediaan Biokomposit Perancah Tulang dari Hidroksiapatit Cangkang Sotong (*Sepia* sp.) dan Kolagen Kulit Ikan Patin (*Pangasius hypophthalmus*) [tesis]. Bogor: IPB.
- Iriani D, Hasan B, Sumarto. 2020. Physicochemical Characteristics of Freshwater Mussel (*Pilsbryconcha* sp.) Shell from Sungai Paku Village Riau Province Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 430: 1-5.
- Iriani D, Sidauruk SW. 2021. Fortification of Nano Calcium of Freshwater Mussel (*Pilsbryconcha* sp.) Shell on Cookies Towards Proximate Composition and Calcium Content. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 695: 1-7.
- Lee D, Pai Y, Chang S. 2013. Effect of thermal treatment of the hydroxyapatite powder on the micropore and microstructure of porous biphasic calcium phosphate composite granules. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 4: 114-118.
- Mondal S, Hoang G, Manivasagan P, Moorthy MS, Kim HH. 2019. Comparative characterization of biogenic and chemical synthesized hydroxyapatite biomaterials for potential biomedical application. *Materials Chemistry and Physics*. 228(15): 344-356.
- Muntamah. 2011. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Limbah Cangkang Kerang Darah (*Anadara Granosa* sp). Tesis. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nurjanah, Jacoeb AM, Hidayat T. 2020. Perubahan komposisi kimia kijing lokal (*Pilsbryconcha exilis*) segar dan kukus. *MARINADE*. 3(2): 148-159.
- Palaveniene A, Harkavenko V, Kharchenko V, Daugela P. 2018. Cuttlebone as a mariner-derived material for preparing bone grafts. *Marine Biotechnology*. 20(3): 363-374.
- Prabarakan K, Rajeswari S. 2006. Development of hydroxyapatite from natural fish bone through heat treatment. *Trends Biomaterials Artificial Organs*. 20(1): 20-23.
- Rahayu S, Kurniawidi DW, Gani A. 2018. Pemanfaatan limbah cangkang kerang Mutiara (*Pinctada maxima*) sebagai sumber hidroksiapatit. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*. 4(2): 226-231.
- Riyanto B, Maddu A, Nurrahman. 2013. Material biokeramik berbasis hidroksiapatit tulang ikan tuna. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 16(2): 119-132.
- Suchanek W, Byrappa K, Shuk P, Riman R, Janas V, Tenhusein K. 2004. Mechanochemical-hydrothermal

- synthesis of calcium phosphate powders with coupled magnesium and carbonate substitution. *Journal of Solid State Chemistry*. 3: 793-799.
- Sulistiawan RSN. 2011. Potensi Kijing (*Pilsbryconcha exilis*, Lea) sebagai Biofilter Perairan di Waduk Cirata, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. *Journal Of Agrosience*. 2(1): 68-78.
- Szczes A, Hołysz L, Chibowski E. 2017. Synthesis of hydroxyapatite for biomedical applications. *Advances in Colloid And Interface Science*. 24(9): 321-330.
- Venkatesan J, Kim SK. 2010. Effect of temperature on isolation and characterization on hydroxyapatite from tuna (*Thunnus obesus*) bone. *Journal Materials*. 3: 4761-4772.
- Walters MA, Leung YC, Blumenthal NC, Konsker KA, LeGeros RZ. 1990. A raman and infrared spectroscopic investigation of biological hydroxyapatite. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 39(3): 193-200.
- Wildan DM, Affandi R, Pratiwi NTM. 2021. Kemampuan Kijing Lokal (*Pilsbryconcha exilis*) Mereduksi Limbah Organik Budidaya Ikan Sidat (*Anguilla* sp.). *Musamus Fisheries and Marine Journal*. 4(1): 1-14.