



RESEARCH ARTICLE

Characterization of Hydroxiapatite from Skapsat Fish (*Katsuwonus Pelamis*) Bone Using X-Ray Diffraction (XRD) Analysis

Syamsiah Syam^{1,*}, Nur Asmah¹, Sarafin Aslan¹, Risnayanti Anas², Isyatun Raadiah³

¹Department of Conservative, Faculty of Dentistry, Universitas Muslim Indonesia, Indonesia

²Master of Dentistry, Universitas Muslim Indonesia, Indonesia

³Faculty of Dentistry, Universitas Muslim Indonesia, Indonesia

Abstract

Background: Indonesia's marine resources consist of 37% of the world's fish species, one of which is skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) which is found in almost all Indonesian waters. The strength of the skipjack tuna fishing industry is a commodity with quite high value. Skipjack tuna is one of the most traded fish, where the meat is processed as a food source while the bones of skipjack tuna are often not utilized so that they can pollute the environment which can harm the health of the surrounding community. Fish bones can produce hydroxyapatite around 60-70% which is used for the tooth remineralization process. The method for producing hydroxyapatite is precipitation then analyzed using X-Ray Diffraction (XRD) on hydroxyapatite which serves to determine the phase, crystal structure, lattice parameters, particle size. **Objective :** To determine the characterization of hydroxyapatite produced from skipjack tuna bones (*Katsuwonus pelamis*) by analysis (XRD). **Materials and Methods :** The type of research conducted is an experimental laboratory. The main material is skipjack tuna bone waste (*Katsuwonus pelamis*) with a precipitation method within a calcination period of 7 hours then the results were analyzed using (XRD). **Results :** The degree of crystallinity produced from skipjack tuna bone (*Katsuwonus pelamis*) based on the results of the XRD test was 50.16% and the average crystal size was 211 nm and the phase, crystal form were trigonal and hexagonal. **Conclusion :** Hydroxyapatite produced from skipjack tuna bone waste (*Katsuwonus pelamis*) through the precipitation and calcination method for 7 hours had a degree of crystallinity of 50.16%, an average crystal size of 211 nm, and showed a phase with trigonal and hexagonal crystal forms. These results indicate that skipjack tuna bone waste has the potential to be used as a source of hydroxyapatite for tooth remineralization applications and other biomaterial needs.

Keywords: Skipjack tuna bone, Hydroxyapatite, X-Ray Diffraction

Corresponding Author: Syamsiah Syam

Email: Syams_77@umi.ac.id

Karakterisasi Hidroksiapatit Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus Pelamis*) Dengan Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD)

Abstrak

Latar Belakang: Sumber daya laut Indonesia terdiri dari 37% spesies ikan yang ada di dunia salah satunya yaitu ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) yang berada hampir di seluruh perairan Indonesia. Kekuatan industri penangkapan ikan cakalang sebagai komoditas yang bernilai cukup tinggi. Ikan cakalang merupakan salah satu ikan yang paling banyak diperdagangkan, dimana dagingnya dikelola sebagai sumber pangan sedangkan bagian dari tulang ikan cakalang sering tidak dimanfaatkan sehingga dapat mencemari lingkungan yang dapat mengganggu kesehatan bagi masyarakat disekitarnya. Tulang ikan dapat menghasilkan hidroksiapatit sekitar 60- 70% yang digunakan untuk proses remineralisasi gigi. Metode untuk menghasilkan hidroksiapatit yaitu presipitasi kemudian dianalisis menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) pada hidroksiapatit yang berfungsi untuk menentukan fasa, struktur kristal, parameter kisi, ukuran partikel. **Tujuan Penelitian:** Mengetahui karakterisasi hidroksiapatit yang dihasilkan dari tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dengan analisis (XRD). **Bahan dan Metode:** Jenis penelitian yang dilakukan adalah *eksperimental* laboratorium. Bahan utama adalah limbah tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dengan metode presipitasi dalam jangka waktu kalsinasi 7 jam kemudian hasilnya dianalisis menggunakan (XRD). **Hasil:** Derajat kristalinitas yang dihasilkan dari tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) berdasarkan hasil uji XRD sebesar 50.16% serta rata-rata ukuran kristal 211 nm dan diketahui fasa, bentuk kristal trigonal dan heksagonal. **Kesimpulan:** Hidroksiapatit yang dihasilkan dari limbah tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) melalui metode presipitasi dan kalsinasi selama 7 jam memiliki derajat kristalinitas sebesar 50,16%, rata-rata ukuran kristal 211 nm, serta menunjukkan fasa dengan bentuk kristal trigonal dan heksagonal. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah tulang ikan cakalang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber hidroksiapatit untuk aplikasi remineralisasi gigi maupun keperluan biomaterial lainnya.

Kata Kunci: Tulang ikan cakalang, Hidroksiapatit, *X-Ray Diffraction*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara kepulauan yang berada diantara dua samudra besar yaitu samudra pasifik dan Samudra hindia yang memiliki potensi sumber daya perikanan yang sangat besar, Indonesia yang kaya dengan sumber daya hayati laut yang mendorong suburnya pertumbuhan sektor industri perikanan.¹ Berdasarkan dari data kementerian kelautan dan perikanan jumlah produksi tangkap pada tahun 2018 sebanyak 6.701.834 ton, pada tahun 2019 sebanyak 7.164.302 ton (2022). Sumber daya laut Indonesia terdiri dari 37% spesies ikan yang ada di dunia.² Di Indonesia terdapat 10 jenis komoditas ikan tangkap salah satunya yaitu ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*).³ Ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) berada hampir di seluruh perairan Indonesia, terutama bagian timur Indonesia.⁴ Ikan cakalang selain menjadi ikan konsumsi yang sangat digemari oleh Masyarakat, juga merupakan salah satu ikan yang paling banyak diperdagangkan, dimana dagingnya dikelola sebagai sumber pangan sedangkan bagian dari tulang ikan cakalang sering tidak di manfaatkan.⁵⁻⁶ Proporsi tulang ikan mengandung 12,4% sehingga, limbah padat berupa tulang dari hasil pengolahan diperkirakan sebanyak kurang lebih 7.460 ton. Apabila tidak diolah dan dimanfaatkan dengan baik, maka dapat mencemari lingkungan yang dapat mengganggu kesehatan bagi masyarakat di sekitarnya.⁷

Tulang merupakan salah satu bagian tubuh makhluk hidup yang paling banyak mengandung kalsium dan fosfor.⁸ Tulang ikan dapat menghasilkan hidroksiapatit sekitar 60-70% yang sering digunakan untuk proses remineralisasi gigi.⁹ Hidroksiapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ adalah komponen dari mineral penyusun jaringan keras sebagai bahan rehabilitasi utama pada tubuh manusia antara lain seperti pada tulang dan gigi diharapkan bisa meningkatkan pertumbuhan sel-sel yang akan melanjutkan fungsi daur jaringan yang digantikan, salah satu bahan yang sedang dikembangkan sebagai biomaterial sintesis adalah kalsium dan fosfor yang didapat dari biokeramik.¹⁰ Sehingga menjadikan hidroksiapatit memiliki sifat biokompatibilitas, bioaktif serta osteokonduktif yang baik.¹¹

Beberapa metode telah dilakukan untuk menghasilkan hidroksiapatit, diantaranya metode presipitasi, *sol-gel*, *heat treatment*, *cationic surfactant template*, *interfacial reaction* menggunakan *multiple emulsion* serta *microwave irradiation*.¹² Metode presipitasi adalah salah satu metode kimia basah yang telah banyak digunakan, kelebihan metode ini dapat dengan mudah ditemukan dengan biaya yang tidak terlalu mahal.¹³ Metode presipitasi juga dianggap paling sederhana untuk sintesis hidroksiapatit.¹⁴

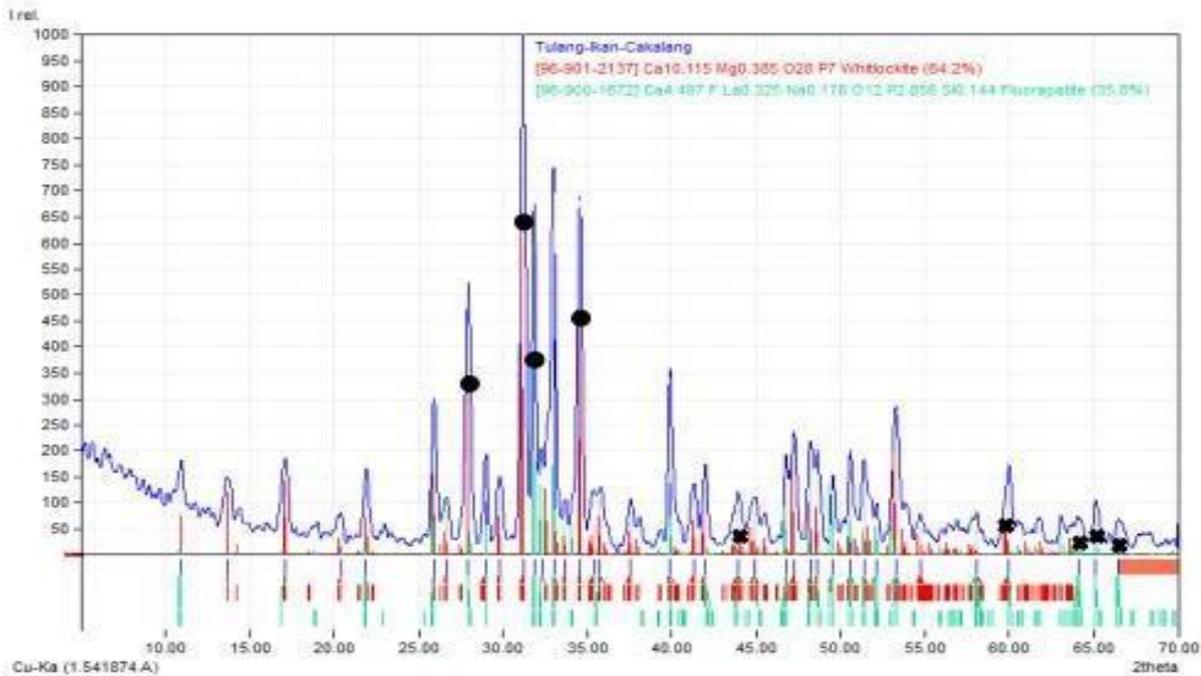
Hasil dari sintesis hidroksiapatit dapat dianalisis dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* pada hidroksiapatit yang berfungsi untuk menentukan fasa, struktur kristal, parameter kisi, estimasi ukuran partikel.¹⁵ Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan sapu-sapu (metode presipitasi) dengan kalsinasi 5 jam dan 7 jam. Hasil sintesis kalsinasi 5 jam ternyata masih ada impuritas berupa senyawa CaCO_3 , Sedangkan sampel hasil sintesis dengan kalsinasi 7 jam dimana hidroksiapatit terbentuk secara optimal.¹⁶

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada penelitian ini dilakukan sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dengan metode presipitasi, sedangkan untuk karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan kalsinasi selama 7 jam.

METODE

Jenis penelitian yang dilakukan adalah *eksperimental laboratorium*. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia PT. Sucofindo Makassar dan Lab. Teknik Geologi Universitas Hasanuddin selama beberapa minggu yang dilaksanakan sejak 15 Agustus – 20 september 2024 dengan nomor kode etik 355/A.1/KEP-UMI/VIII/2024. Populasi adalah ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*). Sampel adalah serbuk tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*). Preparasi Sampel Tulang ikan kemudian dicuci di air bersih kemudian direbus sekitar 2 jam dan dipotong kecil-kecil kemudian dikeringkan selama 4 hari. Setelah itu, dilakukan pembersihan terhadap daging yang masih menempel dan pencucian dengan air dan dicuci lagi dengan aquades kemudian dilakukan perendaman dengan larutan aseton selama 3x24 jam dengan pergantian pelarut setiap 1x24. Selanjutnya dikeringkan di dalam oven selama 4 jam pada suhu 105°C dan hasilnya digerus hingga diperoleh ukuran yang homogen. Tulang ikan cakalang ditimbang sebanyak 80 gram dan dioven selama 2 jam. Setelah itu, tulang ikan cakalang dikalsinasi pada suhu 900°C selama 7 jam. kemudian timbang bobot sampel dan haluskan dengan lumpang dan alu. didinginkan pada suhu ruang kemudian hasilnya dihaluskan dan di ayak, sehingga diperoleh serbuk CaO yang homogen. Sintesis hidroksiapatit dimulai dengan mencampurkan kalsium oksida (CaO) dengan larutan asam fosfat (H₃PO₄) di dalam labu Erlenmeyer. Campuran tersebut dipanaskan pada suhu 40°C dan diaduk dengan kecepatan 300 rpm. pH awal larutan diukur terlebih dahulu, kemudian diatur hingga mencapai pH 10 dengan menambahkan amonium hidroksida (NH₄OH). Proses pematangan (aging) dilakukan selama 24 jam untuk menghasilkan endapan (presipitasi). Endapan yang terbentuk kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman dan dicuci dengan aquades untuk menghilangkan produk samping, yaitu amonium nitrat (NH₄NO₃). Endapan yang telah disaring kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C selama 2 jam. Selanjutnya endapan yang telah kering dipanaskan melalui proses sintering dengan cara memasukkannya ke dalam furnace pada temperatur 900°C selama 2 jam. Bubuk hidroksiapatit yang dihasilkan kemudian diuji menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk menentukan fasa, struktur kristal, parameter kisi, dan ukuran partikel.

Data yang digunakan merupakan data primer hasil analisis XRD terhadap hidroksiapatit dari limbah tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*). Metode karakterisasi dengan XRD ini merupakan prosedur baku dan telah menjadi standar dalam penelitian biomaterial berbasis hidroksiapatit. Kolly et al. (2025) berhasil mensintesis hidroksiapatit nano struktural dari tulang ikan kerapu (*Epinephelus polyphekadion*) menggunakan metodologi serupa dan menganalisis karakteristiknya dengan XRD, menghasilkan ukuran kristal sekitar 10,23 nm dan rasio Ca/P sebesar 1,62 nm. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer yang didapatkan dari analisis XRD hidroksiapatit tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*). Data dari hasil penelitian ini disajikan dalam bentuk tabel dan difraktogram. Hasil karakterisasi XRD hidroksiapatit dengan waktu kalsinasi 7 jam ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Difraktogram puncak-puncak difraksi berdasarkan analisis XRD (●) Puncak intensitas tinggi, (✖) Puncak impuritas/*unidentified peak area*

Berdasarkan data analisis XRD menunjukkan puncak-puncak difraksi yang signifikan teridentifikasi pada rentang 2θ dari 10.94° hingga 66.44° , dengan intensitas tertinggi tercatat pada $2\theta = 31.20^\circ$. Puncak lain yang intensitasnya relatif tinggi, seperti pada $2\theta = 27.94^\circ$, 33.00° dan 34.54° , juga mencerminkan kontribusi dari kedua fase kristalin, yaitu *Whitlockite* dan *Fluorapatite*. *Unidentified peak area* sebesar 8.5% mengindikasikan adanya kemungkinan mineral lain yang belum diidentifikasi atau material amorf dalam sampel yang disebut impuritas. Puncak-puncak impuritas terlihat pada sudut $2\theta = 43.94^\circ$, 59.96° , 64.08° , 65.12° , dan 66.44° . Puncak ini intensitasnya rendah dan tidak sesuai dengan pola *Whitlockite* atau *Fluorapatite*. Kemungkinan, puncak-puncak tersebut berasal dari unsur seperti La, Si, atau Mg. Unsur-unsur ini bisa berasal dari mineral alami dalam tulang ikan atau dari pakan yang dimakan ikan. Saat proses kalsinasi, unsur-unsur tersebut dapat bercampur dengan hidroksiapatit atau membentuk senyawa lain dalam jumlah kecil, sehingga muncul sebagai puncak impuritas pada hasil XRD. Senyawa tersebut mengubah struktur kristal sehingga tidak cocok dengan pola referensi serta pola difraksi dari mineral atau senyawa tertentu tidak tersedia dalam database COD-Inorg 2023. **Tabel 1** menunjukkan hubungan antara jarak antar kisi (d) dengan parameter kisi (a , c) Parameter kisi kristal dicari menggunakan persamaan. nilai hkl dengan intensitas tertinggi tercatat pada (304) 31.20° , (214) 27.94° , (226) 33.00° dan (220) 34.54° . Ukuran kristal sesuai dengan FWHM dan sudut 2θ menunjukkan kristal untuk setiap puncak difraksi yang sebagian besar berkisar antara 62 nm hingga 442 nm. Rata-rata ukuran kristal yang dihitung adalah 211 nm. Rata-rata ini memberikan gambaran umum tentang ukuran kristal dalam sampel yang dianalisis secara keseluruhan, meskipun nilai individu bervariasi tergantung pada puncak difraksi yang berbeda. Derajat kristalinitas hidroksiapatit pada suhu kalsinasi 900°C adalah 50,16%. Nilai ini dihitung dari perbandingan luas area puncak-puncak tajam pada pola XRD (bagian kristalin) dengan luas area total seluruh pola difraksi, yang mencakup bagian kristalin dan amorf. Hasil ini menunjukkan sekitar setengah struktur hidroksiapatit memiliki susunan kristal teratur.

Tabel 1 Nilai hkl kalsinasi 7 jam

| No. | 2θ | <i>hkl</i> |
|-----|-------|------------|
| 1 | 10,94 | 1 0 0 |
| 2 | 13,68 | 1 0 4 |
| 3 | 17,10 | 1 1 0 |
| 4 | 20,4 | 2 0 0 |
| 5 | 21,92 | 0 2 4 |
| 6 | 25,92 | 0 2 7 |
| 7 | 26,66 | 1 2 2 |
| 8 | 27,94 | 2 1 4 |
| 9 | 29 | 1 2 4 |
| 10 | 29,8 | 0 3 0 |
| 11 | 31,2 | 3 0 4 |
| 12 | 31,86 | 2 2 4 |
| 13 | 32,28 | 2 2 5 |
| 14 | 33 | 2 2 6 |
| 15 | 33,68 | 2 2 7 |
| 16 | 34,56 | 2 2 0 |
| 17 | 35,36 | 2 2 3 |
| 18 | 35,76 | 2 2 4 |
| 19 | 37,58 | 2 2 6 |
| 20 | 39,9 | 4 0 0 |
| 21 | 41,3 | 4 0 4 |
| 22 | 42 | 0 4 5 |
| 23 | 43,94 | 2 3 2 |
| 24 | 44,9 | 0 4 8 |
| 25 | 46,78 | 1 4 3 |
| 26 | 47,26 | 2 3 7 |
| 27 | 48,22 | 2 3 8 |
| 28 | 48,62 | 1 4 6 |
| 29 | 49,56 | 1 4 7 |
| 30 | 50,58 | 0 5 0 |
| 31 | 51,4 | 0 5 3 |
| 32 | 52,14 | 5 0 5 |
| 33 | 53,28 | 3 3 2 |
| 34 | 54,74 | 2 4 3 |
| 35 | 58,06 | 1 5 4 |
| 36 | 59,96 | 1 5 7 |
| 37 | 64,08 | 0 6 6 |
| 38 | 65,12 | 0 6 8 |
| 39 | 66,44 | 0 6 9 |

PEMBAHASAN

Hasil penelitian pada ikan cakalang menunjukkan bahwa sampel hidroksiapatit yang dihasilkan masih mengandung impuritas sebesar 8,5% (Gambar 5.1). Impuritas ini memiliki intensitas rendah dan tidak sesuai dengan fasa *Whitlockite* maupun *Fluorapatite*. Impuritas (pengotor) dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti tahap perebusan dan pencucian sampel yang kurang optimal setelah proses *annealing*, sehingga sisa garam dan pengotor lain tidak sepenuhnya terhilangkan. Kondisi ini dapat menyebabkan puncak-puncak impuritas tetap muncul pada hasil analisis XRD. Jumlah impuritas dapat dipengaruhi oleh sifat sampel dan suhu pembakaran atau pengeringan. Suhu yang terlalu rendah dapat membuat pengotor tidak sepenuhnya hilang, sehingga masih terdeteksi pada hasil XRD.¹⁷ Kalsinasi yang lebih lama dapat menghasilkan fasa pengotor (impuritas) jika prosesnya tidak dikontrol dengan baik seperti suhu tetapi jika waktu lebih lama pada suhu lebih rendah membantu mempertahankan fasa murni.¹⁸⁻¹⁹ Waktu kalsinasi dan suhu pada penelitian ini cukup optimal karena impuritasnya sedikit dan jika suhu terlalu tinggi potensi dekomposisi menjadi β -TCP.²⁰

Penelitian ini menggunakan metode presipitasi, dianggap paling sederhana untuk sintesis hidroksiapatit. Pada tabel 5.1 hasil ukuran kristal yang didapatkan 211 nm dengan suhu kalsinasi 900°C hasil penelitian ini berbeda dengan menggunakan metode *heat treatment* dengan suhu kalsinasi 800°C dengan ukuran kristal sebesar 42,55 nm. Sehingga, semakin tinggi suhu yang diberikan pada sampel, maka ukuran kristal juga semakin besar.²⁰ Ketika ukuran kristal dalam suatu material meningkat, struktur kristalnya menjadi lebih teratur dan padat. Material dengan struktur yang lebih teratur dan rapat ini lebih stabil secara struktural. Kristal yang lebih besar biasanya berarti bahwa material tersebut memiliki ikatan antar partikel yang lebih kuat dan lebih stabil. Sebaliknya, jika ukuran kristal sangat kecil atau tidak teratur, material tersebut lebih rapuh atau mudah retak. Pemilihan ukuran kristal harus disesuaikan dengan kebutuhan tujuan penggunaan material.²¹

Penelitian ini dianalisis menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) yang bertujuan untuk melihat derajat kristalinitas yang dihasilkan dari tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) derajat kristalinitas dari hasil uji XRD sampel hidroksiapatit dengan suhu kalsinasi 900°C sebesar 50.16%. Adapun penelitian lain dengan karakterisasi hidroksiapatit Tulang Ikan Tenggiri (*Scomberomorus commerson*) dengan menggunakan suhu kalsinasi 400°C menghasilkan derajat kristalinitas dari hidroksiapatit tulang ikan tenggiri sebesar 41,91%. Sehingga, kenaikan suhu akan meningkatkan nilai derajat kristalinitas sampel.²⁰ Lebar pada setengah puncak XRD dapat digunakan untuk mengukur keteraturan struktur kristal atau derajat kristalinitas dari suatu mineral. Luas puncak pada hasil karakterisasi menggunakan XRD sebanding dengan derajat kristalinitas, semakin besar luas puncak maka derajat kristalinitas kristal juga semakin tinggi. Ukuran partikel yang kecil dapat memperbesar pelebaran pada puncak difraksi dan menyebabkan luas puncak kristal menurun. Derajat kristalinitas akan menurun seiring dengan menurunnya ukuran kristal karena kristal dengan ukuran yang lebih besar memiliki keteraturan yang lebih tinggi daripada kristal berukuran kecil.²² Derajat kristalinitas mempengaruhi sifat fungsional hidroksiapatit, termasuk stabilitas struktur dan potensi aplikasinya. Keterbatasan penelitian ini adalah belum adanya analisis komposisi kimia dan sifat mekanik dari hidroksiapatit yang dihasilkan.²³

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian karakterisasi hidroksiapatit tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dengan analisis *x-ray diffraction* (XRD) berhasil dilakukan. Kesimpulannya adalah bahwa Derajat kristalinitas yang dihasilkan dari tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) berdasarkan hasil uji XRD sebesar 50.16% dengan rata-rata ukuran kristal 211 nm. Fasa dari bentuk whitlockite

berbentuk kristal trigonal dan fasa fluorapatite berbentuk heksagonal. Penelitian lebih lanjut untuk pengujian FTIR untuk mengetahui unsur atau senyawa yang impuritas serta dapat dilakukan penelitian dengan suhu dan waktu kalsinasi yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

1. Putra Y H, Sayuti K, Yenrina R. Pengaruh Pencampuran *Fillet* Dan Tulang Tuna (*Thunnus sp.*) Terhadap karakteristik Nugget Yang Dihasilkan. Jurnal Teknologi Pertanian. 2013;7(2):1.
2. Badan Pusat Statistik Indonesia. (23 Maret 2022). Produksi perikanan tangkap menurut provinsi subsektor perikanan laut. Diakses pada 4 Maret 2024, dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTA1NCMy/produksi-perikanan-tangkap-menurut-provinsi-subsektor-perikanan-laut.html>
3. Aprilia, Mulyanie E. Implementasi Konsep Blue Economy di Indonesia sebagai Upaya Mewujudkan *Sustainable Development Goals* (SDGs) 14: *Life Below Water*. Jurnal Samudra Akuatika. 2023;7(2):81
4. Kekenusa J S, Paendong M S. Analisis Penentuan Musim Penangkapan Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis* L) di Perairan Belang Minahasa Tenggara-Sulawesi Utara. J Ilmiah Sains. 2016;16(2):86
5. Ata S T, Yulianty R, Sami F J, Ramli N. Isolasi Kolagen Dari Kulit Dan Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*). *Journal of Pharmaceutical and Medicinal Sciences*. 2016;1(1):28.
6. Sari L E, Wuntu A D, Runtuwene M R, Momuat L I. Fotodegradasi Rhodamin B Menggunakan Komposit Perak Fosfat-Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*). Jurnal Ilmiah Sains.2023;23(2):150.
7. Singkuku F T, Onibala H, Agustin A T. Ekstraksi Kolagen Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) Menjadi Gelatin Dengan Asam Klorida. Jurnal Media Teknologi Hasil Perikanan. 2017;5(3):69-70.
8. Daeng R A. Pemanfaatan Tepung Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) sebagai Sumber Kalsium dan Fosfor untuk Meningkatkan Nilai Gizi Biskuit. J Biosaintek. 2019;1(1):22-30.
9. Syam S, Asmah N, Lestari N A. Efektivitas Antibakteri Ekstrak Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) terhadap *Streptococcus mutans* dan *Porphyromonas gingivalis*. Ejournal Unsrat. 2023;11(2):306.
10. Anggresani L, Afrina R, Armini Hadriyati A, Rahmadevi, Sanuddin M. Pengaruh Variasi Waktu Tahan Sintering Terhadap Hidroksiapatit Berpori dari Tulang Ikan Tenggiri (*Scomberomorus guttatus*). Jurnal Katalisator. 2020;5(1):55.
11. Arifiadi F, Wahyudi K, Manullang R J, Nurhidayati, Novianti H R. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit-Gibsit. jurnal Keramik dan Gelas Indonesia. 2022;30(2):79.
12. Anggraini R M, Yusuf Y. Karakterisasi Natural Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Lele. JoP. 2023;8(2):104.
13. Wardani S C, Hapsari D N, Fatima. Perbandingan Morfologi dan Rasio CA/P Serbuk Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Cakalang (*katsuwonus pelamis*) dengan Hidroksiapatit Sisik Ikan. E-Prodenta Journal of Dentistry. 2020;4(2):315.

14. Muthmainnah, Chadijah S, Rustiah W O. Hidroksiapatit Dari Tulang Ikan Tuna Sirip Kuning (*Thunnus albacares*) Dengan Metode Presipitasi. E- Journal UIN Alauddin Makassar. 2017;5(2):120.
15. Sinulingga K, Sirait M. Buku Hidroksiapatit dari Batu Kapur dan Aplikasi. Edisi 1, Medan: Yayasan Kita Menulis: 2021: 34.
16. Mangkuasih S M, Rohmawati L. Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-Sapu (*Hypostomus plecostomus*) dengan Metode Presipitasi. Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika. 2021;9(2):232
17. Nuayi, A W. Sintesis Nanopartikel Besi (III) Oksida (Fe_2O_3) dengan Menggunakan *Salt Assisted Combustion Method* (SACM). Jurnal Entopi.2017;12(1):4.
18. Romadhonah, Y F. Pengaruh Waktu Kalsinasi Terhadap Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit (HA) dan Karbonat Hidroksiapatit (CHA) dengan Metode Presipitasi Berbasis Kerang Bulu (*Anadara antiquata*). Universitas Gadjah Mada, 2024.
19. Zorka, Z V, Milena P D, Jelena D V, Matja S, Janez K. *Exploring the impact of calcination parameters on the crystal structure, morphology, and optical properties of electrospun Fe_2TiO_5 nanofibers*. *Royal society of chemistry*.2021;25(29):32365.
20. Purba R A P, Deswardani F, Anggraini R M, Fendriani Y, Restianingsih C. Ekstraksi dan Karakterisasi Hidroksiapatit (HAp) dari Tulang Ikan Tenggiri (*Scomberomorus commerson*) dengan Metode *Heat Treatment*. Jurnal Fisika Unand.2024;13(2):250.
21. Widodo R D, Manaf A, Vekky V, Al-Janani D H. *The Effect of Milling Times and Annealing on Synthesis of Strontium Titanate Ceramics*. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering* (IJIRAE).2015;2(12):68.
22. Sumarni W, Suhendar D, Hadisantoso E P. Rekrystalisasi Natrium klorida dari Larutan Natrium Klorida Dalam Beberapa Minyak yang Dipanaskan. al-Kimiya.2017;4(2):103.
23. Sulistiawati, Rusdiana S, Shinta D. Karakterisasi Hidroksiapatit yang Disintesis Dari Sisik Ikan Gabus (*Channa striata*) dengan Variasi Suhu Kalsinasi. JKGM.2022;4(1):4.