



Karakterisasi Hidroksiapatit Tulang Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) Kalsinasi 5 Jam dengan Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

Hydroxyapatite Characterization of Cakalang Fish Bone (*Katsuwonus pelamis*) with 5-hour Calcination and X-ray Diffraction Analysis

Syamsiah Syam,¹ Indrya K. Mattulada,¹ Nur Asmah,¹ Taufan Lauddin,² Yuli Yasmin³

¹Bagian Konservasi Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

²Bagian Ilmu Kesehatan Gigi Masyarakat Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

³Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia

Email: yuliyasmin951@gmail.com

Received: March 6, 2025; Accepted: April 1, 2025; Published online: April 13, 2025

Abstract: Skipjack bones are known to be rich in minerals, especially calcium, which can be processed into hydroxyapatite and used as a dental restoration material. This study aimed to determine the characterization of hydroxyapatite from skipjack bones by calcination method for five hours and X-Ray Diffraction (XRD) analysis. This was an experimental and laboratory study using skipjack bone waste. Samples were calcined for five hours, and the results were analyzed using XRD to determine the crystal phase, crystalline structure, and material composition. The results of the analysis showed that the hydroxyapatite produced consisted of three main phases: whitlockite (73.0%) with a trigonal structure, hydroxyapatite (17.9%) with a hexagonal structure, and fluorapatite (8.2%) also with a hexagonal structure. The composition of the main elements included oxygen (40.4%), calcium (36.9%), and phosphorus (1.0%). The average crystal size was 211 nm, and the crystalline level reached 64.66%. In conclusion, skipjack fish bones can be a potential source of hydroxyapatite with a good level of crystallinity, and show great potential to be used as a biomaterial material. Further research is needed to improve the purity of hydroxyapatite and explore its potential applications in the medical and materials engineering fields.

Keywords: hydroxyapatite; skipjack bones; X-Ray Diffraction

Abstrak: Tulang ikan cakalang diketahui kaya akan mineral, terutama kalsium, yang dapat diolah menjadi hidroksiapatit dan dimanfaatkan sebagai material restorasi gigi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakterisasi hidroksiapatit dari tulang ikan cakalang dengan metode kalsinasi selama lima jam dan analisis *X-Ray Diffraction* (XRD). Penelitian ini dilakukan secara eksperimental laboratorium dengan menggunakan limbah tulang ikan cakalang. Sampel dikalsinasi selama lima jam, dan hasilnya dianalisis menggunakan XRD untuk menentukan fase kristal, struktur kristalin, serta komposisi material. Hasil analisis menunjukkan bahwa hidroksiapatit yang dihasilkan terdiri dari tiga fase utama: *whitlockite* (73,0%) dengan struktur trigonal, hidroksiapatit (17,9%) dengan struktur heksagonal, dan fluorapatit (8,2%) juga dengan struktur heksagonal. Komposisi elemen utama meliputi oksigen (40,4%), kalsium (36,9%), dan fosfor (1,0%). Rerata ukuran kristal ialah 211 nm, dan tingkat kristalinitas mencapai 64,66%. Simpulan penelitian ini ialah tulang ikan cakalang dapat menjadi sumber potensial hidroksiapatit dengan tingkat kristalinitas yang baik, dan menunjukkan potensi besar untuk digunakan sebagai bahan biomaterial. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kemurnian hidroksiapatit dan mengeksplorasi potensi aplikasinya di bidang medis dan material rekayasa.

Kata kunci: hidroksiapatit; tulang ikan cakalang; *X-Ray-Diffraction*

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki kekayaan sumber daya laut yang melimpah, termasuk berbagai jenis ikan yang tersebar di hampir seluruh perairan. Sebagai komoditas bernilai tinggi, ikan banyak dimanfaatkan dagingnya sebagai sumber pangan, namun limbah tulangnya sering tidak dimanfaatkan sehingga berpotensi mencemari lingkungan.

Telah diketahui bahwa tulang ikan umumnya kaya akan mineral, terutama kalsium, yang dapat diolah menjadi hidroksiapatit (HA) yang memiliki banyak aplikasi, salah satunya dalam bidang biomedis sebagai material restorasi gigi.² Penelitian-penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk memanfaatkan HA pada berbagai jenis ikan. Salah satu penelitian yang relevan ialah oleh Akbar et al³ mengenai sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit tulang ikan baung (*Hemibagrus nemurus sp.*) sebagai kandidat implan tulang. Penelitian ini menggunakan metode sol-gel untuk menyintesis hidroksiapatit dari tulang ikan baung. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa proses sintesis menghasilkan hidroksiapatit dalam fasa nano dengan tingkat kristalinitas yang tinggi, serta menunjukkan kemampuan untuk mengatur komposisi hidroksiapatit sesuai kebutuhan aplikasi medis. Selain itu, hidroksiapatit yang dihasilkan juga menunjukkan sifat kimia dan fisik yang sesuai dengan persyaratan biomaterial, seperti adanya gugus fungsi (PO_4^{3-}) dan (CO_3^{2-}) serta fasa hidroksiapatit yang dominan. Demikian pula penelitian oleh Wini et al⁴ mengenai pemanfaatan limbah tulang ikan tuna (*Thunnus sp.*) sebagai sumber kalsium dengan metode hidrolisis protein, penelitian Mangkuasih et al⁵ mengenai sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan sapu-sapu (*Hypostomus plecostomus*) dengan metode presipitasi, dan penelitian Riyanto et al⁶ mengenai material biokramik dari tulang ikan tuna. Penelitian tulang ikan tuna yang telah dilakukan, antara lain oleh Venkatesan dan Kim² yang mempelajari pengaruh suhu isolasi terhadap karakterisasi hidroksiapatit dari tulang ikan tuna (*Thunnus obesus*), serta Pallela et al⁷ yang mempelajari isolasi hidroksiapatit dari tulang ikan tuna (*Thunnus obesus*) dengan bantuan polimer. Hasil penelitian tersebut telah memperlihatkan bahwa kandungan mineral apatit dan fosfor pada tulang ikan tuna cukup baik bahkan kandungannya lebih tinggi dibandingkan dari *catfish*.

Salah satu jenis ikan yang banyak ditemukan di perairan Indonesia, baik di perairan barat (Sumatera, Jawa, Bali) hingga perairan timur (Maluku, Sulawesi, Nusa Tenggara) ialah ikan cakalang. Ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) termasuk jenis ikan pelagis yang memiliki nilai ekonomis penting.⁸ Tulang ikan cakalang memiliki beberapa kandungan di antaranya ialah kandungan kalsium tinggi yang dapat menghasilkan hidroksiapatit sekitar 60-70% yaitu bahan yang sering digunakan untuk proses remineralisasi gigi.¹ Tulang ikan cakalang juga mengandung kolagen, yaitu protein struktural yang penting untuk integritas struktural tulang. Kombinasi mineral dan kolagen menjadikan tulang ikan cakalang sebagai bahan potensial untuk dijadikan biomaterial karena kemiripannya dengan komposisi tulang alami manusia serta kemampuannya untuk mendukung regenerasi jaringan tulang.⁹

Terdapat beberapa metode yang diunggulkan terkait pemanfaatan HA. Metode presipitasi ialah salah satu teknik yang umum digunakan dalam sintesis hidroksiapatit (HA) dari tulang ikan. Proses ini melibatkan pengendapan larutan kimia untuk menghasilkan padatan yang mengendap, dalam hal ini HA.¹⁰ Kalsinasi adalah proses termal yang melibatkan pemanasan sampel, biasanya dalam tungku atau oven. Tujuan utama kalsinasi dalam sintesis HA ialah untuk menghilangkan air dan senyawa volatil lainnya, serta untuk perubahan struktur kristal HA menuju bentuk yang lebih stabil dan terorganisir.^{11,12} Proses kalsinasi sangat penting dalam meningkatkan kualitas HA sebagai biomaterial untuk aplikasi medis. Kristalinitas yang lebih tinggi meningkatkan kekuatan mekanik dan stabilitas kimia HA, sementara pengurangan kontaminan dan senyawa volatil meningkatkan biokompatibilitasnya. Oleh karena itu, pengaturan parameter kalsinasi dengan cermat sangat diperlukan untuk memastikan bahwa HA yang dihasilkan memenuhi standar kualitas yang diperlukan untuk aplikasi medis.¹³ Selain itu terdapat metode *X-Ray Diffraction* (XRD) yaitu teknik analisis yang sangat penting dalam karakterisasi hidroksiapatit dari tulang ikan cakalang setelah proses kalsinasi 5 jam dengan metode presipitasi. *X-Ray Diffraction*

digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis struktur kristal hidroksiapatit yang dihasilkan, termasuk tingkat kristalinitas, komposisi fase, dan parameter kisi kristal. Melalui pola difraksi yang dihasilkan, informasi tentang struktur kristal dan orientasi atom dalam hidroksiapatit dapat diperoleh.¹³

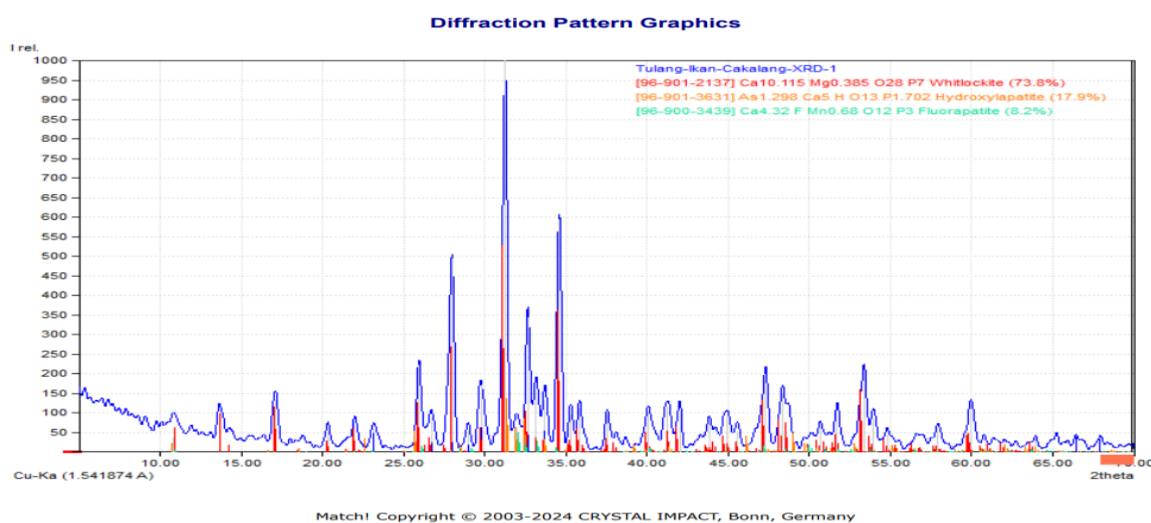
Berdasarkan hal-hal yang telah dikemukakan maka peneliti tertarik untuk mengetahui karakteristik hidroksiapatit dari tulang ikan cakalang setelah proses kalsinasi selama 5 jam dengan menggunakan metode presipitasi melalui analisis XRD.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan serbuk tulang ikan cakalang yang dianalisis menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal dari sampel serta karakteristik hidroksiapatit yang di hasilkan dari tulang ikan cakalang dengan desain penelitian eksperimental laboratorium. Peneliti mengontrol variabel independen, yaitu kondisi kalsinasi selama 5 jam, untuk memahami pengaruhnya terhadap karakteristik hidroksiapatit dari tulang ikan cakalang.

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan proses kalsinasi pada suhu tertentu selama 5 jam, menghasilkan struktur kristalin yang menunjukkan dominasi *Whitlockite*. Hal ini mengindikasikan bahwa tulang ikan cakalang kaya akan fosfat kalsium yang berperan penting dalam kekuatan mekanik material. Kehadiran hidroksiapatit dan fluorapatit menambah sifat mekanik dan resistensi terhadap degradasi, terutama dengan adanya fluor yang dikenal memperkuat struktur kristalin.



Gambar 1. Hasil analisis sampel

Gambar 1 memperlihatkan hasil analisis komposisi sampel yang menunjukkan bahwa fase kristalin utama yang teridentifikasi adalah *whitlockite* (73,%), HA (17,9%), dan fluorapatit (0,2%), dengan 12,3% area puncak tidak teridentifikasi. *Whitlockite* memiliki formula $\text{Ca}_{10.115}\text{Mg}_{0.35}\text{O}_{28}\text{P}_7$, sementara HA memiliki komposisi $\text{As}_{1.29}\text{Ca}_5\text{H}\text{O}_{13}\text{P}_{1.702}$, dan fluorapatit mengandung $\text{Ca}_{4.32}\text{F}\text{Mn}_{0.68}\text{O}_{12}\text{P}_3$. Dari segi elemen, sampel didominasi oleh oksigen (40,4%), kalsium (36,9%), dan fosfor (1,0%), dengan elemen minor seperti arsenik (3,1%), magnesium (0,6%), mangan (0,6%), dan fluor (0,3%). Hal ini menandakan bahwa proses kalsinasi selama lima jam berhasil membentuk fase kristalin, meskipun masih terdapat dominasi *whitlockite* dibandingkan HA. Interpretasi ini menunjukkan potensi penggunaan tulang ikan cakalang sebagai sumber material biomineral, namun perlu adanya optimasi proses untuk meningkatkan proporsi HA yang lebih murni, terutama untuk aplikasi di bidang biomedis.

Tabel 2. Hasil perolehan nilai hkl

No	2 θ (°)	d Sapcing (Å)	Nilai hkl		
			Whitlockite	Hydroxylapatite	Fluorapatite
1	10,2	0,1769	012	010	010
2	13,67	6,4779	014	-	-
3	17,1	5,155	110	-	011
4	20,34	4,3662	022	-	-
5	22	4,0404	024	-	020
6	23,17	3,39	-	-	111
7	24,34	3,657	-	-	-
8	24,34	3,657	-	-	-
9	25,96	3,4323	027	002	002
10	26,71	3,3376	122	-	-
11	27,9	3,19	124	012	-
12	2,9	3,011	125	-	120
13	29,76	3,0021	030	-	-
14	31,25	2,623	034	121	-
15	31,97	2,7995	-	112	121
16	32,67	2,7411	12	030	112
17	33,17	2,7009	036	-	030
18	33,71	2,659	129	022	-
19	34,59	2,5932	221	-	031
20	35,3	2,5427	223	031	-
21	35,4	2,5056	224	-	031
22	37,55	2,3953	226	220	-
23	40,0	2,249	041	221	130
24	41,27	2,176	044	131	013
25	42,01	2,150	045	032	131
26	43,4	2,0651	230	040	-
27	44,91	2,014	234	023	-
28	45,56	1,9911	235	041	023
29	47,31	1,9214	144	132	222
30	4,36	1,21	23	230	132
31	50,6	1,013	050	-	231
32	51,72	1,7675	054	033	140
33	53,37	1,7167	333	-	141
34	53,96	1,6993	241	014	004
35	54,0	1,6752	244	232	014
36	57,93	1,5919	154	330	133
37	59,96	1,542	157	043	-
38	63,92	1,4564	066	151	150
39	66,44	1,4072	-	224	-
40	66,44	1,4072	-	224	-
41	67,92	1,301	-	060	224

Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa sampel tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) memiliki tiga fase kristalin utama, yaitu *whitlockite*, hidroksiapatit, dan fluorapatit. Puncak intensitas tertinggi terlihat pada posisi 2 θ 31,25° yang mendominasi *whitlockite* dalam struktur kristal. Hidroksiapatit dengan puncak pada posisi 2 θ seperti 32,67° dan 33,71°. Intensitas relatifnya lebih rendah dibandingkan *whitlockite*, dengan nilai I/I₀ tertinggi sebesar 343,23 pada posisi 32,67°. Fluorapatit yang merupakan fase kristalin ketiga, menunjukkan puncak pada posisi 2 θ seperti 26,71° dan 53,37°

BAHASAN

Hasil analisis XRD pada sampel tulang ikan cakalang mendapatkan tiga fase kristalin utama, yaitu *whitlockite*, hidroksiapatit, dan fluorapatit, didominasi oleh *whitlockite* sebesar 73,% yang memiliki kandungan fosfat kalsium yang tinggi. *Whitlockite* merupakan mineral fosfat kalsium yang umum ditemukan dalam jaringan keras seperti tulang dan gigi, dan memiliki struktur triagonal dengan parameter kisi $a=10,4010 \text{ \AA}$ dan $c=37,3160 \text{ \AA}$. Hidroksiapatit didapatkan sebesar 17,9%. Hidroksiapatit ialah biomineral utama dalam tulang manusia, yang memiliki struktur kristalin heksagonal dengan parameter kisi $a=9,5640 \text{ \AA}$ dan $c=6,9360 \text{ \AA}$, yang menjadikannya sebagai bahan utama dalam aplikasi biomedis, seperti implan tulang, bahan pengisi tulang, dan restorasi gigi.³ Fluorapatit sebesar 2% memiliki struktur heksagonal yang mirip dengan hidroksiapatit. Parameter kisi fluorapatit ialah $a=9,3429 \text{ \AA}$ dan $c=6,110 \text{ \AA}$. Fase ini sering digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan daya tahan tinggi terhadap lingkungan agresif, seperti pada implan gigi dan bahan pengisi tulang.¹⁴

Proses kalsinasi selama lima jam berhasil membentuk struktur kristalin, dengan dominasi *whitlockite* sebagai fase utama. Dominasi *whitlockite* ini menunjukkan bahwa parameter kalsinasi seperti suhu, waktu, dan lingkungan proses perlu dioptimalkan untuk meningkatkan pembentukan hidroksiapatit. Misalnya, peningkatan suhu kalsinasi atau penggunaan atmosfer gas *inert* dapat membantu meningkatkan kemurnian hidroksiapatit dan meminimalkan kontaminasi dari fase lain. Selain itu, penghilangan arsenik dari bahan mentah dapat meningkatkan kompatibilitas material untuk aplikasi biomedis.¹⁵

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tulang ikan cakalang merupakan salah satu bahan berkalsium tinggi yang dapat dimanfaatkan menjadi senyawa hidroksiapatit. Tepung tulang ikan cakalang mengandung kalsium tertinggi yaitu 39,24% dan fosfor 13,66%, sedangkan pada tulang ikan sapu-sapu (*Pterygoplichtys pardalis*) mengandung kalsium 21-25%, fosfor 10-11%,⁵ dan tulang ikan baung (*Hemibagrus nemurus* sp) memiliki komposisi kalsium sebesar 30,93%. Kandungan mineral yang tinggi pada tulang ikan cakalang menjadikannya bahan yang baik untuk mendukung regenerasi jaringan tulang.⁴

Salah satu aspek penting dari HA dalam aplikasi medis ialah kemampuannya untuk memberikan lingkungan yang cocok bagi regenerasi jaringan tulang yang hilang atau rusak. Dengan memfasilitasi fungsi daur jaringan yang digantikan, hidroksiapatit membantu dalam memulihkan struktur tulang dan memperbaiki kecacatan yang disebabkan oleh cedera, penyakit, atau prosedur bedah. HA telah menjadi produk biomaterial, keramik, dan enamel gigi, dalam dunia medis dapat menjadi bahan implant tulang, memperbaiki kerusakan tulang, bedah implant, dan bahan untuk pemulihan enamel.¹⁶ Berdasarkan hasil analisis XRD pada sampel tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*), ditemukan tiga fase kristalin utama, yaitu *whitlockite* (73,0%), hidroksiapatit (17,9%), dan fluorapatit (0,2%). *Whitlockite* mendominasi struktur kristalin dengan stabilitas yang tinggi, sedangkan hidroksiapatit dan fluorapatit hadir sebagai fase minor yang memberikan sifat bioaktif dan mekanik tambahan. Komposisi elemen dalam sampel didominasi oleh kalsium (36,9%), fosfor (1,0%), dan oksigen (40,4%), yang mendukung dominasi senyawa fosfat kalsium. Kehadiran arsenik, magnesium, dan mangan didapatkan dalam jumlah kecil.

Hidroksiapatit merupakan biomaterial yang penting dan berpotensi dalam aplikasi medis, terutama dalam regenerasi jaringan tulang. Dengan sifat fisikokimia yang unik dan kemampuannya untuk berinteraksi secara positif dengan jaringan hidup, hidroksiapatit menjadi pilihan yang menarik dalam bidang kedokteran regeneratif. Pemahaman yang mendalam tentang sifat dan peran hidroksiapatit adalah kunci untuk mengoptimalkan penggunaannya dalam aplikasi medis untuk kepentingan kesehatan manusia.¹⁶ Kandungan fosfat kalsium yang tinggi, stabilitas kristalin, dan keberadaan fase bioaktif seperti hidroksiapatit dan fluorapatit dalam tulang ikan cakalang menunjukkan potensi besar sebagai sumber biomineral untuk industri medis. Langkah-langkah ini akan membuka peluang baru dalam pengembangan material biomineral yang berkelanjutan, bernilai tinggi, dan dapat bersaing di pasar global.¹⁷

SIMPULAN

Tulang ikan cakalang memiliki potensi besar sebagai sumber biomineral, terutama untuk aplikasi dalam teknologi medis dan material. Hasil analisis XRD pada sampel tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) mendapatkan tiga fase kristalin utama yaitu *whitlockite* hidroksiapatit, dan fluorapatit, yang didominasi oleh *whitlockite*.

Disarankan untuk penelitian lanjut untuk meningkatkan proporsi hidroksiapatit dan mengurangi kontaminan seperti arsenik. Dengan langkah-langkah tersebut, material ini dapat memenuhi standar yang dibutuhkan dalam aplikasi biomedis dan industri secara berkelanjutan.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan dalam studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Syam S, Asmah N, Lestari NAL. Efektivitas antibakteri ekstrak tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) terhadap *Streptococcus mutans* dan *Porphyromonas gingivalis*. *Ejournal Unsrat*. 2023;11(2):306. Doi: <https://doi.org/10.35790/eg.v11i2.46942>
2. Venkatesan J, Kim S-K. Hydroxyapatite from marine fish bone: isolation and characterization techniques. *Marine Biomaterials: Characterization, Isolation and Applications*. 2013:17-25. Doi: 10.1201/b14723-4. Available from: https://www.researchgate.net/publication/300770685_Hydroxyapatite_from_Marine_Fish_Bone
3. Akbar AF, Qurrota F, Nugroho AB, Cahyaningrum SE. Sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit tulang ikan baung (*Hemibagrus nemurus* sp.) sebagai kandidat implan tulang, *J Kimia Riset*. 2021;6(2):93. Doi: 10.20473/jkr.v6i2.30695
4. Wini T, Salamah E, Nabil M. Pemanfaatan limbah tulang ikan tuna (*Thunnus* sp.) sebagai sumber kalsium dengan metode hidrolisis protein. *Buletin Teknologi Hasil Perikanan*. 2006;9(2):34-43. Doi: <https://doi.org/10.17844/jphpi.v9i2.983>
5. Mangkuasih SM, Rohmawati L. Sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan sapu-sapu (*Hypostomus plecostomus*) dengan metode presipitasi. *J Teori Apl Fis*. 2021;9(2):229. Available from: <https://jtaf.fmipa.unila.ac.id/index.php/jtaf/article/view/366>
6. Riyanto B, Maddu A. Material biokeramik dari tulang ikan tuna material of hydroxyapatite-based bioceramics from tuna fishbone. *JPHPI*. 2013;16(2):120. Doi: <https://doi.org/10.17844/jphpi.v16i2.8046>
7. Pallela R, Venkatesan J, Kim S.K. 2011. Polymer assisted isolation of hydroxyapatite from *Thunnus obesus* bone. *J Ceramics International*. 2011;37(8):3489-97. Doi: 10.1016/j.ceramint.2011.06.004
8. Ashary, Sabella Z, Semedi B, Prayogo T. Prediksi distribusi ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*) menggunakan logika fuzzy berdasarkan musim di WPPNRI 573 [Tesis Sarjana]. Malang: Universitas Brawijaya; 2021. Available from: <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/188620/>
9. Ata STW, Yulianty R, Sami FJ, Ramli N. Isolasi kolagen dari kulit dan tulang ikan cakalang (*Katsuwonus pelamis*). *J Pharm Med Sci*. 2016;1(1):27-30. Available from: https://www.researchgate.net/publication/338554988_Isolasi_Kolagen_Dari_Kulit_Dan_Tulang_Ikan_Cakalang_Katsuwonus_pelamis
10. Talib A. Tuna dan cakalang (suatu tinjauan: pengelolaan potensi sumberdaya di perairan Indonesia). *Agrikan J Agribisnis Perikanan*. 2017;10(10):3. Doi:10.29239/j.agrikan.10.1.38-50
11. Haryanti NH, Wardhana H. Potensi serat alam sebagai material komposit. Banjarmasin: Lambung Mangkurat University Press; 2016. p. 35.
12. Hadiwinata B, Dewi FR, Fransiska D, Dharmayanti N. Optimasi waktu dan suhu kalsinasi tepung cangkang rajungan (*Portunus* sp.) sebagai bahan baku hidroksiapatit. *J Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 2021;16(2):121. Doi:10.15578/jpbkp.v16i2.731
13. Mozartha M, Praziandithe, M, Sulistiawati S. Pengaruh penambahan hidroksiapatit dari cangkang telur terhadap kekuatan tekan glass ionomer cement. *B-DeNT*. 2015;2(1):75-81. Doi:10.33854/JBDjbd.42
14. Wardiana AE, Cahyaningrum SE. Pemanfaatan batu kapur sebagai bahan baku hidroksiapatit. *UNESA J Chem*. 2019;8(2):62-5. Doi: <https://doi.org/10.26740/ujc.v8n2.p%25p>
15. Asmeati A. Karakterisasi dan optimasi penggunaan cangkang telur (Egg Shell) sebagai penguat dalam pembuatan gigi tiruan (Artificial Teeth) [Skripsi]. Makassar: Universitas Hasanuddin; 2021.
16. Asril M, Lestari W, Sanjaya BMF, Firgiyanto R, Sudewi BMSS, Paulina MKSM, et al. Mikroorganisme pelarut fosfat pada pertanian berkelanjutan. Medan: Yayasan Kita Menulis; 2023. p. 31.
17. Mozartha M. Hidroksiapatit dan aplikasinya di bidang Kedokteran Gigi. *Cakradonya Dent J*. 2015;7(2):807-68. Available from: https://www.academia.edu/81805538/Hidroksiapatit_dan_Aplikasinya_di_Bidang_Kedokteran_Gigi