

Ekstraksi dan Karakterisasi Hidroksiapatit (HAp) dari Tulang Ikan Tenggiri (*Scomberomorus commersoni*) dengan Metode *Heat Treatment*

Rodearni Ananda Putri Purba, Frastica Deswardani, Rista Mutia Anggraini, Yoza Fendriani, Tika Restianingsih*

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, 36361, Indonesia

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 10 Desember 2023

Direvisi: 15 Januari 2024

Diterima: 2 Februari 2024

Kata kunci:

FTIR

Hidroksiapatit

Perlakuan Panas

XRD

Keywords:

FTIR

Hydroxyapatite

Heat Treatment

XRD

Penulis Korespondensi:

Tika Restianingsih

Email: tika.restianingsih@unja.ac.id

ABSTRAK

Telah dilakukan ekstraksi hidroksiapatit (HAp) dari tulang ikan tenggiri (*Scomberomorus commersoni*) menggunakan metode *heat treatment*. Penelitian bertujuan melihat pengaruh suhu yang diberikan kepada sampel terhadap ukuran kristal dan derajat kristalinitas. *Heat treatment* dilakukan pada suhu 400 °C, 600 °C dan 800 °C masing-masing selama 3 jam terhadap sampel yang telah di preparasi. Hasil analisis XRD menunjukkan adanya puncak yang terbentuk pada sudut 2θ 25,95°; 31,88°; 39,62°; 44,41°; 46,70°; 49,40° untuk suhu 400 °C, 31,78°; 32,80°; 34,61° pada suhu 600 °C dan 31,76°; 32,21°; 32,94°; 34,07° pada suhu 800 °C yang disesuaikan dengan referensi JCPDS 090432. Pada suhu 400 °C, 600 °C dan 800 °C diperoleh ukuran kristal berturut-turut 12,05 nm, 14,18 nm dan 42,55 nm dan derajat kristalinitas bernilai 41,91%, 76,38% dan 87,29%. Spektrum FTIR menunjukkan bahwa, semakin tinggi suhu maka lembah yang terbentuk semakin tajam dan adanya gugus fungsi OH⁻, CO₃²⁻ dan PO₄³⁻ yang merupakan karakteristik dari gugus fungsi HAp, selain itu muncul pula gugus H₂O. Karakterisasi SEM menunjukkan morfologi berbentuk *bulk*.

Hydroxyapatite (HAp) extraction has been carried out from mackerel (Scomberomorus commersoni) bones using the heat treatment method. The research aims to see the effect of temperature given to the sample on crystal size and degree of crystallinity. Heat treatment was carried out at temperatures of 400 °C, 600 °C and 800 °C for 3 hours each on the prepared samples. The results of XRD analysis show that there is a peak formed at an angle of 2θ 25,95°; 31,88°; 39,62°; 44,41°; 46,70°; 49,40 for 400°C, 31,78°; 32,80°; 34,61° at 600 °C and 31,76°; 32,21°; 32,94°; 34,07° of 800 °C which is adjusted to the reference JCPDS 090432. At temperatures of 400 °C, 600 °C and 800 °C the crystal sizes are 12.05 nm, 14.18 nm and 42.55 nm respectively and the degree of crystallinity is 41.91%, 76 .38% and 87.29%. The FTIR spectrum shows that the higher the temperature, the sharper the valley formed and the presence of OH⁻, CO₃²⁻ and PO₄³⁻ functional groups which are characteristics of the HAp functional group, apart from that the H₂O group also appears. SEM characterization shows a bulk morphology.

Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Hidroksiapatit (HAp) merupakan biomaterial kalsium fosfat dengan komposisi kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang memiliki struktur heksagonal, identik dengan fase mineral tulang dan jaringan keras manusia (Khamkongkao et al., 2023). HAp adalah salah satu bio keramik yang memiliki sifat biokompatibel, *biodegradable* dan tidak beracun (Siswoyo et al., 2020). HAp dapat diekstraksi dari berbagai tulang seperti tulang sapi (Asaduzzaman, 2017), kakap putih (Pal et al., 2017) dan tulang ikan tenggiri (Anggresani et al., 2019).

Tulang ikan tenggiri (*Scomberomorus commersoni*) dapat digunakan sebagai sumber biogenik dalam ekstraksi HAp karena memiliki kandungan fosfor sebesar 3,45 % (Amalina, 2019) dan kalsium sebesar 15,11% (Muryati et al., 2020). Ekstraksi HAp dari tulang dapat menggunakan metode *heat treatment* yaitu mengubah struktur logam melalui proses memanaskan sampel menggunakan temperatur rekristalisasi selama periode waktu tertentu yang kemudian didinginkan pada media pendingin (Saktisahdan et al., 2019). (Pal et al., 2017) melakukan metode *heat treatment* untuk ekstraksi HAp dari tulang *Lates calcafier* dengan perlakuan suhu 600°C-1000°C dan juga oleh (Sunil & Jagannatham, 2016) pada tulang ikan *Sheelavati*.

Heat treatment dapat menyebabkan pertumbuhan butir dan densifikasi yang meningkatkan kristalinitas HAp untuk mendapatkan kekuatan mekanik yang tinggi (Sunil & Jagannatham, 2016). Dengan metode yang sama dilakukan oleh (Indrani et al., 2017) dihasilkan kristalinitas HAp sebesar 65% pada suhu 900°C dan terbukti memiliki struktur kristal heksagonal. (Asaduzzaman, 2017) juga berhasil melakukan ekstraksi HAp dari tulang kortikal sapi dan manusia pada suhu 950 °C-1250 °C menghasilkan derajat kristalinitas sebesar 98,51%-98,92%.

II. METODE

Alat dan bahan yang digunakan yaitu pinset kimia, kuas, blender, mortar, neraca analitik, *furnace*, oven, *mesh*, tulang ikan tenggiri, air, aquades dan aseton. Ekstraksi dilakukan dimulai dengan preparasi tulang ikan meliputi, pembersihan tulang ikan dari daging-daging yang melekat pada tulang, kemudian direbus pada air mendidih selama 1 jam. Selanjutnya dibersihkan secara berulang menggunakan air dan terakhir dibilas menggunakan aquades. Tulang ikan yang telah bersih direndam dengan aseton 50% selama 24 jam guna menghilangkan lemak yang masih menempel pada tulang, sehingga warna tulang ikan akan menjadi warna putih.

Tulang ikan ditiriskan untuk mengurangi kadar air dan dijemur selama 4 hari lalu dihaluskan menggunakan *blender* dan *mortar*. Selanjutnya disaring menggunakan ayakan untuk menghasilkan serbuk tulang ikan dengan ukuran yang sama. Tulang ikan yang telah halus kemudian diberikan perlakuan suhu dengan variasi 400 °C, 600 °C dan 800 °C masing-masing selama 3 jam menggunakan *furnace*. Sampel yang diperoleh dilakukan uji karakterisasi menggunakan XRD, FTIR dan SEM.

2.1 Karakterisasi Menggunakan Uji XRD

Karakterisasi menggunakan XRD terhadap sampel dilakukan untuk mengidentifikasi fasa yang muncul dengan cara membandingkan pola difraksi HAp dengan data standar setiap material *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) nomor 090432. Selain itu data yang diperoleh dari XRD digunakan untuk mengetahui ukuran kristal dengan menggunakan persamaan *Scherrer* yang akan menunjukkan hubungan antara ukuran kristal dengan lebar setengah puncak difraksi (Yusuf et al., 2021). Persamaan untuk menghitung ukuran kristal ditunjukkan pada persamaan 1.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

dengan D merupakan ukuran kristalit dalam satuan nm, β menandakan *Full Width at Half Maximum* (FWHM) puncak difraksi dalam radian. λ sebagai panjang gelombang dari sinar X dari radiasi Cu $K\alpha$ bernilai 0,154 nm, serta K adalah konstanta *Scherrer* yang bernilai 0,94. Sedangkan untuk menentukan derajat kristalinitas dapat menggunakan persamaan 2 (Yusuf et al., 2021).

$$X_c = \frac{\text{Fraksi Luas Kristal}}{\text{Fraksi Luas Kristal} + \text{Fraksi Luas Amorf}} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan X_c menunjukkan persentase derajat kristalinitas. Untuk mengetahui hasil Fraksi Luas Kristal dan Fraksi Luas amorf digunakan pendekatan luas segitiga yang digunakan (Purnama & Langenati, 2006), dimana FWHM sebagai hasil kali setengah luas alas dan sebagai tingginya digunakan data *height*. Dalam perhitungan yang dilakukan data yang digunakan adalah pada jangkauan 2θ sebesar 31° , karena pembentukan kristal HAp paling dominan hanya terjadi pada jangkauan tersebut.

Untuk mengetahui nilai parameter kisi heksagonal dari HAp dapat dihitung menggunakan Persamaan 3 (Suryanarayana & Norton, 1999).

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \times \frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} \quad (3)$$

dengan d menunjukkan jarak kisi (\AA), a dan c merupakan nilai parameter kisi, sedangkan hkl adalah indeks *Miller* atau nomor puncak dari sampel. Dimana pada HAp memiliki bentuk heksagonal dengan parameter kisi bernilai $a=b \neq c$ sedangkan $\alpha=\beta=90^\circ$ dan $\gamma=120^\circ$.

2.2 Karakterisasi Menggunakan Uji FTIR

Hasil kristal HAp yang diperoleh dianalisa menggunakan FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi, tipe ikatan, komposisi kimia dan vibrasi dari ikatan molekul dalam senyawa dengan memanfaatkan inframerah. Vibrasi molekul digolongkan menjadi dua, yaitu berupa regangan (*stretching*) dan tekukan atau bending (Yusuf et al., 2021). Dengan menggunakan uji FTIR akan dapat dilihat gugus fungsi dari hidroksil, karbonat, posfat dan H_2O dengan membandingkan bilangan gelombang dari peneliti sebelumnya.

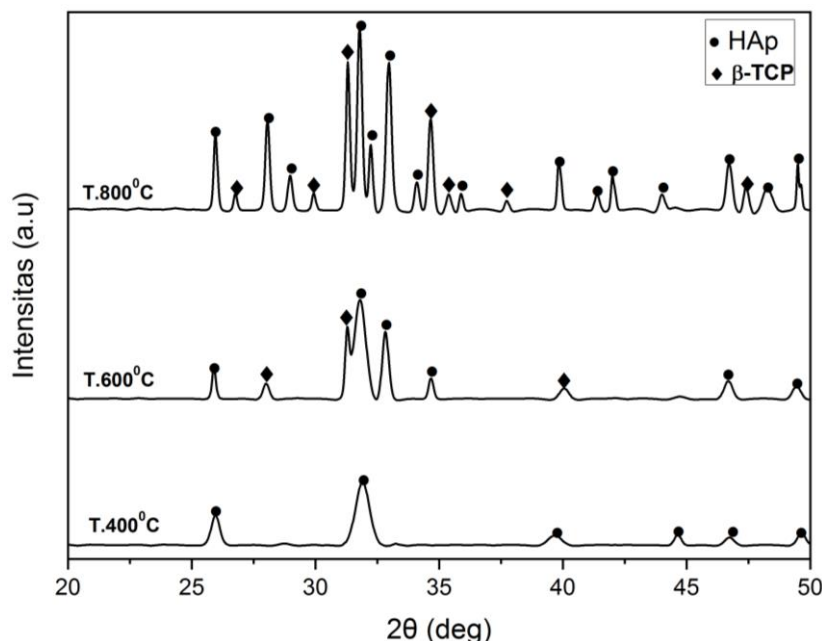
2.3 Karakterisasi Menggunakan Uji SEM

Karakterisasi menggunakan SEM diterapkan pada sampel hasil *heat treatment* suhu 800°C . Hasil SEM akan menunjukkan morfologi, ukuran dan bentuk pori pada sampel. Morfologi merupakan bentuk atau keadaan dari permukaan suatu material (Yusuf et al., 2021).

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi Menggunakan XRD

Hasil uji karakterisasi XRD ditunjukkan Pada Gambar 1. Pola difraktogram pada suhu 400°C , 600°C dan 800°C akan memberikan informasi mengenai fasa kristal yang terbentuk. Fasa kristal yang diperoleh disesuaikan dengan data *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) 090432 yang merupakan kode data HAp.



Gambar 1 Pola difraktogram XRD dengan *Heat Treatment* 400°C , 600°C dan 800°C

Gambar 1 menunjukkan hasil analisa puncak-puncak HAp pada suhu 400°C yaitu pada 2θ 25,95°; 31,88°; 39,62°; 44,41°; 46,70°; 49,40°, yang berturut-turut mempunyai puncak difraksi *hkl* (002), (211), (310) (400), (222) dan (213). Nilai intensitas paling tinggi terdapat pada posisi 2θ = 31,88° dengan puncak *hkl* (211). HAp pada suhu 400 °C cenderung berstruktur amorf, artinya sampel masih ada pengotor dan belum menunjukkan HAp murni sama seperti yang dilakukan oleh (Negara et al., 2018)

Pada suhu 600 °C terlihat puncak-puncak pada posisi 2θ 31,78°; 32,80° dan 34,61° dengan nilai *hkl* berturut-turut (211), (300), dan (202) yang merupakan posisi dari puncak HAp. Pola difaktogram dari sampel *heat treatment* suhu 600 °C menunjukkan puncak yang semakin tajam. Hal ini menandakan struktur hidroksiapatit cenderung bersifat kristal. Pada posisi 28,00°; 31,28° dan 40,17° dengan nilai *hkl* berturut-turut (125), (0210) dan (042) adalah fasa lain yaitu β-*Tricalcium Phosphate* (β-TCP) yang disesuaikan dengan kode data JCPDS 09-0169. β-TCP adalah salah satu pengganti cangkok tulang yang paling ampuh karena sifat biokompatibilitas, osteokonduktif, dan osteoinduktifnya. senyawa β-TCP yang terbentuk banyak digunakan sebagai bahan material pengganti tulang, sehingga ditemukannya senyawa tersebut tidak akan berdampak buruk (Bohner et al., 2020)

Hasil *heat treatment* suhu 800 °C ciri khas puncak HAp dari terlihat pada posisi 2θ 31,76°; 32,21°; 32,94° dan 34,07° dengan nilai *hkl* berturut-turut (211), (112), (300), dan (202). Fasa β-TCP berada pada 2θ 26,78°; 29,91°; 31,29°; 34,63°; 35,38°; 37,82°; 47,37° dengan nilai *hkl* berturut-turut (112), (300), (0210), (220), (2110), (315) dan (238). Pada saat dilakukan pemrosesan menggunakan suhu tinggi akan menyebabkan adanya dekomposisi atau transformasi HAp menjadi β-TCP, sehingga dari sampel terlihat bahwa pada suhu 600 °C dan 800 °C muncul senyawa β-TCP (Bohner et al., 2020).

Berdasarkan pola difaktogram XRD sampel dari suhu 400 °C, 600 °C dan 800 °C, kandungan HAp tertinggi berada pada suhu 800 °C. Menurut (Negara et al., 2018) semakin tinggi suhu maka puncak (*peak*) yang terbentuk akan semakin tajam dan memiliki pola yang teratur. Difaktogram yang melebar menunjukkan bentuk struktur HAp dengan kristalinitas amorf, seperti pada suhu 400 °C sedangkan pada suhu 600 °C dan 800 °C keadaan puncak semakin tajam artinya struktur HAp sudah berbentuk kristal. Pada Tabel 1 ditunjukkan ukuran kristal, derajat kristalinitas dan parameter kisi dari hasil uji karakterisasi menggunakan XRD.

Tabel 1 Nilai Ukuran Kristal, Derajat Kristalinitas dan Parameter Kisi Suhu 400 °C, 600 °C dan 800 °C.

Suhu (°C)	Ukuran Kristal (nm)	Derajat Kristalinitas	Parameter Kisi	
			<i>a=b</i>	<i>c</i>
400	12,05	41,91%	9,42	6,86
600	14,18	76,37%	9,45	6,88
800	42,55	87,28%	9,41	6,86

Dari Tabel 1 terlihat bahwa semakin tinggi suhu yang diberikan pada sampel, maka ukuran kristal juga semakin besar. Selain itu kenaikan suhu juga akan meningkatkan nilai derajat kristalinitas sampel. Seperti yang dinyatakan oleh (Sunil & Jagannatham, 2016) bahwa perlakuan *heat treatment* terhadap sampel hanya mengubah morfologi HAp serta ukuran kristal. Lebar puncak (*peak*) yang semakin sempit menunjukkan persentase kristalinitas meningkat, dan derajat kristalinitas mengidentifikasi sampel HAp memiliki kristalinitas yang tinggi (Hanura et al., 2018). Nilai parameter kisi *a* dan *c* tidak memiliki perubahan yang signifikan, karena *heat treatment* tidak mempengaruhi nilai parameter kisi dan volume unit sel dari sampel, sehingga ukurannya akan tetap stabil (Anggraini & Yusuf, 2023).

3.2 Karakterisasi Menggunakan FTIR

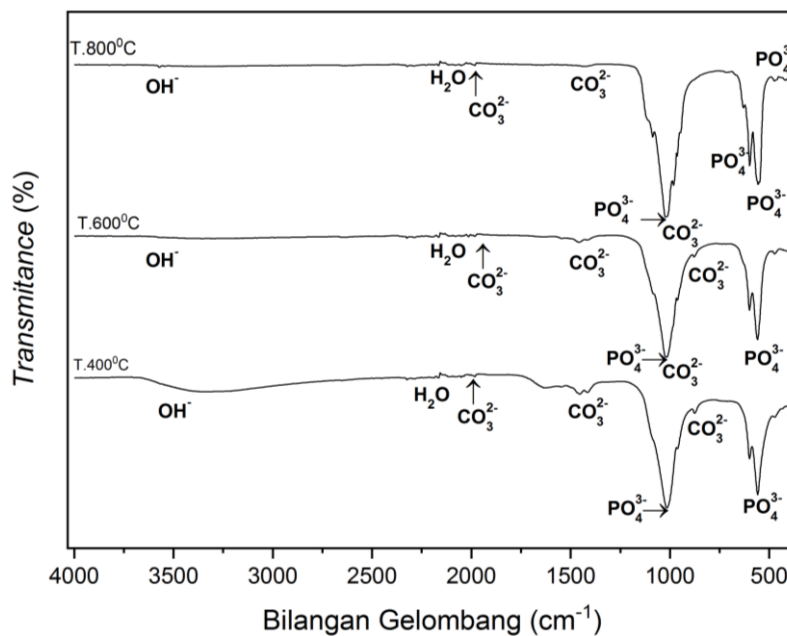
Analisa gugus fungsi dari sampel dilakukan menggunakan FTIR dengan bilangan gelombang dari 4000 cm⁻¹-500 cm⁻¹. Gugus fungsi OH⁻, CO₃²⁻ dan PO₄³⁻ merupakan karakteristik dari gugus fungsi HAp (Cahyanto et al., 2017). Tabel 2 menunjukkan gugus fungsi dan bilangan gelombang yang muncul dari sampel pada suhu 400 °C, 600 °C dan 800 °C.

Tabel 2 Pita Serapan Hasil FTIR dengan *Heat Treatment* Suhu 400 °C, 600 °C dan 800 °C.

No	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Referensi
----	--	-----------

	Gugus Fungsi	Suhu (°C)	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Sumber
1.	H ₂ O	400	1990,09-2327,97	1630-3436 (Cahyanto et al., 2017) (Yanti & Gandi, 2020)
		600	1984,00-2320,36	
		800	1971,82-2165,12	
2.	OH ⁻	400	3404,04	3402-3639 (Angraini & Yusuf, 2023) (Pal et al., 2017)(Hanura et al., 2018)
		600	3558,59	
		800	3572,21	
3.	CO ₃ ²⁻	400	871,50; 1015,24; 1414,77-1454,34; 1632,42; 1990,09-2327,97	873-2360 (Supangat & Cahyaningrum, 2017)
		600	881,31; 1025,14; 1455,86; 1984,00	
		800	1025,14; 1087,54; 1421,62; 1917,82	
4.	PO ₄ ³⁻	400	558,64; 598,22; 877,5; 1015,24	471-1415
		600	471,13; 545,6; 602,02; 881,31; 1025,14	
		800	477,22; 551,79; 602,02; 1025,14; 1087,54	

Dari Tabel 2 pada suhu 400 °C gugus fungsi PO₄³⁻ dengan bilangan gelombang 1015,24 cm⁻¹ merupakan *stretching mode* (Hanura et al., 2018) dan *bending mode* muncul pada 558,64 cm⁻¹ (Pal et al., 2017). Pada suhu 600 °C dan 800 °C untuk gugus yang sama dengan bilangan gelombang 1025,14 cm⁻¹ merupakan *stretching mode*, sedangkan pada *bending mode* muncul pada 602,02 cm⁻¹. Pada suhu 800 °C gugus fungsi OH⁻ dengan bilangan gelombang merupakan *stretching mode* (Yanti & Gandi, 2020).



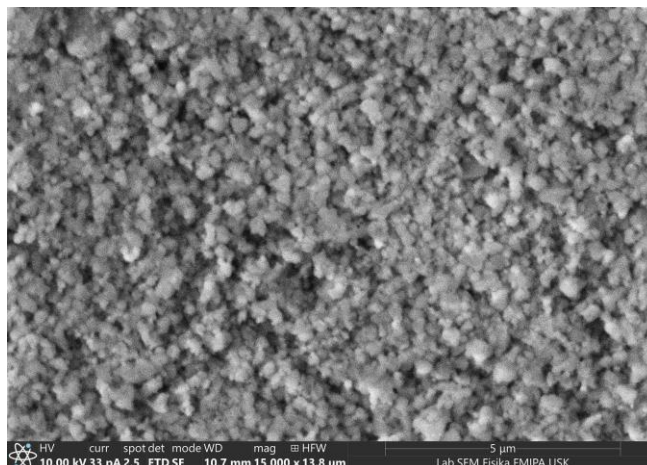
Gambar 2 Spektrum FTIR dengan Heat Treatment 400°C, 600°C dan 800°C

Pada Gambar 2 tampak bahwa lembah-lembah dari gugus fungsi yang terbentuk semakin tajam dengan kenaikan suhu yang diberikan kepada sampel. Gugus H₂O muncul karena sifat higroskopis yang dimiliki oleh CaO sangat reaktif terhadap gas H₂O yang berada di udara sehingga terbentuk Ca(OH)₂ (Supangat & Cahyaningrum, 2017). Menurut (Supangat & Cahyaningrum, 2017), CO₃²⁻ dikategorikan sebagai pengotor yang telah ada sebelum proses perlakuan panas atau pengotor yang ada pada bahan dasar hidroksiapatit. Namun, komposisi anorganik dari tulang manusia mengandung karbonat, jadi adanya fasa karbonat tidak membahayakan bagi tubuh manusia.

3.3 Karakterisasi Menggunakan SEM

Analisa morfologi dari HAp dilakukan menggunakan SEM dengan perbesaran 15000X. Pada penelitian ini dilakukan uji SEM pada sampel dengan perlakuan *heat treatment* suhu 800 °C. Hasil morfologi dari sampel dapat dilihat pada Gambar 3. Morfologi permukaan HAp dari tulang ikan tenggiri dengan *heat treatment* suhu 800 °C berbentuk bongkahan (*bulk*). Pada hasil uji SEM menunjukkan bahwa terbentuk pori-pori diantara 2 gumpalan. Penyebab dari terbentuknya pori-pori adalah karena

proses pemanasan yang belum optimal serta adanya kekosongan ruang efek pada proses kalsinasi sehingga terjadi regangan pada kisi kristal (Sifah, 2020).



Gambar 3 Citra SEM pada suhu 800 °C

IV. KESIMPULAN

Dari hasil ekstraksi dan karakterisasi HAp menggunakan tulang ikan tenggiri dengan metode *heat treatment*, diperoleh hasil bahwa semakin tinggi suhu yang diberikan terhadap sampel maka lebar difraktogram sampel akan semakin menyempit dan lancip, terlihat pada sudut 2θ 31° – 34° . Selain itu semakin tinggi suhu juga ukuran kristal dan derajat kristalinitas semakin besar, namun tidak mempengaruhi nilai parameter kisi. Melalui uji FTIR terlihat bahwa lembah-lembah dari gugus fungsi yang terbentuk akan semakin tajam dimana dengan kenaikan suhu yang diberikan kepada sampel menyebabkan adanya perbedaan bentuk transmitasi. Bentuk morfologi dari HAp dengan *heat treatment* suhu 800 °C adalah berbentuk bongkahan (*bulk*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak laboratorium Tugas Akhir Fakultas Sains dan Teknologi yang telah membantu menyediakan fasilitas dan bantuan teknis, dan kepada dosen pembimbing atas dukungan dana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalina, L. R. (2019). Analisis Kadar Kalsium (Ca) Dan Fosfor (P) Tepung Tulang Ikan Tenggiri (*Scomberomorus comerson*) dan Ikan Gurami (*Osphronemus gouramy*) di Kabupaten Jember. In *Digital Repository Universitas Jember*.
- Angraini, R. M., & Yusuf, Y. (2023). Karakterisasi Natural Hidroksiapatit Dari Tulang Ikan Lele (*Calarias batracus*). *Journal Online of Physics*, 8(2), 103–107.
- Anggresani, L., Perawati, S., & Juni Rahayu, I. (2019). Limbah Tulang Ikan Tenggiri (*Scomberomorus guttatus*) Sebagai Sumber Kalsium Pada Pembuatan Hidroksiapatit. *Jurnal Katalisator*, 4(2), 133. <https://doi.org/10.22216/jk.v4i2.4356>
- Asaduzzaman, S. M. (2017). Extraction of Hydroxyapatite from Bovine and Human Cortical Bone by Thermal Decomposition and Effect of Gamma Radiation: A Comparative Study. *International Journal of Complementary & Alternative Medicine*, 8(3).
- Bohner, M., Santoni, B. L. G., & Döbelin, N. (2020). β -tricalcium phosphate for bone substitution: Synthesis and properties. *Acta Biomaterialia*, 113, 23–41.
- Cahyanto, A.; Kosasih, E.; Aripin, D.; Hasratiningsih, Z. (2017). Fabrication of hydroxyapatite from fish bones waste using reflux method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1–5.
- Hanura, A. B., 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. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i2.19296>

Rodearni Ananda Putri Purba dkk: Ekstraksi dan Karakterisasi Hidroksiapatit (HAp) dari Tulang Ikan tenggiri (*Scomberomorus commersoni*) dengan Metode *Heat Treatment*

- Indrani, D. J., Soegijono, B., Adi, W. A., & Trout, N. (2017). Phase composition and crystallinity of hydroxyapatite with various heat treatment temperatures. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 9(Special Issue 2), 87–91. <https://doi.org/10.22159/ijap.2017.v9s2.21>
- Khamkongkao, A., Jiamprasertboon, A., Jinakul, N., Srabua, P., Tantavisut, S., & Wongrakpanich, A. (2023). Antibiotic-loaded hydroxyapatite scaffolds fabricated from Nile tilapia bones for orthopaedics. *International Journal of Pharmaceutics: X*, 5(February), 100169.
- Muryati, Hariani, P. L., & Said, M. (2020). Analisis kadar kalsium limbah tulang ikan gabus (*Channa striata*) dan ikan tenggiri (*Scomberomorus lineolatus*). *Unbara Environment Engineering Journal*, 01(01), 21–27.
- Negara, I.M.S; Simpen, I. . (2018). Karakteristik Hidroksiapatit Hasil Ekstraksi Termal dari Tulang Limbah dan Aplikasinya Untuk Adsorpsi Ion Selektif Biru Metilen. *A (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry*, 6(2), 123–130.
- Pal, A., Paul, S., Choudhury, A. R., Balla, V. K., Das, M., & Sinha, A. (2017). Synthesis of hydroxyapatite from Lates calcarifer fish bone for biomedical applications. *Materials Letters*, 203, 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.05.103>
- Purnama, E. F., & Langenati, S. N. R. (2006). Dibuat Dengan Media Air Dan Cairan Tubuh Buatan (*Synthetic Body Fluid*) Preparasi Pelarut SBF 1 Liter Identifikasi Hidroksiapatit dengan XRD Identifikasi Hidroksiapatit dengan FTIR. *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science*, 154–159.
- Saktisahdan, T. J., Asahan, U., Yani, J. J. A., Fax, T. /, & Mesin, P. T. (2019). Pengaruh Proses Heat Treatment Terhadap Perubahan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah. *Jurnal Laminar*, 1(1), 28–33.
- Sifah, L. (2020). Analisis Kandungan dan Struktur Hidroksiapatit dari Cangkang Kerang Darah (*Anandara granosa*) dan Cangkang Telur Sebagai Bahan Gigi Tiruan. *Eprints.Walisongo.Ac.Id*.
- Siswoyo, S., Kumalasari, K., Wulan, S., & Afriani, F. (2020). Fabrikasi Perancah Berpori Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Tenggiri dengan Alginat Sebagai Binder Alami: Sebuah Kajian Naratif. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains (JPFS)*, 3(2), 35–42.
- Sunil, B. R., & Jagannatham, M. (2016). Producing hydroxyapatite from fish bones by heat treatment. *Materials Letters*, 185(September), 411–414. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.09.039>
- Supangat, D., & Cahyaningrum, S. E. (2017). Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite of Crabs Shell (*scylla serrata*) By Wet Application Method. *UNESA Journal of Chemistry*, 6(3), 143–149.
- Suryanarayana, C., & Norton, M. G. (1999). Book Review X-ray Diffraction : A Practical Approach. *New York*, 13–15.
- Yanti, P. H., & Gandi, Y. (2020). Pengaruh Waktu Kalsinasi Terhadap Sifat Fisika-Kimia Hidroksiapatit Dari Cangkang Geloina Coaxans. *Chemistry Progress*, 13(2), 102–106. <https://doi.org/10.35799/cp.13.2.2020.31473>
- Yusuf, Yusril; Almukarrama; Permatasari, H.A.; Januariyasa, I.K.; Muarif, M.F.; Mutia, A.R.; Wati, R. (2021). *Karbonat Hidroksiapatit Dari Bahan Alam: Pengertian Karakterisasi Dan Aplikasi*. gadjah Mada University Press.