

PENGARUH LAMA WAKTU PENGADUKAN PADA PROSES SINTESIS HIDROKSIAPATIT BERBAHAN DASAR TULANG IKAN BANDENG (*CHANOS-CHANOS*) DENGAN METODE PENGENDAPAN BASAH

Ilham Ubaidilah

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: ilham.21075@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfai

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Tulang ikan bandeng merupakan limbah yang banyak dihasilkan di Indonesia. Limbah tulang ikan bandeng banyak dimanfaatkan menjadi pakan ternak yang memiliki nilai ekonomis yang rendah, seharusnya pemanfaatan limbah tulang ikan bandeng dapat ditingkatkan lagi salah satunya sebagai bahan dasar dari biomaterial hidroksiapatit. Hidroksiapatit dengan rumus $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ merupakan material yang memiliki kesamaan struktur penyusunan tulang, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai solusi perbaikan kerusakan pada tulang baik ringan ataupun berat. Biomaterial hidroksiapatit memiliki sifat biokompatibilitas, bioaktivitas serta osteokonduktif yang cukup baik yang mana material tersebut dapat menyatu dengan baik dengan tulang penerima sehingga tidak perlu diangkat kembali dan tidak menimbulkan efek berbahaya seperti material logam. Dalam mendapatkan sintesis hidroksiapatit dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya yaitu metode pengendapan basah, metode kering, solgel, dan hidrotermal. Dalam memperoleh hidroksiapatit pada penelitian ini melalui proses kalsinasi dengan suhu 1000°C selama 6 jam, dan dilanjutkan metode pengendapan basah atau (presipitasi) dengan lama waktu pengadukan 75 menit, 100 menit, 125 menit. Hasil sintesis akan dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Untuk mengetahui nilai kemurnian hidroksiapatit dan morfologinya.

Kata Kunci: Tulang Ikan Bandeng, Hidroksiapatit, Kalsinasi, Presipitasi, Lama Waktu Pengadukan.

Abstract

Milkfish bone is a waste that is widely produced in Indonesia. Milkfish bone waste is widely used as animal feed which has low economic value, the utilization of milkfish bone waste should be increased again, one of which is as a basic material for hydroxyapatite biomaterial. Hydroxyapatite with the formula $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ is a material that has a similar bone structure, so it can be used as a solution to repair bone damage, both mild and severe. Hydroxyapatite biomaterial has good biocompatibility, bioactivity and osteoconductivity properties, where the material can blend well with the recipient bone so that it does not need to be removed again and does not cause harmful effects like metal materials. In obtaining hydroxyapatite synthesis can be done by several methods including wet precipitation method, dry method, sol gel, and hydrothermal. In obtaining hydroxyapatite in this study through the calcination process at a temperature of 1000°C for 6 hours, and continued with the wet precipitation method or (precipitation) with a stirring time of 75 minutes, 100 minutes, 125 minutes. The synthesis results will be characterized using *X-Ray Diffractometer* (XRD) and *Scanning Electron Microscope* (SEM). To determine the purity value of hydroxyapatite and its morphology.

Keywords: Milkfish Bone, Hydroxyapatite, Calcination, Precipitation, Stirring Time.

PENDAHULUAN

Tulang merupakan salah satu komponen untuk membentuk kerangka tubuh dan organ dalam manusia. Dalam tubuh manusia tulang memiliki peran yang sangat penting untuk memaksimalkan aktivitas di setiap hari. Kerusakan (faktur) dan kelainan pada tulang menimbulkan kecacatan struktur yang dapat mengakibatkan terganggunya fungsi tubuh. Dengan begitu tulang membutuhkan

perbaikan agar dapat mengembalikan fungsi tulang seperti semula. Salah satu bentuk usaha untuk memperbaiki kerusakan pada tulang yaitu menggunakan implementasi tulang (Afifah & Cahyaningrum, 2020) Biomaterial merupakan material sintesis yang bekerja dengan cara kontak langsung dengan jaringan hidup dan mampu untuk melakukan interaksi sistem biologis manusia (Park dkk., 2007). Hidroksiapatit adalah mineral keramik yang memiliki bentuk fisik bubuk berwarna putih, abu-abu, hijau, kuning, hidroksiapatit ini memiliki

rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (Yelten dan Yilmaz, 2016).

Diantara sekian banyak biomaterial, hidroksiapatit adalah yang paling sering digunakan untuk menangani kasus kerusakan tulang. Pada saat ini, penggunaan hidroksiapatit di Indonesia masih bergantung pada kegiatan impor, dimana berdampak pada harga yang melambung tinggi. Sintesis hidroksiapatit dari sumber alami dibutuhkan untuk menanggulangi permasalahan tersebut. Hal tersebut juga didukung dengan sumber daya kalsium alami yang berlimpah di Indonesia. Bahan baku dalam penggunaan hidroksiapatit alami harus memiliki kadar kalsium yang tinggi seperti terdapat pada tulang sapi, cangkang telur, dan cangkang kepiting (Supangat & cahyaningrum, 2017).

Jumlah duri ikan bandeng yang selama ini lebih banyak tidak dimanfaatkan dan hanya menjadi limbah. Limbah duri ikan bandeng yang dihasilkan oleh industri ikan bandeng setiap harinya mencapai 15 kg atau sekitar 5,4 ton pertahun. Padahal duri-duri tersebut masih memiliki kandungan gizi yang dapat dilakukan lebih lanjut (Putra 2017). Tepung tulang dari limbah bandeng tanpa duri memiliki rendemen sebesar 33,6%, 36,4%, Kandungan kalsium yakni sebesar 88916-119730 mg/kg dan nilai proksimat meliputi kadar air 14,20 – 14,62%, kadar abu 13,55 – 15,29%, protein 2,128 – 8,138%, lemak 4,1 – 6,0% dan karbohidrat 38,15 – 39,40%. Tepung tulang dari limbah industri bandeng tanpa duri memiliki kandungan kalsium, fosfor serta proksimat yang cukup baik. (Imra 2019).

Mendapatkan hidroksiapatit murni harus melalui beberapa metode telah dipergunakan untuk mensintesis HA meliputi, teknik pengendapan (precipitation technique), pendekatan sol-gel (sol-gel approach), teknik hidrotermal (hydrothermal technique), teknik emulsi beragam (multiple emulsion technique), teknik deposisi biomimetik (biomimetic deposition technique), teknik elektrodposisi (electrodeposition technique), dll. (Suryadi 2011). (Suryadi 2011)

Penggunaan metode basah ini memiliki kelebihan, yaitu biaya yang relatif murah, dan dalam prosesnya akan menghasilkan hidroksiapatit dengan tingkat kemurnian yang cukup tinggi. (Yuliana, Rahim, and Hardi 2017). Selain biaya yang dikeluarkan relatif murah, dan pengerjaannya mudah keuntungan lain dari metode pengendapan basah yaitu reaksinya sederhana, cocok untuk industri skala besar, dan tidak mencemari lingkungan (Puspita and Cahyaningrum 2017).)

Kalsinasi dapat menghilangkan senyawa organik dan air dalam tulang. Dalam proses kalsinasi, komponen organik yang terdapat tulang akan terurai secara termal sehingga memberikan faktor keamanan biologis. (fifi dan

sari,2020). Dalam proses memperoleh sintesis hidroksiapatit perlu memperhatikan banyak hal untuk mendapatkan hidroksiapatit dengan kemurnian yang tinggi. Dalam proses presipitasi lama waktu pengadukan akan menyebabkan temperature reaksi dan tumbukan antar partikel akan meningkat (Fadli dkk, 2019). Lama waktu pengadukan memiliki pengaruh pada morfologi hidroksiapatit. Proses kristalisasi terjadi semakin baik siring bertambahnya lama waktu pengadukan, Dari penelitian ini didapatkan sampel dengan nilai kemurnian dan kristalinitas terbaik terjadi pada spesimen 75 menit dengan nilai kemurnian 86,77% dan nilai kristalinitas 79,90%. (Amrullah and Irfa'i 2023).

Untuk mengetahui karakteristik fisika (komposisi, kemurnian, dan setruktur) dapat menggunakan. X-ray Diffraction (XRD) menggunakan prinsip difraksi untuk mengetahui setruktur Kristal, fasa dan derajat kristalinitas, parameter kisis, kualitas suatu bahan, serta dapat mengetahui jenis unsur dan senyawa yang terkandung dalam material seecara kualitatif. Dan (SEM) Scanning Electron Microscope atau Mikroskop pemindai elektron digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan perbesaran Aplikasi antara 20-500,000 kali.

Pnelitian ini dibuat dengan tujuan untuk memanfaatkan limbah tulang ikan bandeng (chanos-chanos) menjadi material biokramik hidroksiapatit sebagai solusi perbaikan tulang yang terjadi akibat kecelakaan, cacat tulang dan tingginya harga Hap impor.

METODE PENELITIAN

Bahan

Beberapa bahan yang digunakan pada penelitian kali ini iyalah Tulang ikan bandeng, Asam Fosfat (H_3PO_4), Air Aquades, Amonium Hidroksida (NH_4OH)

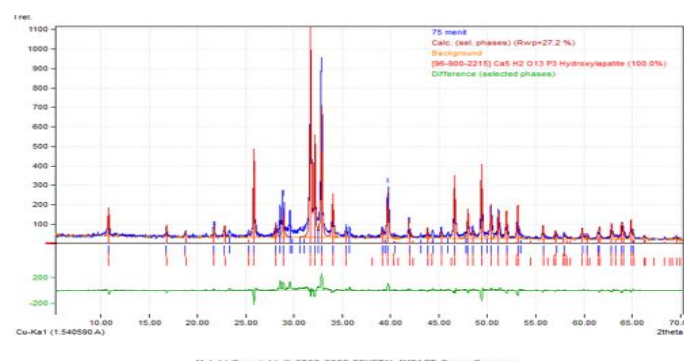
Alat

Alat yang digunakan pada peneliti ini iyalah saringan, lumpang alu, blender, kertas saring, pH meter, pipet tetes, magnit stirer, X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM), Timbangan Digital, Furnace.

Prosedur penelitian

Preparasi Tulang Ikan Bandeng

Preparasi specimen dimulai dengan membersihkan tulang ikan bandeng dengan air biasa sebelum masuk



proses perebusan. Proses perebusan tersebut bertujuan menghilangkan lemak dan daging yang masih menempel pada tulang. Proses perebusan berlangsung kurang lebih 30 menit dengan air mendidid /suhu kurang lebih 90°. KemudianTulang Ikan Bandeng dicuci menggunakan aquades hingga bersih. Tulang bandeng tersebut kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama 24 jam. Tulang Ikan Bandeng yang sudah kering dihaluskan dengan mortar dan diayak dengan ayakan 100 mesh.

Tahap Sintesis Hidroksiapatit

Serbuk tulang ikan bandeng CaCO_3 selanjutnya akan dilakukan proses kalsinasi menggunakan *furnace* dengan menggunakan suhu 1000 °C selama 6 jam untuk mendapatkan CaO dengan melepas gas CO_2 . $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ Sebelum melakukan proses kalsinasi dan setelah dilakukan proses kalsinasi dilakukan penimbangan dengan timbangan digital agar dapat diketahui rendemen yang terjadi dengan rumus berikut

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{berat awal}-\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

Pada tahap ini kemurnian dapat ditingkatkan karena menggunakan suhu tinggi pada saat proses kalsinasi, dalam proses ini komponen organik dalam tulang dapat terurai secara termal dan setiap tanda genom penyakit dapat dihilangkan sehingga memberikan faktor keamanan biologis yang tinggi (Afifa & Cahyaningrum, 2020).

Hidroksiapati disintesis dari serbuk tulang ikan bandeng (CaO) dan larutan asam fosfat (H_3PO_4). larutan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dengan larutan asam fosfat (H_3PO_4) dengan kecepatan penambahan larutan asam fosfat sebanyak 5ml/menit. Proses penaambahan dilakukan hingga larutan asam fosfat (H_3PO_4) habis. $10\text{Ca}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2 + 18\text{H}_2\text{O}$ Selama proses pencampuran dilakukan variasi lama waktu pengadukan selama 75 menit, 100 menit dan 125 menit, proses pengadukan menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan pengadukan sebesar 300 rpm dan setelah pencampuran selesai dipanaskan dengan suhu 90°C selama 1 jam. Pada proses ini pH larutan diatur dengan meneteskan (NH_4OH) hingga mencapai nilai 11. Setelah itu sampel dilakukan proses aging selama satu hari penuh. Endapan yang didapatkan dari proses tersebut akan disaring menggunakan kertas saring. Setelah itu akan dilakukan pengeringan menggunakan oven dengan suhu 120°C selama 5 jam. Setelah melalui proses sintesis hidroksiapatit, pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan hasil dari penelitian kali ini. Hasil data yang didapatkan dari karakterisasi menggunakan XRD akan diolah menggunakan aplikasi match dan origin. Selanjutnya, data akan disajikan dalam bentuk tabel. Hasil dari pengujian SEM berupa gambar morfologi dengan perbesaran 5000×/kali yang akan disajikan dalam bentuk gambar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

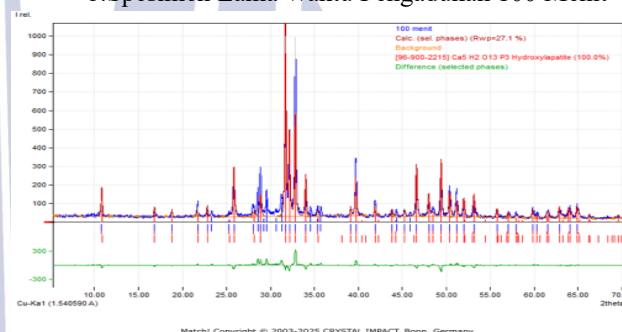
a. Spesimen Lama Waktu Pengadukan 75 Menit

Uji sempel serbuk hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng menggunakan sepkrum XRD dengan sudut 2 Theta yang digunakan adalah mulai dari sudut 10°-70° , pada hasil dar XRD dengan sempel hidroksiapatit dengan lama waktu pengadukan 75 menit didapat hasil puncak hidroksiapatit yang ditandai dengan garis berwarna merah pada gambar 4.1 Pada data hasil spesimen pengujian XRD dengan lama waktu pengadukan 75

Gambar 4. 1 Hasil Uji XRD Lama Waktu Pengadukan 75 Menit

berada di sudut 31,66°.

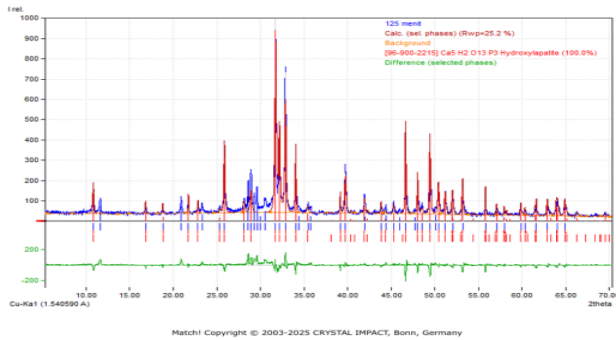
b. Spesimen Lama Waktu Pengadukan 100 Menit



Gambar 4. 2 Hasil Uji XRD Lama Waktu Pengadukan 100 Menit

Uji sempel serbuk hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng menggunakan sepkrum XRD dengan sudut 2 Theta yang digunakan adalah mulai dari sudut 10°-70° , pada hasil dar XRD dengan sempel hidroksiapatit dengan lama waktu pengadukan 100 menit didapat hasil puncak hidroksiapatit yang ditandai dengan garis berwarna merah pada gambar 4.1. Pada data hasil spesimen pengujian XRD dengan lama waktu pengadukan 100 menit hidroksiapatit pertamakali muncul pada sudut 11,62° - 70,23° , dan puncak tertinggi dari hidroksiapatit berada di sudut 35,39°.

c. Spesimen Lama Waktu Pengadukan 125 Menit

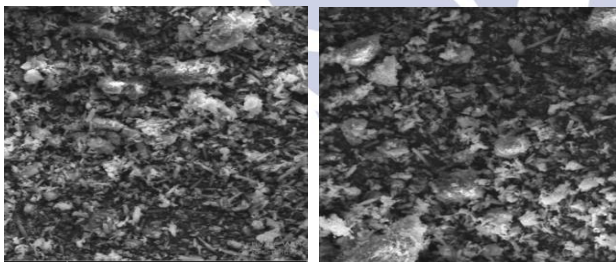


Gambar 4. 3 Hasil Uji XRD Lama Waktu Pengadukan 125 Menit

Uji sampel serbuk hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng menggunakan sepcktrum XRD dengan sudut 2 Theta yang digunakan adalah mulai dari sudut 10° - 70° , pada hasil dar XRD dengan sampel hidroksiapatit dengan lama waktu pengadukan 125 menit didapat hasil puncak hidroksiapatit yang ditandai dengan garis berwarna merah pada gambar 4.1. Pada data hasil spesimen pengujian XRD dengan lama waktu pengadukan 125 menit hidroksiapatit pertamakali muncul pada sudut $11,58^{\circ}$ - $70,28^{\circ}$, dan puncak tertinggi dari hidroksiapatit berada di sudut $35,35^{\circ}$.

Hasil Pengujian SEM

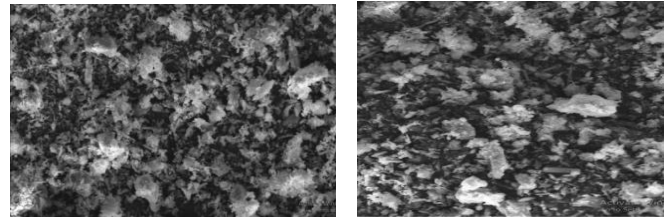
- a. Spesimen Dengan Lama Waktu Pengadukan 75 Menit



Gambar 4. 4 Morfologi Sepesimen HAP Dengan Lama Waktu Pengadukan 75 Menit

Gambar diatas merupakan hasil morfologi dari sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng dengan lama waktu pengadukan 75 menit.

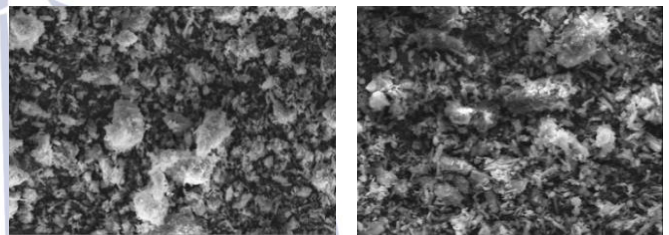
- b. Spesimen Dengan Lama Waktu Pengadukan 100 Menit



Gamabar 4. 5 Morfologi Sepesimen HAP Dengan Lama Waktu Pengadukan 100 Menit

Gambar diatas merupakan hasil morfologi dari sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng dengan lama waktu pengadukan 100 menit.

- c. Spesimen Dengan Lama Waktu Pengadukan 125 Menit



Gambar 4. 6 Morfologi Sepesimen HAP Dengan Lama Waktu Pengadukan 125 Menit.

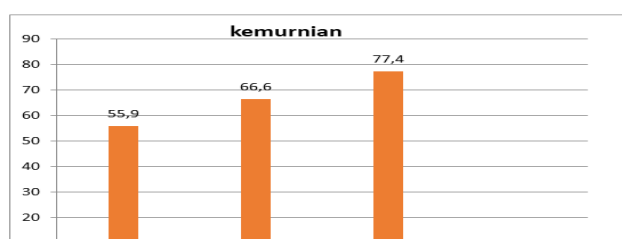
Gambar diatas merupakan hasil morfologi dari sintesis hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng dengan lama waktu pengadukan 125 menit.

Analisa Data Hasil XRD dan SEM Hasil analisa data uji XRD dapat dilihat pada tabel berikut:

Kandungan	Lama Waktu Pengadukan		
	75 Menit	100 Menit	125 Menit
Kemurnian %	55,9	66,6	77,4
Crystallinity %	75,13	77,97	78,27
Diameter (nm)	41,33	42,03	42,36

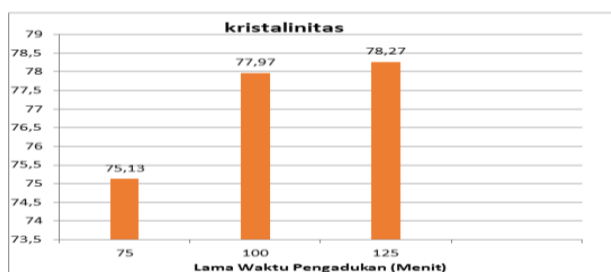
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Uji XRD

Dari hasil penelitian sampel yang dilakukan uji dengan spektrum XRD (X-Ray Diffraction) dan analisis didapatkan bahwa hasil tertinggi ada pada sampel variasi lama waktu pengadukan 125 menit dengan nilai kemurnian 77,4%, kristalinitas 78,27%, dan diameter kristal 42,36 (nm). Sedangkan hasil pengujian terendah ada pada sampel 75 menit dengan nilai kemurnian 66,6%, kristalinitas 77,97%, dan diameter kristal 41,33 (nm).



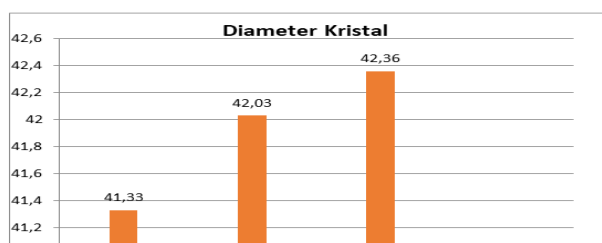
Gambar 4. 7 Grafik Kemurnian Hidroksiapatit

Kemurnian menjadi point utama dalam melakukan sintesis pada serbuk tulang ikan bandeng, semakin murni hidroksiapatit sintetis yang dihasilkan dan sesuai dengan database JCPDS (*Join Committee on Power Diffraction*) menandakan sintetik hidroksiapatit memiliki kualitas yang baik. Dari grafik diatas didapatkan bahwa serbuk hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng dengan lama waktu pengadukan 125 menit memiliki tingkat kemurnian yang tinggi 77,40%. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu pengadukan semakin tinggi tingkat kemurnian, namun tidak memiliki pengaruh yang cukup tinggi hanya beberapa persen kenaikannya, berikutini iyalah grafik kristalinitas.



Gamabar 4. 8 Grafik Kristalinitas Hidroksiapatit

Fasa kristalinitas apatit memiliki hubungan terhadap kekuatan mekanis material perancah (*sel scaffold*), semakin tinggi tingkat kristalinitas material memberikan kontribusi terhadap kekuatan mekanik yang semakin baik (wopenka dan Pateris 2005). Dari hasil penelitian dan analisis juga didapatkan tingkat kristalinitas hidroksiapati dari serbuk tulang ikan bandeng yang paling tinggi didapat pada lama waktu pengadukan 125 menit sebesar 78,27%, berikut iyalah grafik diameter kristal serbuk tulang ikan bandeng.



Gambar 4. 9 Grafik Ukurn Kristal Hidroksiapatit

Dari hasil penelitian dan analisis diketahui bahwa ukuran butir sampel hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng akan meningkat dengan lama waktu pengadukan hingga puncak tertingginya pada lama waktu pengadukan 125 menit yaitu sebesar 42,36(nm), namun tidak berbedah jauh dengan lama waktu pengadukan 100 menit bahkan hampir sama mungkin karna pengadukan terlalu lama, hal ini juga mempengaruhi kristalinitas dan kemurnian yang didapat.

Simpulan

Berdasaekan pada hasil analisis dan penelitian dari pengujian pengaruh lama waktu pengadukan pada sintesis hidroksiapatit tulang ikan bandeng dengan menggunakan metode presipitasi dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pada sampel hidroksiapatit dengan lama waktu pengadukan 125 menit mendapatkan hasil terbaik dibandingkan sampel lainnya dengan kemurnian 77,40 kristalinitas 78,27 dan ukuran kristal 42,36. Dapat dikatakan semakin lama waktu pengadukan semakin baik pulah kemurnian, kristalinitas dan ukuran kristal yang didapatkan.
- Hasil uji SEM (Scanning Electron Microscope) menunjukan pengaruh lama waktu pengadukan pada sintesis hidroksiapatit tulang ikan bandeng dimana semakin lama waktu pengadukan akan mempengaruhi proses kristalinitas. Dimulai dari sampel dengan lama waktu pengadukan 75 menit yang memiliki bentuk morfologi seperti bongkahan akibat penumpukan zat, sedangkan pada sampel lain sudah tidak terdapat bongkahan melainkan kristal berbentuk granular dengan hasil terbaik ada pada sampel lama waktu pengadukan 125 menit dengan butiran granular yang lebih halus dengan struktur pori yang terbentuk lebih teratur.

Saran

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian ini masih belum sempurna untuk dapat menghasilkan sintesis hidroksiapatit yang lebih baik. Oleh karna itu penulis

memberikan saran untuk penelitian lebih lanjut. Bahwasanya penelitian ini hasil yang didapat pada sampel 125 menit dan 100 menit tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu jauh. Oleh karena itu pengadukan 125 menit hingga 75 menit dengan selisih dari variasi yang lebih kecil untuk mengetahui batas terbaik dari pengaruh lama waktu pengadukan pada sintesis hidroksiapatit tulang ikan bandeng terhadap kemurnian, kristalinitas, dan ukuran kristal.

DAFTAR PUSTAKA

- Afshar, A. et al. 2003. "Some Important Factors in the Wet Precipitation Process of Hydroxyapatite." *Materials and Design* 24(3): 197-202.
- Amrullah, Abdhul Halim, and Mochamad Arif Irfa'i. 2023. "Pengaruh Lama Waktu Pengadukan Pada Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Presipitasi Untuk Aplikasi Biomaterial." *Jtm* 11(2): 149-54.
- Anggresani, Lia, Santi Perawati, Fitri Diana, and Deny Sutrisno. 2020. "Pengaruh Variasi Perbandingan Mol Ca / P Pada Hidroksiapatit Berpori Tulang Ikan Tenggiri (*Scomberomorus Guttatus*)." *Jurnal farmasi* 12(1): 55-64.
- Dan, Sintesis, Karakterisasi Hidroksiapatit, and Dari Cangkang. 2017. "SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF HYDROXYAPATITE OF CRABS SHELL (*Scylla Serrata*) BY WET APPLICATION METHOD Dicky Supangat * and Sari Edi Cahyaningrum." 6(3): 143-49.
- Foix, Marjorie, Cédric Guyon, Michael Tatouliau, and Patrick Da Costa. 2013. "Microwave Plasma Treatment for Catalyst Preparation: Application to Alumina Supported Silver Catalysts for SCR NO_x by Ethanol." *Modern Research in Catalysis* 02(03): 68-82.
- Hemung, Bung-orn. 2013. "Properties Of Tilapia Bone Powder and Its Calcium Bioavailability Based on Transglutaminase Assay." *International Journal Of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics* 3(4): 2-5. <http://www.ijbbb.org/papers/219-S015.pdf>.
- I' anatul, Wahdah, Sri Wardhani, and Darjito. 2014. "Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Pengendapan Basah." *Kimia Student Journal* 1(1): 92-97.
- Imra, Imra. 2019. "KARAKTERISTIK TEPUNG TULANG IKAN BANDENG (*Chanos Chanos*) DARI LIMBAH INDUSTRI BADURI KOTA TARAKAN." *Techno-Fish* 3(2): 60-69.
- Kasmawati, Kasmawati et al. 2023. "Analisis Kandungan Gizi Dan Uji Hedonic Pada Abon Tulang Ikan Bandeng." *JOURNAL OF INDONESIAN TROPICAL FISHERIES (JOINT-FISH): Jurnal Akuakultur, Teknologi dan Manajemen Perikanan Tangkap dan Ilmu Kelautan* 6(1): 67-78.
- Kehoe, Sharon, and B Eng. 2008. "Optimisation of Hydroxyapatite (HAp) for Orthopaedic Application via the Chemical Precipitation Technique By." *Rheology* (September).
- Marwanto et al. 2023. "Azolla Compost-Based Organomineral Fertilizer for Increasing N Uptake, Growth, and Yield of Green Onion." *AIP Conference Proceedings* 2583(3): 189-96.
- Mohammad, Nur Farahiyah, Radzali Othman, and Fei Yee-Yeoh. 2014. "Nanoporous Hydroxyapatite Preparation Methods for Drug Delivery Applications." *Reviews on Advanced Materials Science* 38(2): 138-47.
- Ngapa, Yulius Dala, and Jumilah Gago. 2021. "Optimizing of Competitive Adsorption Methylene Blue and Methyl Orange Using Natural Zeolite from Ende-Flores." *JPKP (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia)* 6(1): 39.
- Ningsih, Rini Purwo, Wahyuni Nelly, and Lia Destiarti. 2014. "Sintesis Hidroksiapatit Dari Cangkang Kerang Kepah (*Polymesoda Erosa*) Dengan Variasi Waktu Pengadukan." *Jurnal Kimia Khatulistiwa* 3(1): 22-26.
- Phiraphinyo, Pianpan et al. 2006. "Physical and Chemical Properties of Fish and Chicken Bones as Calcium Source for Mineral Supplements." *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 28(2): 327-35.