

PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP KEMURNIAN HIDROKSIAPATIT BERBAHAN DASAR TULANG IKAN BANDENG (*CHANOS-CHANOS*) DENGAN METODE SOL - GEL

M Ihkam Faidin

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: mihkam.21044@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Kerusakan atau kelainan pada tulang dapat menyebabkan gangguan fungsi tubuh dan kecacatan struktur. Untuk mengembalikan fungsi tulang secara normal, salah satunya dapat menggunakan biomaterial. Biomaterial merupakan material sintesis yang dapat berinteraksi langsung dengan jaringan hidup. Salah satu jenis biomaterial yang umum digunakan adalah biokeramik, yang dapat disintesis dari bahan alami berkalsium seperti cangkang telur, tulang ikan, dan cangkang kerang. Tulang ikan bandeng merupakan salah satu sumber kalsium yang potensial dan mudah diperoleh. Proses sintesis hidroksiapatit dapat dilakukan melalui beberapa metode, seperti metode kering, sol-gel, hidrotermal, dan pengendapan basah. Dalam penelitian ini digunakan metode sol-gel dengan sumber kalsium dari tulang ikan bandeng. Proses kalsinasi dilakukan pada suhu 900°C selama 5 jam, kemudian dilanjutkan dengan proses sintering selama 6 jam pada suhu bervariasi: 800°C, 900°C, dan 1000°C. Hasil sintesis kemudian dianalisis menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD) untuk mengetahui fasa kristal dan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk melihat morfologi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu sintering memengaruhi tingkat kemurnian dan kristalinitas hidroksiapatit. Pada suhu 1000°C diperoleh kemurnian sebesar 84,4% dan kristalinitas 96,85%. Uji SEM menunjukkan bahwa peningkatan suhu menghasilkan morfologi granular yang lebih padat, dengan kerapatan antar partikel terbaik pada suhu 1000°C.

Kata Kunci: Hidroksiapatit, Kalsinasi, Metode Sol – Gel, Tulang Ikan Bandeng.

Abstract

Damage or abnormalities in bones can lead to impaired bodily function and structural disability. One way to restore normal bone function is by using biomaterials. Biomaterials are synthetic materials that can directly interact with living tissue. One common type of biomaterial is bioceramics, which can be synthesized from natural calcium-rich sources such as eggshells, fish bones, and mollusk shells. Milkfish bones represent a potential and readily available source of calcium. Hydroxyapatite synthesis can be carried out using several methods, including dry method, sol-gel, hydrothermal, and wet precipitation. This study utilized the sol-gel method with milkfish bones as the calcium source. Calcination was performed at 900°C for 5 hours, followed by sintering for 6 hours at varying temperatures: 800°C, 900°C, and 1000°C. The synthesized products were then analyzed using X-Ray Diffractometer (XRD) to determine the crystal phase and Scanning Electron Microscope (SEM) to observe the morphology. The results showed that sintering temperature affects the purity and crystallinity of hydroxyapatite. At 1000°C, a purity of 84.4% and crystallinity of 96.85% were obtained. SEM analysis indicated that increasing temperature resulted in a denser granular morphology, with the best inter-particle density observed at 1000°C.

Keywords: Hydroxyapatite, Calcination, Sol – Gel Method, Milkfish Boned

UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA

PENDAHULUAN

Kerusakan tulang akibat trauma, infeksi dan kelainan merupakan masalah kesehatan global yang dapat mengakibatkan kematian atau penurunan produktivitas sehari-hari. Hal ini dapat mengakibatkan patah tulang dan defek tulang lainnya. Pada tahun 2019, 178 juta patah tulang terjadi secara global (Wu dkk., 2021). Data Kementerian Kesehatan RI (2018) melaporkan bahwa Indonesia memiliki angka patah tulang tertinggi di Asia Tenggara, yaitu 1,3 juta orang per tahun. Di antara berbagai bahan yang digunakan untuk implan ortopedi, biokeramik menjadi pilihan yang semakin populer. Namun, selain biokeramik, logam baja tahan karat (*stainless steel*) juga

banyak dimanfaatkan untuk material implan ortopedi, terutama dalam bentuk plat penyambung tulang (*bone-plate fixation*) (Sutowo, dkk., 2014). Salah satu jenis biokeramik yang sering digunakan dalam implan ortopedi adalah hidroksiapatit (HAP),

Hidroksiapatit merupakan senyawa biokeramik yang terbentuk dari unsur utama kalsium dan fosfor dengan rasio stokiometri Ca/P sebesar 1.667 (Cisneros-Pineda dkk., 2014). Keunggulan dari hidroksiapatit adalah memiliki sifat yang biokompatibilitas, tidak beracun, non- imunogenik, non-inflamasi, dan bioaktif serta memiliki struktur kristal yang sama dengan hidroksiapatit pada tulang dan gigi manusia (Ranamangala., 2020)

Namun, hidroksiapatit yang saat ini digunakan di Indonesia masih relatif mahal, karena masih diimpor dari luar negeri. Harga hidroksiapatit sintetis di pasaran Indonesia mencapai 1,5 juta rupiah per 5 miligram, dan impor masih menjadi sumber pasokan utama (PUSYANTEK BPPT, 2018). Padahal faktanya bahan-bahan alami seperti cangkang telur, kerang, tulang sapi dan babi, sisik, tulang ikan, dan koral dapat digunakan untuk membuat Hap (Shojai dkk., 2013).

Setiap hari, industri bandeng menghasilkan 15 kg limbah duri ikan, atau sekitar 5,4 ton setiap tahunnya. Dengan melihat nilai kandungan kalsium yang ada dalam tulang ikan Bandeng, limbah tulang ikan bandeng berpotensi untuk dimanfaatkan secara optimal. Pemanfaatan tepung tulang ikan bandeng dapat diarahkan sebagai suplemen dalam pembuatan obat-obatan, sebagai bahan baku untuk produk pangan yang kaya akan kalsium, serta sebagai sumber material untuk sintesis hidroksiapatit (Anggresani dkk., 2020). Dengan demikian, limbah tulang ikan bandeng memiliki potensi yang cukup besar sebagai bahan baku HAP sintesis.

HAp sintesis dapat disintesis menggunakan beberapa metode, seperti metode presipitasi, metode hidrotermal, metode sol-gel, dan metode radiolisis gamma (Nurfiana dkk., 2020). Metode yang digunakan untuk sintesis hidroksiapatit pada penelitian ini adalah metode sol-gel. Metode sol-gel adalah proses di mana polimer anorganik atau keramik berubah dari larutan menjadi struktur jaringan yang dikenal sebagai "gel" setelah berubah dari prekursor cair menjadi sol.

METODE

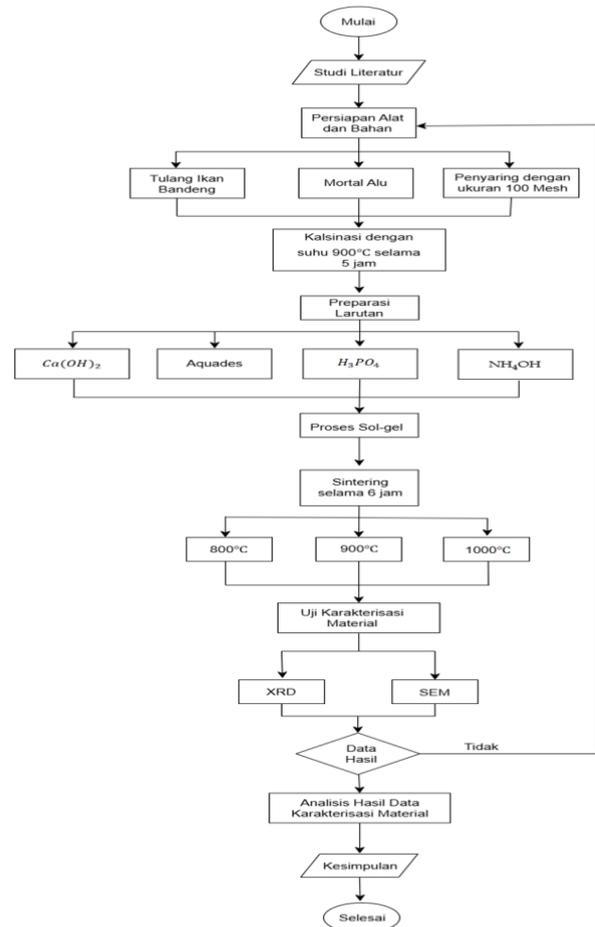
Jenis Penelitian

Penelitian yang digunakan menggunakan penelitian eksperimental (experimental research), yaitu metode untuk mencari hubungan sebab akibat antara beberapa variabel yang saling mempengaruhi (Ratminingsih, 2010). Pada percobaan ini, peneliti memvariasikan variabel suhu dan waktu untuk mendapatkan suhu dan lama waktu yang optimum, dimana dalam penelitian ini sintesis hidroksiapatit menerapkan metode Sol-gel.

Bahan dan Alat Penelitian

1. Bahan-bahan yang dipakai dalam penelitian ini meliputi: Tulang ikan bandeng, Asam Fosfat (H_3PO_4), Amonium Hidroksida (NH_4OH)
2. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi meliputi neraca digital, gelas beaker, mortar pipet tetes, krus porselen, gelas ukur, ayakan 100 mesh, *stirrer bar*, *furnace*, oven, dan *magnetic stirrer*. Untuk peralatan karakterisasi cangkang telur meliputi seperangkat alat uji XRD (*X ray Diffraction*) dan uji SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Alur Penelitian



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

Prosedur Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan melalui empat tahap, yaitu preparasi sampel, kalsinasi, sintesis hidroksiapatit menggunakan metode sol-gel, dan karakterisasi sampel. Pembuatan sampel terdiri dari preparasi sampel, kalsinasi, dan sintesis hidroksiapatit menggunakan metode sol-gel. Sementara untuk karakterisasi sampel terdiri dari uji XRD dan uji SEM.

• Persiapan Bahan

Tahap awal preparasi sampel dilakukan dengan tulang ikan bandeng dibersihkan menggunakan air. Selanjutnya, tulang ikan bandeng direbus pada suhu sekitar $90^{\circ}C$ atau air mendidih selama kurang lebih 30 menit. Selanjutnya, tulang tersebut dijemur dibawah sinar matahari selama 7 hari atau sampai mengering. Tulang ikan bandeng yang telah kering melalui proses penjemuran kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan alu hingga diperoleh serbuk halus (powder). Setelah proses penghalusan, serbuk tulang disaring menggunakan ayakan berukuran 100 mesh.

• Kalsinasi

Serbuk tulang ikan bandeng ($CaCO_3$) dikalsinasi menggunakan furnace dengan suhu $900^{\circ}C$ selama 5 jam

• Tahap sintesis

Sintesis hidroksiapatit dengan metode sol-gel melibatkan beberapa proses kimiawi, yaitu hidrolisis,

kondensasi, pematangan (aging), dan pengeringan. Pada tahap pertama, yaitu hidrolisis, serbuk tulang ikan bandeng yang telah dikalsinasi sebanyak 14,8 gram dicampurkan dengan 200 mL aquades dengan asam fosfat H₃PO₄ 85% sebanyak 8,1 ml memakai magnetic stirrer selama 2 jam agar sampel tercampur secara homogen (Suryadi, 2011). Langkah kedua yaitu kondensasi, terjadi transisi dari sol menjadi gel ketika dipanaskan pada suhu 150°C sampai pekat. Langkah ketiga yaitu pematangan gel yang dibentuk (aging) dengan mendiamkan gel selama 24 jam sebelum dilakukan penyesuaian pH hingga mencapai 11 dengan penambahan NH₄OH. Proses ini menghasilkan pembentukan gel yang kuat yang kemudian menyusut saat berada dalam larutan. Langkah keempat atau tahap pengeringan dilakukan pada suhu 120°C selama 2 jam kemudian diperoleh serbuk hidroksiapatit (HA). Kemudian melakukan proses sintering pada variasi suhu 800°C, 900°C, dan 1000°C selama 6 jam.

• **Karakteristik Sampel**

Karakterisasi pada pembentukan hidroksiapatit berbahan Tulang Ikan Bandeng dengan metode sol-gel memakai uji *X-Ray Diffraction* (XRD), uji *Scanning Electron Microscope* (SEM).

• **Uji X – Ray Difraction (XRD)**

XRD digunakan untuk menentukan fraksi volume, ukuran kristalit, dan tingkat kristalinitas suatu material. Hasil pengujian dengan alat XRD ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel, yang kemudian dianalisis menggunakan perangkat lunak khusus. Proses operasional XRD untuk mendeteksi keberadaan kristal meliputi beberapa tahap, yaitu: persiapan sampel, kalibrasi alat, pengukuran pola difraksi, analisis pola difraksi, dan interpretasi hasil.

• **Uji *Scanning Electron Microscope* (SEM).**

Pengujian ini dilakukan dengan alat uji *Scanning Electron Microscope* (SEM) di Laboratorium Energi dan Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Tujuan SEM adalah untuk memberikan detail mengenai morfologi dan topografi sampel yang diteliti (Girão dkk., 2017). yang Dimana nantinya akan di Analisa struktur permukaan.

Analisis Data

Data dari karakterisasi menggunakan perangkat lunak merupakan langkah penting dalam mendapatkan informasi yang lebih mendalam dari hasil karakterisasi. Perangkat lunak, biasa disebut sebagai program, adalah sekumpulan data elektronik yang disimpan dan dikendalikan oleh komputer. Program atau skrip yang memungkinkan instruksi tertentu dieksekusi dapat digunakan untuk menyimpan data (Pudjoatmodjo & Wijaya, 2016).

Setiap teknik karakterisasi memerlukan perangkat lunak yang berbeda untuk mengolah dan menganalisis hasilnya. Sebagai contoh, untuk menganalisis data dari uji X-Ray Diffraction (XRD), software MATCH Versi 3.8.1 Dan origin 2025 sering digunakan. Software ini memungkinkan analisis pola difraksi sinar-X untuk mengidentifikasi fase-fase kristal yang ada dalam sampel.

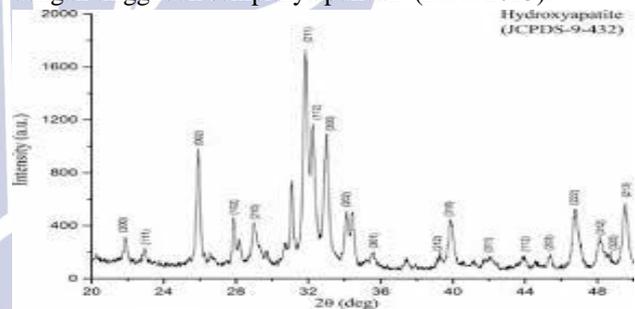
Sementara itu, untuk pengolahan hasil dari Scanning Electron Microscope (SEM), membantu dalam identifikasi fase-fase material, struktur mikro, dan makro dari sampel yang telah di karakterisasi. Hal ini penting dalam menginterpretasikan data dan mengambil kesimpulan yang akurat dari hasil karakterisasi yang sudah dilaksanakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

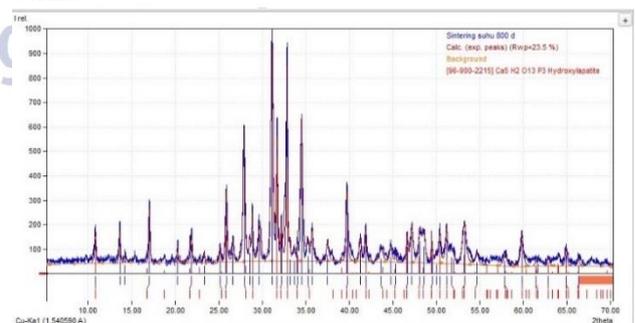
1. Hasil Uji X-Ray Difraction (XRD)

Uji karakterisasi XRD dilakukan untuk mengetahui fasa-fasa yang muncul pada masing masing material. Dilakukan perbandingan antara peak-peak yang muncul pada HA sintesis dengan HA stoikiometri (JCPDS 09-432). Menurut Suryadi (2011) Setiap kelompok juga menemukan puncak terbesar pada bidang kristal 121, 211, dan 300 berdasarkan data produksi hidroksiapatit. Kekuatan puncak kondisi ini terjadi pada 2theta antara 31,70° 32,84°. Ningsih (2014) menyatakan bahwa intensitas dan lebar puncak yang tinggi pada pola difraksi menunjukkan derajat kristalinitas hidroksiapatit ketika dianalisa menggunakan XRD. Kristalinitas hidroksiapatit meningkat seiring dengan tinggi dan sempitnya puncak (Słota 2023).



Gambar 2 JCPDS 09-432

Sampel hidroksiapatit dari tulang ikan bandeng diuji menggunakan spektrum XRD pada sudut 2 theta, berkisar antara 5° - 70°. Uji *x-ray diffraction* menghasilkan temuan berikut.



Gambar 3 Hasil XRD sintering 800°

Pada Gambar 3, yang menunjukkan data uji XRD untuk spesimen pada suhu 800°. Puncak hidroksiapatit pertama

$$Kristalinitas = \frac{\text{fraksi luas kristalinitas}}{\text{luas difraktogram}} \times 100\%$$

Berikut adalah hasil perhitungan tingkat kristalisasi dari sampel hidroksiapatit tulang ikan bandeng:

Tabel 1 Hasil perhitungan kristalinitas hidroksiapatit tulang ikan bandeng

No	Suhu	Kristalinitas
1	800°	84,33%
2	900°	91,46%
3	1000°	96,85%

Dari ketiga sampel tersebut menunjukkan telah melampaui batas standar ISO 13779-1:2008 tentang hidroksiapatit, yaitu 50%.

• Ukuran Kristal

Ukuran partikel hidroksiapatit tulang ikan bandeng dapat diketahui dengan menganalisis puncak-puncak pada data XRD (X-ray Diffraction). Semakin besar ukuran partikel, maka intensitas puncak pada sudut 2° juga tinggi yang juga menyebabkan meningkatnya kristalinitas (sitasi).

Untuk mendapatkan ukuran butir pada spesimen serbuk tulang ikan bandeng dapat digunakan menggunakan persamaan Debye Scherrer dibawah ini:

$$D = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cos \theta}$$

D = ukuran kristal (nm)

K = faktor bentuk kristal (0,9 - 1)406 nm

λ = panjang gelombang sinar-x (0,15406 nm)

β = nilai dari Full Width at Half Maximum (FWHM) (rad)

θ = sudut difraksi (derajat)

Berikut adalah hasil perhitunga ukuran kristal dari sampel hidroksiapatit tulang ikan bandeng:

Tabel 2 Hasil perhitungan ukuran kristal Hidroksiapatit Tulang ikan bandeng

No	Suhu	Ukuran (nm)
1	800°	33,891
2	900°	40,873
3	1000°	44,044

Dari hasil karakterisasi XRD diatas, dapat disimpulkan pada tabel sebagai berikut:

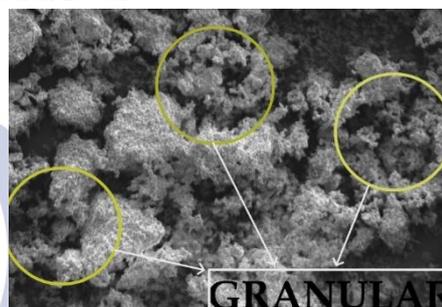
Tabel 3 Hasil Karakterisasi XRD

Kandungan	Suhu dan Lama Waktu Sintering		
	800°C (6 Jam)	900°C (6 Jam)	1000°C (6 Jam)
Kemurnian (%)	70,6%	73,6%.	84,4%

Derajat Kristalinitas (%)	84,33%	91,46%	96,85%
Ukuran Kristal (nm)	33,891 nm	40,873 nm	44,044 nm

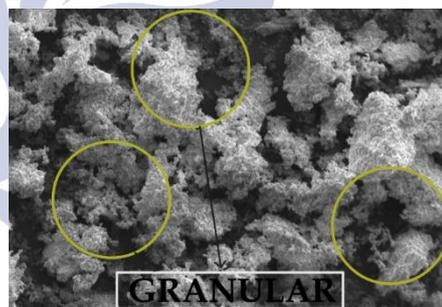
2. Hasil Uji SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk butiran partikel serbuk hidroksiapatit dengan perbesaran 2500x



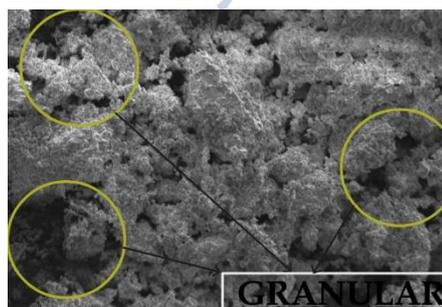
Gambar 9 Hasil SEM 800°

Terlihat pada sampel hidroksiapatit dengan variasi suhu 800° memiliki bentuk morfologi Granular dengan beberapa sudut dengan jarak antar partikel berjauhan.



Gambar 10 Hasil SEM 900°

Pada sampel hidroksiapatit dengan variasi suhu 900° memiliki bentuk morfologi berbentuk Butiran Granular yang beragam dengan jarak antar partikel berjauhan.



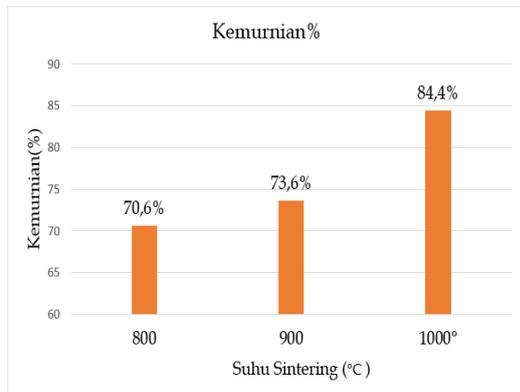
Gambar 11 Hasil SEM 1000°

Pada sampel hidroksiapatit dengan variasi suhu 1000° memiliki bentuk morfologi berbentuk Granular dengan jarak antar partikel berdekatan.

Pembahasan

• Kemurnian

Hal terpenting dalam sintesis bubuk tulang ikan bandeng adalah kemurnian. Semakin tinggi kemurnian hidroksiapatit yang dihasilkan maka semakin tinggi pula kualitas hidroksiapatit sintetik tersebut menurut database JCPDS (committe of powder Diffraction Standards).

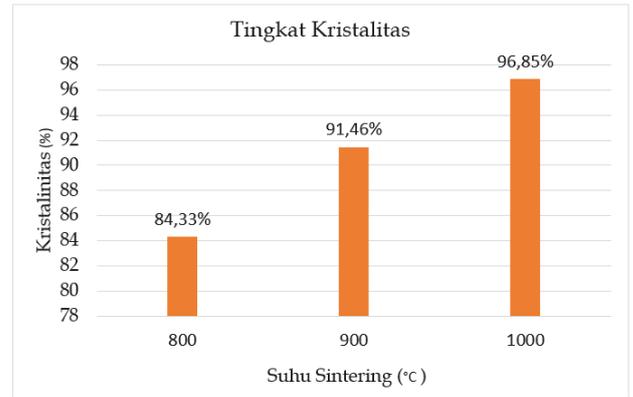


Gambar 12 Kemurnian Hidroksiapatit Tulang Ikan Bandeng

Dari grafik di atas terlihat hidroksiapatit Tulang Ikan Bandeng yang sintering pada suhu 1000° mempunyai kemurnian yang tinggi yaitu 84,4%. Hal ini karena pertumbuhan partikel meningkat seiring dengan suhu dan penambahan fase lain terjadi seiring dengan peningkatan pertumbuhan partikel.

• Kristalinitas

Dari hasil penelitian sampel yang dilakukan uji dengan spektrum XRD (X-Ray Diffraction) dan analisis didapatkan bahwa kristalinitas sampel serbuk Tulang Ikan Bandeng mendapatkan nilai yang lebih tinggi saat suhu sintering 1000° sebesar 96% dan tingkat kristalinitas terkecil terdapat pada sampel yang di lakukan Sintering dengan suhu 800° sebesar 84%. Berikut grafik dari kristalinitas serbuk Tulang Ikan Bandeng.

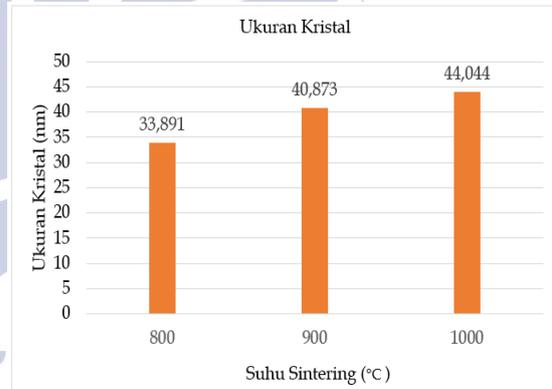


Gambar 13 Grafik Kristalinitas Serbuk tulang ikan Bandeng

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).

• Ukuran Kristal

Dari hasil kajian sampel yang diuji menggunakan spektrum XRD (difraksi sinar-X), dapat juga dilakukan analisis ukuran partikel dan diameter (nm) Tulang Ikan Bandeng. Serta Dikalkulasi menggunakan persamaan Debye Scherrer.

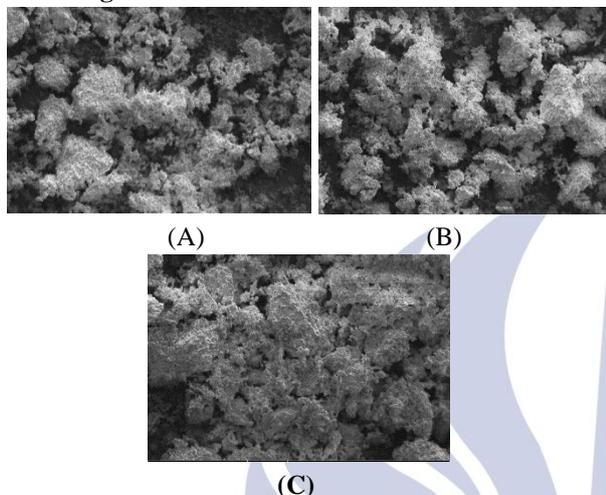


Gambar 14 Ukuran Kristal Hidroksiapatit Tulang Ikan Bandeng

Berdasarkan data grafik, terlihat adanya korelasi positif antara suhu Sintering dan ukuran butir hidroksiapatit yang dihasilkan. Ukuran butir mengalami peningkatan signifikan seiring dengan kenaikan suhu, mencapai ukuran maksimum sebesar 44,044 nm pada suhu 1000°C. Sebaliknya, ukuran butir minimum tercatat pada suhu 800°C, yaitu sebesar 33,891 nm, mengindikasikan bahwa suhu yang lebih rendah kurang mendukung pertumbuhan kristal yang optimal. Suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap ukuran butir serbuk tulang ikan Bandeng, Kenaikan suhu menyebabkan ukuran butir serbuk Tulang Ikan Bandeng membesar. Hal ini disebabkan oleh peningkatan pertumbuhan partikel dan frekuensi tumbuhnya antar

partikel, yang berujung pada pembentukan kristal dengan diameter yang lebih besar (Fadli 2019), peningkatan suhu reaksi memicu pertumbuhan partikel dan meningkatkan frekuensi tumbukan antar partikel, yang pada akhirnya mendorong peningkatan diameter kristal. Senada dengan hal tersebut, (Salsabila Dkk. 2018) juga menyoroti bahwa variasi suhu sintering memengaruhi ukuran kristal dan derajat kristalinitas sampel.

• **Morfologi**



Gambar 15 Hasil Uji SEM serbuk tulang ikan bandeng (a) 800° , (b) 900° , dan (c) 1000°

Dari analisis hasil uji SEM (Scanning Electron Microscope) pada gambar diatas dapat disimpulkan bahwa bentuk morfologi dari sampel tersebut semakin berdekatan seiring dengan bertambahnya variasi suhu sintering.

Pada penelitian yang dilakukan Pratama & Irfai (2023) dengan judul "Pengaruh Suhu dan Waktu Kalsinasi Terhadap kemurnian Hidroksiapatit Berbasis Tulang Sapi Dengan Metode Presipitasi" bentuk morfologi dari sampel dengan nilai kemurnian dan kristalinitas terbaik memiliki bentuk granular mendekati bola dengan jarak anatar partikel rapat. Pada penelitian lain disebutkan semakin tinggi temperatur sintering yang diberikan terhadap sampel, energi yang diterima oleh atom semakin besar untuk berdifusi dan beraglomerasi. Sehingga ukuran kristal yang terbentuk semakin besar dan ikatan antar atom semakin kuat dan teratur (salsabila dkk., 2018).

Simpulan

Variasi suhu sintering pada proses sol-gel memiliki pengaruh terhadap tingkat kemurnian dan kristalinitas hidroksiapatit yang dihasilkan. Dari uji XRD sample dengan variasi suhu 1000° memiliki tingkat kemurnian 84,4% dengan tingkat kristalinitas sebesar 96,85%.

Variasi suhu sintering pada proses sol-gel juga berpengaruh terhadap bentuk morfologi yang di dapat, dalam penelitian ini hasil uji SEM menunjukkan bentuk morfologi granular yang beragam dan merapatnya antar

partikel serta meningkatnya ukuran partikel seiring meningkatnya variasi suhu, Bentuk terbaik dan juga kerapatan antar partikel terbaik terjadi pada sample dengan variasi suhu 1000°.

DAFTAR PUSTAKA

Anggresani, L., Perawat, S., Diana, F., & Sutrisno, D. (2020). Pengaruh variasi perbandingan mol Ca/P dalam pembuatan hidroksiapatit dari tulang ikan tenggiri (*Scomberomorus guttatus*). *Jurnal Farmasi Higea*, 12(1).

Cisneros-Pineda, P., Cauich-Rodríguez, J. V., & Vargas-Coronado, R. R. (2014). Obtención y caracterización de hidroxiapatita biomimética a partir de concha de abulón (*Haliotis* spp.). *Superficies y Vacío*, 27(4), 113-117.

Elma, M. (2018). *Proses Sol-gel: Analisis Fundamental dan Aplikasi*. Lampung: Lampung Mangkurat University Press.

Fadli, A. (2019). Pengaruh suhu terhadap pertumbuhan kristal hidroksiapatit sintesis. *Jurnal Material dan Teknik*, 8(2), 123-130.

Girão, J. R. D., et al. (2017). Morphology and stratigraphy of Serra Geral silicic lava flows in the northern segment of the Torres Trough, Paraná Igneous Province. *Brazilian Journal of Geology*, 47(2), 145-160.

Nurfiana, F., Kadarwati, A., & Putra, S. (2020). Synthesis and characterization of hydroxyapatite from duck eggshell modified silver by gamma radiolysis method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1436(1), 012099.

Ningsih, E. (2014). Analisis Struktur dan Karakteristik Kristal Hidroksiapatit Sintesis. *Jurnal Ilmiah Material*, 10(2), 45-52.

Pudjoatmodjo, B., & Wijaya, R. (2016). Tes Kegunaan (Usability Testing) pada Aplikasi Kepegawaian dengan Menggunakan System Usability Scale (Study Kasus : Dinas Pertanian Kabupaten Bandung). *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*, 1 -6.

Ranamanggala, J. A., Laily, D. I., Annisa, Y. N., & Cahyaningrum, S. E. (2020). *Potensi hidroksiapatit dari tulang ayam sebagai pelapis implan gigi*. *JKR*, 5, 141-150.

Ratminingsih, N. M. (2010). Experimental Research in Second Language Instruction. *Jurnal Prasi*, 1 - 6.

Sutowo, C., Ikhsan, M., & Kartika, I. (2014). Karakteristik Material Biokompatibel Aplikasi Implan Medis Jenis Bone Plate. *Prosiding SEMNASTEK*, Universitas Muhammadiyah Jakarta.

Shojai Sadat, M., Khorasani, M. T., Dinpanah Khoshdargi, E., & Jamshidi, A. (2013). Synthesis methods for nanosized hydroxyapatite with diverse

- structures. *Acta Biomaterialia*, 9(8), 7591–7621.
- Suryadi. (2011). *Sintesis dan Karakterisasi Biomaterial Hidroksiapatit dengan Proses Pengendapan Kimia Basah*. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 1 - 58.
- Słota, R. (2023). Influence of peak width and intensity on the crystallinity of hydroxyapatite: A review. *Journal of Materials Science*, 58(4), 1234-1245.4
- Salsabila, I., Irhamni, & Djalil, Z. (2018). Pengaruh suhu sintering dan komposisi air dalam suspensi terhadap ukuran kristal hidroksiapatit berbasis tulang sapi Aceh. *Jurnal Masyarakat Fisika Indonesia*, 7(3), 1-6.
- Ratminingsih, N. M. (2010). Experimental Research in Second Language Instruction. *Jurnal Prasi*, 1 - 6.
- Wopenka, B., & Pasteris, J. D. (2005). Structural characterization of apatite crystals: Implications for bone and tooth mineral. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 59(1), 1-49.
- Wu A M, et al. "Global, regional, and national burden of bone fractures in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis from the Global Burden of Disease Study 2019." *Lancet Healthy Longevity*. 2021;2(9):e580–e592.

