

## PENGARUH SUHU DAN WAKTU KALSINASI TERHADAP KEMURNIAN HIDROKSIAPATIT BERBASIS CANGKANG KERANG HIJAU UNTUK APLIKASI PADA BONE TISSUE ENGINEERING

**Cerwin Rachmantio**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [cerwin.18064@mhs.unesa.ac.id](mailto:cerwin.18064@mhs.unesa.ac.id)

**Mochammad Arif Irfai**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [arifirfai@unesa.ac.id](mailto:arifirfai@unesa.ac.id)

### Abstrak

Hidroksiapatit merupakan material biokeramik berbasis kalsium fosfat dengan rumus kimia  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  yang digunakan sebagai sel perancah. Hidroksiapatit sintetis yang umum digunakan masih harus di import dan memiliki harga yang mahal, Di Indonesia harga jual hidroksiapatit mencapai 1,5 Juta per 5 miligram. Komposit hidroksiapatit bisa didapatkan menggunakan sumber-sumber kalsium sintetis dan alami cangkang kerang hijau Untuk mendapatkan hidroksiapatit dapat dilakukan dengan metode, di antaranya metode pengendapan basah. Hidroksiapatit sintetis harus melalui proses kalsinasi, suhu dan waktu kalsinasi sangat berpengaruh terhadap kualitas hidroksiapatit sintesis. Pada penelitian ini hidroksiapatit dilakukan proses kalsinasi pada suhu  $800^{\circ}C$  Selama 4,5 jam, 5,5 jam, dan 6,5 jam dan sintesis hidroksiapatit dilakukan metode pengendapan basah atau presipitasi akan menghasilkan hidroksiapatit dengan tingkat kemurnian yang cukup tinggi. Hasil sintesis kemudian akan dilakukan karakterisasi menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD) sehingga dapat diketahui fasanya dan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk diuji penentuan morfologinya. HA Hasil dari uji XRD menunjukkan hasil yang sama dengan hasil JCPDS no 09-0432 dimana dari ketiga sampel serbuk cangkang kerang hijau yang mempunyai intensitas kemurnian paling tinggi sampel variasi waktu 6,5 jam dengan sudut  $2\theta$  18,340, 29,630, 34,520. Sampel variasi 6,5 jam merupakan kondisi terbaik karena menghasilkan HA dengan kristalinitas 95,54%, parameter kisi, dan kemurnian 81,71% yang tinggi. Dari foto SEM memperlihatkan morfologi seperti granul dengan butir yang beragam, namun memiliki permukaan yang kasar. Dimana di variasi serbuk 6,5 jam lebih cenderung terjadi granul yang lebih banyak dibandingkan dengan sampel yang lain dikarenakan variasi waktu saat kalsinasi mempengaruhi kristalisasi dan bentuk morfologi.

**Kata Kunci:** Hidroksiapatit, Kalsinasi, Cangkang Kerang Hijau, Metode Presipitasi.

### Abstract

*Hydroxyapatite is a calcium phosphate-based bioceramic material with the chemical formula  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  used as a cell scaffold. The commonly used synthetic hydroxyapatite still has to be imported and has a high price. In Indonesia, the selling price of hydroxyapatite reaches 1.5 million per 5 milligrams. Hydroxyapatite composites can be obtained using synthetic and natural sources of calcium from green mussel shells. To obtain hydroxyapatite, several methods can be used, including the wet Precipitation Method. Synthetic hydroxyapatite must go through a calcination process, temperature and time of calcination greatly affect the quality of synthetic hydroxyapatite. In this study, the hydroxyapatite calcination process was carried out at  $800^{\circ}C$  for 4.5 hours, 5.5 hours, and 6.5 hours and the synthesis of hydroxyapatite was carried out using the wet deposition or precipitation method to produce hydroxyapatite with a fairly high level of purity. The results of the synthesis will then be characterized using an X-Ray Diffractometer (XRD) so that the phase can be identified and a Scanning Electron Microscope (SEM) to be tested for morphological determination. HA The results of the XRD test showed the same results as the results of JCPDS no 09-0432 where of the three samples of green mussel shell powder which had the highest intensity of purity the sample varied in time 6.5 hours with an angle of  $2\theta$  18.340, 29.630, 34.520. The 6.5 hours variation sample was the best condition because it produced HA with a high crystallinity of 95.54%, lattice parameters and 81.71% purity. The SEM photo shows a granular morphology with various grains, but has a rough surface. Where in the powder variation of 6.5 hours more granules tend to occur compared to other samples due to variations in calcination time affecting crystallization and morphological shape.*

**Keywords:** Hydroxyapatite, Calcination, Green Shells, Precipitation Method.

### PENDAHULUAN

Pada era perkembangan industri 4.0 kita dituntut buat mencari penemuan dan output yang terbaik. Hasil produksi dan pemanfaatan bahan atau limbah dilingkungan ini bisa dijadikan penemuan pemanfaatan limbah secara maksimal.

Kemajuan teknologi pada bidang kesehatan, rekayasa jaringan dan genetik sudah membuka pengetahuan baru pada penanganan banyak sekali macam kondisi, mengingat bahan komposit merupakan bahan alternative dari bahan sintetis. Penyembuhan kerusakan tulang menggunakan transpalasi tulang memakai metode *bone tissue*

*engineering* adalah alternatif dan perawatan konvensional. Prinsip generik berdasarkan *bone tissue engineering* merupakan mengkombinasikan sel, *scaffold* atau perancah, dan faktor pertumbuhan. Meningkatnya penderita patah tulang pada rumah sakit membuat kebutuhan implan tulang sangat dibutuhkan, implan merupakan istilah yang digunakan untuk logam yang di tanamkan dalam ke dalam tubuh untuk mengatasi tulang yang rusak atau patah (Lusiana, 2010). Implan ini bisa digantikan dengan hidroksiapatit (HA).

Hidroksiapatit (HA) adalah anggota dari mineral apatit dan memiliki struktur kimia  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Untuk senyawa ini dikenal baik buat pelaksanaan biomedis menjadi tulang buatan karenanya struktur kimia yang sama menggunakan komponen mineral dalam tulang. Salah satu asal menurut hidroksiapatit adalah cangkang kerang hijau, lantaran cangkang kerang hijau mengandung kalsium yang sangat tinggi. Hidroksiapatit sintetik sendiri masih memakai bahan menurut luar negeri atau import sebagai akibatnya harga yang di keluarkan sangat mahal. Namun dari segi ekonomi, harga hidroksiapatit sangat mahal dan masih impor. Harga hidroksiapatit sekitar Rp 300.000/gram (Merck, 2016) dan Menurut data BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2018) harga hidroksiapatit sintetik merupakan 1 juta rupiah per gram dan diimpor dari Jepang dan ketersediannya bergantung berdasarkan produk luar negeri atau import.

Cangkang Kerang Hijau bahan utama Hidroksiapatit implan tulang ini sangat mudah ditemui, pada wilayah pesisir bahari wilayah mangrove dan muara sungai pada perairan Indonesia tak jarang ditemukan pada bulan maret sampai juli. Produksi kerang di Indonesia pada tahun 2015 mencapai 233.700 ton dan diperkirakan tumbuh 32,60% per tahun hingga 2019 (Kementerian kelautan dan perikanan, 2015). bahwa kandungan yang terdapat dalam cangkang kerang hijau yaitu  $\text{Ca}99,5\%$ ,  $\text{Sc}0<24\%$  Dan  $\text{Sr}0,47\%$ . Tinggi kadar kalsium karbonat dalam cangkang kerang bisa dipakai menjadi alternative bahan abrasif dalam Hidroksiapatit. Selain itu kerang hijau sangat gampang didapatkan dan kerang hijau adalah bahan baku yang murah daripada bahan buatan bahan biomedis lainnya (Siripon et al, 2011).

Ada beberapa faktor yang bisa mempengaruhi kemurnian hidroksiapatit sintesis menggunakan proses kalsinasi dan suhu yang menjadi salah satu faktor penentu output hidroksiapatit sintesis menggunakan proses kalsinasi. Pada penelitian sintesis hidroksiapatit menggunakan metode pengendapan basah atau presipitasi mempunyai banyak keunggulan, misalnya output sampingnya berupa air, dan kemungkinan kontaminasi selama pengolahan sangat rendah, sehingga pada prosesnya akan membentuk hidroksiapatit dengan taraf kemurnian yang relatif tinggi (Suryadi, 2011). akan dilakukan karakterisasi menggunakan Metode XRD (*X-ray Diffraction*) untuk mengetahui tingkat kemurnian serbuk dan dari data uji XRD dikethau bahwa berapa persen tingkat kemurnian, diameter kristal, kristalinitas, dan berapa puncak sudut  $2\theta$ . dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dimana dari uji SEM data yang dihasilkan berupa gambar, dari gambar tersebut bentuk dari serbuk akan terlihat dan membentuk apa, bisa jadi oval, granular,

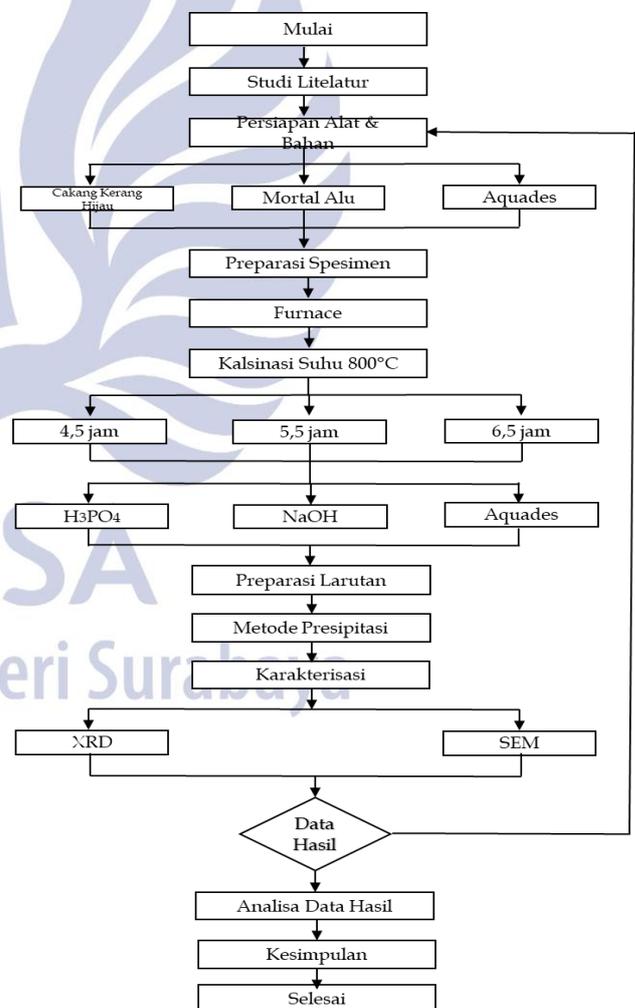
bola, dan spilar. Maka dari itu penelitian ini diuji oleh 2 alat tersebut.

batas kiri 2.5 cm, dan batas kanan 2 cm. Naskah ditulis rata kiri-kanan (justify). Jarak antar baris 1 spasi.

## METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu cara untuk mencari suatu hubungan sebab akibat antara beberapa factor yang saling berpengaruh. Metode penelitian eksperimen dapat digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang dikendalikan (Sugiyono, 2018). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik Hidroksiapatit alami dari bahan cangkang kerang hijau dengan variasi suhu dan waktu kalsinasi.

Penelitian ini saat kalsinasi dilakukan di Lab pelapisan Universitas Negeri Surabaya dan saat penengdapan basa di Lab Biologi Univeritas Negeri Surabaya dan XRD dan SEM dilakukan di Universitas Muhammadiyah Malang. Yang dilakukan pada Maret 2022 – Agustus 2022.



Gambar 1. Flowcart rancangan penelitian

- Langkah Kerja
  - Tahap Persiapan
    - Memilih cangkang kerang hijau yang baik
    - Membersihkan cangkang kerang dari kotoran menggunakan aquades 5 Liter.
    - Menjemur cangkang kerang hijau dibawah terik matahari selama 5 hari.
  - Tahap Pengolahan
    - Siapkan mortal alu stainlees dan ayakan 100 mesh.
    - Hancurkan cangkang dengan mortal sampai kecil-kecil.
    - Saring serbuk cangkang setelah di tumbuk menggunakan ayakan 100 mesh kedalam wadah toples.
    - Serbuk cangkang kerang hijau kemudian dikalsinasi menggunakan furnace.
    - Dengan suhu 8000C dalam variasi waktu 4,5 , 5,5 6,5 jam hingga menjadi CaO.
    - Membuat larutan kalsium hidroksida Ca(OH)<sub>2</sub> 1 M, larutan asam fosfat H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0.6 M dan larutan natrium hidroksida NaOH 1 M. Untuk proses sintesis dilakukan dengan cara meneteskan larutan asam fosfat kedalam larutan kalsium hidroksida dengan laju alir 1 mL/menit sambil dipanaskan.
    - Hidroksiapatit disintesis dari CaO (Cangkang Kerang hijau) dan larutan asam fosfat. Larutan Ca(OH)<sub>2</sub> dicampur dengan larutan asam fosfat (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) dengan laju penambahannya 5 ml/menit, proses pencampuran dilakukan hingga larutan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> habis. Selama pencampuran, suspensi diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan 300 rpm.
    - Setelah proses selesai, suspensi dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam, pada proses ini pH larutan diatur hingga mencapai nilai pH 11 menggunakan larutan (NaOH). Setelah proses selesai, campuran kemudian masuk ke proses penuaan (aging) dengan cara didinginkan dengan suhu kamar selama 24 jam (Al Haris, 2016).
    - Endapan yang dihasilkan dari proses penuaan (aging) kemudian disaring. Endapan hasil saringan kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120°C selama 5 jam dan diulangi hingga berat massa tidak berubah (konstan).
    - Setelah proses selesai, serbuk hidroksiapatit kemudian ditimbang, untuk mengetahui rendemen.
    - Setelah proses pengendapan basah selesai dilakukan uji XRD dan SEM.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

- Hasil proses Kalsinasi

Berdasarkan hasil penelitian kalsinasi dengan variasi waktu 4,5 jam, 5,5 jam, dan 6,5 jam, dengan massa setiap

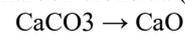
sampel berisi 125 g. kalsinasi bertujuan untuk melepaskan gas-gas dalam bentuk karbonat ataupun hidroksida sehingga menghasilkan bahan dalam bentuk oksida. Kalsinasi sendiri juga dapat menghilangkan zat-zat yang tidak dibutuhkan seperti H<sub>2</sub>O, air kristal, gas (CO<sub>2</sub>) dengan meningkatnya waktu temperatur kalsinasi pada scaffolds akan menaikkan porositas porositas, ukuran diameter. Dimana setelah kalsinasi menunjukkan perubahan warna saat proses kalsinasi. Sebelum proses kalsinasi warna serbuk berwarna putih setelah mengalami proses kalsinasi warna sampel mengalami perubahan warna menjadi putih kekuning-kuningan. Perubahan warna ini menunjukkan adanya proses perubahan komposisi unsur pengisi pada saat kalsinasi dan dengan bertambahnya waktu temperatur pemanasan (annealing) memperlihatkan perubahan warna dan warna gelap menunjukkan belum sempurnanya penguraian komposisi zat organik (Naim B, dkk 2016). Sedangkan serbuk cangkang kerang hijau ini berubah warna menjadi terang penguraian zat organik dari serbuk cangkang hijau ini terjadi sempurna. Dan massa serbuk setelah proses kalsinasi berkurang dimana massa awal dari setiap sampel 125g, Contoh table berikut:

Tabel 1. Diameter ukuran Kristal

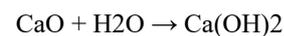
No	Perlakuan	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
1	Kalsinasi Sampel 4,5 jam	125	90
2	Kalsinasi Sampel 5,5 jam	125	82
3	Kalsinasi Sampel 6,5 jam	125	77

- Pengendapan Basah

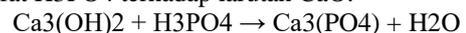
Dalam proses pengendapan basah banyak terjadi reaksi kimia dan berikut ini rekasi kimia yang terjadi saat pengendapan basah, Pemanasan yang dilakukan pada serbuk cangkang kerang hijau mengubah CaCO<sub>3</sub> menjadi CaO dan melepaskan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ke udara.



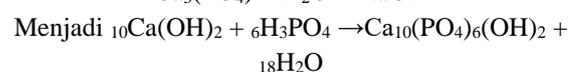
Pada sintesis larutan awal CaO dicampurkan dengan aquades, dengan reaksi CaO dan H<sub>2</sub>O menjadi kalsium karbonat.



Kemudian sisntesis dilakukan dengan penambahan asam fosfat H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap larutan CaO.



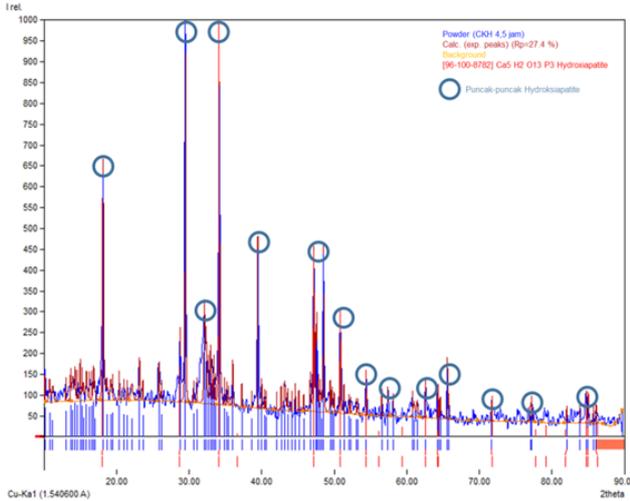
Tahap sintesis terakhir dengan menambahkan larutan narium hidroksida (NaOH) untuk mengubah larutan asam menjadi basa hingga pH 11.



Hasil dari reaksi dengan metode pengendapan basah pH yang dihasilkan penambahan NH<sub>4</sub>OH 1 M pH yang diinginkan sudah tercapai ialah pH 11.

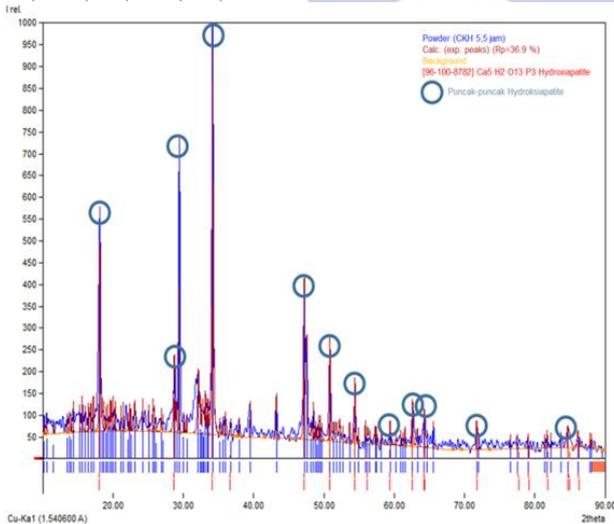
• Hasil Uji XRD

Dalam proses uji Xrd dapat diketahui puncak 2Theta yang menunjukkan adanya Hidroksiapatit Contoh sebagai berikut Gambar grafik hasil uji Xrd:



Gambar 2. Uji XRD dengan sampel waktu 4,5 jam

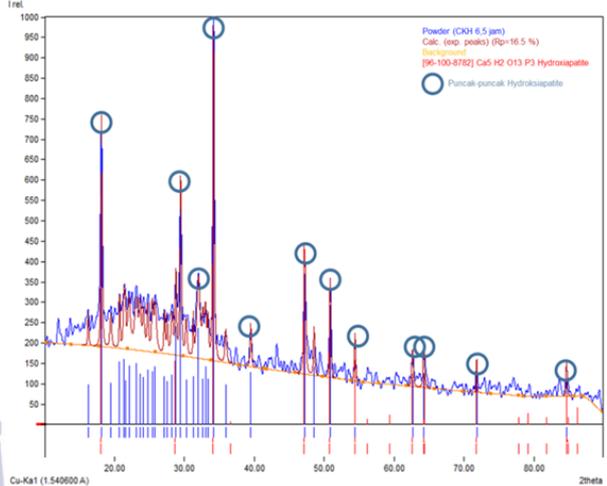
Berdasarkan gambar pola XRD diatas menunjukkan bahwa sampel mempunyai karakter HA ditentukan oleh adanya tiga puncak intensitas yang tinggi di sudut 2Theta = 18.410, 29.730, dan 34.410 dengan demikian hasil uji XRD cangkang kerang hijau pada variasi waktu 4,5 jam telah mendekati data Joint Committee on Power Diffraction Standards (JCPDS) dengan sudut puncak tertinggi terdapat pada sudut-sudut 18.200, 29.520, dan 34.230 dan hasil dari sampel variasi waktu 5,5 jam dan 6,5 jam tidak berbeda jauh yaitu, 18,480, 29,790, 34,520 dan 18,340 , 29,630 , 34,520.



Gambar 3. Uji XRD dengan sampel waktu 5,5 jam

Dari hasil gambar diatas sudut pada tiga sampel ini menunjukkan adanya hidroksiapatit yang dihasilkan mirip dengan JCPDS Ha no 09-0432 dan puncak-puncak dalam grafik bertanda lingkaran menandakan adanya Hidroksiapatit setiap puncak. Semakin tinggi intensitas

puncak dan semakin sempit puncak maka semakin tinggi kristalinitas hidroksiapatit (Ningsih dkk., 2014).



Gambar 4. Uji XRD dengan sampel waktu 6,5 jam

Dari data XRD senyawa HA yang diperoleh, dapat dihitung ukuran partikel HAP menggunakan persamaan Scherrer (M. Sumadiyasa, 2018). Adapun persamaan yaitu :

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

Keterangan:

- D = ukuran Kristal (nm)
- K = factor bentuk Kristal
- $\lambda$  = panjang gelombang sinar-X (0.15406)
- $\beta$  = nilai dari FWHM (rad)
- $\theta$  = sudut difraksi

Dari perhitungan diatas untuk mencari ukuran diameter kristal sampel 4,5 jam dengan sudut 2Theta 18.200, 29.520, dan 34.230 memiliki ukuran Kristal 37,4928297, 43,41594496, dan 35,28431843 dengan rata-rata ukuran Kristal adalah 38,73103103. Sedangkan di sampel 5,5 jam dengan sudut 2Theta 18,480, 29,790, 34,520 memiliki ukuran Kristal 22,0613 nm, 36,3072 nm, dengan rata-rata ukuran Kristal 36,9664 nm, dan disampel 6,5 jam sudut 2Theta 18,340 , 29,630, 34,520 memiliki ukuran Kristal 33,01449289 nm, 35,44429032 nm, 32,28787977 nm Dengan rata-rata 34,58222099 nm.

Kemudian untuk mencari kemurnian yang ingin diketahui yaitu dengan cara mencari kristalinitas dengan rumus:

$$\text{Kristalinitas} = \frac{\text{Fraksi Luas Difraktogram}}{\text{Luas Difraktogram}} \times 100\%$$

Untuk mengetahui fraksi luas difraktogram dan luas difraktogram menggunakan software originlab, selain memakai software originlab untuk mencari persentase kemurnian dari serbuk cangkang kerrang hijau ini menggunakan software Match. Berikut hasil dari perhitungan dari kristalinitas dan kemurnian dari serbuk cangkang kerang hijau:

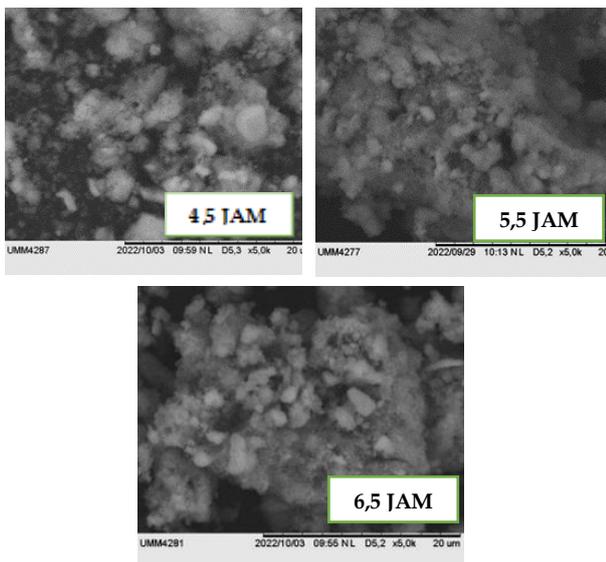
Tabel 2. Kandungan Serbuk Cangkang Kerang Hijau

Kandungan	Suhu dan Lama Waktu Kalsinasi		
	800°C	800°C	800°C
	(4,5 jam)	(5,5 jam)	(6,5 jam)
Kemurnian (%)	79,07	80,02	81,71
Kristalinitas (%)	85,36	88,64	95,54
Diameter (nm)	38,73	36,30	34,58

Tingkat kemurnian dari hasil diatas sampel dari variasi waktu 6,5 jam adalah yang paling besar yaitu 81,71%, dan memiliki kristalinitas yang sangat tinggi 95,54%.

• Hasil Uji SEM

Terlihat pada gambar SEM dengan perbesaran 5000X dari sampel hasil pengendapan basah setelah itu di oven di suhu 200°C bahwa partikel masih teraglomerasi namun terlihat jelas bahwa morfologi dari partikel ini cenderung bulat. Temperatur kalsinasi juga berpengaruh terhadap morfologi dari produk HA yang diperoleh. Akan tetapi pengaruh ini tidak dapat dijelaskan lebih banyak karena partikel-partikel HA yang diperoleh cenderung membentuk agglomerat. Gambar Dibawah berikut ini memperlihatkan pengaruh waktu kalsinasi terhadap morfologi HA:



Gambar 5. Hasil uji SEM dengan sampel variasi waktu 4,5jam, 5,5 jam, dan 6,5 jam

Kristalit dari HA cenderung membentuk agglomerat (Bezzi G, dkk), dengan rentang ukuran 200–400 nm dan rata-rata ukuran kristalinitasnya berada pada rentang 15–50 nm (Russu V.M, dkk).

Pada gambar 5 diatas memperlihatkan perbedaan ukuran partikel HA yang dihasilkan pada temperatur kalsinasi yang sama dengan waktu kalsinasi berbeda. Pada gambar waktu 5 jam menunjukkan ukuran partikel HA yang dihasilkan setelah sempurnanya proses kalsinasi, Jika

proses kalsinasi masih dilanjutkan maka partikel-partikel HA akan mengalami aglomerasi sehingga menghasilkan ukuran partikel yang lebih besar seperti yang sudah di lingkari pada gambar sampel 6,5 jam. Penambahan waktu kalsinasi juga akan menyebabkan penyusutan pori dan pengurangan volume sehingga terjadi proses sintering yang meningkatkan densiti CaO dan mengurangi kereaktifannya terhadap air pada proses hidrasi (Cheng dkk. 2003:382).

**PENUTUP**

**Simpulan**

Sintesis HA berhasil dilakukan dengan metode pengendapan basah dari bahan awal CaO dan Ca(OH)<sub>2</sub> hasil kalsinasi dari cangkang kerang hijau. Dengan pengaturan pH 11 diperlukan untuk pembentukan HA tersebut:

- Hasil dari uji XRD menunjukkan hasil yang sama dengan hasil JCPDS no 09-0432 dimana dari ketiga sampel serbuk cangkang kerang hijau yang mempunyai intensitas kemurnian paling tinggi sampel variasi waktu 6,5 jam dengan sudut 2Theta 18,340, 29,630, 34,520. Sampel variasi 6,5 jam merupakan kondisi terbaik karena menghasilkan HA dengan kristalinitas 95,54%, parameter kisi, dan kemurnian 81,71% yang tinggi.
- Dari foto SEM memperlihatkan morfologi seperti granul dengan butir yang beragam, namun memiliki permukaan yang kasar. Dimana di variasi serbuk 6,5 jam lebih cenderung terjadi granul yang lebih banyak dibandingkan dengan sampel yang lain dikarenakan variasi waktu saat kalsinasi mempengaruhi kristalisasi dan bentuk morfologi.

**Saran**

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan mengoptimalkan teknik-teknik eksperimental seperti variasi suhu disarankan untuk menggunakan suhu 1000C dengan waktu minimal 5 jam untuk menghasilkan karakteristik yang lebih tinggi lagi. Disarankan pada saat karakteristik menggunakan SEM dilakukan dengan perbesaran 30.000X untuk mengetahui bentuk pori yang lebih jelas.

**DAFTAR PUSTAKA**

Amin M, Kurniasih A. 2012. Pengaruh Ukuran Dan Waktu Kalsinasi Batu Kapur Terhadap Tingkat Perolehan Kadar Cao. ISSN: 2086 – 2342 Vol. 4 Buku 1. Fakultas MIPA Universitas Lampung

Ardhiyanto B H. 2011. Peran Hidroksiapatit Sebagai Bone Graft Dalam Proses Penyembuhan Tulang. Vol. 8. No. 2. Hal. 118-121.

Ardhiyanto B H. 2012. Peran Hidroksiapatit Sebagai Material Bone Graft Dalam Menstimulasi Kepadatan Kolagen Tipe L Pada Proses Penyembuhan Tulang. Vol. 9. No. 1. Hal. 16-18.

Ariyanti A, Dewi A, Hapsari D W, Mashadi S, 2018, Perbandingan Kadar Kolagen Cangkang Kerang Darah (Anadara granosa) dengan Cangkang Kerang Hijau

- (*Mytilus viridis*) di Bandengan, Kendal, Jawa Tengah, Vol05, No 02, Hal 134-141.
- Agustiyanti R D, Azis Y, Helwani Z, 2018, Sintesis Hidroksiapatit Dari Precipitated Calcium Carbonate (Pcc) Cangkang Telur Ayam Ras Melalui Proses Presipitasi, Vol 5 No 1, Hal 1-6.
- Asikin. 1982. Kerang Hijau. Jakarta : PT. Penebar Swadaya
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2018). "Technology Sector Material Bioceramic Hydroxyapatite". <http://pusyantek.bppt.go.id/en/pages/technologysector/material/bioceramichydroxyapatite>. (Diakses 17 Desember 2021).
- Haris A, Fadli A, Yenti S, 2016, Sintesis Hidroksiapatit dari Limbah Tulang Sapi menggunakan Metode Presipitasi dengan Variasi Rasio Ca/P dan Konsentrasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, Vol 3, No 2, Hal 1-10.
- Kurniawan M R. 2012. Kalsium Fosfat. <https://hidroksiapatit.wordpress.com/kalsium-fosfat/>. Diakses pada tanggal 17 April 2022.
- Masruroh dkk. 2015. Penentuan ukuran Kristal (crystallite size) lapisan tipis PZT dengan metode XRD melalui pendekatan persamaan Debye Scherrer. Jurnal Universitas Negei Brawijaya.
- Mahasiswa Program S1 Kimia Univesitas Riau. 2015. Pemanfaatan Cangkang Lokan (Geloina Coaxans) Untuk Sintesis Hidroksiapatit Menggunakan Metode Pengendapan. JOM FMIPA Volume 2 No. 2 Oktober 2015
- Munasir, Triwikantoro, Zainuri, Darminto. 2012. Uji Xrd Dan Xrf Pada Bahan Meneral (Batuan Dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (Caco<sub>3</sub> Dan Sio<sub>2</sub>). Vol 2 No 1. Hal 20-29.
- R. Ismail, DF Fitriyana, YI Santosa, S. Nugroho, AJ Hakim, MS Al Mulqi, J. Jamari, AP Bayuseno, 2021, Potensi pemanfaatan kerang hijau (*Perna Viridis*) cangkang untuk polimorf kalsium karbonat sintetis dalam biomaterial, <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro>. 2021. 126282, [www.elsevier.com/locate/jcrysgro](http://www.elsevier.com/locate/jcrysgro)
- Sartono, A.A., 2006. Difraksi sinar-X (X-RD). Tugas Akhir Mata Kuliah proyek Laboratorium. Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. <http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/xray-diffraction/singlecrystal.php>.
- Sedyono J, dan Tontowi E A. 2008. Proses Sintesis Dan Karakterisasi Ftir Hidroksiapatit Dari Gypsum Alam Kulon Progo. Vol. 9. No. 1. Hal. 6-12.
- Sumadiyasa M, dkk. 2018. Penentuan Ukuran Kristal Menggunakan Formula Scherrer, Williamson-Hull Plot, dan Ukuran Partikel dengan SEM. Buletin Fisika Vol. 19 No. 1 Februari 2018 : 28 – 35.
- Supangat D, and Cahyaningrum E S. 2017. Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Cangkang Kepiting (*Scylla Serrata*) Dengan Metode Pengendapan Basah. Vol. 6. No. 3. Hal.143-149.
- Tatamg H. 2013. Sintesis Dan Penciriann Hideoksiapatit Dari Cangkang Kerang hijau dengan metode Sol-gel, Skripsi, Institut Pertanian Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Tua B, Amri A, dan Zultiniar. 2016. Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Cangkang Kerang Darah dengan Proses Hidrotermal Variasi Suhu dan pH. Vol.3 No.2. Hal 1-5.
- Usman R M, Nabila R, Hakiki N L. 2020. Ekstraksi Kalsium dari Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) dan Kerang Batik (*Paphia undulata* B.) dengan Metode Kalsinasi sebagai Sediaan Effervescent. DOI: 10.30598//ijcr. 2020.8-mru. <http://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/ijcr>.
- Widayati R, 2018, Struktur Kristal Dan Morfologi Permukaan Bahan Semikonduktor Cd(S<sub>0,5</sub> Te<sub>0,5</sub>) Hasil Preparasi Dengan Metode Bridgman Pada Berbagai Variasi Alur Pemanasan, Skripsi, Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wardiana E A, Shalli G A, Saputra C E, dan Cahyaningrum E S. 2019. Pemanfaatan Batu Kapur Sebagai Bahan Baku Idroksiapatit Utilization Of Limestone As Hydroxyapatite Raw Material. Vol. 8. No. 2. Hal. 62-66.
- Wahdah I, Wardhani S, dan Darjito. 2014. Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Basah-Pengendapan. Vol. 1. No. 1. Hal. 92-97.