

PENGARUH WAKTU KALSINASI PADA SINTESIS HIDROKSIAPATIT BERBASIS CANGKANG TELUR AYAM UNTUK APLIKASI BIOMATERIAL

Ega Dwi Prasetyawan

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: ega.17050754074@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: arifrfai@unesa.ac.id

Abstrak

Senyawa hidroksiapatit dapat diperoleh dengan menggunakan sumber kalsium sintetik dan alami dari cangkang telur. Hidroksiapatit dapat diperoleh dengan beberapa metode diantaranya metode pelapisan basah. Pada penelitian ini, proses kalsinasi hidroksiapatit dilakukan pada suhu 1000 °C selama 4 jam, 5 jam dan 6 jam, dan sintesis hidroksiapatit dilakukan dengan metode pengendapan basah atau presipitasi, sehingga diperoleh hidroksiapatit dengan kadar yang cukup tinggi. Hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan X-ray diffractometer (XRD) untuk identifikasi fasa dan scanning electron mikroskop (SEM) untuk uji determinasi morfologi. Dari hasil uji SEM diketahui bahwa struktur morfologinya seperti granula yang ukurannya bertambah besar seiring dengan bertambahnya waktu annealing. Dari sini dapat disimpulkan bahwa fluktuasi waktu kalsinasi mempengaruhi kristalisasi dan bentuk morfologi serbuk cangkang telur.

Kata Kunci: Hidroksiapatit, Kalsinasi, Presipitasi, Cangkang Telur Ayam.

Abstract

Hydroxyapatite compounds can be obtained using synthetic and natural sources of calcium from egg shells. Hydroxyapatite can be obtained by several methods including the wet coating method. In this study, the hydroxyapatite calcination process was carried out at 1000 °C for 4 hours, 5 hours and 6 hours, and the synthesis of hydroxyapatite was carried out using the wet deposition or precipitation method, in order to obtain a fairly high level of hydroxyapatite. The synthesis results were then characterized using an X-ray diffractometer (XRD) for phase identification and a scanning electron microscope (SEM) for morphological determination tests. From the results of the SEM test it is known that the morphological structure is like granules whose size increases in size with increasing annealing time. From this it can be concluded that fluctuations in calcination time affect the crystallization and morphology of the eggshell powder.

Keywords: Hydroxyapatite, Calcination, Precipitation Method, Chicken Eggshell

PENDAHULUAN

Kerusakan jaringan pada tubuh manusia dapat timbul dari beberapa sumber. Salah satunya adalah kecelakaan yang mengakibatkan cedera dan patah tulang, seperti kecelakaan kerja dan kecelakaan lalu lintas dalam kehidupan sehari-hari. Hidroksiapatit adalah sejenis mineral kalsium apatit yang mengandung unsur kalsium dan fosfat dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, yang sangat mirip dengan senyawa anorganik dan telah terbukti sebagai perancah yang sangat baik sejak tahun 1950. Hidroksiapatit sintetik yang banyak digunakan masih harus didatangkan dari luar negeri sehingga harganya sangat mahal. Di Indonesia, harga eceran hidroksiapatit adalah 1,5 juta per 5 mg dan ketersediaannya masih bergantung pada produk impor (Merck, 2016). Oleh karena itu, pengembangan perancah tulang berpori berbasis komposit hidroksiapatit sangat dibutuhkan saat ini untuk memenuhi permintaan dan

mengatasi kekurangan hidroksiapatit saat ini. Senyawa hidroksiapatit dapat diperoleh dari sumber kalsium sintetik dan alami. Hidroksiapatit sintetik dapat diproses menggunakan beberapa proses antara lain proses kering, sol-gel, hidrotermal dan basah. Sumber kalsium alami yang digunakan dalam sintesis hidroksiapatit antara lain gipsum alami, tulang sapi, cangkang telur, siput dan cangkang kepiting. Pada penelitian ini, cangkang telur dipilih sebagai bahan awal sintesis HAp dengan menggunakan metode presipitasi. Sekitar 10% dari telur merupakan cangkangnya, sehingga dihasilkan sekitar 133.703 ton cangkang telur per tahunnya. Selain itu, cangkang telur mengandung sekitar 94-97% CaCO_3 (calcium carbonat) (Ahmed & Ahsan, 2008), sehingga sangat berpotensi untuk digunakan dalam mensintesis hidroksiapatit. Pada penelitian ini digunakan metode pengendapan basah yaitu reaksi antara larutan dan larutan karena memiliki kelebihan memiliki kemurnian

hidroksiapatit yang tinggi, rendemen besar, dan tidak memerlukan pelarut organik (Fenty & Sari, 2017).

Hidroksiapatit sintetis harus melalui proses kalsinasi, suhu dan waktu kalsinasi sangat berpengaruh terhadap kualitas hidroksiapatit sintesis, proses kalsinasi juga digunakan untuk menghilangkan ion karbonat yang dapat mengganggu proses sintesis (Savitri dan Bella, 2016). Beberapa peneliti telah melakukan kalsinasi pada suhu diatas 850°C dan waktu lebih dari 5 Jam dan menghasilkan hidroksiapatit yang dihasilkan semakin jelas karena membentuk butiran yang semakin baik dan pori-pori semakin kecil sehingga homogen seiring dengan kenaikan suhu kalsinasi (Ketut dan Asmi, 2014).

Cangkang Telur yang telah dikalsinasi akan dilakukan karakterisasi dengan Metode XRD dan SEM agar penelitian ini mendapatkan hasil yang maksimal. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan membahas tentang pengaruh waktu kalsinasi terhadap kemurnian hidroksiapatit. Kalsinasi akan dilakukan pada suhu 1000°C selama 4, 5 dan 6 jam.

METODE

• Alat dan Bahan

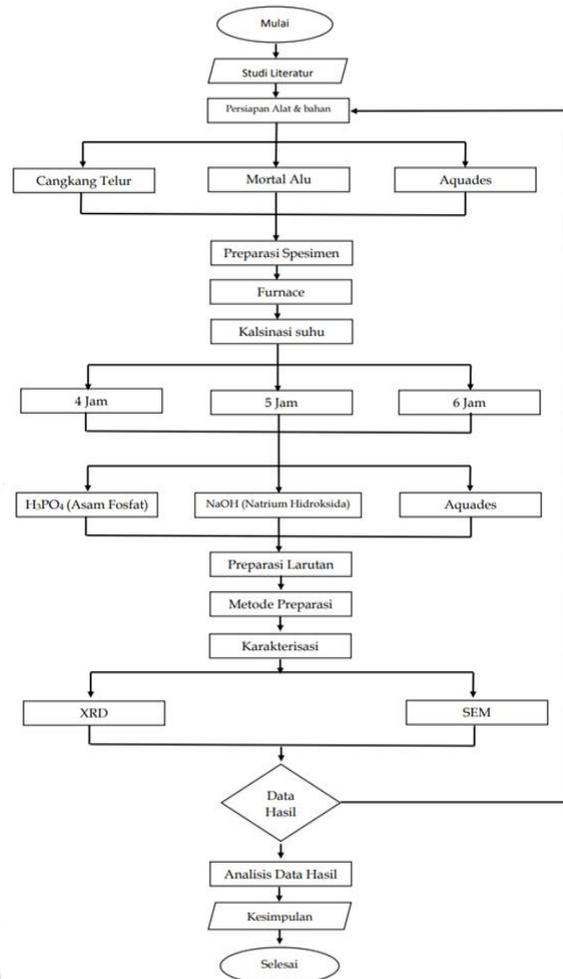
• Alat

Alat yang digunakan pada penelitian adalah Mortal Alu, Saringan 100 mesh, Tungku *nabertherm Furnace*, *X-ray Diffraction (XRD)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Gelas Beaker*, *Kertas Saring*, *Thermometer*, *Timbangan*, *Pipet Tetes*, *Magnetic Stirrer*, *Ph Meter*.

• Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Cangkang Telur Ayam, Aquades, H_3PO_4 , $NaOH$.

• Langkah Penelitian



Gambar 1. Rancangan Eksperimen

• Persiapan Spesimen

Persiapan diawali dengan pembersihan cangkang telur ayam menggunakan aquades, setelah itu cangkang telur ayam di kerinngkan selama 5 hari sampai benar benar kering. Kemudian setelah kering cangkang telur ayam di haluskan menggunakan mortal alu hingga menjadi tepung dan diayak dengan saringan 100 mesh. Tepung cangkang telur yang telah dihaluskan dimasukkan ke kotak penyimpanan.

• Tahap Kalsinasi

Tepung Cangkang telur dilakukan kalsinasi pada *furnace* atau tungku listrik dengan suhu 1000°C selama 4,5 ,dan 6 jam hingga menjadi CaO . Cangkang Telur ayam yang sudah dikalsinasi kemudian diayak dengan ayakan untuk nantinya akan ditimbang ulang setelah proses kalsinasi.

• Preparasi Larutan

Larutan yang akan dibuat adalah larutan kalsium hidroksida $Ca(OH)_2$ 1 M, larutan asam fosfat H_3PO_4 0,6 M dan larutan natrium hidroksida $NaOH$ 1 M. Larutan Larutan kalsium hidroksida dibuat dengan melarutkan CaO (cangkang telur ayam) sebanyak 14,8 gr dan ditambahkan aquades hingga volumenya 200 ml. Untuk larutan asam fosfat (H_3PO_4) 0,6 M dilakukan pengenceran

H₃PO₄ 85% sebanyak 8,1 ml dan di tambahkan aquades hingga volumenya 200 ml. Larutan NaOH yang digunakan ialah NaOH cair dengan molaritas 1 M. (Suryadi, 2011).

• **Tahap Sintesis Hidroksiapatit**

Hidroksiapatit disintesis dari CaO (cangkang telur ayam) dan larutan asam fosfat. Larutan Ca(OH)₂ dicampur dengan larutan asam fosfat (H₃PO₄) dengan laju penambahannya 5 ml/menit, proses pencampuran dilakukan hingga larutan H₃PO₄ habis. Selama pencampuran, suspensi diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 300 rpm. Setelah proses pencampuran 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 200°C selama 2 jam dan diulangi hingga berat massa tidak berubah (konstan). Setelah proses selesai, serbuk hidroksiapatit kemudian ditimbang, untuk mengetahui rendemen yang didapatkan dengan rumus berikut:

$$\text{Rendemen} = \frac{\text{bobot akhir sampel}}{\text{bobot awal sampel}} \times 100\%$$

• **Karakterisasi Hidroksiapatit**

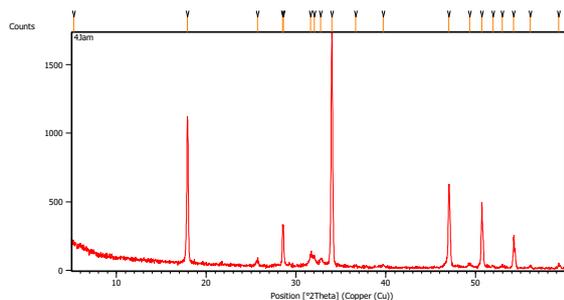
Serbuk hidroksiapatit seintesis dilakukan karakterisasi menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) untuk mengetahui komposisi, kemurnian, kristanitas dan struktur serta menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk mengetahui morfologi permukaan dan pengaruh dari konsentrasi larutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

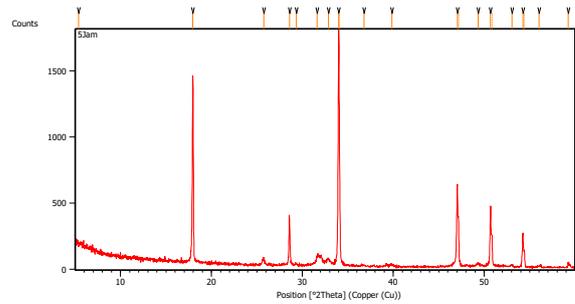
• **Hasil Pengujian**

Hasil Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

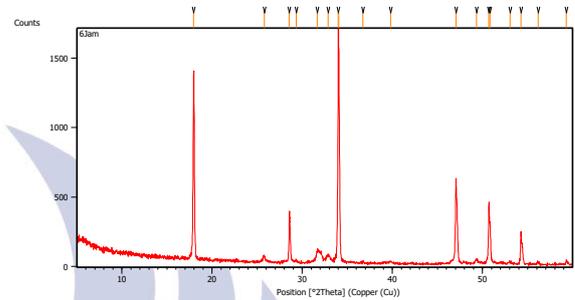
Di dapatkan Hasil Pengujian XRD sebagai berikut :



Gambar 2. Hasil Uji XRD spesimen 1000°C-4 Jam

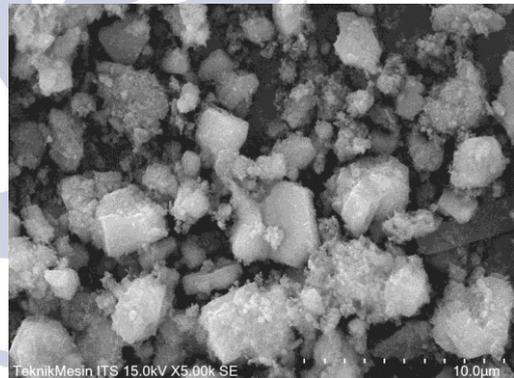


Gambar 3. Hasil Uji XRD spesimen 1000°C-5 Jam

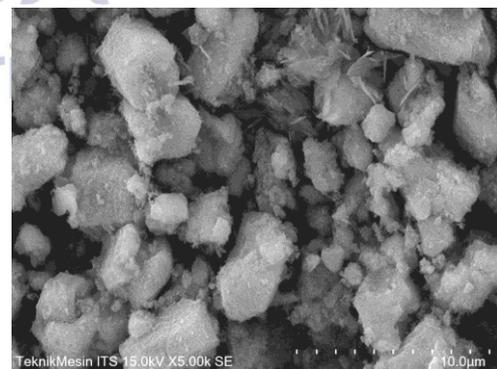


Gambar 4. Hasil Uji XRD spesimen 1000°C-6 Jam

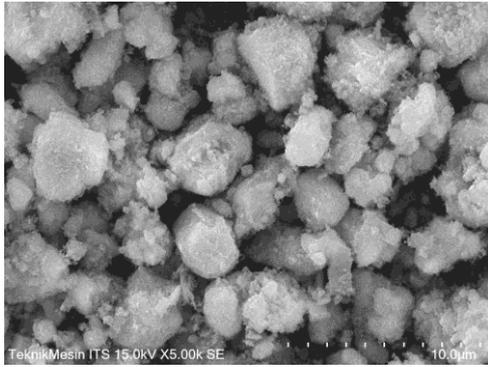
Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk butiran partikel serbuk hidroksiapatit dengan perbesaran 5000 kali.



Gambar 5. Hasil Uji SEM spesimen 1000°C-4 Jam



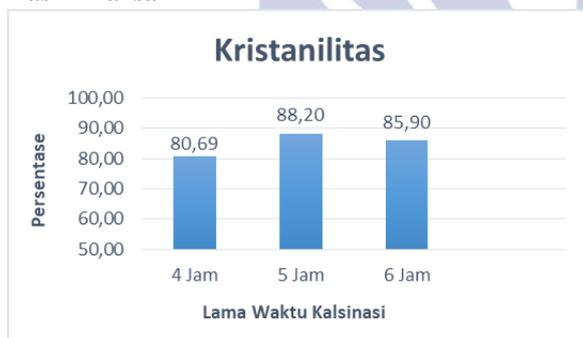
Gambar 6. Hasil Uji SEM spesimen 1000°C-5 Jam



Gambar 7. Hasil Uji SEM spesimen 1000°C-6 Jam

Berdasarkan hasil SEM pada Gambar 5 menunjukkan bahwa morfologi permukaan butir spesimen serbuk cangkang telur ayam dengan sebaran yang cukup homogen. Terlihat ukuran butir juga berbentuk granular mendekati bola. Pada Gambar 6 menunjukkan hasil yang hampir sama dengan gambarr 5 tetapi ukuran butir spesimen yang lebih besar. Pada Gambar 7 di dapatkan ukuran butir juga berbentuk granular mendekati bola dan memiliki struktur yang didapatkan lebih besar dari sebelumnya.

- **Hasil Analisa**



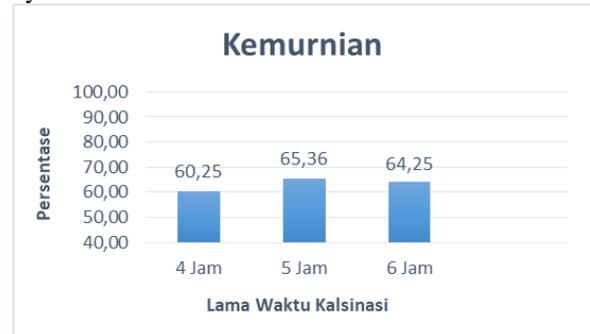
Gambar 8. Grafik Kristalinitas

Dari hasil penelitian sampel yang dilakukan uji dengan spektrum XRD (X-Ray Diffraction) dan analisis didapatkan bahwa kristalinitas sampel serbuk cangkang telur ayam mendapatkan nilai yang lebih tinggi saat waktu kalsinasi 5 jam sebesar 88,20% dan tingkat kristanilitas terkecil terdapat pada sampel yang di lakukan kalisansi selama 4 jam sebesar 80%. Berikut grafik dari kristanilitas serbuk cangkang telur ayam.

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 kemurnian sampel serbuk cangkang telur ayam, yang paling tinggi adalah pada waktu 5 jam, berikut grafik dari kemurnian serbuk cangkang telur

ayam.

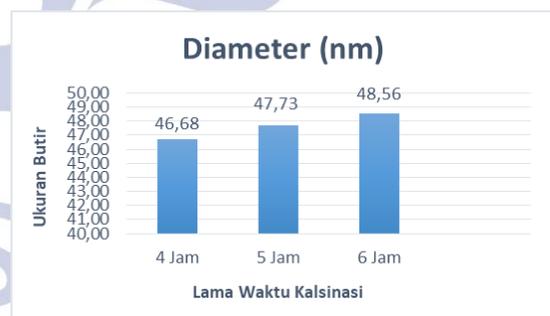


Gambar 9. Grafik Kemurnian

Kemurnian menjadi point utama dalam melakukan sintesis pada serbuk cangkang telur ayam, semakin murni hidroksiapatit sintetik yang dihasilkan dan sesuai dengan database JCPDS (*Join Committee on Power Diffraction Standards*) menandakan bahwa hidroksiapatit sintetik mempunyai kualitas yang baik.

Dari grafik diatas dapat didapatkan bahwa serbuk cangkang telur ayam yang mengalami kalsinasi pada waktu 5 jam memiliki tingkat kemurnian yang tinggi sebesar 65.36%. Hal ini dikarenakan adanya pertumbuhan butir yang semakin meningkat seiring dengan waktu penahanan, dan karena pertumbuhan butir yang meningkat terdapat penambahan pada fasa-fasa yang lain.

Dari hasil penelitian sampel yang dilakukan uji dengan spektrum XRD (X-Ray Diffraction) juga dapat dilakukan analisis ukuran butir atau diameter (nm) sampel serbuk cangkang telur ayam, berikut grafik dari ukuran butir serbuk cangkang telur ayam.



Gambar 11. Grafik Diameter Ukuran Butir

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa ukuran butir sampel serbuk cangkang telur ayam akan membesar seiring dengan lama waktu kalsinasi, Hal ini disebabkan karena seiring peningkatan waktu reaksi maka banyak partikel yang tumbuh dan frekuensi tumbukan antar partikel juga semakin tinggi, sehingga menyebabkan diameter kristal akan semakin besar (Fadli, 2019).

Sehingga didapatkan bahwa ukuran butir terbesar terdapat pada sampel yang dilakukan kalsinasi pada waktu 6 Jam sebesar 48,56 nm. dan ukuran butir terkecil terdapat pada sampel yang dilakukan kalsinasi selama 4 Jam sebesar 46.68 nm.

Hasil penelitian dan analisis pada sampel serbuk cangkang telur ayam dapat disimpulkan seperti tabel dibawah ini:

Tabel 1. Hasil Analisis Sampel XRD

Kandungan	Suhu dan Lama Waktu Kalsinasi		
	1000°C (4Jam)	1000°C (5Jam)	1000°C (6Jam)
Kemurnian (%)	60.25%	65.36%	64.25%
<i>Crystallinity</i> (%)	80.69%	88,20%	85.90%
Diameter (nm)	46,68	47,73	48,56

Dari ketiga hasil sampel diatas dapat disimpulkan bahwa sampel yang memiliki hasil paling optimal adalah sampel hidroksiapatit cangkang telur ayam pada waktu tahan 5 jam dikarenakan memiliki kemurnian 65,36%, kristalinitas 88,20% , dan diameter 47.73 nm. Kesimpulan tersebut didapatkan karena sampel memiliki kemurnian 65.36%, artinya sampel hidroksiapatit tersebut memiliki sifat mekanik yang lebih baik dikarenakan semakin tinggi kristalinitas maka sifat mekaniknya semakin baik oleh karena semakin tinggi sifat mekanik maka kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan keuletannya juga semakin bagus.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dari pengujian yang telah dilakukan dan evaluasi data serta pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Hasil dari uji XRD menunjukkan hasil yang sama dengan hasil JCPDS no 09-0432 dimana dari ketiga sampel serbuk cangkang Telur ayam yang mempunyai intensitas kemurnian paling tinggi sampel variasi waktu 5 jam dengan sudut 2Theta 17,9517 , 33,9777 , 34,0869. Sampel variasi 5 jam merupakan kondisi terbaik karena menghasilkan HA dengan kristalinitas 88,20%, parameter kisi, dan kemurnian 65,36% yang cukup tinggi, karena Menurut ISO-13779:2008 batas kemurnian Hap adalah 50%.

Dari foto SEM memperlihatkan morfologi seperti granul dengan butir yang beragam, namun memiliki permukaan yang cukup halus. Dimana di variasi serbuk cangkang telur ayam dengan waktu 6 jam lebih cenderung terjadi granul yang lebih banyak dan besar dibandingkan dengan sampel yang lain dikarenakan variasi waktu saat kalsinasi mempengaruhi kristalisasi dan bentuk morfologi.

Saran

Untuk bisa menghasilkan hidroksiapatit sintetik yang lebih baik, untuk penulis memberikan saran pada penelitian yang lebih lanjut. Berikut saran yang perlu diperhatikan:

Untuk menghindari terdapat banyak noise pada hasil uji XRD (X-Ray Diffraction) sehingga masih banyak fasa yang tidak dibutuhkan untuk mencapai hidroksiapatit

masih tersisa, sebaiknya harap di perhatikan dari awal langkah ketika proses persiapan spesimen.

Disarankan pada saat karakteristik menggunakan SEM dilakukan dengan perbesaran 30.000X untuk mengetahui bentuk pori yang lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., & Khairurrijal, K. (2009). A simple method for determining surface porosity based on SEM images using OriginPro software. *Indonesian Journal of Physics*, 20(2), 37-40.
- 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.
- Ahmed, S., & Ahsan, M. (2008). Synthesis of Ca-hydroxiapatite Bioceramic from Egg Shell and its Characterization. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 43(4), 501-512.
- Andika, R., Fadli, A., & Irdoni, H. S. (2015). Pengaruh waktu ageing dan kecepatan pengadukan pada sintesis hidroksiapatit dari cangkang telur dengan metode presipitasi (Doctoral dissertation, Riau University).
- Fadli, D. F., Azis, Y., & Yusnimar, Y. Pengaruh Suhu Dan pH Terhadap Bentuk Partikel Hidroksiapatit Dari Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Kulit Telur Itik Melalui Metode Presipitasi. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 6, 1-8.
- Fenty dan Sari. (2017), Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Cangkang Telur Ayam Ras (Gallus Gallus) Menggunakan Metode Pengendapan Basah. Universitas Negeri Surabaya.
- Gago, J., & Ngapa, Y. D. (2021). Pemanfaatan Cangkang Telur Ayam Sebagai Material Dasar Dalam Sintesis Hidroksiapatit Dengan Metode Presipitasi Basah. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*.
- Hartanto.D, Purbaningtyas, Esti, Prasetyo.D, (2011). “Karakterisasi Stuktur Pori dan Morfologi ZSM-2 Mesopori yang Disintesis dengan Variasi Waktu Aging“. *Jurnal Ilmu Dasar*, Vol. 22, No. 1, pp. 80-90.
- Ketut dan Asmi. (2014). “Sintesis dan Karakterisasi Biokeramik Hidroksiapatit Bahan Tulang Sapi pada Suhu 800-1100°C“. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Universitas Lampung.
- Komala, D., Amin, M. N., & Rahayu, Y. C. (2022). Uji Sitotoksitas Hidroksiapatit Cangkang Telur Ayam Ras (Gallus gallus) terhadap Sel Fibroblas Ligamen Periodontal Manusia. *STOMATOGNATIC-Jurnal Kedokteran Gigi*, 19(1), 49-54.
- Kurniawan M R. 2012. Kalsium Fosfat. <https://hidroksiapatit.wordpress.com/kalsium-fosfat/>. Diakses pada tanggal 30 Agustus 2022.
- Mawadara, P. A., Mozartha, M., & Trisnawaty, K. (2016). Pengaruh penambahan hidroksiapatit dari cangkang telur ayam terhadap kekerasan permukaan GIC. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*, 5(2), 8-14.
- Munasir , Triwikantoro, Zainuri , Darminto. 2012. Uji Xrd Dan Xrf Pada Bahan Meneral (Batuan

- Dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas (Caco3 Dan Sio2). Vol 2 No 1. Hal 20-29.
- Mutmainnah, M. (2017). *Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Tuna Sirip Kuning (Thunnus albacore) dengan Metode Presipitasi* (Doctoral dissertation, UIN Alauddin Makassar).
- Noviyanti, A. R., Haryono, H., Pandu, R., & Eddy, D. R. (2017). Cangkang telur ayam sebagai sumber kalsium dalam pembuatan hidroksiapatit untuk aplikasi graft tulang. *Chimica et Natura Acta*, 5(3), 107-111.
- Pankaew, P., Hoonnivathana, E., Limsuwa, P., & Naemchanthara, K. (2010). Temperature effect on calcium phosphate synthesized from chicken eggshells and ammonium phosphate. *Journal of Applied Sciences*, 10(24), 3337-3342
- Prabaningtyas, R. A. M. S., & SAFANTI, M. (2015). Karakterisasi Hidroksiapatit dari Kalsit (PT. Dwi Selo Giri Mas Sidoarjo) Sebagai Bone Graft Sintetis Menggunakan X-Ray Diffractometer (XRD) dan Fourier Transform Infra Red (FTIR).
- Puspita, F. W., & Cahyaningrum, S. E. (2017). Sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit dari cangkang telur ayam ras (*Gallus gallus*) menggunakan metode pengendapan basah. *UNESA Journal of Chemistry*, 6(2), 100-106.
- Ridha, N. (2017). Proses penelitian, masalah, variabel dan paradigma penelitian. *Hikmah*, 14(1), 62-70.
- Roman Rendusara 2021. Cangkang Telur untuk Tanaman. <https://www.kompasiana.com/natallie/601f225b8ede487d7e6ce723/cangkang-telur-ayam-untuk-tanaman>. Diakses pada tanggal 25 Agustus 2022.
- 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>.
- Satria, dkk. (2016). "Pengaruh pH Dan Waktu Reaksi Pada Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Presipitasi Basah". *Jom FT Teknik Vol 3 No.1*. Riau: Universitas Riau.
- Sitohang, F., & Azis, Y. *Sintesis Hidroksiapatit Dari Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Kulit Telur Ayam Ras Melalui Metode Hidrotermal* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Supangat, D., & Cahyaningrum, S. E. (2017). Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Cangkang Kepiting (*Scylla Serrata*) Dengan Metode Pengendapan Basah Synthesis And Characterization Of Hydroxyapatite Of Crabs Shell (*Scylla Serrata*) By Wet Application Method. *Unesa Journal Of Chemistry*, 6(3).
- Wardani, N. S., Fadli, A., & Irdoni, I. (2015). *Sintesis Hidroksiapatit dari Cangkang Telur dengan Metode Presipitasi* (Doctoral dissertation, Riau University).
- Yanti, P. H., & Gandi, Y. (2020). Pengaruh Waktu Kalsinasi Terhadap Sifat Fisika-Kimia Hidroksiapatit Dari Cangkang Geloina Coaxans. *Chemistry Progress*, 13(2).
- Wopenka B dan Pasteris JD. (2005). "A mineralogical perspective on the apatite in bone". *Journal of Materials Science and Engineering*. 25(2): 131-143.