

Pengaruh Amplitudo Sonikasi pada Sintesis Hidroksiapatit Berbasis Biomaterial Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*) dengan Metode *Ultrasound Assisted Precipitation*

Virdha Alifyana Prameswari, Regita Prameswari dan Achmad Dwitama Karisma

Departemen Teknik Kimia Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 60111, Indonesia

*) Corresponding author: dwitama@its.ac.id

Abstract

Based on the results of Basic Health Research (RISKESDAS) conducted by the Research and Development Agency of the Republic of Indonesia in 2013, the percentage of bone injuries and fractures caused by accidents in Indonesia are quite high and still increasing. This increase in accident number has caused the demand of medical devices to fluctuate. One of the medical devices in demand is suture anchor which is usually used to connect ripped tendons to the bone. So far, the commonly used material to make medical devices such as suture anchor is durable metal. But the downside of using metal is they can cause allergic reactions and inflammation inside the body. Therefore, the existence of biocompatible ingredients is needed to overcome those problems. One of the materials that could fulfill that criterion is the shell of *Pila ampullacea*, commonly known as rice field snail or apple snail. To synthesize hydroxyapatite from the shell, the method used here is precipitation method assisted by ultrasonic waves. The sonication amplitude will be adjusted with several different percentages, which are 10%, 40%, 70%, 90%, and 100%. The purpose is to determine the effect of amplitude on the hydroxyapatite synthesized from rice field snail's shell. After that, the characteristic of the hydroxyapatite result will be analyzed using FTIR and XRD test. The results showed that biomaterials from rice field snail's shell had good potential as hydroxyapatite materials. The best conditions for obtaining hydroxyapatite crystals were 100% sonication amplitude with peak intensity at an angle of 2θ , and sintering temperature of 800 °C for 6 hours according to JCPDS 09-0432 data. The results of the XRD test showed that at a low amplitude of 10%, the crystallinity showed the lowest result, namely 11.48%. Meanwhile, at high amplitude, which is 100%, the crystallinity shows the largest number, which is 73.37%.

Abstrak

Berdasarkan hasil Riset Kesehatan Dasar (RISKESDAS) oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Depkes RI tahun 2013, angka kejadian patah tulang atau insiden fraktur di Indonesia cukup tinggi menyebabkan meningkatnya kebutuhan alat medis untuk perbaikan tulang. Salah satu alat tersebut adalah *suture anchor* yang berfungsi menghubungkan tendon ke tulang. Salah satu bahan yang memenuhi kriteria menjadi bahan *suture anchor* adalah cangkang keong sawah karena mengandung kalsium fosfat. Metode sintesis yang digunakan adalah metode *Ultrasound Assisted Precipitation*. Amplitudo sonikasi diatur dengan beberapa persentase berbeda, yaitu 10%; 40%; 70%; 90%; dan 100%. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh amplitudo pada hasil sintesis hidroksiapatit dengan bahan cangkang keong sawah. Setelah itu, dilakukan pengujian karakteristik HAp dari Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*) menggunakan uji FTIR dan XRD. Hasil menunjukkan bahwa sintesis hidroksiapatit (HAp) dapat dihasilkan dari bahan yang mengandung unsur CaCO_3 yakni cangkang keong sawah menggunakan metode *Ultrasound Assisted Precipitation*. Kondisi terbaik untuk mendapatkan kristal hidroksiapatit adalah amplitudo sonikasi 100% dengan intensitas puncak pada sudut 2θ pada suhu sintering 800 °C selama 6 jam sesuai data JCPDS 09-0432. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa pada amplitudo rendah yakni 10%, kristalinitas menunjukkan hasil terendah, yaitu 11,48%. Sedangkan pada amplitudo tinggi yakni 100%, kristalinitas menunjukkan angka terbesar, yaitu 73,37%.

Kata kunci : *Hydroxyapatite, Rice Field Snail Shell, Ultrasound.*

PENDAHULUAN

Angka kejadian patah tulang atau insiden fraktur di Indonesia cukup tinggi. Penderita cedera bahu di Indonesia pada orang dewasa dengan umur diatas 40 tahun mencapai 20% penduduk [1]. Dengan banyaknya cedera yang terjadi di Indonesia, maka dibutuhkan alat medis yang banyak pula. Namun sebanyak 90% alat medis di Indonesia merupakan produk asing yang diimpor [2]. Penggunaan material untuk membantu perbaikan kerusakan tubuh manusia, salah satunya adalah material polimer. Material ini dapat menggantikan suatu organ, namun akan menghambat pertumbuhan jaringan tulang. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu material pengganti tulang yang harus memiliki sifat biokompatibel, bioaktif, dan biodegradasi [3].

Hidroksiapatit (HAp) merupakan salah satu material maju yang memiliki unsur kalsium dan fosfat dengan rumus kimia $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang telah ditemukan dan dikembangkan sejak tahun 1950 sebagai material perancah tulang, karena memiliki kesamaan struktur penyusun tulang serta memiliki sifat biokompatibilitas, bioaktivitas, dan ostekonduktif yang baik [4]. Studi HAp terus dikembangkan karena kebutuhan akan biomaterial ini sangat tinggi terutama dalam bidang kedokteran ortopedi, misalnya untuk pengobatan tulang, baik perbaikan pada tulang yang retak maupun patah tulang. Berbagai sumber bahan dasar sintesis HAp telah digunakan diantaranya sumber Ca berasal dari tulang manusia, tulang sapi, batu gamping, cangkang kerang, dan telur [5].

Pengembangan desain untuk mengatasi komplikasi pada tulang pasca pembedahan dengan menggantikan bahan *suture anchor* berbasis biomaterial. Pada penelitian ini biomaterial yang akan kami gunakan adalah cangkang keong sawah (*Pila ampullacea*). Keong sawah termasuk dalam kelompok Operculata yang hidup di perairan dangkal. Cangkang keong sawah (*Pila ampullacea*) merupakan limbah dari konsumsi daging keong sawah dan belum memiliki pemanfaatan secara komersial. Limbah ini kaya akan berbagai mineral termasuk kalsium [6]. Cangkang keong sawah mengandung senyawa CaCO_3 sebanyak 95–99%, sedangkan sisanya berupa silika dan bahan organik lainnya. Kandungan kalsium cangkang keong sawah (*Pila ampullacea*) sangat tinggi ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan yang lebih bernilai daya guna untuk keperluan industri dan medis [7]. Cangkang keong sawah mudah ditemukan karena Indonesia merupakan negara agraris sehingga jumlah keong sawah ini yang terus meningkat sebagai limbah sawah. Selain itu, cangkang keong sawah seringkali dimanfaatkan dagingnya untuk diolah sebagai usaha kuliner, namun cangkang keong sawah masih belum dimanfaatkan dengan baik. Oleh karena itu, melimpahnya bahan baku tersebut bisa dimanfaatkan untuk sintesis pembuatan hidroksiapatit [8].

Penelitian yang dilakukan oleh peneliti [9] berhasil menyintesis cangkang bekicot menjadi hidroksiapatit menggunakan metode presipitasi dengan variasi pH dan suhu sintering pada suhu 600; 700; 800; dan 900°C. Hasil penelitian menunjukkan perolehan hidroksiapatit (HAp) mencapai 100% pada pH 12, dan suhu 600°C dengan struktur kristal amorf. Selain itu, penelitian terdahulu oleh [6] berhasil menyintesis cangkang keong sawah menjadi hidroksiapatit menggunakan metode presipitasi pengadukan berganda dengan ragam waktu sonikasi 4 dan 6 jam serta ragam suhu 600; 800; 1000; dan 1100. Hasil terbaik yang didapatkan pada sintesis hidrotermal dengan kemurnian 89.71% dan ukuran kristal 226.46 nm dengan waktu 6 jam dan suhu 1000°C.

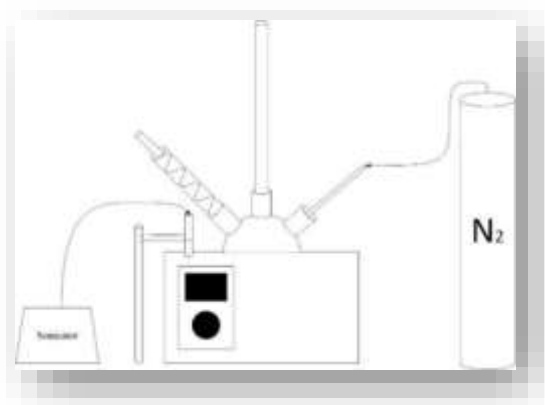
Sintesis hidroksiapatit yang kami lakukan dengan metode *Ultrasound Assisted Precipitation*. Manfaat dari metode ini yakni pengoperasiannya yang sederhana, biaya rendah, sedikit aditif, dan sedikit polusi [10]. Amplitudo sonikasi akan diatur dengan beberapa persentase berbeda, yaitu 10%; 40%; 70%; 90%; dan 100%. Sonikasi merupakan pemberian perlakuan ultrasonik pada suatu bahan dalam kondisi tertentu menyebabkan terjadinya reaksi kimia akibat perlakuan yang diberikan [11]. Partikel HAp yang disintesis pada proses sonikasi memiliki lebih banyak kristal seragam, lebih kecil, dan lebih murni [12].

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh besar amplitudo pada sintesis HAp dari Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*) dengan metode presipitasi dibantu gelombang ultrasonik, dan mengetahui hasil pengujian karakteristik HAp dari Cangkang Keong Sawah (*Pila ampullacea*) menggunakan uji FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan uji XRD (*X-Ray Diffraction*).

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Cangkang Keong Sawah, H_3PO_4 , Nitrogen, Air Suling (*Aquadest*), Batang Pengaduk, *Beaker Glass* 250 mL, Buret, *Crucible*, Erlenmeyer 250 mL, *Furnace*, *Hot Plate*, Kaca Arloji, Kertas Saring, Klem, Mortar dan Alu, Oven, Pipet Tetes, Statif, *Stirrer*, Termometer, Timbangan Analitik, serta *Waterbath Sonicator*.



Gambar 1. Skema Alat Sintesis HAp dengan Metode Presipitasi dengan Bantuan Sonikasi

Proses Kalsinasi Cangkang Keong Sawah

Pada tahapan kalsinasi menggunakan variabel tetap yakni suhu kalsinasi sebesar $1000^{\circ}C$ dan H_3PO_4 0.5M untuk presipitasi. Sedangkan untuk variabel bebas adalah amplitudo sonikasi yang digunakan, yakni 10%; 40%; 70%; 90%; dan 100%. Proses ini diawali dengan sampel cangkang keong sawah yang dibersihkan dengan dicuci hingga air cucian dari cangkang tidak berwarna kecoklatan lalu dikeringkan pada suhu ruangan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari selama 2 hari, Lalu cangkang yang telah kering dihancurkan hingga ukuran menyerupai serbuk dan diayak untuk disamaratakan ukuran pada hasil ayakan. Selanjutnya tahap kalsinasi, yakni cangkang yang telah dihancurkan dimasukkan ke dalam *furnace* untuk dikalsinasi pada suhu $1000^{\circ}C$ selama 8 jam. Proses kalsinasi ini dilakukan untuk mereduksi senyawa $CaCO_3$ pada cangkang keong agar menjadi CaO .

Proses Sintesis Hidroksiapatit dengan Metode Presipitasi

Memasuki tahap sintesis hidroksiapatit dengan metode presipitasi, CaO dilarutkan pada 500 ml air suling yang telah dididihkan untuk membentuk larutan $Ca(OH)_2$. Lalu larutan H_3PO_4 1 M dibuat dalam 100 ml, kemudian larutan $Ca(OH)_2$ direaksikan dengan larutan H_3PO_4 dengan cara diteteskan secara perlahan pada suhu $80^{\circ}C$. Kemudian *horn sonicator* dinyalakan setiap 10 menit hingga reaksi selesai dengan menggunakan amplitudo sonikasi sebesar 10%; 40%; 70%; 90%; dan 100%. Selanjutnya larutan dipanaskan menggunakan *hotplate magnetic stirrer* hingga suhu $50^{\circ}C$ selama 2 jam. Kemudian larutan hasil presipitasi didinginkan selama 45 menit dan disaring menggunakan kertas saring untuk mendapatkan endapan berwarna putih dan endapan hasil penyaringan dicuci sebanyak 3 kali menggunakan air suling. Terakhir, hidroksiapatit yang terbentuk kemudian disintering pada suhu $800^{\circ}C$ selama 6 jam.

Uji Analisa Hasil Penelitian

Untuk mengetahui karakterisasi material, maka perlu dilakukan analisis. Jenis - jenis analisis yang dilakukan pada penelitian ini antara lain analisis struktur yang menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*), uji XRD (*X-Ray Diffraction*), dan penghitungan kristalinitas berdasarkan pola XRD.

1. FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)

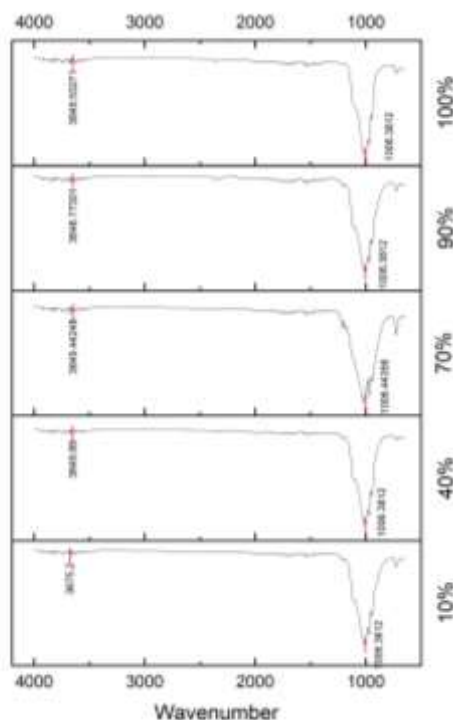
Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (FTIR) dapat memberikan informasi mendasar mengenai struktur molekul komponen organik dan anorganik, serta salah satu analitis yang paling serbaguna teknik untuk non-destruktif, karakterisasi kimia sampel geologi, seperti batubara, inklusi serpih, cairan, lelehan, kaca silikat, mineral, dan mikrofosil. Mekanisme teknik FTIR dikaitkan dengan transisi antara vibrasi terkuantisasi keadaan energi. Dalam analisis FTIR, penyerapan radiasi IR terjadi ketika foton berpindah ke sebuah molekul dan mengeksitasinya ke keadaan energi yang lebih tinggi [13].

2. XRD (*X-Ray Diffraction*)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah metode yang mampu menganalisis jenis dan sifat mineral tertentu dengan melihat pola difraksi mineral yang dihasilkan. Analisa Difraksi Sinar-X atau *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan suatu metode analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Profil XRD juga dapat memberikan data kualitatif dan semi kuantitatif pada padatan atau sampel [14]. Prinsip kerja analisa XRD merupakan contoh analisa yang digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan suatu senyawa dengan mengamati pola pembiasan cahaya sebagai akibat dari berkas cahaya yang dibiaskan oleh material yang memiliki susunan atom pada kisi kristalnya [15].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji yang dilakukan pada 5 sampel hidroksiapatit dengan amplitudo sonikasi yang berbeda meliputi uji FTIR dan uji XRD. **Gambar 1.** adalah hasil analisa FTIR pada partikel HAp yang telah disintesis dengan variasi % Amplitudo gelombang ultrasonik.

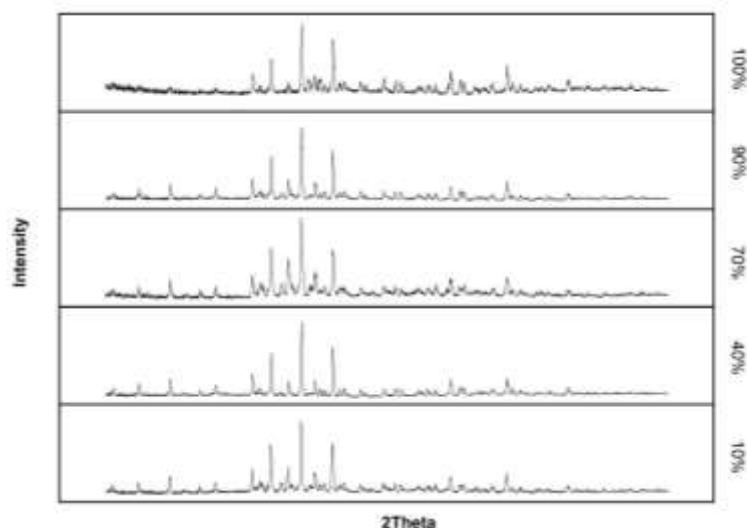


Gambar 2. Hasil Uji FTIR Sintesis Hidroksiapatit Berbahan Cangkang Keong Sawah

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada hidroksiapatit yang disintesis dari cangkang keong sawah. Ikatan kimia tersebut diindikasikan dengan puncak-puncak yang berbeda. Gugus fungsi pada hidroksiapatit dapat diidentifikasi menggunakan spektroskopi FTIR [16]. Spektrum FTIR dari sampel diberikan pada **Gambar 2**. Spektra FTIR pada grafik menunjukkan adanya gugus fungsi O-H yang ditunjukkan pada gelombang 3649 cm^{-1} untuk konsentrasi amplitudo 40%; 70%; 90%; dan 100% serta gelombang 3675 cm^{-1} untuk konsentrasi amplitudo 10%. Pada daerah bilangan gelombang $3300\text{--}3850\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi dengan ikatan kovalen tunggal O-H *stretching* dengan intensitas kuat, sedang, lemah dan bentuk pita tajam dan lebar [17].

Grafik hasil uji FTIR juga menunjukkan adanya gugus fungsi P-O yang ditunjukkan pada bilangan gelombang 1006 cm^{-1} pada amplitudo 10%; 40%; 70%; 90%; dan 100%. Gugus fungsi fosfat (PO_4^{3-}) muncul pada rentang bilangan gelombang $1000\text{--}1150\text{ cm}^{-1}$. Analisis gugus fungsi pada sampel hidroksiapatit menunjukkan adanya gugus hidroksil dari senyawa alkohol dengan munculnya pita pada $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ [18].

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari analisa sintesis pada setiap sampel dengan amplitudo sonikasi yang diatur dengan beberapa persentase berbeda, yaitu 10%; 40%; 70%; 90%; dan 100% serta membandingkan referensi yang membahas spektrum dari grafik FTIR untuk hidroksiapatit, menunjukkan bahwa sudah adanya HAp dengan dibuktikan adanya ikatan gugus fosfat PO_4^{3-} dan gugus OH^- serta memperlihatkan blending mode gugus fosfat (PO_4^{3-}).



Gambar 3. Hasil Uji XRD Sintesis Hidroksiapatit Berbahan Cangkang Keong Sawah

Pengujian *X-ray Diffraction* (XRD) dilakukan untuk mengetahui derajat kristalinitas hidroksiapatit [19]. **Gambar 3**. menunjukkan intensitas puncak pada sudut 2θ dengan variabel amplitudo 10%; 40%; 70%; 90%; dan 100% secara berurutan yaitu $32,3^\circ$; $32,36^\circ$; $32,4^\circ$; $32,4^\circ$; dan $32,4^\circ$. Data ini sesuai dengan JCPDS 09-0432, yang menunjukkan bahwa hasil sampel merupakan senyawa hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Kristalinitas sampel dapat dilihat dari ketajaman puncak pada grafik. Semakin tajam puncak pada grafik analisa XRD, maka mengindikasikan kristalinitas yang lebih baik [20], [21].

Tabel 1. Pengaruh % Amplitudo terhadap Kristalinitas partikel Hidroksiapatit

Amplitudo	Kristalinitas (%)
10%	11,48

40%	22,73
70%	48,98
90%	55,05
100%	73,37

Pada **Tabel 1.** menunjukkan % kristalinitas partikel HAp yang disintesis dengan variasi % amplitudo gelombang ultrasonik. Hasil kalkulasi kristalinitas pada amplitudo sonikasi 10% menghasilkan kristalinitas terendah yakni 11,48% , sedangkan kristalinitas tertinggi dihasilkan oleh sampel hidroksiapatit dengan amplitudo sonikasi 100%. Dari hasil tersebut, dapat diketahui bahwa kristalinitas meningkat seiring dengan naiknya variabel amplitudo.

KESIMPULAN

Sintesis hidroksiapatit (HAp) dapat dihasilkan dari bahan yang mengandung unsur CaCO_3 yakni cangkang keong sawah menggunakan metode *Ultrasound Assisted Precipitation*. Kondisi terbaik untuk mendapatkan kristal hidroksiapatit adalah amplitudo sonikasi 100% dengan intensitas puncak pada sudut 2θ pada suhu sintering $800\text{ }^\circ\text{C}$ selama 6 jam sesuai data JCPDS 09-0432. Berdasarkan hasil pengujian FTIR, menunjukkan adanya gugus fungsi OH dan PO_4^{3-} yang menandakan adanya senyawa apatit. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa pada amplitudo rendah yakni 10%, kristalinitas menunjukkan hasil terendah, yaitu 11,48%. Sedangkan pada amplitudo tinggi yakni 100%, kristalinitas menunjukkan angka terbesar, yaitu 73,37%. Maka dapat diketahui bahwa amplitudo yang tinggi menghasilkan kristalinitas yang tinggi pula.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan pada pihak terkait yang telah membantu kelancaran penelitian ini, Hibah riset program inovasi dan hilirisasi penelitian dana HETI ADB - ITS, dan Departemen Teknik Kimia Industri Fakultas Vokasi ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Sanjaya, F. L. Sari, and A. Taufiqurrohman, "TENDINITIS SUPRASPINATUS PADA IBU USIA 59 TAHUN :SEBUAH LAPORAN KASUS," *Jurnal Ilmiah Maksitek*, vol. 7, no. 3, 2022.
- [2] DIKJEN Alat Kesehatan dan PKRT, *Rencana Aksi Kegiatan*. 2020.
- [3] J. Gago and Y. Dala Ngapa, "PEMANFATAAN CANGKANG TELUR AYAM SEBAGAI MATERIAL DASAR DALAM SINTESIS HIDROKSIAPATIT DENGAN METODE PRESIPITASI BASAH," 2021.
- [4] K. U. Henggu, B. Ibrahim, and P. Suptijah, "HIDROKSIAPATIT DARI CANGKANG SOTONG SEBAGAI SEDIAAN BIOMATERIAL PERANCAH TULANG," *JPHPI 2019*, vol. 22, no. 1.
- [5] I. A. Suci and Y. Dala Ngapa, "SINTESIS DAN KARAKTERISASI HIDROKSIAPATIT (HAp) DARI CANGKANG KERANG ALE-ALE MENGGUNAKAN METODE PRESIPITASI DOUBLE STIRRING," 2020.
- [6] Charlena, B. Sugeng, and L. Puji Astuti, "SINTESIS HIDROKSIAPATIT DARI CANGKANG KEONG SAWAH(*Bellamya javanica*) DENGAN METODE SIMULTAN PRESIPITASI PENGADUKAN BERGANDA (Hydroxyapatite Synthesis from Garden Snail

- (Bellamyja javanica) Using Precipitation Double Stirring Simultaneous Method),” in *Prosiding SEMIRATA*, 2015, pp. 284–293.
- [7] H. Delvita, D. Djamas, and Ramli, “KARAKTERISTIK KALSIUM KARBONAT (CaCO₃) DALAM CANGKANG KEONG SAWAH (Pila ampullacea) YANG TERDAPAT DI KABUPATEN PASAMAN,” *PILLAR OF PHYSICS*, vol. 6, pp. 17–24, 2015.
- [8] D. Sriwahyuni, “PENGUNAAN CANGKANG KEONG SAWAH,” 2020.
- [9] T. O. Pangestu, S. F. Damayanti, S. S. Santi, and S. Muljani, “Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Fosfat dari Cangkang Bekicot dengan Metode Presipitasi,” *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, vol. 4, no. 2, p. 82, Aug. 2021, doi: 10.25273/cheesa.v4i2.8931.82-90.
- [10] D. Yan, Y. Lou, Y. Han, M. N. Wickramaratne, H. Dai, and X. Wang, “Controllable synthesis of poly(acrylic acid)-stabilized nano-hydroxyapatite suspension by an ultrasound-assisted precipitation method,” *Mater Lett*, vol. 227, pp. 9–12, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.matlet.2018.04.124.
- [11] D. Candani, M. Ulfah, W. Noviana, and R. Zainul, “A Review Pemanfaatan Teknologi Sonikasi,” *INA-Rxiv*, no. 26, pp. 1–9, 2018.
- [12] M. Sadat-Shojai, M. T. Khorasani, E. Dinpanah-Khoshdargi, and A. Jamshidi, “Synthesis methods for nanosized hydroxyapatite with diverse structures,” *Acta Biomater*, vol. 9, no. 8, pp. 7591–7621, 2013, doi: 10.1016/j.actbio.2013.04.012.
- [13] Y. Chen, C. Zou, M. Mastalerz, S. Hu, C. Gasaway, and X. Tao, “Applications of micro-fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) in the geological sciences—A Review,” *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 16, no. 12. MDPI AG, pp. 30223–30250, Dec. 18, 2015. doi: 10.3390/ijms161226227.
- [14] N. Fitri, F. Dan, B. Utami, S. Dan, and A. Spektra, “Sintesis dan Analisis Spektra IR, Difraktogram XRD, SEM pada Material Katalis Berbahan Ni/zeolit Alam Teraktivasi dengan Metode Impregnasi,” *Journal Cis-Trans (JC-T)*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [15] T. I. Maghfury, “Analisis X-Ray Diffraction (XRD) Pada Brazing Aluminium Seri 1000 Dan Stainless Steel Seri 304 Dengan Penambahan Serbuk Tembaga,” pp. 1–29, 2020.
- [16] A. Chandrasekar, S. Sagadevan, and A. Dakshnamoorthy, “Synthesis and characterization of nano-hydroxyapatite (n-HAP) using the wet chemical technique,” *International Journal of Physical Sciences*, vol. 8, no. 32, pp. 1639–1645, 2013, doi: 10.5897/IJPS2013.3990.
- [17] N. M. S. Sanjiwani *et al.*, “Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya Dan analisis Dengan Fourier Transform Infrared,” *Jurnal Widyadari*, vol. 21, no. 1, pp. 249–262, 2020, doi: 10.5281/zenodo.3756902.
- [18] C. Anam, Sirojudin, and K. S. Firdausi, “Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji, Bensin, dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR,” *Berkala Fisika*, vol. 10, no. 1410–9662, pp. 79–85, 2007.
- [19] M. A. M. Castro *et al.*, “Synthesis of hydroxyapatite by hydrothermal and microwave irradiation methods from biogenic calcium source varying pH and synthesis time,” *Boletin de la Sociedad Espanola de Ceramica y Vidrio*, vol. 61, no. 1, pp. 35–41, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.bsecv.2020.06.003.
- [20] A. Chandrasekar, S. Sagadevan, and A. Dakshnamoorthy, “Synthesis and characterization of nano-hydroxyapatite (n-HAP) using the wet chemical technique,” *International Journal of Physical Sciences Full Length Research Paper*, vol. 8, no. 32, pp. 1639–1645, 2013, doi: 10.5897/IJPS2013.3990.
- [21] J. K. Abifarin, D. O. Obada, E. T. Dauda, and D. Dodoo-Arhin, “Experimental data on the characterization of hydroxyapatite synthesized from biowastes,” *Data Brief*, vol. 26, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.dib.2019.104485.

