**SINTESIS HIDROKSIAPATIT BERPORI CANGKANG KERANG DARA (*Tegillarca granosa*) MENGGUNAKAN PATI SINGKONG***Lia Anggresani*¹⁾, *Yulianis*²⁾, *Nefrinda Meagesi*³⁾¹Prodi Kebidanan, STIKES Syedza Saintika Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Timur, Padang^{2,3}Farmasi, STIKES Harapan Ibu Jambi, Jl. Tarmidzi Kadir, Pakuan Baru, Jambi*Email: anggresani@yahoo.com**Detail Artikel**

Diterima : 21 Oktober 2022

Direvisi : 29 Oktober 2022

Diterbitkan : 31 Oktober 2022

Kata KunciHidroksiapatit berpori
Cangkang Kerang Dara
Pati Singkong**Penulis Korespondensi**

Name : Lia Anggresani

Affiliation : STIKES Syedza Saintika
PadangE-mail : anggresani@yahoo.com**ABSTRACT**

Clamshells have not been widely utilized as the medical tool's material. Typically, it was disposed as a waste. We used clamshell as a material for reconstructing damage human bone tissue. Clamshells has a high content of calcium carbonate which can be processed into hydroxyapatite $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$. The formed pore serves as a medium for the formation of bone cell tissue that grows. The aim of this research was to synthesize porous hydroxyapatite from Clamshells using cassava starch polymer. In this research method, initially, CaO powder was obtained from clamshells in a furnace at a temperature of 800°C for 3 hours after which XRF analysis was carried out. Next, the CaO powder was reacted with $(NH_4)_2HPO_4$ with ratio mol Ca/P 1.67 and the pH was adjusted with NaOH to 12. Then, calcinated it at 900°C, XRD and SEM were analyzed. Hydroxyapatite was mixed

with cassava starch polymer with ratio of 10:1 at pH 11 with ammonia stirred at 300 rpm for 5 hours. Next, oven at 110°C for 5 hours and furnace at 1100°C about 4 hours. The results of the research were analyzed by XRD, FTIR, SEM, and Compressive Strength Test. XRD analysis on 1,67 mole Ca/P obtained hydroxyapatite compound according with ICSD No. 01-072-124. FTIR analysis shows the functional groups of O-H, P-O, and C-O. SEM analysis obtained particles in the form of non-uniform lumps. The compressive strength of HAp and porous HAp was obtained at 14.58 & 49.20 Mpa. This research concluded that porous hydroxyapatite from clam shells can be made from cassava starch polymer with good strength.

ABSTRAK

Cangkang kerang dara belum banyak digunakan sebagai bahan untuk alat kesehatan. Pada umumnya cangkang kerang dara dibuang sebagai limbah. Kami menggunakan cangkang kerang dara sebagai material untuk merekonstruksi jaringan tulang yang rusak. Cangkang kerang dara memiliki kandungan kalsium karbonat yang tinggi yang dapat diolah menjadi hidroksiapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Pori yang terbentuk berfungsi sebagai media pembentukan jaringan sel tulang yang tumbuh. Tujuan penelitian ini untuk mensintesis hidroksiapatit berpori dari Cangkang Kerang Dara dengan menggunakan polimer pati singkong. Metode penelitian ini mulanya bubuk CaO didapatkan dari cangkang kerang difurnace pada suhu 800°C selama 3 jam setelah itu dianalisa XRF. Selanjutnya bubuk CaO direaksikan dengan $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ mol Ca/P 1,67 diatur pH dengan NaOH hingga 12. Di furnace suhu 900°C lalu dianalisa XRD dan SEM. Hidroksiapatit di campurkan dengan polimer pati singkong perbandingan 10:1 di atur pH 11 dengan amonia distirer kecepatan 300rpm 5 jam. Di oven suhu 110°C selama 5jam dan funacesuhu 1100°C selama 4 jam. Hasil penelitian dilakukan analisa XRD, FTIR, SEM dan Uji Kuat Tekan. Analisa XRD pada mol Ca/P 1,67 didapatkan senyawa hidroksiapatit sesuai standar ICSD No. 01-072-124. Analisa FTIR terlihat gugus OH, PO, dan CO. Analisa SEM didapatkan partikel berbentuk bongkahan tak seragam. Kuat tekan HAp dan HAp berpori didapat sebesar 14,58 & 49,20 Mpa. Kesimpulannya hidroksiapatit berpori dapat dibuat dari cangkang kerang dara menggunakan polimer pati singkong dengan kekuatan yang bagus

PENDAHULUAN

Tulang merupakan penopang tubuh manusia yang merupakan bagian penting pada tubuh dan pada umumnya bersifat keras. Tulang memiliki kapasitas untuk mengalami pertumbuhan regeneratif. Pada pembentukan tulang, sel-sel tulang keras membentuk senyawa kalsium fosfat dan senyawa kalsium karbonat. Yang memberikan sifat keras dalam jaringan tulang diantaranya merupakan senyawa kalsium fosfat. Kristal kalsium fosfat dalam jaringan tulang tersebut dikenal sebagai kristalapatit dengan system Kristal heksagonal dan susunan atom yang berbeda (Aizawa et al., 2013)

Seiring berjalannya waktu kebutuhan implan tulang untuk pasien yang mengalami kerusakan tulang semakin meningkat. Kecelakaan lalu lintas, kecelakaan kerja dan osteoporosis merupakan beberapa hal yang dapat menyebabkan kerusakan tulang. Bencana alam seperti tertimpa reruntuhan bangunan juga dapat menjadi penyebab bertambahnya pasien yang memerlukan implant tulang (Arcos &Vallet-Regí, 2020). Untuk mengatasi jaringan yang rusak ini dapat digunakan biomaterial dengan cara diimplantasikan ke dalam jaringan tulang. Material yang digunakan sebagai pengganti jaringan tulang adalah hidroksiapatit (Aizawa et al., 2013)

Hidroksiapatit (HAp) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ merupakan komponen mineral penyusun jaringan keras (hard tissue) sebagai bahan rehabilitasi utama pada tubuh manusia seperti tulang dan gigi diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan sel-sel yang akan melanjutkan fungsi daur kehidupan jaringan yang digantikan, salah satu bahan yang sedang dikembangkan sebagai biomaterial sintesis adalah biokeramik yang terdapat kalsium dan fosfor (Anggresani, 2016).

Pada pembuatan HAp, diperlukan sumber kalsium yang tinggi seperti tulang sapi 31,48 % (Yuliana et al., 2017), tulang ikan tenggiri 50,814 % (Anggresani, Perawati, & Juni Rahayu, 2019), dan cangkang telur 76,6 % (Wardani & Ahmad Fadli, n.d.), sebagai bahan dasar pembuatan HAp.

HAp yang cocok untuk rekonstruksi tulang adalah HAp berpori. Pori yang terbentuk berfungsi sebagai media pembentukan jaringan sel tulang yang tumbuh. HAp berpori umumnya dibuat melalui pembentukan komposisi HAp dengan polimer atau bahan organik, yang biasa disebut porogen, kemudian diteruskan dengan kalsinasi sehingga bahan organiknya hilang. Pembentukan HAp berpori dapat dilakukan menggunakan bahan porogen yang akan menghilang selama proses kalsinasi (Saryati, 2012). Spesialis ortopedi dari Rumah Sakit Cipto Mangunkusumo (RSCM) menyebutkan bahwa pori dari hidroksiapatit dapat memicu pertumbuhan sel-sel tulang yang baru (Wulanawati et al., 2012).

Bahan porogen yang digunakan pada penelitian ini bersumber dari polimer. Polimer memiliki sifat biokompatibel, tidak beracun, dan biodegradable. Polimer alami yang digunakan adalah pati. Menurut (Gregorová et al., n.d.) pori-pori kecil dapat terbentuk dari pati hingga ukuran micrometer dalam HAp. Sumber pati baik digunakan untuk aplikasi biomedis karena memiliki sifat biodegradable, biokompatibel, dapat larut dalam air, dan harganya murah (Sari et al., 2022).

Pada penelitian ini akan memanfaatkan cangkang kerang dara sebagai sumber kalsium oksida. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Sudarmawan et al., 2020) bahwa kalsium oksida yang terdapat pada abu cangkang kerang *Anadara granosa* cukup tinggi untuk dijadikan adsorben logam berat. Berdasarkan hasil analisa SEM dari komposit HAp cangkang telur dan alginat dihasilkan struktur berpori yang teratur dengan ukuran mulaidari 93 hingga 182 μm (Sugandi, 2014). Berdasarkan penelitian tersebut, peneliti tertarik untuk mensintesis HAp dari cangkang kerang (*Tegillarca granosa*) berpori dengan polimer pati singkong. Menggunakan metode presipitasi dan dikarakterisasi dengan XRF, FTIR, XRD, SEM, dan Uji Kuat Tekan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Furnance, oven, neraca analitik, stirrer hot plate, ayakan mesh 80, cawan porselin, XRD, XRF, FTIR, SEM, Compressive Strength, Lumpang, Alu dan pH meter.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kerang dara (*Tegillarcagranosa*), aquadest, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (diammonium hidroksifosfat), Pati Singkong, NH_3 (ammonia), HNO_3 pekat.

Tahap Penelitian

1. Pengambilan Sampel

Sampel yang diteliti adalah Cangkang Kerang Dara (*Tegillarca granosa*) yang diperoleh dari salah satu pasar tradisional di Tanjung Jabung Barat.

2. Identifikasi Sampel

Cangkang kerang Dara (*Tegillarca granosa*) diidentifikasi di pusat penelitian Osenografi-LIPI Jakarta.

3. Prosedur Kerja

a. Pembentukan bubuk Cangkang Kerang Dara (CaO)

Cangkang kerang dara (*Tegillarca granosa*) dibersihkan, dicuci dengan air untuk menghilangkan lumpur setelah itu dikeringkan. Selanjutnya cangkang kerang di perkecil ukurannya kemudian dipanaskan dalam tanur pada suhu 800°C selama 3 jam (Rahayu et al., 2018). Cangkang kerang dihaluskan dan diayak dengan mesh 80. Terbentuklah serbuk cangkang kerang dara (CaO) kemudian dilakukan analisa XRF.

b. Sintesis Hidroksiapatit (HAp)

Serbuk Cangkang Kerang Dara (CaO) ditimbang sebanyak 20 gram dan dilarutkan dengan 2 L aquadest. Larutan di stirer selama 30 menit dengan kecepatan 300 rpm sehingga terbentuklah suspensi Ca(OH)₂. Prekursor fosfat digunakan (NH₄)₂HPO₄ dengan perbandingan konsentrasi Ca/P 1,67. Larutan tersebut dicampurkan, kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 1 jam. Kemudian atur pH dengan menggunakan larutan NaOH 1 M hingga mencapai pH 12. Campuran didiamkan (aging) selama 24 jam pada suhu ruang. Kemudian endapan yang terbentuk disaring dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 120°C selama 5 jam. Endapan yang sudah kering ditimbang dan dihitung massanya. Presipitat kering tersebut dikalsinasi menggunakan furnace pada suhu 900°C selama 5 jam (al Haris, Ahmad Fadli, 2016). Padatan hidroksiapatit (HAp) ditimbang dan dihitung beratnya, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan XRD, FTIR, SEM dan Uji Kuat Tekan. Setelah dilakukan sintesis, hasil yang diperoleh dihitung rendemen.

c. Pembuatan Hidroksiapatit berpori

Pada hidroksiapatit ditambahkan polimer pati, larutan pati dibuat dengan 16 mg/ml dalam aquadest. Perbandingan hidroksiapatit dan pati yang ditambahkan yaitu 10:1 atur pH sebesar 11 dengan larutan Amonia. Kemudian aduk dengan kecepatan 300 rpm selama 5 jam, terbentuk endapan dan didiamkan selama 24 jam. Kemudian lakukan penyaringan dan pencucian berulang hingga larutan netral, lalu keringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 15 jam. Sintering pada suhu 1100 °C dengan waktu sintering yaitu 4 jam yang akan menghasilkan berbentuk serbuk. Kemudian serbuk yang telah dihasilkan dianalisa menggunakan XRD, FTIR, SEM, dan Uji Kuat Tekan.

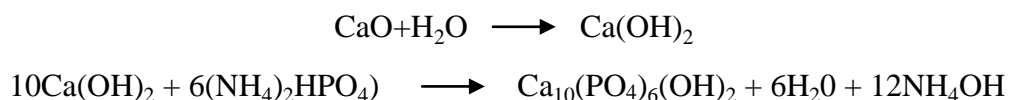
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Rendemen Sintesis Prekursor Ca, HAp dan HAp berpori

Pada penelitian ini dilakukan untuk mensintesis hidroksiapatit berpori dari cangkang kerang dara (*Anadaragranosa*) dengan menggunakan polimer pati singkong dengan metode presipitasi. Cangkang kerang dikalsinasi pada suhu 800°C untuk mendapatkan kalsium oksida (CaO), kalsinasi merupakan proses pemanasan dengan menggunakan suhu tinggi diatas 500°C didalam furnace yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air. Pada tahap ini terjadi reaksi dekomposisi kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi kalsium oksida (CaO). Ca dapat terisolasi dalam bentuk CaO.



Bubuk CaO yang merupakan sumber kalsium pada pembuatan hidroksiapatit dilarutkan dengan air guna mendapatkan Ca(OH)₂ kalsium Hidroksida. Berikut reaksi yang terjadi :



Sintesis hidroksiapatit menggunakan metode presipitasi yang mana merupakan reaksi asam-basa yang menghasilkan padatan kristalin serta air. Proses presipitasi dipilih karena bahan baku yang murah, reaksi kimia yang relatif sederhana serta ukuran dan homogenitas ukuran partikel yang didapat cenderung cukup baik (Purwasasmita et al., n.d.).

Sintesis HAp selain menggunakan precursor kalsium, juga menggunakan precursor fosfat yakni diamonium hidrogen fosfat (NH₄)HPO₄ dengan rasio mol Ca/P 1,67 dan pH diatur sampai 12 dengan suhu furnace 800°C selama 5 jam bertujuan meningkatkan kristalinitasnya. Sedangkan terbentuknya HAp dengan rasio mol Ca/P 1,67 ini merupakan keadaan yang optimal terbentuknya HAp dengan kristalinitas (al Haris, Ahmad Fadli, 2016). Kristal Hidroksiapatit akan terbentuk pada suhu 700°C sedangkan pada suhu 400°C hidroksiapatit yang terbentuk amorf (Putri, 2016).

Tabel. 1 Hasil Sintesis CaO, HAp dan HAp berpori

	Sintesis CaO	Sintesis HAp	Sintesis Hap berpori
Berat	223,5 g	15 g	9 g
Rendemen	74,5%	75%	81,8%
Warna	Putih Keabuan	Putih Kehijauan	Putih Kehijauan

2. Hasil Analisa XRF pada Cangkang Kerang Dara

Pada penelitian ini, dilakukan uji XRF untuk mengetahui berapa kadar kalsium oksida (CaO) yang terdapat pada bubuk cangkang kerang dara, hasil analisa XRF menyatakan bahwa CaO yang terdapat pada bubuk cangkang kerang dara sebesar 84,548% yang menunjukkan bahwa cangkang kerrang dara terdapat banyak kalsium oksida sehingga dapat dijadikan sumber kalsium pada pembuatan hidroksiapatit. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Anggresani, Perawati, & Rahayu, 2019) didapat kandungan CaO pada tulang ikan tenggiri sebesar 50,814%, penelitian (Wardani&, Ahmad Fadli, n.d.) kandungan CaO cangkang telur sebesar 76,6% dan menurut penelitian (Rahayu et al., 2018) didapat kandungan CaO pada cangkang kerang mutiara sebesar 52,23%. Komposisi CaO yang didapatkan dari tiap sampel disebabkan oleh perbedaan kekerasan sampel, semakin tinggi kadar kalsium yang terkandung maka akan semakin keras pula sampel tersebut.

Tabel. 2 Hasil Analisa XRF pada Cangkang Kerang Dara

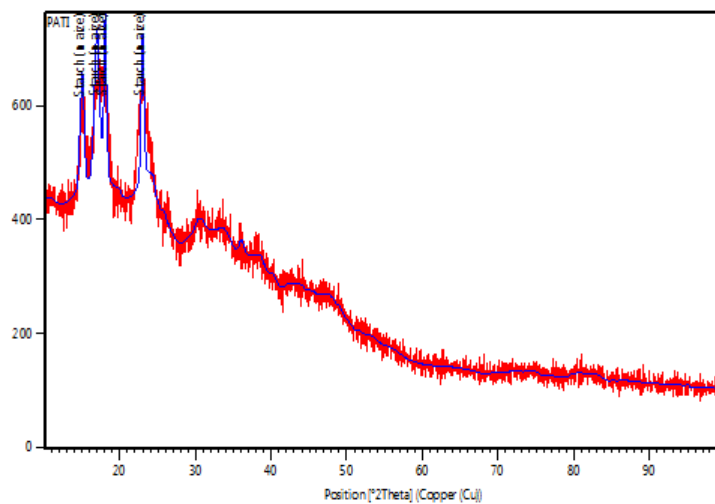
SenyawaOksida	Komposisi (%)
CaO	84,548
P ₂ O ₅	4,023
MgO	3,911
K ₂ O	0,448

3. Hasil Analisa XRD sampel Pati, HAp dan HAp Berpori

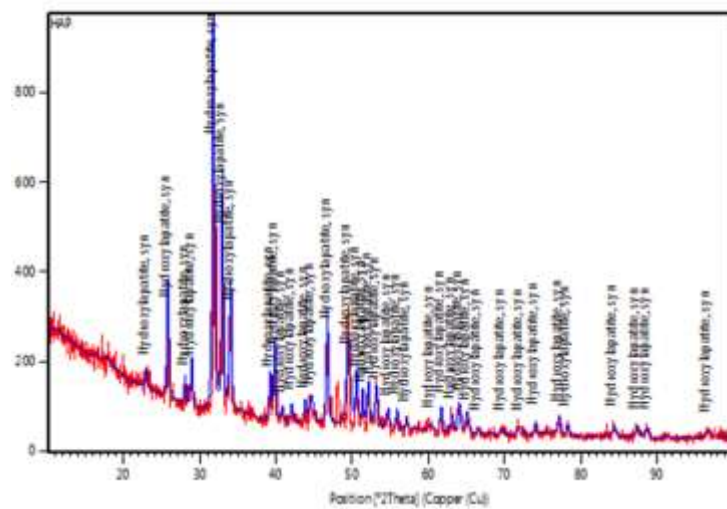
Pada penelitian ini dilakukan analisa XRD terhadap sampel hidroksiapatit dan hidroksiapatit berpori. Hasil pemindaian XRD yang berupa difraktogram dilakukan untuk melihat susunan atom dalam suatu material kristalinitas sehingga dapat diketahui struktur dan ukuran kristal. Derajat kristalinitas yang tinggi menyebabkan hidroksiapatit lebih stabil. Hasil analisis dengan XRD pada perbandingan mol Ca/P 1.67 didapatkanlah senyawa Hidroksiapatit yang sesuai dengan standar ICSD No. 01-072-1243. Hasil uji XRD menunjukkan puncak-puncak tertinggi pada difraktogram memiliki nilai puncak tertinggi pada 2 θ yakni pada posisi 31.7278 ; 32.9286 dan 60.49. Data tersebut cocok dengan data standar ICSD sehingga dapat dipastikan bahwa bubuk yang diperoleh dari metode presipitasi yang telah dilakukan adalah hidroksiapatit (HAp).

Tabel. 3 Hasil Analisa XRD sampel pati, HAp & HAp berpori

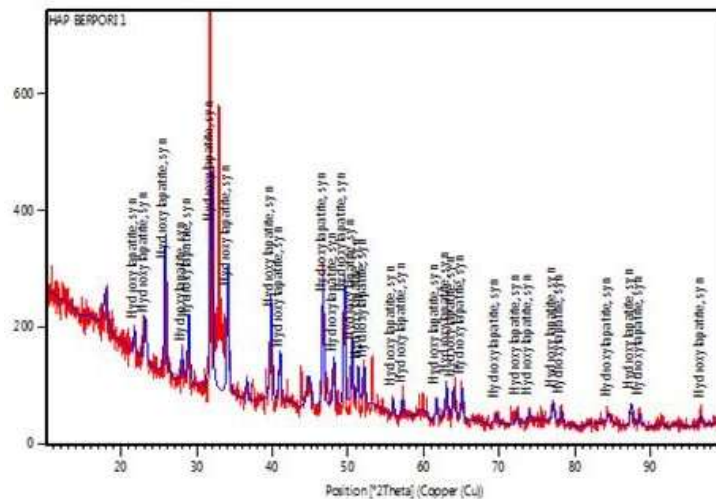
Pati		Hap		Hap Berpori	
Sudut 2θ Sampel	Standar ICSD No.00-055-1799	Sudut 2θ Sampel	Standar ICSD No.01-072-1243	Sudut 2θ Sampel	Standar ICSD No.01-072-1243
22.99	22.84	46.67	49.46	31.87	31.74
16.95	16.97	34.01	32.17	49.46	49.46
14.99	14.97	32.92	32.86	25.82	25.87
		31.72	31.74		
		25.78	25.87		



Gambar 1. Hasil Analisa XRD sampel pati yang sesuai dengan standar pati (Starch)



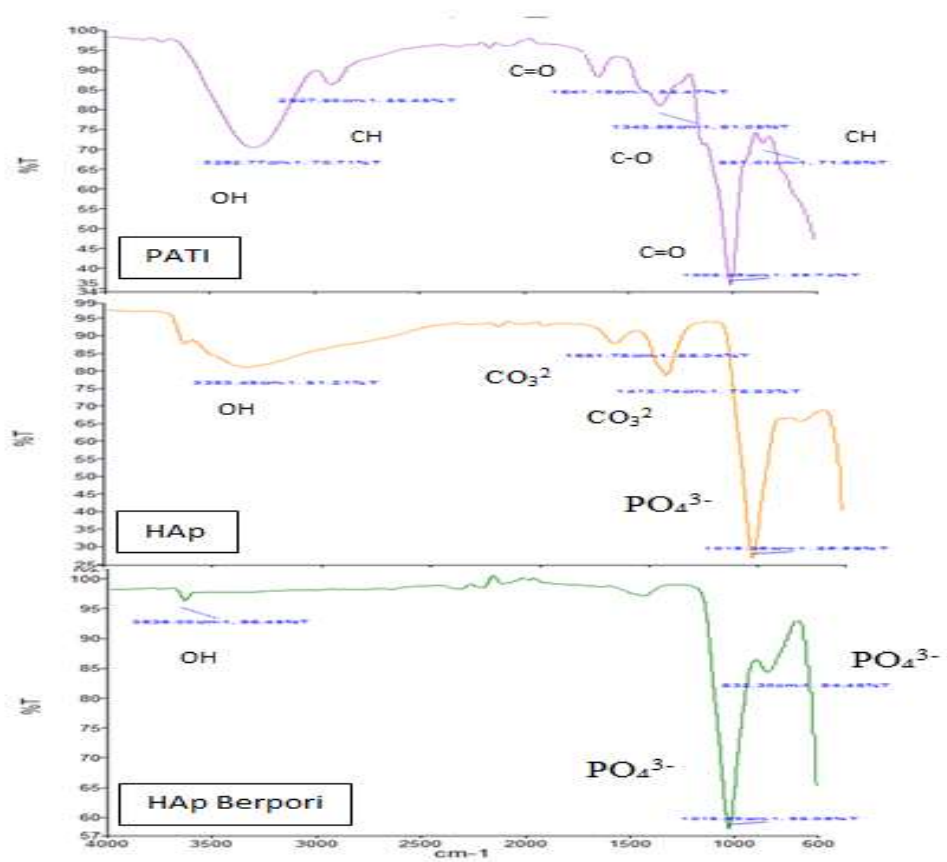
Gambar 2. Hasil Analisa XRD Hidroksiapatit dari cangkang kerang dara



Gambar 3. Hasil Analisa XRD Hidroksiapati berpori dengan menggunakan pati

4. Hasil Analisa FTIR

Analisa FTIR dilakukan terhadap sampel hidroksiapatit, hidroksiapatit berpori dan polimer yang digunakan yakni pati singkong. Untuk hasil Analisa FTIR HAP diidentifikasi dari gugus fungsi OH^- , PO_4^{3-} , dan CO_3^{2-} yang menunjukkan bahwa hasil sintesis terdapat hidroksiapatit. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Purwasmita et al., n.d.) (Sri Wardani & Fadli, 2015) menunjukkan ikatan gugus fosfat PO_4^{3-} dengan vibrasi ulur dan tekuk dari gugus P-O. Gugus O-H terdeteksi pada bilangan gelombang $3260,12 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya ikatan hidrogen dengan vibrasi gugus fungsi H-O-H. Ikatan Ca-O ditunjukkan pada panjang gelombang $2149,70 \text{ cm}^{-1}$. Pada HAP berpori diidentifikasi terdapat gugus fungsi O-H dan P-O. Hal ini menunjukkan hilangnya gugus C-O pada HAP. Hilangnya gugus C-O tersebut bisa disebabkan akibat tidak terbacanya gugus CO pada saat dianalisa FTIR.



Gambar. 4 Hasil Analisa FTIR Pati, HAp & HAp Berpori

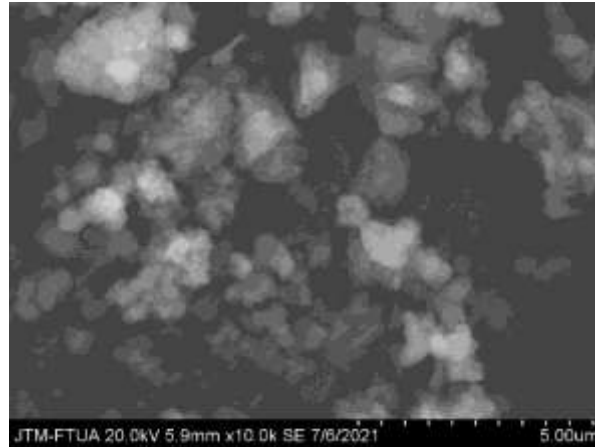
Tabel. 4 Analisa FTIR Pati, HAp dan HAp berpori

Sampel	Daerah Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) Menurut Silvertesin	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹) Hasil Analisa	Hasil Analisa Gugus Fungsi	Karakteristik
Pati	3700-3100	3292.77	O-H	O-H stretching
	3100-2850	2927.80	C-H	C-H bending
	1950-1550	1641.19	C=O	C=O
	1400-1300	1343.89	C-O	Streching
	1300-1000	1002.25	C-O	
	900-600	851.01	C-H	C-O Streching
Hap	3700-3100	3353.49	O-H	O-H stretching
	1950-1550	1651.78	C=O	C=O
	1400-1300	1413.74	C-O	Streching
	1300-1000	1013.28	P-O	
Hap Berpori	3700-3100	3639.00	O-H	O-H stretching
	1300-1000	1013.63	P-O	
	900-600	832.30	P-O	

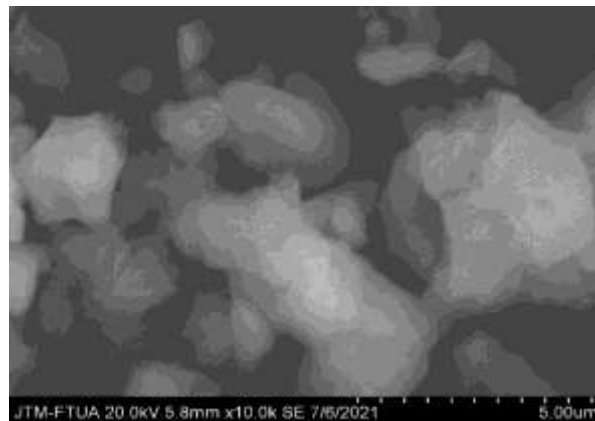
5. Hasil Analisa SEM Hidroksiapatit dan Hidroksiapati Berpori

Analisa SEM dilakukan untuk melihat morfologi permukaan partikel dari senyawa hidroksiapatit dan dilakukan dengan perbesaran 10.000 x dan dari hasil SEM dapat dilihat bahwa hidrosksiapatit berbentuk bongkahan tak beraturan dengan ukuran partikel beragam diantaranya 11,1757µm; 24,9897µm; 54,7498 µm; 47,4147µm. Menurut penelitian (Ajri Mawadara Program Studi Kedokteran Gigi et al., 2016) partikel hidroksiapatit berukuran nano dan dianalisis SEM mengungkapkan bahwa morfologi hidroksiapatit yang dihasilkan merupakan partikel berbentuk bulat dan batang. Sedangkan hasil uji SEM dari sampel hidroksiapatit berpori dapat dilihat bahwa HAp berpori berbentuk bulat tak beraturan dengan ukuran partikel sebagai berikut: 11,0625 µm; 19,1608 µm; 27,0975 µm; 15,6448µm. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Filustra Siregar & Sulistyowati, 2019) pembentukan HAp berpori dengan polimer pati sukun dilihat hasil SEM dari sampel bahwa ukuran pori pada HAp berpori tersebut belum seragam, sehingga dapat mengurangi sifat mekanik dari

hidroksiapatit. Ukuran pori pada tulang kortikal berkisar 1-100 μm dan pada tulang trabekular berkisar 200-400 μm . Biomaterial berpori ini sangat tepat untuk regenerasi tulang (Dorozhkin, 2011).



Gambar. 5 Hasil Analisa SEM HAp perbesaran 10.000 x



Gambar. 6 Hasil Analisa SEM HAp Berpori perbesaran 10.000 x

6. Hasil Analisa Uji Kuat Tekan

Hasil Uji Kuat Tekan terhadap hidroksiapatit dan hidroksiapatit berpori terdapat pada table 6. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai kuat tekan hidroksiapatit berpori lebih besar dibandingkan dengan hidroksiapatit. Hal ini terjadi akibat penambahan polimer pati singkong terhadap hidroksiapatit. Nilai kuat tekan dari hidroksiapatit yang dapat di aplikasikan sebagai pori untuk meronktruksi jaringan tulang rusak adalah sebesar 0,5 – 50 Mpa (Grimm, 2004). Pada penelitian ini, nilai kuat tekan dari sampel HAp berpori sudah memenuhi standar untuk HAp berpori. Semakin besar nilai kuat tekan maka kemampuan sampel untuk menahan beban semakin baik.

Tabel. 5. Hasil Uji Kuat Tekan

No	Sampel	Θ /mm	P/mm	N/mm	Hasil Kekuatan Tekan Maksimal (Mpa)
1	Hap	8.0	6.6	700 N	14.58
2	Hap Berpori	8.1	6.35	175N	49.20

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa hidroksiapatit berpori cangkang kerang dara dapat dibuat dengan menggunakan polimer pati kentang dengan kekuatan yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aizawa, M., Matsuura, T., & Zhuang, Z. (2013). Syntheses of Single-Crystal Apatite Particles with Preferred Orientation to the a-and c-Axes as Models of Hard Tissue and Their Applications. In *Biol. Pharm. Bull* (Vol. 36, Issue 11).
- Ajri Mawadara Program Studi Kedokteran Gigi, P., Ajri Mawadara, P., Mozartha, M., & Studi Kedokteran Gigi Fakultas Kedokteran, P. (2016). Pengaruh penambahan hidroksiapatit dari cangkang telur ayam terhadap kekerasan permukaan GIC. In *JMKG* (Vol. 2, Issue 5).
- al Haris, Ahmad Fadli, S. R. Y. (2016). Sintesis Hidroksiapatit dari Limbah Tulang Sapi menggunakan Metode Presipitasi dengan Variasi Ratio Ca/P dan Konsentrasi H₃PO₄. *JOM FTEKNIK*, 3(2), 1–10.
- Anggresani, L. (2016). Dip-Coating Senyawa Kalsium Fosfat Dari Batu Kapur Bukit Tui Dengan Variasi Ratio Mol Ca/P Melalui Metode Sol-Gel. *Sainstek :Jurnal Sains Dan Teknologi*, 7(1), 33. <https://doi.org/10.31958/js.v7i1.123>
- Anggresani, L., Perawati, S., & Juni Rahayu, I. (2019). Limbah Tulang Ikan Tenggiri (*Scomberomorus guttatus*) Sebagai Sumber Kalsium Pada Pembuatan Hidroksiapatit. *Jurnal Katalisator*, 4(2), 133. <https://doi.org/10.22216/jk.v4i2.4356>
- Arcos, D., & Vallet-Regí, M. (2020). Substituted hydroxyapatite coatings of bone implants. In *Journal of Materials Chemistry B* (Vol. 8, Issue 9, pp. 1781–1800). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c9tb02710f>
- Dorozhkin, S. v. (2011). Calcium orthophosphates: occurrence, properties, biomineralization, pathological calcification and biomimetic applications. In *Biomatter* (Vol. 1, Issue 2, pp. 121–164). <https://doi.org/10.4161/biom.18790>

- FilustraSiregar, R., & Sulistyowati, E. (2019). Karakteristik Hidroksiapatit Porous Characteristics of Porous Hydroxyapatite from Precursors of Rice Conch Shells and Porogeneous Materials of Breadfruit. *Eksergi*, 16(2), 59–63.
- Gregorová, E., Živcová, Z., & Pabst, W. (n.d.). *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology Porous Ceramics Made Using Potato Starch as a Pore-forming Agent*.
- Grimm, M. (2004). *Biomaterial Ortopedi*. McGraw-Hill.
- Purwasasmita, B. S., Ramos, D., & Gultom, S. (n.d.). *Sintesis Dan Karakterisasi Serbuk Hidroksiapatit Skala Sub-Mikron Menggunakan Metode Presipitasi*.
- Putri, V. D. (2016). Pengaruh Perbandingan Molar Ca/P Dalam Pembuatan Lapisan Tipis Kalsium Fosfat Dari Prekursor $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ Melalui Metode Sol-Gel. *Jurnal Katalisator*, 10, 1–11.
- Rahayu, S., Kurniawidi, D. W., & Gani, A. (2018). Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Mutiara (*Pinctada Maxima*) Sebagai Sumber Hidroksiapatit. In *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi* (Vol. 4, Issue 2).
- Sari, D. P., Lestari, P. M., & Nining, N. (2022). Review: Komposit Polimer Pektin dalam Sistem Penghantaran Obat. *Majalah Farmasetika*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.24198/mfarmasetika.v7i1.36568>
- Saryati. (2012). Hidrosiapatit berpori dari kulit kerang. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, April, 31–35.
- Sri Wardani, N., & Fadli, A. (2015). Sintesis Hidroksiapatit dari Cangkang Telur dengan Metode Presipitasi. In *JOM FTEKNIK* (Vol. 2, Issue 1).
- Sudarmawan, W. S., Suprijanto, J., & Riniatsih, I. (2020). Abu Cangkang Kerang *Anadaragranosa*, Linnaeus 1758 (*Bivalvia: Arcidae*) sebagai Adsorben Logam Berat dalam Air Laut. *Journal of Marine Research*, 9(3), 237–244. <https://doi.org/10.14710/jmr.v9i3.26539>
- Sugandi. (2014). *Sintesis Hidroksiapatit Berpori Dari Cangkang Telur Ayam Dengan Matriks Selulosa Nata De Coco Dan Natrium Alginat*.
- Wardani, N. S., & Ahmad Fadli, I. (n.d.). Sintesis Hidroksiapatit dari Cangkang Telur dengan Metode Presipitasi. *JOM FTEKNIK*, 2(1).
- Wulanawati, A., Ayu Romawati, dan, Teknologi Bahan Industri Nuklir, P., Kawasan Puspipstek, B., & Selatan, T. (2012). Sintesis Hidroksiapatit Berpori Dengan Porogen Kitosan Dan Karakterisasinya (Synthesis Of Hydroxyapatite Porous With Chitosan Porogen And Its Characterization). In *J. Kimia Kemasan* (Vol. 34, Issue 1).
- Yuliana, R., Rahim, E. A., & Hardi, J. (2017). Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Basah Pada Berbagai Waktu Pengadukan Dan Suhu Sintering. *Kovalen*, 3(3), 201. <https://doi.org/10.22487/j24775398.2017.v3.i3.9329>