



Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit Cangkang Rajungan dengan Variasi Suhu Kalsinasi dan Konsentrasi KH_2PO_4 menggunakan Metode Presipitasi Sebagai Sediaan Biomaterial Implan Tulang

Novelia Gita Romadhona¹, Nesha Permata Syafira¹, Tobing Gumelar¹, Vita Fatichah Rizqiyah¹, dan Eva Oktavia Ningrum^{1*}

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, FV, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

*E-mail: eva-oktavia@chem-eng.its.ac.id

Abstract

Bone implants are mostly made of non-degradable metal materials that are toxic to the body. An alternative biodegradable material being developed is Poly-L-Lactic Acid (PLLA). However, PLLA has the disadvantage of being incompatible with bone tissue. So, materials that are biodegradable and biocompatible are needed, such as hydroxyapatite, which has similarities with the minerals in bone and teeth, it suitable as an alternative biomaterial in the biomedical. This research aims to determine the effect of synthesis conditions, with calcination temperature (850, 900, 950, 1000°C) and KH_2PO_4 concentration (0.25, 0.5, 0.75, 1 M), on the production of hydroxyapatite using raw materials from local blue crab shells, in terms of calcium content, functional group presence, and conformity of hydroxyapatite peaks with JCPDS 09-0432. The synthesized product was characterized using XRF, which showed a relatively high calcium in crab shells of 94.89% at calcination temperature 850°C. The FTIR test results after the mixing of KH_2PO_4 with CaO showed the formation of hydroxyapatite functional groups, namely OH⁻ and PO₄³⁻, in all variables. The XRD test results showed that at 850°C and KH_2PO_4 concentration of 0.75 M the main peak of hydroxyapatite was closest to JCPDS 09-0432, at a diffraction angle (2θ) of 31.7634.

Keywords: Blue Crab Shell; Calcination; KH_2PO_4 ; Hydroxyapatite; Precipitation

Pendahuluan

Indonesia memiliki jumlah penderita patah tulang tertinggi. Seperti contohnya terdapat data di RS. Dr Soetomo Surabaya kasus operasi bedah tulang per bulan mencapai 300-400 (Gunawarman dkk., 2010). Menurut Gomes dkk (2008) beberapa cara seperti menggantinya dengan tulang buatan atau menopangnya dengan implan dari logam dapat memulihkan sel-sel tulang. Tulang buatan harus memiliki komposisi kimia yang mirip dengan tulang manusia serta memiliki sifat biokompatibel sehingga dapat diterima oleh tubuh manusia. Implan ortopedi yang banyak beredar pada bidang medis sekarang terbuat dari bahan logam non degradable yang tidak dapat terurai seperti titanium (Ti), kobalt (Co), dan paduan kobalt-kromium (Co-Cr). Meskipun logam tersebut memiliki kekuatan mekanik yang memadai namun implan berbahan baku logam non degradable dapat menyebabkan peradangan karena korosi dan perlu adanya pembedahan kedua (Shan dkk., 2022). Karena adanya kekurangan material implan berbahan dasar logam maka perlu adanya pengembangan material implan yang lebih baik pada tulang. Pengembangan *biodegradable* implan memiliki keuntungan seperti operasi yang tidak terlalu rumit, penyembuhan paska operasi yang lebih cepat, biokompatibilitas yang lebih baik, dan tidak perlunya operasi pembedahan yang kedua (Cho dkk., 2021).

Senyawa polimer sintesis *biodegradable* dan *bioabsorbable* yang telah dikembangkan adalah *poly (l-lactic acid)* (PLLA). Dalam sebuah penelitian oleh Longo dkk (2019), yang membandingkan uji klinis dan mekanik antara implan berbasis logam dengan *biodegradable* (PLLA) menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Meskipun demikian, ditemukan bahwa PLLA memiliki kekurangan yaitu tidak cocok dengan jaringan tulang (Kunduru dkk., 2016) Karena terdapat kekurangan pada pengembangan material *biodegradable* sebelumnya, maka perlu adanya pengembangan material sebagai bahan alternatif pembuatan implan yang *biodegradable* dan biokompatibel. Selama ini, Hidroksiapatit (HAp) telah diteliti dan digunakan secara luas untuk pembuatan implan sebab kesamaannya dengan fase mineral tulang dan terbukti biokompatibel dengan tulang dan gigi manusia (Ivankovic dkk., 2006). Hidroksiapatit mendukung jaringan keras pada tulang manusia dengan meningkatkan osseointegrasi dan pertumbuhan tulang pada bahan bioaktif, yang meremineralisasi bagian yang hilang dengan merangsang pertumbuhan tulang baru dan berfungsi sebagai sel yang menyebabkan tulang tumbuh (Abere dkk., 2022). Kesamaan dengan tulang, kandungan biomineral kalsium dan fosfor pada hidroksiapatit memfasilitasi pertukaran ion. Penelitian menunjukkan bahwa hidroksiapatit tidak menunjukkan respon inflamasi, toksisitas, dan pirogenetik (Agbabiaka dkk., 2020).



Hidroksiapatit dapat disintesis dari berbagai macam sumber yang ada di alam salah satunya cangkang rajungan (Taji dkk., 2022)) Cangkang rajungan merupakan salah satu komoditas ekspor utama Indonesia yang mencapai 604.215-625.000 ton/tahun (Raya dkk., 2015). Menurut Patihul dkk. (2020), jumlah limbah cangkang rajungan yang dihasilkan di Indonesia dalam waktu satu tahun dapat mencapai 30.000 ton. Bersumber pada riset yang dicoba Dwijaksana (2016), mengenai tingginya kandungan kalsium pada limbah cangkang kepiting rajungan (*Portunus Pelagicus*) yang digunakan sebagai bahan sintesis hidroksiapatit menunjukkan kandungan kalsium dari limbah cangkang rajungan sangat besar yakni 93,78%. Dalam hal ini bisa menghalangi proses osteoklastogenesis, dan bisa memusatkan maturasi sel osteoblas serta aktivitas remodelling tulang.

Pada pembentukan CaO yang merupakan komponen dalam pembuatan hidroksiapatit perlu melalui proses kalsinasi. Dalam proses ini terjadi penguraian zat-zat organik seperti lemak, protein dan kolagen akan terbakar. Sedangkan zat anorganik akan tertinggal ada bahan. Hal ini sesuai dengan penelitian Ooi dkk (2007) yang melaporkan bahwa tulang yang dikalsinasi pada suhu ≥ 700 °C, warna sampel berubah menjadi putih yang menandakan bahwa bahan organik dalam sampel telah hilang. Perbedaan dari suhu kalsinasi juga berpengaruh pada kekerasan filamen yang dihasilkan karena dengan peningkatan suhu akan terjadi proses dekarbonasi dan dehidroksilasi material (Levingstone, 2008). Peningkatan suhu kalsinasi ini juga akan mempengaruhi stoikiometri dari hidroksiapatit, derajat kristalinitas yang lebih tinggi, dan ukuran kristalit yang juga lebih besar (V. Restrepo-Ramírez dkk., 2021). Perbandingan kadar KH_2PO_4 juga berpengaruh dalam sintesis HAp. Tetapi masih sedikit penelitian yang menyebutkan perbandingan kadar KH_2PO_4 yang optimum agar menghasilkan hasil struktur HAp yang kecil dan teratur sehingga dapat diterapkan dalam pembuatan filamen untuk implan tulang Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur suhu kalsinasi dan konsentrasi KH_2PO_4 dalam pembentukan hidroksiapatit dari cangkang rajungan untuk dapat mengetahui hasil terbaik hidroksiapatit melalui kadar kalsium yang dihasilkan, karakteristik gugus fungsi, dan kesesuaian grafik XRD terhadap grafik JCPDS No. 09-432 sehingga dapat diaplikasikan sebagai material pembuatan implan medis.

Metode Penelitian

Bahan dan Alat Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan bahan berupa cangkang rajungan (*portunus pelagicus*, dari Kenjeran, Surabaya, Indonesia) dan KH_2PO_4 dengan *purity* >98% (SAP Chemical) sebagai senyawa perkusor Ca dan P. Untuk alat utama pada penelitian terdiri dari *furnace* sebagai tempat kalsinasi dan sintering serta rangkaian alat sintesis hidroksiapatit berupa *hotplate stirrer*, *beaker glass*, dan termometer.

Tahapan Penelitian

Pre-Treatment Material

Proses *pre-treatment* meliputi pencucian cangkang rajungan yang telah melewati proses perebusan. Kemudian, cangkang rajungan yang telah bersih akan melalui tahap pengeringan dengan suhu 80°C selama 10 menit. Setelah cangkang rajungan kering, proses selanjutnya adalah penghancuran cangkang rajungan menjadi ukuran yang lebih kecil.

Kalsinasi Cangkang Rajungan

Proses kalsinasi dilakukan dengan memasukkan cangkang rajungan ke dalam *furnace* dengan variasi suhu kalsinasi pada 850, 900, 950 dan 1000°C selama 5 jam. Hasil kalsinasi berupa bubuk CaO berwarna putih yang akan melalui uji *X-ray Fluorescence* (XRF) untuk mengetahui kandungan kalsium dan mineral lain pada hasil kalsinasi.

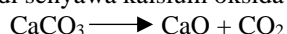
Sintesis Hidroksiapatit dengan Metode Presipitasi

Sintesis hidroksiapatit melalui metode presipitasi dilakukan dengan mencampurkan variasi konsentrasi KH_2PO_4 (0.25, 0.5, 0.75, dan 1 M) ke dalam larutan CaO 0.3 M hasil kalsinasi. Campuran larutan CaO dan KH_2PO_4 selanjutnya akan melewati proses pengadukan menggunakan magnetic stirrer pada suhu 37°C selama 30 menit. Larutan hasil presipitasi kemudian disimpan pada suhu kamar selama 24 jam. Suspensi yang terbentuk disaring untuk mendapatkan endapan hidroksiapatit berwarna putih yang kemudian akan melalui proses pencucian menggunakan air suling untuk menghilangkan pengotor. Endapan akan melewati proses pengeringan pada suhu 110°C selama 3 jam hingga kering, kemudian akan dilakukan proses sintering untuk membentuk hidroksiapatit pada suhu 800°C selama 4 jam. Hasil akhir berupa bubuk hidroksiapatit berwarna putih yang selanjutnya akan melalui uji *Fourier Transform Infrared* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi khas hidroksiapatit dan uji *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui kesesuaian puncak utama hidroksiapatit terhadap standar JCPDS 09-0432.

Hasil dan Pembahasan

Kalsinasi Cangkang Rajungan

Proses kalsinasi cangkang rajungan bertujuan untuk mendekomposisi kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang terkandung pada cangkang rajungan dengan adanya pemanasan pada suhu tinggi menjadi CaO (Ningrum dkk., 2022). Proses dekomposisi kalsium karbonat menjadi senyawa kalsium oksida (CaO) sesuai reaksi sebagai berikut:



Suhu kalsinasi berpengaruh dalam pengendalian fase hidroksiapatit yang terbentuk, dimana semakin tinggi suhu kalsinasi akan meningkatkan kekerasan material yang terbentuk. Namun, juga perlu diperhatikan apabila suhu kalsinasi terlalu tinggi maka juga dapat merusak senyawa hidroksiapatit yang nantinya akan terbentuk karena akan terdekomposisi menjadi fase lain yakni *tricalcium phosphate* (TCP) (Prawira dkk., 2019). Dalam proses kalsinasi, terdapat dua parameter penting yang perlu menjadi perhatian yakni warna produk kalsinasi dan nilai yield CaO.



Gambar 1. Cangkang Rajungan (a) Sebelum Kalsinasi (b) Sesudah Kalsinasi

Setelah tahap kalsinasi, terdapat perubahan warna yang terjadi pada cangkang rajungan, yakni cangkang rajungan yang awalnya berwarna orange berubah menjadi bubuk CaO yang berwarna putih. Hal ini menandakan telah terjadi dekomposisi zat organik dalam cangkang rajungan seperti kolagen dan protein, sehingga hasil kalsinasi menjadi berwarna putih yang menunjukkan kandungan zat organik telah hilang (Al-Sokanee dkk., 2009).

Tabel 1. Yield Kalsinasi Cangkang Rajungan

Suhu Kalsinasi (°C)	Massa Sebelum Kalsinasi (gram)	Massa Sesudah Kalsinasi (gram)	Yield (%)
850	66.468	32.404	48.75
900	59.430	27.271	45.88
950	59.341	27.558	46.44
1000	60.688	30.296	49.92

Dari hasil kalsinasi pada **Tabel 1** menunjukkan bahwa adanya penurunan massa sesudah proses kalsinasi yang menandakan telah terjadi dekomposisi CaCO_3 menjadi CaO dengan adanya pelepasan gas CO_2 (Kusrini dkk., 2012). Nilai yield kalsinasi yang tertinggi diperoleh pada suhu kalsinasi 1000°C dan 850°C yakni 49.92% dan 48.75%.

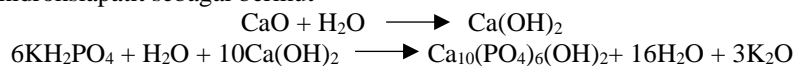
Analisa Kandungan Bubuk CaO Cangkang Rajungan Hasil Kalsinasi

Untuk mengetahui kandungan unsur dan senyawa dalam bubuk CaO cangkang rajungan setelah kalsinasi, perlu adanya uji XRF untuk mengidentifikasinya. Hasil uji XRF bubuk CaO cangkang rajungan pada variasi suhu kalsinasi tersaji pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Hasil Uji XRF Bubuk CaO Cangkang Rajungan

Uji	Komponen	Konsentrasi (%) Berat			
		850°C	900°C	950°C	1000°C
Unsur	P	2.5	2.5	2.545	1.8
	S	0.2	0.17	0.18	0.235
	Ca	94.99	94.95	94.96	93.11
	Mn	0.078	0.078	0.0715	0.115
	Fe	0.155	0.099	0.0925	0.135
	Cu	0.082	0.082	0.0845	0.24
	Sr	2.12	2.11	2.07	1.965
	Zn	0	0	0	2.4

Berdasarkan hasil uji XRF, kandungan tertinggi dari bubuk CaO pada unsur Ca adalah pada kalsinasi dengan suhu 850°C yakni sebesar 94.99%. Sedangkan untuk kandungan unsur Ca yang terendah adalah pada suhu kalsinasi 1000°C yakni sebesar 93.1%. Hal ini dikarenakan pada suhu kalsinasi yang terlalu tinggi menyebabkan kandungan Ca pada cangkang rajungan mengalami perubahan menjadi senyawa lain sehingga presentase kandungan Ca berkurang (Prawira dkk., 2019). Jika dibandingkan dengan kandungan Ca tulang ikan tenggiri hasil kalsinasi pada penelitian Anggresani dkk (2019) sebesar 49.84% dan kandungan Ca cangkang kepiting hasil kalsinasi pada penelitian (Haryati dkk., 2021) sebesar 90.46%, maka kandungan Ca hasil kalsinasi cangkang rajungan tergolong lebih tinggi sehingga sangat berpotensi sebagai sumber kalsium dalam pembuatan hidroksiapatit (Febriyanti, 2016). Hal ini sesuai dengan reaksi pembentukan hidroksiapatit sebagai berikut

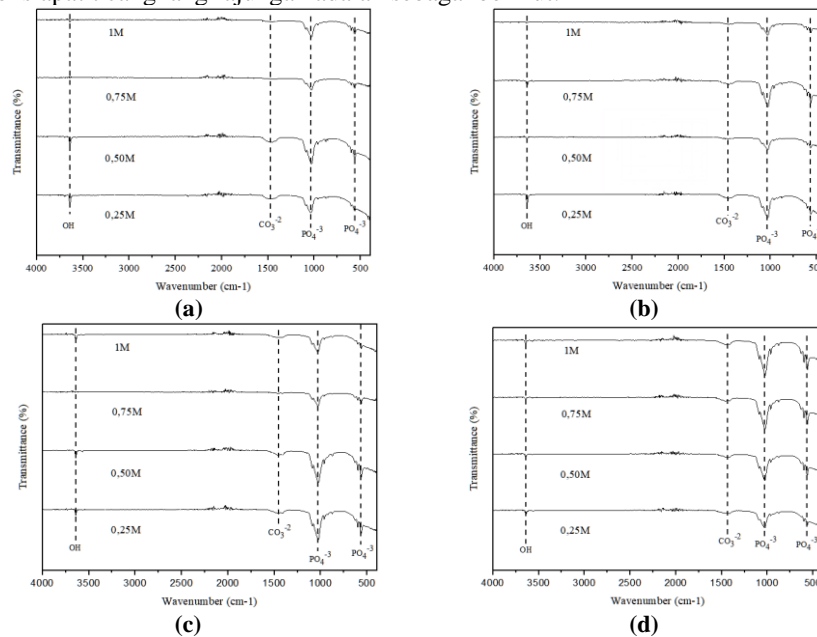


Pada reaksi pembentukan hidroksiapatit, sumber kalsium berasal dari bubuk CaO cangkang rajungan hasil kalsinasi yang akan dicampurkan dengan aquades membentuk larutan Ca(OH)_2 . Larutan ini kemudian akan melewati reaksi dengan larutan KH_2PO_4 sebagai sumber fosfat sehingga akan membentuk senyawa hidroksiapatit.

Karakterisasi Hidroksiapatit Cangkang Rajungan Berdasarkan Gugus Fungsi

Karakterisasi hidroksiapatit berdasarkan gugus fungsi dilakukan menggunakan uji FTIR memiliki tujuan untuk mengetahui kandungan gugus fungsi dalam suatu senyawa berupa grafik daya serapan suatu gugus fungsi pada

panjang gelombang tertentu. Dalam karakterisasi hidroksiapatit dengan uji FTIR ini, bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi khas hidroksiapatit yakni gugus fungsi hidroksil (OH^-) dan fosfat (PO_4^{3-}) (Mohd Pu'ad dkk., 2019). Hasil uji FTIR pada hidroksiapatit cangkang rajungan adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik FTIR Hidroksiapatit (HAp) Cangkang Rajungan pada Suhu Kalsinasi (a) 850°C (b) 900°C (c) 950°C (d) 1000°C

Tabel 3. Hasil Uji FTIR Hidroksiapatit (HAp) Cangkang Rajungan pada Suhu Kalsinasi 850°C dan 900°C

Gugus Fungsi	Wavenumber (cm^{-1})								HAp Sigma Aldric
	HAp Cangkang Rajungan								
	850°C				900°C				
	0.25M	0.5M	0.75M	1M	0.25M	0.5M	0.75M	1M	
PO_4^{3-}	1033.77	1029.85	1029.56	1030.47	1030.75	1030.86	1029.38	1031.03	1013 - 1120
	561.50	562.05	562.40	563.09	562.71	564.28	561.82	563.68	561
CO_3^{2-}	1460.92	1475.41	1419.98	1458.84	1457.35	1459.95	1455.14	1453.76	1417
OH^-	3640.62	3640.75	3640.40	3640.05	3640.52	3640.04	3641.40	3640.72	3569

Tabel 4. Hasil Uji FTIR Hidroksiapatit (HAp) Cangkang Rajungan pada Suhu Kalsinasi 950°C dan 1000°C

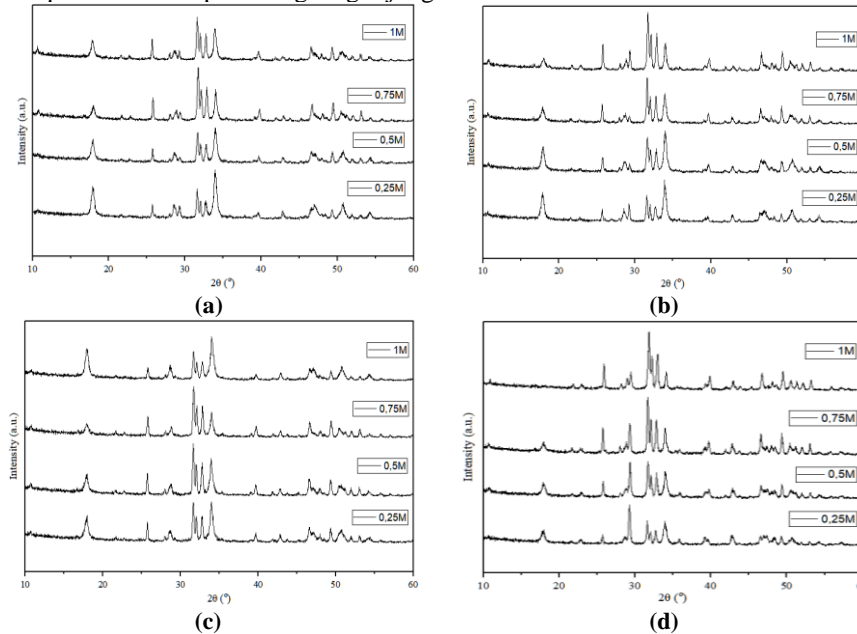
Gugus Fungsi	Wavenumber (cm^{-1})								HAp Sigma Aldric
	HAp Cangkang Rajungan								
	950°C				1000°C				
	0.25M	0.5M	0.75M	1M	0.25M	0.5M	0.75M	1M	
PO_4^{3-}	1026.55	1025.58	1030.05	1030.41	1029.22	1028.38	1025.78	1025.01	1013 - 1120
	562.47	561.65	562.60	562.81	563.72	563.98	562.81	562.71	561
CO_3^{2-}	1455.69	1456.75	1458.68	1458.10	1457.35	1459.95	1455.14	1453.76	1417
OH^-	3641.62	3641.73	3641.20	3640.97	3641.05	3641.96	3641.98	3641.74	3569

Berdasarkan hasil analisa FTIR pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** untuk hidroksiapatit cangkang rajungan dengan suhu kalsinasi 850, 900, 950, dan 1000°C serta konsentrasi KH_2PO_4 pada 0.25, 0.5, 0.75 dan 1M menunjukkan adanya kandungan gugus fungsi khas hidroksiapatit yakni gugus fungsi fosfat dan hidroksil. Teridentifikasinya gugus fungsi fosfat pada hidroksiapatit cangkang rajungan diketahui dengan terbentuknya ikatan kompleks fosfat pada bilangan gelombang 1000 – 1100 cm^{-1} dengan pola vibrasi *antisymmetric stretching* dimana vibrasi gugus fungsi fosfat pada bilangan gelombang ini adalah yang paling kuat (Abifarini dkk., 2019). Gugus fungsi fosfat pada hidroksiapatit cangkang rajungan juga terdeteksi pada bilangan gelombang 560 – 603 cm^{-1} dengan pola vibrasi *antisymmetric bending* (Pankaew dkk., 2010). Untuk gugus fungsi hidroksil pada hidroksiapatit cangkang rajungan terdeteksi dengan adanya vibrasi pada bilangan gelombang 3600 – 3700 cm^{-1} . Gugus fungsi hidroksil muncul karena adanya ikatan hidrogen dengan vibrasi gugus fungsi H-O-H (Chudhuri dkk., 2013). Rendahnya puncak intensitas dari gugus hidroksil yang muncul menunjukkan hilangnya air karena proses kalsinasi atau akibat kenaikan suhu sintering hidroksiapatit (García dkk., 2012). Sedangkan untuk gugus fungsi karbonat (CO_3^{2-}) juga ditemui pada semua hidroksiapatit cangkang rajungan. Gugus fungsi karbonat ini teridentifikasi pada bilangan gelombang 1400 – 1500 cm^{-1} (Mondal dkk., 2012). Terbentuknya gugus fungsi karbonat ini sebagai akibat adanya CO_2 bebas di udara selama proses sintesis berlangsung (Kurniawan dkk., 2019). Adanya senyawa karbonat dalam hidroksiapatit dianggap sebagai pengotor meskipun tidak

mengganggu fungsi hidroksiapatit karena memang pada tulang manusia juga memiliki kandungan karbonat sebesar 4 – 6% (Wu dkk., 2016). Selain itu, pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** juga disajikan data bilangan gelombang untuk hidroksiapatit komersial Sigma Aldric sebagai data pembanding, dimana pada data tersebut dapat dilihat kemiripan hasil uji bilangan gelombang antara hidroksiapatit komersial Sigma Aldric dengan hidroksiapatit cangkang rajungan

Karakterisasi Hidroksiapatit Cangkang Rajungan Berdasarkan Analisa XRD

Karakterisasi hidroksiapatit cangkang rajungan berdasarkan analisa XRD memiliki tujuan salah satunya untuk mengetahui kesesuaian puncak utama hidroksiapatit yang muncul terhadap standar grafik hidroksiapatit yakni JCPDS 09-0432 dimana hasil ini dapat berperan untuk mendukung hasil analisa FTIR (Khoirudin dkk., 2015). Berikut ini adalah hasil uji XRD pada hidroksiapatit cangkang rajungan:



Gambar 3. Grafik XRD Hidroksiapatit (HAp) Cangkang Rajungan pada Suhu Kalsinasi (a) 850°C (b) 900°C (c) 950°C (d) 1000°C

Tabel 5. Hasil XRD Puncak Utama Hidroksiapatit Cangkang Rajungan

Suhu Kalsinasi (°C)	2θ (°)				Standar JCPDS 09-0432 2θ (°)
	0.25 M	0.5 M	0.75 M	1 M	
850	33.9556	33.9119	31.7634	31.6097	31.77 32.90 32.19
900	33.8889	33.9370	31.6357	31.7504	
950	31.6376	31.6221	31.6924	33.9300	
1000	29.2905	29.3391	31.7038	31.8579	

Berdasarkan hasil analisa XRD pada **Tabel 5** untuk hidroksiapatit cangkang rajungan dengan suhu kalsinasi 850, 900, 950, dan 1000°C serta konsentrasi KH_2PO_4 pada 0.25, 0.5, 0.75 dan 1M menunjukkan kesesuaian puncak utama hidroksiapatit yang mendekati standar JCPDS 09-0432. Adanya kesesuaian puncak utama pada difraktogram hasil uji XRD dengan standar JCPDS 09-0432 menunjukkan bahwa senyawa yang terbentuk dari hasil sintesa dengan metode presipitasi dari bubuk CaO cangkang rajungan dengan larutan KH_2PO_4 merupakan hidroksiapatit. Pada data di atas, hasil uji XRD pada hidroksiapatit cangkang rajungan dengan suhu kalsinasi 850°C dengan konsentrasi KH_2PO_4 0.75 M menunjukkan puncak identik dengan intensitas yang tinggi pada 31.7634° dimana hasil ini merupakan yang paling mendekati atau paling identik dengan standar JCPDS 09-0432 yakni 31.77° jika dibandingkan dengan data yang lain. Daerah kristalinitas hidroksiapatit dapat dilihat pada tingginya intensitas, dimana semakin tinggi intensitas puncak identik hidroksiapatit yang terbentuk maka semakin tinggi pula kristalinitas hidroksiapatit (Purnama, 2006).

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari hidroksiapatit dapat disimpulkan bahwa hidroksiapatit dapat dihasilkan dari bahan yang mengandung unsur CaO salah satunya adalah cangkang rajungan dengan metode presipitasi. Hasil yang didapatkan dari proses kalsinasi adalah bubuk CaO yang berwarna putih dan nilai yield kalsinasi tertinggi pada suhu 1000°C dan 850°C. Dari hasil uji XRF pada bubuk CaO menunjukkan kandungan unsur Ca yang tertinggi pada suhu kalsinasi 850°C yakni 94.99%. Karakterisasi senyawa hidroksiapatit ditentukan berdasarkan gugus fungsi yang terbentuk yaitu OH^- , CO_3^{2-} dan PO_4^{3-} melalui uji FTIR dapat dilihat pada hidroksiapatit cangkang rajungan dengan suhu kalsinasi 850, 900, 950, dan 1000°C dan konsentrasi KH_2PO_4 pada



0.25, 0.5, 0.75 dan 1M. Pada uji XRD menunjukkan bahwa hidroksiapatit dengan suhu kalsinasi 850°C dan konsentrasi KH_2PO_4 0,75 M memiliki kesesuaian puncak identik serta intensitas yang tinggi sesuai standar JCPDS 09-0432.

Daftar Pustaka

- Abere, Dare Victor, et al. "Mechanical and Morphological Characterization of Nano-Hydroxyapatite (NHA) for Bone Regeneration: A Mini Review." *Biomedical Engineering Advances*, vol. 4, no. October, Elsevier Inc., 2022, p. 100056, doi:10.1016/j.bea.2022.100056.
- Abifarin, J. K., et al. "Experimental Data on the Characterization of Hydroxyapatite Synthesized from Biowastes." *Data in Brief*, vol. 26, 2019, doi:10.1016/j.dib.2019.104485.
- Agbabiaka, O. G., et al. "Effect of Calcination Temperature on Hydroxyapatite Developed from Waste Poultry Eggshell." *Scientific African*, vol. 8, 2020, doi:10.1016/j.sciaf.2020.e00452.
- Al-Sokanee, Zeki N., et al. "The Drug Release Study of Ceftriaxone from Porous Hydroxyapatite Scaffolds." *AAPS PharmSciTech*, vol. 10, no. 3, 2009, doi:10.1208/s12249-009-9265-7.
- Cho, Chul Hyun, et al. "Biomaterials Used for Suture Anchors in Orthopedic Surgery." *CiOS Clinics in Orthopedic Surgery*, vol. 13, no. 3, 2021, doi:10.4055/cios20317.
- Chudhuri, Biswadeep, et al. "Hydroxyapatite and Hydroxyapatite-Chitosan Composite from Crab Shell." *Journal of Biomaterials and Tissue Engineering*, vol. 3, no. 6, American Scientific Publishers, 2013, pp. 653–57.
- García, Belkis, et al. "CoMo/Zn-Hydroxyapatites as Catalysts for the Hydrodesulfurization Reaction of Thiophene." *Indian Journal of Chemical Technology*, vol. 19, no. 6, 2012.
- Gomes, Joo F., et al. "An Investigation of the Synthesis Parameters of the Reaction of Hydroxyapatite Precipitation in Aqueous Media." *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, vol. 6, 2008, doi:10.2202/1542-6580.1778.
- Ivankovic, H., et al. "Preparation of Highly Porous Hydroxyapatite Ceramics from Cuttlefish Bone." *Materials in Clinical Applications VII*, vol. 49, 2006, doi:10.4028/www.scientific.net/ast.49.142.
- Kunduru, Konda Reddy, et al. "Biodegradable Polymers: Medical Applications." *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 2016, doi:10.1002/0471440264.pst027.pub2.
- Levingstone, Tanya. "Optimisation of Plasma Sprayed Hydroxyapatite Coatings." *Thesis*, 2008.
- Longo, Umile Giuseppe, et al. "Metallic versus Biodegradable Suture Anchors for Rotator Cuff Repair: A Case Control Study." *BMC Musculoskeletal Disorders*, vol. 20, no. 1, 2019, doi:10.1186/s12891-019-2834-3.
- Mohd Pu'ad, N. A. S., et al. "Synthesis Method of Hydroxyapatite: A Review." *Materials Today: Proceedings*, vol. 29, 2019, doi:10.1016/j.matpr.2020.05.536.
- Mondal, Sudip, et al. "Studies on Processing and Characterization of Hydroxyapatite Biomaterials from Different Bio Wastes." *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, vol. 11, no. 01, 2012, doi:10.4236/jmmce.2012.111005.
- Ningrum, E. O., et al. "Production of Bone Implant Filaments from Blue Crab Shells (*Portunus Pelagicus*) in Various Synthesis Conditions and Blending Ratios of Hydroxyapatite (HAp)-Polycaprolactone (PCL)." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 963, no. 1, 2022, doi:10.1088/1755-1315/963/1/012021.
- Ooi, C. Y., et al. "Properties of Hydroxyapatite Produced by Annealing of Bovine Bone." *Ceramics International*, vol. 33, no. 7, 2007, doi:10.1016/j.ceramint.2006.04.001.
- Pankaew, P., et al. "Temperature Effect on Calcium Phosphate Synthesized from Chicken Eggshells and Ammonium Phosphate." *Journal of Applied Sciences*, vol. 10, no. 24, 2010, doi:10.3923/jas.2010.3337.3342.
- Purnama, EF. "Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Derajat Kristalinitas Dan Komposisi Hidroksiapatit Dibuat Dengan Media Air Dan Cairan Tubuh Buatan (Synthetic Body Fluid)." *Indonesian Journal of Materials Science*, 2006.
- Raya, Indah, et al. "Synthesis and Characterizations of Calcium Hydroxyapatite Derived from Crabs Shells (*Portunus Pelagicus*) and Its Potency in Safeguard against Dental Demineralizations." *International Journal of Biomaterials*, vol. 2015, 2015, doi:10.1155/2015/469176.
- Shan, Zhengming, et al. "Development of Degradable Magnesium-Based Metal Implants and Their Function in Promoting Bone Metabolism (A Review)." *Journal of Orthopaedic Translation*, vol. 36, 2022, doi:10.1016/j.jot.2022.09.013.
- Taji, Lulu Sekar, et al. "Hydroxyapatite Based Material: Natural Resources, Synthesis Methods, 3D Print Filament Fabrication, and Filament Filler." *IPTEK The Journal of Engineering*, vol. 8, no. 1, 2022, doi:10.12962/j23378557.v8i1.a12830.
- V. Restrepo-Ramirez, et al. "Influence of the Calcination Temperature on the Crystallographic, Compositional and Morphological Properties of Natural Hydroxyapatite Obtained From." *Scientia et Technica Año XXVI*, vol. 26, no. 04, 2021, pp. 525–31, doi:https://doi.org/10.22517/23447214.24888.
- Wu, Shih Ching, et al. "Synthesis of Hydroxyapatite from Eggshell Powders through Ball Milling and Heat Treatment." *Journal of Asian Ceramic Societies*, vol. 4, no. 1, 2016, doi:10.1016/j.jascer.2015.12.002.

