

PENGARUH pH DAN WAKTU REAKSI PADA SINTESIS HIDROKSIAPATIT DARI TULANG SAPI DENGAN METODE PRESIPITASI

M. Satria Haruda¹, Ahmad Fadli², Silvia Reni Yenti²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia S1, ²Dosen Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 12,5 Pekanbaru 28293
satriaaharuda28@gmail.com

ABSTRACT

Hydroxyapatite is a mineral compound with chemical formula $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ which can be used as implants in the human body. Hydroxyapatite can be synthesized from bovine bones using precipitation method. The aim of this study was to know the effect of pH and time of reaction to the characterization of hydroxyapatite made from using bovine bone. Bovine bones calcined at 1000 °C to produce calcium oxide (CaO). Then CaO is dissolved into distilled water and slowly mixed with phosphoric acid (H_3PO_4) and then set the pH 5, 7, 9, 11, and time of reaction 20, 40, 60, 80, 100, and 120 minutes. Then allowed to stand 24 hours and the precipitate is filtered. The results calcined sieve then characterized by XRD, FTIR and SEM. The effect of pH and time of reaction in the synthesis of hydroxyapatite seen in the XRD analysis showed the higher peaks than the other at the same peaks and the FTIR analysis looks at the increasingly sharp steepness wavelength at PO_4^{3-} functional groups and OH when the pH is higher. Based on the results, the hydroxyapatite at pH 11 has a purity of 99.7 % and crystallinity of 98.33 %, while the pH 5 has a purity of 97.5 % and crystallinity of 96.00 %. Time of reaction at 100 minutes showed a purity of 99.8 % and crystallinity of 92.82 % and purity of 92.9 % and crystallinity of 84.99 % for 20 minutes.

Keywords: hydroxyapatite, pH, precipitation, time of reaction

1. Pendahuluan

Peningkatan kasus operasi terhadap bedah tulang dewasa ini meningkat. Hal ini disebabkan tingginya kasus kecelakaan yang terjadi. Peningkatan kasus operasi tulang juga dipengaruhi pola hidup manusia yang memicu menyakit tulang seperti osteoporosis, osteoarthritis [Efinda, 2013]. Dari data kecelakaan yang didapat menunjukkan adanya peningkatan kecelakaan lalu lintas tiap tahunnya. Tahun 2010 terdapat 66.488, tahun 2011 terdapat 108.696 dan tahun 2012 terdapat 117.949 kecelakaan lalu lintas. Ini belum termasuk kasus - kasus penyebab kerusakan tulang lainnya, sehingga implan tulang diperlukan [BPS, 2013]. Hidroksiapatit (HA) dengan rumus kimia $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ merupakan salah satu senyawa inorganik penyusun

jaringan keras (*hard tissue*) tubuh manusia seperti tulang, gigi, dentin dan lain sebagainya. HA sintetik merupakan material seperti tulang yang mempunyai sifat dapat berikatan dengan tulang secara baik. Beberapa hasil penelitian menyebutkan bahwa HA sintetik berpotensi untuk digunakan sebagai pengganti graft tulang (*allograft* dan *xenograft*) dengan sifat biokompatibilitas yang baik terhadap tulang dan gigi. HA telah banyak digunakan sebagai implan biomedik dan regenerasi tulang karena mempunyai sifat bioaktif. Pada penelitian ini diinovasikan tulang sapi sebagai bahan pembuatan HA. Berdasarkan data BPS tahun 2011 konsumsi daging sapi meningkat mulai tahun 2008 hingga 2011 yaitu mencapai 1.519.178 sapi yang

dipotong setiap tahunnya. Sehingga tulang sapi yang dihasilkan semakin melimpah dan tulang sapi dapat digunakan sebagai bahan untuk sintesis biokeramik hidroksiapatit. Secara kimia, tulang sapi mengandung unsur seperti kalsium dan fosfor. Menurut Keene dkk [2004] Kalsium yang terkandung dalam tulang sapi cukup besar 37% dan 18,5% fosfat, dengan besarnya kandungan ini menimbulkan potensi yang tinggi untuk pengolahannya menjadi hidroksiapatit.

Berbagai metode telah banyak dikembangkan untuk pembuatan serbuk biokeramik hidroksiapatit antara lain : metode sol gel [Eugene dkk, 2004; Pinangsih dkk, 2014], metode hidrotermal [Somiya dkk, 2003; Sopyan dkk, 2009], metode spray drier [Wang dkk, 2009; Santos dkk, 2009], dan metode presipitasi [Mobasherpour dkk, 2007; Suryadi, 2011].

Pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode presipitasi yang merujuk pada penelitian Suryadi [2011] tetapi dengan bahan baku yang berbeda, yaitu sumber kalsium yang berasal dari tulang sapi. Selain itu juga pada penelitian ini terdapat perlakuan tambahan karena menggunakan tulang sapi. Perlakuan tambahan ini merujuk pada Wathi dkk [2014] karena sama – sama menggunakan bahan baku tulang sapi. Tetapi untuk sumber fosfat dan metodenya yang berbeda. Untuk pengaturan pH merujuk pada penelitian Palanivelu dkk [2014] dengan bahan baku dan metode yang berbeda.

Tulang sapi pada prinsipnya sama dengan tulang lainnya. Memiliki kandungan yang hampir sama dengan tulang lainnya. Komposisi kimia tulang sapi terdiri dari zat anorganik berupa Ca, P, O, H, Na dan Mg. Pada Tulang sapi dewasa mengandung 20% air, 45% abu dan 35% senyawa organik. Pada abu yang 45% terdapat Ca 37% dan 18,5% fosfat [Keene dkk, 2004].

Untuk rata-rata persentase tulang adalah sekitar 15% dari karkas bersih. Berat rata-rata karkas sapi bersih antara

160 – 190 kg untuk setiap ekor sapi. Besarnya tulang sapi ini yang tidak termanfaatkan ini menimbulkan potensi untuk melakukan pengolahan terhadap tulang sapi [Sontang, 2000].

2. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tulang sapi yang diperoleh dari rumah potong hewan Pekanbaru. Tulang sapi yang digunakan tulang sapi dibagian tulang pelipis dan tulang tulang sekitar bagian pipi sapi. Asam Fosfat (H_3PO_4) (Merck, Jerman) 85%, Amonia (NH_4OH) (Merck, Jerman), buffer (5,7,9,10,11 dan 13), dan akuades.

Alat yang dipakai

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *furnace* (Nabertherm, Jerman) yang berfungsi sebagai tempat proses kalsinasi bahan baku dan produk. Kemudian peralatan lainnya meliputi panci presto, kompor, ayakan (-100 +200 mesh), timbangan analitik, *oven* untuk *drying*, *hot plate*, *magnetic stirrer*, *beaker glass*, gelas ukur, burret, pH meter, statip, klem, labu reaksi, pipet tetes, spatula, termometer, kertas saring *whatman* 42, *aluminum foil*, dan suntik 50 mL. Untuk analisis instrumen yang digunakan AAS, FTIR, SEM dan XRD.

Prosedur Penelitian

Persiapan bahan baku diawali dengan pembersihan limbah tulang sapi dari kotoran yang tampak dengan menggunakan sikat, sabun. Tulang yang telah bersih direbus dengan panci presto selama 6 jam untuk membantu melepaskan kotoran yg masih tersisa dan menambah lunaknya tulang. Kemudian dikeringkan di udara terbuka. Setelah itu ditumbuk menggunakan penumbuk kayu. Tulang sapi yang telah hancur diambil sedikit untuk diuji menggunakan AAS dan sisanya dikalsinasi di dalam *furnace* dengan suhu $1000^{\circ}C$ selama 6 jam. Tulang sapi yang sudah dikalsinasi kemudian diayak dengan ayakan.

Hasil ayakan berupa serbuk diuji menggunakan AAS untuk mengukur kadar kalsium yang terkandung dalam sampel.

Larutan yang akan dibuat adalah larutan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), larutan asam fosfat (H_3PO_4) dan larutan amonia (NH_4OH). Larutan kalsium hidroksida dibuat dari tulang sapi. Untuk variabel pH tulang sapi yang dibutuhkan 14,5 gram dan untuk variabel waktu reaksi 58,002 gram, masing - masing dicampurkan dengan akuades 100 ml dan 200 ml. Untuk membuat larutan asam fosfat (H_3PO_4) 1,8 M untuk variabel pH dan 3,6 M untuk variabel waktu reaksi. Larutan asam fosfat (H_3PO_4) 1,8 M dibuatkan dengan mengencerkan 12,61 ml H_3PO_4 14,68 M dengan akuades hingga 100 ml. Larutan asam fosfat 3,6 M dibuatkan dengan mengencerkan 24,5 ml H_3PO_4 14,68 M dengan akuades hingga 200 ml. Larutan Amonia 1 M dibuat dengan mengencerkan 100 ml (NH_4OH) 10 M dengan akuades hingga 1000 ml.

HA disintesis dari tulang sapi dan asam fosfat menggunakan metode presipitasi. Metode presipitasi yang digunakan merujuk pada tesis Suryadi [2011] dengan modifikasi bahan baku serta perlakuan sebelum sintesis. Untuk variabel pH, tulang sapi dicampurkan dengan akuades dan direaksikan dengan asam fosfat secara perlahan dengan menggunakan burreet. Atur pH sesuai variabel (5, 7, 9, 11 dan 13) dan tambahkan beberapa tetes buffer sesuai dengan pHnya, temperatur 90°C dan kecepatan *magnetic stirrer* 300 rpm. Untuk variabel pH (5, 7, 9, 11, dan 13) biarkan reaksi berlangsung hingga waktu 120 menit. Kemudian didiamkan selama 24 jam untuk mendapatkan endapan. Endapan kemudian disaring, dicuci, dan dipisahkan. Setelah itu endapan dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C hingga konstan dan selanjutnya dikalsinasi 1000°C selama 6 jam. Untuk variabel waktu reaksi, reaksi dilakukan pada pH optimum yang telah didapat sebelumnya. Biarkan reaksi

berlangsung hingga 120 menit dan tiap 20 menit diambil sampel 50 ml.

Tiap sampel didiamkan selama 24 jam untuk mendapatkan endapan. Setelah itu endapan pada sampel disaring, dicuci, dan dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C hingga konstan. Selanjutnya dikalsinasi 1000°C selama 6 jam. Karakterisasi hidroksiapatit hasil sintesis dilakukan menggunakan XRD, SEM dan FTIR.

3. Hasil dan Pembahasan

Hidroksiapatit disintesis dari tulang sapi yang merupakan sumber kalsium. Kalsium dari tulang sapi ini berasal dari senyawa kalsium oksida (CaO) yang didapat dari proses kalsinasi tulang sapi pada suhu 1000°C selama 6 jam. Tulang sapi yang dikalsinasi mengalami perubahan berat dari 4 Kg menjadi 2,483 Kg. Perubahan ini sebesar 62,07%. Kusri dan Sontang [2012] menjelaskan bahwa perubahan berat dan warna tulang sapi selama proses kalsinasi disebabkan terjadinya proses dekomposisi dari zat organik serta menghilangnya air pada tulang sapi.

Tabel 1. Hasil Analisa Unsur Dalam Tulang Sapi

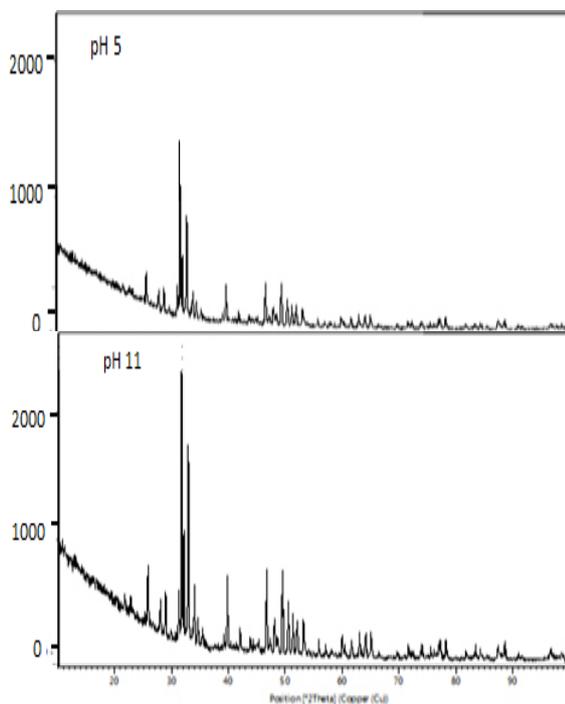
Parameter Uji (%)	Nilai (%)	
	Sebelum kalsinasi	Setelah kalsinasi
Ca	50,29	82,92
Mg	5,51	8,63
Na	2,69	2,75

Berdasarkan hasil uji menggunakan AAS dapat dilihat perbedaan kadar logam pada tulang sapi sebelum dan setelah kalsinasi. Kandungan senyawa kalsium (Ca) diperoleh meningkat menjadi sebesar 82,92% (b/b) dan sisanya merupakan zat anorganik lainnya seperti mg dan Na. Kenaikan kandungan kalsium ini karena banyaknya CaCO_3 yang terkonversi

menjadi CaO dan hilangnya sejumlah zat organik akibat dari proses kalsinasi.

Untuk mengetahui pengaruh pH terhadap karakterisasi hidroksiapatit yang dihasilkan dapat ditinjau dari data – data hasil analisa XRD, FTIR, dan SEM. Hasil yang didapat dari pengaturan pH.

Pada gambar 1 dengan variasi pH 5 terlihat puncak pada 2θ 25,8915°, 31,7679° dan 32,1882° dengan hkl : (002), (211), dan (300). Begitu pula dengan pH 11 yaitu pada 2θ 25,8127°, 31,7286° dan 32,8700° dengan hkl : (002), (211), dan (300).



Gambar 1. Hasil Analisa XRD Hidroksiapatit Metode Presipitasi Pada pH 5 dan 7

Selain itu dari hasil analisa XRD pada gambar 4.1 juga didapat juga puncak - puncak lain yang menunjukkan adanya keberadaan senyawa selain hidroksiapatit. Senyawa itu seperti *lime* dan *portlandite*. Puncak – puncak yang menunjukkan adanya keberadaan *lime* dan *portlandite* yang tampak dari hasil analisa XRD. Kandungan *lime* dan *portlandite* dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kandungan Tiap Sampel Pada Variabel pH

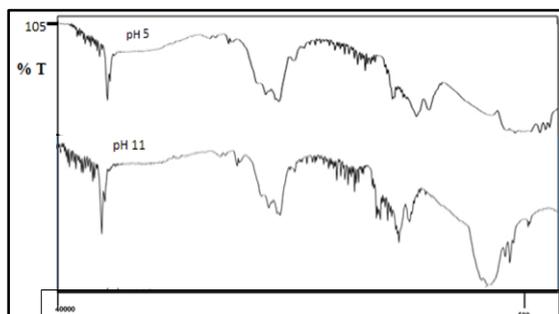
	pH				
	5	7	9	11	13
HA (%)	97,50	99	98,80	99,70	98,20
Lime (%)	0,80	0,00	0,20	0,10	0,20
Portlandite (%)	1,70	1,00	0,90	0,20	1,60
Crystanility (%)	96,00	97,87	97,75	98,33	98,03
Diameter (nm)	65,66	60,50	55,79	54,78	54,89
Yield (%)	75,79	83,21	86,35	95,37	93,15

Pada tabel 2 menunjukkan adanya peningkatan kemurnian seiring dengan adanya perubahan pH. Semakin tinggi pH semakin tinggi tingkat kandungan hidroksiapatit. Tetapi kandungan hidroksiapatit pada pH 13 lebih rendah dari pH 7, pH 9 dan pH 11. Ini menunjukkan jika tingkat pH terlalu tinggi juga akan mempengaruhi kemurnian hidroksiapatit. *Lime* dan *portlandite* merupakan hasil tidak diharapkan (Palanivelu dkk, 2014). Pada pH 5 kandungan *lime* lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain. *Lime* yang terbentuk ini akan mempengaruhi kemurnian dari hidroksiapatit. *Portlandite* juga terbentuk pada hasil hidroksiapatit pada semua hasil hidroksiapatit. Tetapi *portlandite* pada pH 5 dan 13 menunjukkan tingkat pembentukan *portlandite* yang tinggi dibandingkan yang lain. Kedua kandungan lebih sedikit didapat pada pH 11. Dari tabel 4.2 juga menunjukkan *crystanility* yang dihasilkan semakin tinggi jika nilai pH meningkat. Yield yang didapat juga menunjukkan peningkatan seiring dengan peningkatan pH. Tetapi pada pH yang terlalu tinggi menurun, ini diakibatkan suasana basa yang terlalu tinggi sehingga membentuk senyawa lain yang mempengaruhi *crystanility* dan yield.

Sesuai dengan penelitian Palanivelu dkk [2014] pada pH rendah reaksi tidak berlangsung dan kurang atau tidak ada interaksi antara Ca^{2+} dan PO_4^{3-} . Pada saat pH tinggi reaksi berlangsung dan interaksi antara Ca^{2+} dan PO_4^{3-} berlangsung tinggi. Tinggi interaksi Ca^{2+} juga memungkinkan

terjadi reaksi lainnya yang mempengaruhi kemurnian dan *crystaniliy*.

Dari hasil analisa FTIR didapat panjang gelombang yang membentuk puncak – puncak. Panjang gelombang yang membentuk puncak- puncak tersebut menunjukkan adanya gugus fungsi yang menunjukkan adanya keberadaan hidroksiapatit. Kehadiran PO_4^{3-} dan OH^- merupakan gugus fungsional dari hidroksiapatit yang mengindikasikan adanya kandungan hidroksiapatit pada sampel [Sadat-shojai, 2009].



Gambar 2. Hasil Analisa FTIR Hidroksiapatit Metode Presipitasi Pada pH 5 dan 7

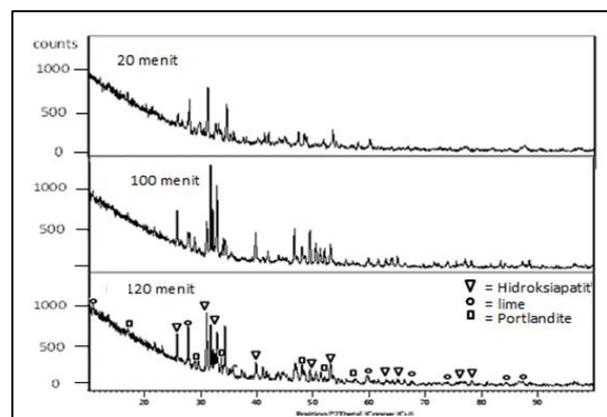
Pada gambar 2 terlihat gugus PO_4^{3-} muncul pada pH 5 dan 11. Pada pH 5 gugus PO_4^{3-} muncul pada panjang gelombang 611,46; 627,86; 957,19 dan 1110,08. Gugus OH^- pada panjang gelombang 3570,39. Pada pH 11 memperlihatkan gugus PO_4^{3-} muncul pada panjang gelombang 572,95; 602,78; 631,71; 947,09 dan 1085,01. Sedangkan gugus OH^- yaitu pada panjang gelombang 3570,39.

Dalam proses sintesis hidroksiapatit untuk mengetahui waktu reaksi akan mempengaruhi hasil hidroksiapatit dilakukan sintesis pada rentang waktu 20 menit sampai dengan 120 menit.

Dari hasil analisa XRD ditemukan puncak – puncak yang menunjukkan adanya keberadaan hidroksiapati. Pada gambar 4.5 dapat dilihat hasil hidroksiapatit dari waktu reaksi 20 dan 100 menit. Pada waktu reaksi 20 menit tiga puncak tertinggi terletak pada 2θ 25,0397°, 31,3212° dan 32,6626° dengan hkl : (002), (211), dan (300). Pada waktu reaksi 100

menit pada 2θ 25,7844°, 31,7092° dan 32,8427° dengan hkl : (002), (211), dan (300). Pada waktu reaksi 120 menit pada 2θ 25,8003°, 31,0446° dan 32,8782° dengan hkl : (002), (211), dan (300).

Pada waktu reaksi 20 menit gugus PO_4^{3-} muncul pada panjang gelombang 600,18; 630,56; 948,10 dan 1120,28. Gugus OH^- pada panjang gelombang 3570,29. Pada waktu reaksi 100 menit pada 2θ 25,7844°, 31,7092° dan 32,8427° dengan hkl : (002), (211), dan (300). Pada waktu reaksi 120 menit pada 2θ 25,8003°, 31,0446° dan 32,8782° dengan hkl : (002), (211), dan (300).

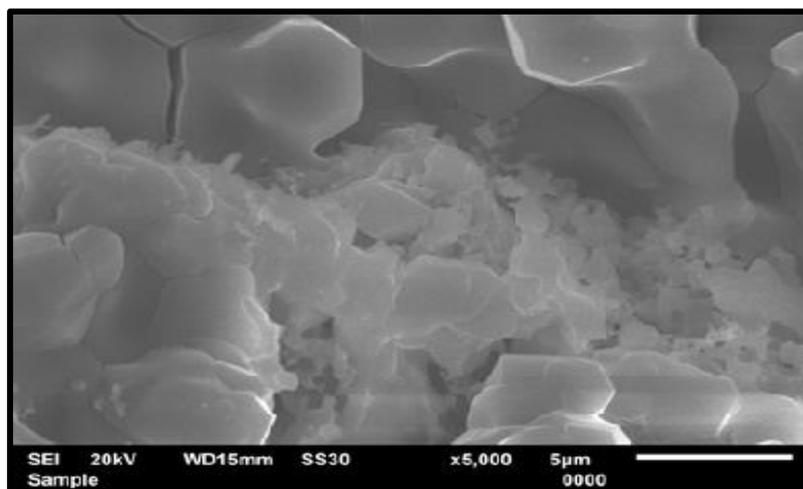


Gambar 3. Hasil Analisa XRD Hidroksiapatit Metode Presipitasi

Waktu reaksi memberikan dampak yang jelas pada *crystanility* untuk hidroksiapatit yang didapat. Pada waktu reaksi yang terlalu cepat akan menurunkan pembentukan *crystanility* pada hasil. Sedangkan waktu yang berlebihan juga tidak diperlukan. Dari tabel 3 dengan waktu yang optimal (100 menit) sudah didapat tingkat *crystanility* yang tinggi.

Tabel 3. Kandungan Tiap Sampel Pada Variabel waktu

	Waktu (menit)			
	20	60	100	120
HA (%)	92,90	94,00	99,80	81,90
Lime (%)	0,50	5,50	0,10	0,70
Portlandite (%)	6,60	0,50	0,10	17,40
Crystanility (%)	84,99	93,33	92,82	90,55
Diameter(nm)	63,74	61,75	56,83	58,45



Gambar 4 Hasil Analisa SEM Hidroksiapatit Metode Presipitasi dengan Perbesaran 5000X Pada waktu (a) 20 (b) 100 menit

4. Kesimpulan

Hidroksiapatit dapat disintesis dari tulang sapi sebagai bahan baku dengan menggunakan metode presipitasi. Pengaruh pH dan waktu reaksi dalam sintesis hidroksiapatit terlihat pada analisa XRD yang menunjukkan puncak – puncak semakin tinggi dan pada analisa FTIR terlihat pada semakin tajamnya kecuraman panjang gelombang pada gugus fungsi PO_4^{3-} dan OH ketika pH yang semakin tinggi. Hidroksiapatit pada pH 11 menghasilkan kemurnian 99,7%, *crystanility* 98,33% dan yield 95,37% sedangkan pada pH 5 didapat kemurnian 97,5%, *crystanility* 96,00% dan yield 75,79%. Hidroksiapatit pada waktu reaksi 100 menit memiliki tingkat kemurnian dan *crystanility* tinggi yaitu 99,8 % dan 92,82% sedangkan pada waktu rekasi 20 menit didapat kemurnian 92,9% dan *crystanility* 84,99%

Daftar Pustaka

Agustinus, E. (2009). *Sintesis Hidrotermal Atapulgit Berbasis Batuan Gelas Vulkanik (Perlit) :Perbedaan Perlakuan Statis Dan Dinamis Pengaruhnya Terhadap Kuantitas Dan Kualitas Kristal*. Penelitian. Puslit Geoteknologi Komplek LIPI : Bandung.

Alqap, S. F. dan Sopyan I. (2009). *Low Temperature Hydrothermal Synthesis of Calcium Phosphate Ceramics: Effect of Excess Ca Precursor on Phase Behaviour*.

Indian Journal of Chemistry 48: 1492-1500.

Heiman, R. B. (2002). *A Review of Basic Properties And Applications*. *Journal Materials Science of Crystalline Bioceramics*.

Ioku, K. dan Masanobu, K. (2008). *Hydroxyapatite Ceramics For Medical Application Prepared By Hydrothermal Method*. *Phosphorus Research Bulletin*. 23 : 25-30.

Keene, B. E., Knowlton, K. F., McGilliard, M. L., Lawrence, L. A., Nickols-Richardson, S. M., Wilson, J. H., Rutledge, A. M., McDowell, L. R. dan Van Amburgh, M. E. (2004). *Measures of Bone Mineral Content in Mature Dairy Cows*. *American Dairy Science Association*. 87 : 3816 – 3825.

Kusrini, E. dan Sontang, M. (2012). *Characterization of X-Ray Diffraction and Electron Spin Resonance: Effects of Sintering Time and Temperature on Bovine Hydroxyapatite*. *Rad. Physical an Chem*. 81 : 118 – 125.

Mulyaningsih, N. N. (2007). *Karakterisasi Hidroksiapatit Sintetik dan Alami Pada Suhu 1400°C*. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.

Mobasherpur, I., Heshajin, M. S., Kazemzadeh, A. dan Zakeri, M. (2007). *Synthesis of Nanocrystalline*

- Hydroxyapatite by using Precipitation Method. Journal of Alloys and Compounds.* 430 (1-2): 330-333.
- Ooi, C. Y., Hamdi, M. dan Ramesh, S. (2007). *Properties of Hydroksiapatite Produced by Annealing of Bovine Bone. Ceramics International.* 33 : 1171 – 1177.
- Palanivelu, R. A., Mary, S. dan Ruban, K. (2014). *Nanocrystalline Hydroxyapatite Prepared Under Various PH Conditions. Journal Molecular and Biomolecular Spectroscopy.* 131 (2014) : 37–41.
- Pinangsih, A. C., Sri, W. dan Darjito. (2014). *Sintesis Biokeramik Hidroksiapatit ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) Dari Limbah Tulang Sapi Menggunakan Metode Sol-Gel. Kimia Student Journal.* 1 (2) : 203-209.
- Santos, C., Rovath. C. F., Franke, R. P., Almeida, M. M. dan Costa, M. E. V. (2009). *Spray-dried Hydroxyapatite-5-Fluorouracil Granules As A Chemotherapeutic Delivery System. Ceramics International.* 35 : 509–513.
- Sontang, M. (2000). *Optimasi Hidroksiapatite dalam Tulang Sapi Melalui Proses Sintering. Tesis.* Universitas Indonesia.
- Sun, R., Yupeng, L. dan Kezheng, C. (2009). *Preparation and Characterization of Hollow Hydroxyapatite Microspheres by Spray Drying Method. Materials Science and Engineering C.* 29 : 1088–1092.
- Suryadi. (2011). *Sintesis Dan Karakteristik Biomaterial Hidroksiapatit Dengan Proses Pengendapan Kimia Basah. Tesis.* Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Sopyan, I dan Kaur, J. (2009). *Preparation and Characterization of Porous Hydroxyapatite Through Polymeric Sponge Method. Ceramics International.* 35: 3161-3168.
- Sopyan, I., Mel, M., Ramesh, S., dan Khalid, K. A. (2007). *Porous Hydroxyapatite For Artificial Bone Applications. Science and Technology of Advanced Materials.* 8 : 116 - 123.
- Sopyan, I., Myrna, A. dan Ali, A. (2003). *Pengembangan Hidroksiapatit Untuk Aplikasi Medis: Karakterisasi Awal dengan FTIR dan XRD. Jurnal Keramik.* Universitas Indonesi. Depok.
- Sopyan, I., Singh, R dan Hamdi, M. (2008). *Synthesis of Nano Sized Hydroxiapatite Powder using Sol-Gel Technique and Its Conversion to Dense and Porous Bodies. Indian Journal of Chemistry.* 47A : 1626-1631.
- Somiya. (2003). *Teknologi pembuatan hidroksiapatit.* <http://kisahbangsa.wordpress.com/tag/hidroksiapatit/>. Diakses pada tanggal 07 November 2014. Pukul 04.00 WIB.
- V'azquez, Guzm'an, C., Barba, C., Pi'na dan Mungu'ia, N. (2005). *Stoichiometric Hydroxyapatite Obtained by Precipitation and Sol Gel Processes. Revista Mexiana De F'isica.* 51(3) : 284-239.
- Wahdah I., Sri, W. dan Darjito. (2014). *Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Sapi dengan Metode Basah - Pengendapan. Kimia Student Journal.* 1 (1) : 92-97.
- Wang, A., Yu-peng, L., Rui-fu, Z., Shi-tong, L dan Xao-long, M. (2009). *Effect of Process Parameters on The Performance of Spray Dried Hydroxyapatite Microspheres. Powder Technology.* 191:1–6.
- Wathi, D. F. A., Sri, W. dan Mohammad, M. K. (2014). *Pengaruh Perbandingan Massa Ca:P Terhadap Sintesis Hidroksiapatit Tulang Sapi Dengan Metode Kering. Kimia Student Journal.* 1 (2) : 196-202.