

Pengaruh Waktu *Ageing* dan Kecepatan Pengadukan Pada Sintesis Hidroksiapatit dari Cangkang Telur dengan Metode Presipitasi

Rio Andika¹, Ahmad Fadli, Irdoni HS

Alumni Teknik Kimia Universitas Riau Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Kampus Binawidya Km. 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

¹Email : rio.drew.andika@gmail.com

ABSTRACT

Hydroxyapatite (HAp) is one of the calcium phosphate compounds are used as biomaterials because of the ceramic material which has a stable properties. The purpose of this study is to study the effect of ageing time and stirring rate of the HAp obtained. HAp from eggshells has been successfully synthesis using precipitation method with variation of ageing time and stirring rate. Eggshells were calcined at 1000 °C for 5 hours to produce calcium oxide (CaO). CaO was dissolved into nitric acid (HNO₃) to obtain (Ca(NO₃)₂), and then mixed slowly into a diamonium hydrogen phosphate solution which was already dissolved into aquabidest. After mixing process is complete, the solution was settling with the variation of ageing time 0 hour, 12 hours, 36 hours and 48 hours and the best condition continued in the second variation of the stirring rate 200 rpm, 250 rpm, 350 rpm and 400 rpm. HAp produced at the ageing time 12 hours is the optimum condition. Bonds of PO₄³⁻ and OH shown HAp compounds, also it contained tricalcium phosphate (TCP) and calcium hydroxide (Ca(OH)₂) compounds. Morphology of HAp particles had a granular form with a increasing particle size of HAp with the ageing time in the range 60-48 nm, whereas the faster rate of stirring had been produced the particle in the range 47-44 nm.

Keywords: ageing time; eggshells, hydroxyapatite; mixing; precipitation

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki jumlah kasus operasi bedah tulang yang cukup signifikan, yaitu berkisar antara 300-400 kasus operasi bedah tulang perbulan [Suryadi, 2011]. Tulang mempunyai peranan penting karena merupakan rangka yang memberi bentuk pada tubuh manusia dan merupakan komponen yang menunjang aktivitas serta mobilitas manusia sehari-hari. Aktivitas dan mobilitas akan sangat terganggu jika terjadi disfungsi pada jaringan keras ini karena kecelakaan ataupun penyakit [Suryadi, 2011].

Hidroksiapatit (HAp) adalah salah satu senyawa kalsium fosfat dan digunakan sebagai biomaterial karena merupakan material keramik yang memiliki sifat stabil secara kimia jika dibandingkan dengan material logam dan polimer [Nascimento dkk, 2007], tidak

bersifat racun, bioaktif, dan biokompatibel [Hui dkk, 2010]. Sintesis senyawa hidroksiapatit dapat diperoleh dengan mencampurkan prekursor kalsium dengan prekursor fosfat. HAp merupakan komponen utama mineral di dalam tulang dengan rumus kimia Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂.

Indonesia telah mengembangkan biomaterial alami yaitu menggunakan tulang murni sebagai material pengganti, seperti *autograft*, *allograft*, dan *xenograft*. *Autograft* berasal dari tulang sehat bagian tubuh lainnya milik pasien bersangkutan dan *allograft* dari tulang manusia lainnya sebagai material pengganti, namun keduanya berdampak terhadap perubahan fisik serta menimbulkan kerusakan pada bagian tulang yang diambil. *Xenograft* menggunakan tulang hewan seperti tulang sapi, kelemahannya terdapat perbedaan imunitas, kemungkinan adanya penyakit

yang dibawa jenis hewan tersebut sehingga ditolak tubuh manusia [Tunggal, 2010].

Untuk mengatasi berbagai permasalahan di atas, maka dilakukan berbagai alternatif untuk mensintesis hidroksiapatit, salah satunya dengan menggunakan bahan dari alam yang kaya akan kandungan kalsium seperti koral, kerang, bahkan cangkang telur [Ahmed & Ahsan, 2008]. Kalsium adalah unsur utama pembentuk jaringan keras pada cangkang dan tulang [Tunggal, 2010].

Di Indonesia, telur merupakan salah satu bahan makanan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia karena merupakan sumber protein hewani yang relatif murah dan mudah ditemukan. Namun, telur yang sudah diolah atau digunakan, masyarakat umumnya membuang cangkangnya tanpa dimanfaatkan terlebih dahulu sehingga hanya menjadi limbah.

Potensi limbah cangkang atau kerabang telur di Indonesia cukup besar, yakni dalam setahun menghasilkan 178.566,33 ton. Cangkang telur dapat menyebabkan pencemaran lingkungan karena sulit didegradasi oleh mikroba tanah [Pramessti, 2011]. Tingginya potensi limbah cangkang telur di Indonesia dan belum dimanfaatkan secara baik dan hanya menjadi sampah biologi, menjadi hal yang mendasari untuk dilakukannya sintesis biomaterial sintetik seperti hidroksiapatit yang bermanfaat pada bidang kedokteran [Ainurlaela, 2010].

2. Metode Penelitian

2.1 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang telur yang diperoleh dari peternakan PT. Indojoya - Agrinusa, Kualu Nenas, Kampar – Riau yang berfungsi sebagai sumber CaO, di-Ammonium hidrogen fosfat $[(NH_4)_2HPO_4]$ (Merck, Jerman) yang berfungsi sebagai bahan utama pembentuk hidroksiapatit, aquabides (IKA, Indonesia) sebagai pelarut, asam nitrat pekat (HNO_3) sebagai pelarut CaO, ammonium hidroksida

(NH_4OH) sebagai penambah pH agar mencapai 10, dan natrium klorida (NH_4Cl) sebagai garam dalam pembuatan larutan buffer.

2.2 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan adalah *furnace*, *magnetic stirer*, pH meter, kertas indikator pH, termometer raksa, oven, *crucible*, cawan penguap, buret, statif & klem, *beaker glass*, labu ukur 100 ml, corong *Buchner*, pompa vakum, batang pengaduk, kertas saring *whattman 42*, timbangan analitik, pipet tetes, dan *aluminum foil* dan alat uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

2.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian meliputi variabel tetap dan berubah. Variabel tetap pada penelitian ini adalah temperature dan waktu kalsinasi cangkang telur $1000^\circ C$ selama 5 jam, pH larutan 10, Rasio Ca/P = 1.67, temperatur dan waktu kalsinasi produk $900^\circ C$ dan temperatur reaksi $37^\circ C$. Variabel berubah terdiri dari waktu *ageing* (0 jam, 12 jam, 36 jam, dan 48 jam).

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Persiapan Bahan Baku

Cangkang telur digunakan untuk mensintesis kalsium oksida (CaO) dengan cara kalsinasi. Cangkang telur dibersihkan dari membrannya kemudian dicuci dengan air biasa untuk menghilangkan kotoran-kotoran makro lalu dicuci kembali menggunakan akuabides. Cangkang telur yang telah bersih, dikeringkan menggunakan oven dengan suhu $110^\circ C$ selama 2 jam. Cangkang telur yang telah kering kemudian dihaluskan. Bubuk cangkang telur dimasukkan ke dalam *crucible* untuk dikalsinasi dengan menggunakan *furnace* pada temperatur $1000^\circ C$ selama 5 jam [Dahlan dkk, 2012, Dewi, 2009]. Kalsinasi dilakukan dengan tujuan untuk mengeliminasi komponen organik dan logam lain selain Ca serta mendekomposisi kalsium karbonat

(CaCO₃) menjadi kalsium oksida (CaO) yang akan digunakan sebagai prekursor Ca [Dasgupta dkk, 2004].

2.4.2 Sintesis Hidroksiapatit

Sintesis hidroksiapatit dilakukan dengan mencampurkan serbuk cangkang telur yang sudah dikalsinasi dengan (NH₄)₂HPO₄. NH₄OH digunakan untuk meningkatkan pH campuran hingga 10. Proses pencampuran ini menggunakan pelarut akuabides. Pada saat suhu telah mencapai 37°C, teteskan larutan kalsium ke dalam larutan fosfat secara perlahan hingga larutan kalsium habis. Setelah larutan kalsium habis, pengadukan tetap dilanjutkan tanpa pemanasan sekitar 30 menit. Setelah presipitasi selesai, larutan kalsium fosfat yang terbentuk diageing pada variabel *ageing* (0 jam, 12 jam, 36 jam, dan 48 jam).

Setelah proses *ageing*, terbentuk endapan (presipitat). Presipitat kemudian disaring menggunakan kertas saring *whattman* 42. Presipitat yang telah disaring lalu dicuci menggunakan akuabides untuk menghilangkan sisa asam dan juga produk samping yaitu ammonium.

Presipitat yang telah disaring kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C selama 5 jam. Presipitat kering kemudian dikalsinasi pada temperatur 900°C selama 5 jam untuk meningkatkan derajat kristalinitasnya.

2.4.3 Karakterisasi Produk

Karakterisasi produk hidroksiapatit menggunakan alat uji FTIR (*Fourier Transform Infrared*), XRD (*X-Ray Diffraction*), dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

3. Hasil dan Pembahasan

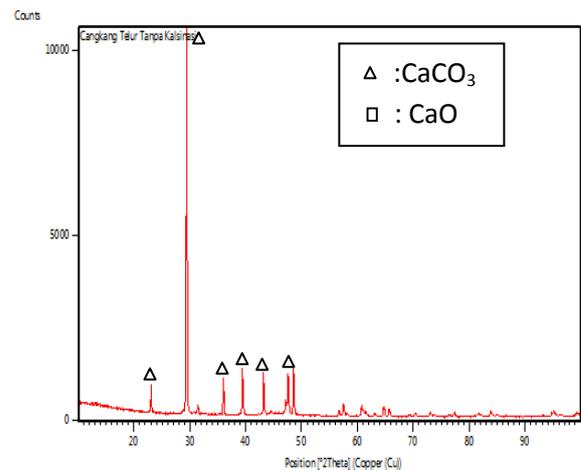
3.1 Analisis Cangkang Telur

Setelah CaO didapat, maka CaO tersebut diuji kadar Ca nya dengan menggunakan AAS dengan hasil uji AAS yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Kandungan kalsium (Ca) yang diperoleh sekitar 76,6% (b/b) dan sisanya merupakan

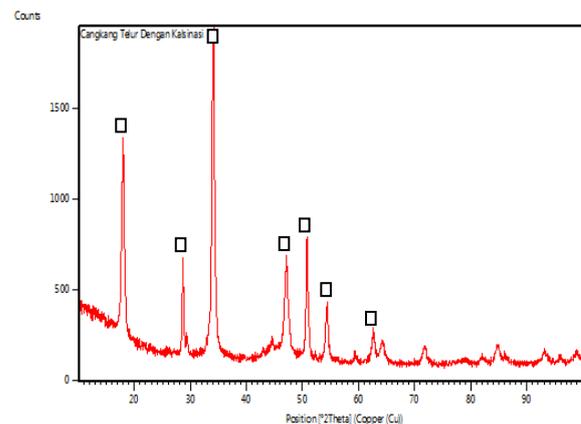
komponen-komponen lain seperti magnesium (Mg), kalium (K), dan zink (Zn).

Tabel 1 Hasil analisa cangkang telur setelah kalsinasi menggunakan AAS

Parameter Uji	Nilai
K ₂ O (%)	4,20
MgO (%)	0,04
CaO (%)	76,6
Zn (mg/kg)	8,1



(a)



(b)

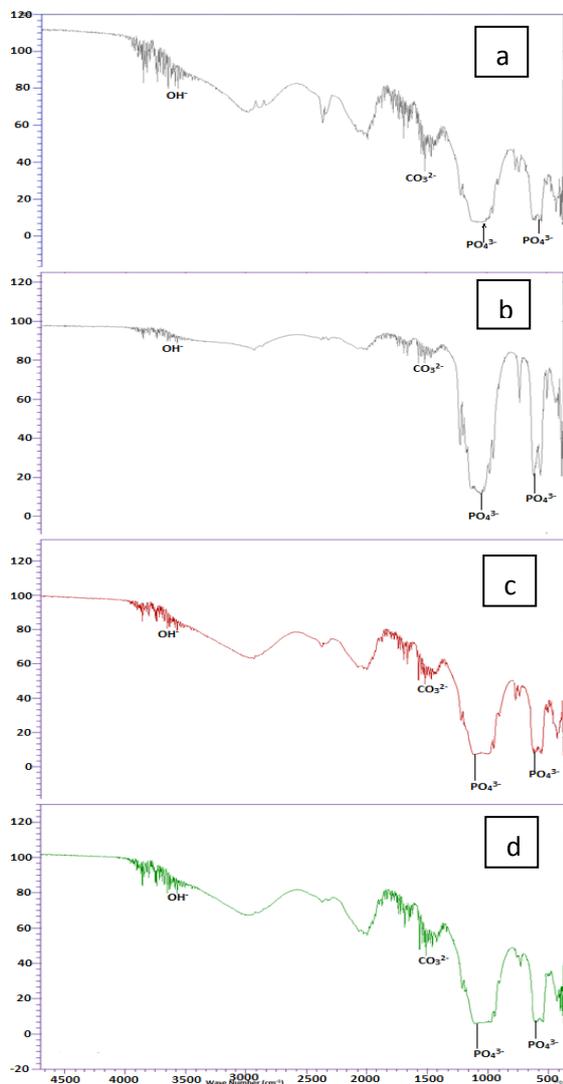
Gambar 1. Pola difraksi XRD cangkang telur (a) sebelum, dan (b) setelah kalsinasi pada suhu 1000°C

Pada Gambar 1a dan 1b terlihat dimana cangkang telur sebelum dikalsinasi (Gambar 1a) dan cangkang telur setelah dikalsinasi (Gambar 1b) menunjukkan

puncak-puncak yang berbeda, dimana sebelum proses kalsinasi, cangkang telur masih mengandung CaCO_3 dan setelah dikalsinasi, CaCO_3 tadi terdekomposisi menjadi CaO yang mana CaO ini akan digunakan sebagai precursor Ca pada proses sintesis HAp.

3.2 Pengaruh Waktu Ageing Terhadap HAp Yang Didapat

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa kenaikan waktu *ageing* mempengaruhi intensitas spektrum inframerah masing-masing gugus fungsi yang hadir dalam sampel.



Gambar 2. Spektrum spektroskopi FTIR hidroksiapatit dengan waktu *ageing* (a) tanpa *ageing*, (b) 12 jam, (c) 36 jam, dan (d) 48 jam

Menurut Cimдина dan Borodajenko [2012], gugus fungsi PO_4^{3-} muncul pada panjang gelombang 1000 – 1120, 960, 560 – 600 dan 460 cm^{-1} . Pada sampel tanpa *diageing* gugus PO_4^{3-} muncul pada panjang gelombang 589, 1001 dan 1112 cm^{-1} yang terlihat pada Gambar 2a. Pada sampel dengan waktu *ageing* 12 jam muncul pada panjang gelombang 591, 1102, 1118 cm^{-1} yang terlihat pada Gambar 2b. Pada sampel dengan waktu *ageing* 36 jam muncul pada panjang gelombang 579, 1003, dan 1109 cm^{-1} seperti yang terlihat pada Gambar 2c, sedangkan pada sampel dengan waktu *ageing* 48 jam muncul pada panjang gelombang 589, 1008, dan 1096 cm^{-1} seperti yang terlihat pada Gambar 2d.

Selain itu, pada Gambar 2 juga memperlihatkan gugus selain gugus PO_4^{3-} yaitu gugus OH^- . Dimana gugus OH^- muncul pada panjang gelombang sekitar 3420 -3570 , 1650, 630 cm^{-1} [Cimдина dan Borodajenko, 2012], dan 2500 – 3700 cm^{-1} [Alqap dan Sopyan, 2009]. Pada sampel tanpa *diageing* gugus OH^- muncul pada panjang gelombang 3427 dan 3559 cm^{-1} yang terlihat pada Gambar 2a. Pada sampel dengan waktu *ageing* 12 jam muncul pada panjang gelombang 3572 dan 3642 cm^{-1} yang terlihat pada Gambar 2b. Pada sampel dengan waktu *ageing* 36 jam terlihat pada panjang gelombang 3501, dan 3656 cm^{-1} seperti yang terlihat pada Gambar 2c, sedangkan pada sampel dengan waktu *ageing* 48 jam terlihat pada panjang gelombang 3512 dan 3680 cm^{-1} seperti yang terlihat pada Gambar 2d. Kehadiran PO_4^{3-} dan OH^- yang merupakan gugus fungsional dari hidroksiapatit mengindikasikan adanya kandungan hidroksiapatit pada sampel [Sadat-shojai, 2009].

Selain gugus PO_4^{3-} dan OH^- , pada Gambar 2 juga memperlihatkan gugus CO_3^{2-} . Dimana gugus CO_3^{2-} muncul pada panjang gelombang sekitar 870 – 880, 1450 – 1640 cm^{-1} [Cimдина dan Borodajenko, 2012]. Pada sampel tanpa *diageing* gugus CO_3^{2-} muncul pada panjang gelombang 1455, 1505 dan 1632

cm^{-1} yang terlihat pada Gambar 2a. Pada sampel dengan waktu *ageing* 12 jam muncul pada panjang gelombang 1580 dan 1612 cm^{-1} yang terlihat pada Gambar 2b. Pada sampel dengan waktu *ageing* 36 jam terlihat pada panjang gelombang 1501, dan 1576 cm^{-1} seperti yang terlihat pada Gambar 2c, sedangkan pada sampel dengan waktu *ageing* 48 jam terlihat pada panjang gelombang 1502 dan 1580 cm^{-1} seperti yang terlihat pada Gambar 2d.

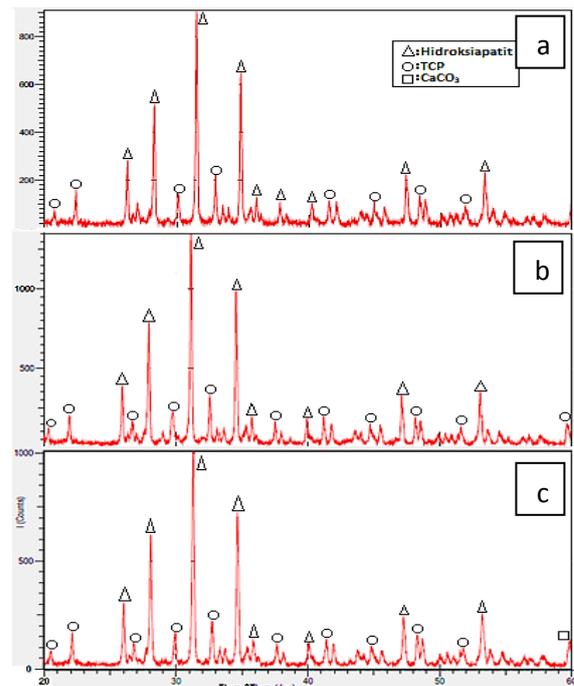
Spektrum inframerah pada Gambar 2 b menunjukkan semakin tajam puncak gugus fosfat (PO_4^{3-}) yang hadir pada sampel dengan waktu *ageing* 12 jam, dan pada Gambar 2a, 4.3 c, dan 4.3 d menunjukkan puncak gugus fosfat yang hampir serupa. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu *ageing*, maka presipitat yang sudah terbentuk sebelumnya mengalami dekomposisi lagi menjadi reaktan sehingga membentuk reaksi *reversible* yang menyebabkan serapan gugus fosfat pada sampel berkurang [Simsek, 2002].

3.3 Analisis XRD

Untuk memperkuat kebenaran hasil karakterisasi dari FTIR, maka HAp yang disintesis pada variasi tanpa *ageing*, 12 jam, dan 48 jam *ageing* serta pada variasi kecepatan pengadukan 200 rpm dan 400 rpm dikarakterisasi lebih lanjut dengan menggunakan analisa *X-Ray Diffractometer* (XRD).

Karakterisasi dengan menggunakan XRD dilakukan secara kualitatif, yaitu dengan membandingkan puncak-puncak yang terbentuk pada difraktogram HAp hasil sintesis dengan puncak-puncak pada difraktogram HAp standar dari data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) dengan No. 09-432. Fasa-fasa yang terbentuk diidentifikasi berdasarkan data JCPDS. Berdasarkan JCPDS No. 09-432 untuk fasa HAp dicirikan intensitas utama pada nilai 2θ sebesar 25.879, 32.196, 32.902, dan 34.048.

Untuk HAp hasil sintesis tanpa *ageing*, intensitas utama pada nilai 2θ sebesar 26.223, 31.484, 32.920, dan 34.842. Untuk HAp hasil sintesis pada waktu *ageing* 12 jam, intensitas utama pada nilai 2θ sebesar 25.866, 31.130, 32.567, dan 34.479. Untuk HAp hasil sintesis pada waktu *ageing* 48 jam, intensitas utama pada nilai 2θ sebesar 26.049, 31.3129, 32.743, dan 34.6742.



Gambar 3. Pola difraksi XRD (a) tanpa *ageing*, (b) 12 jam, dan (c) 48 jam

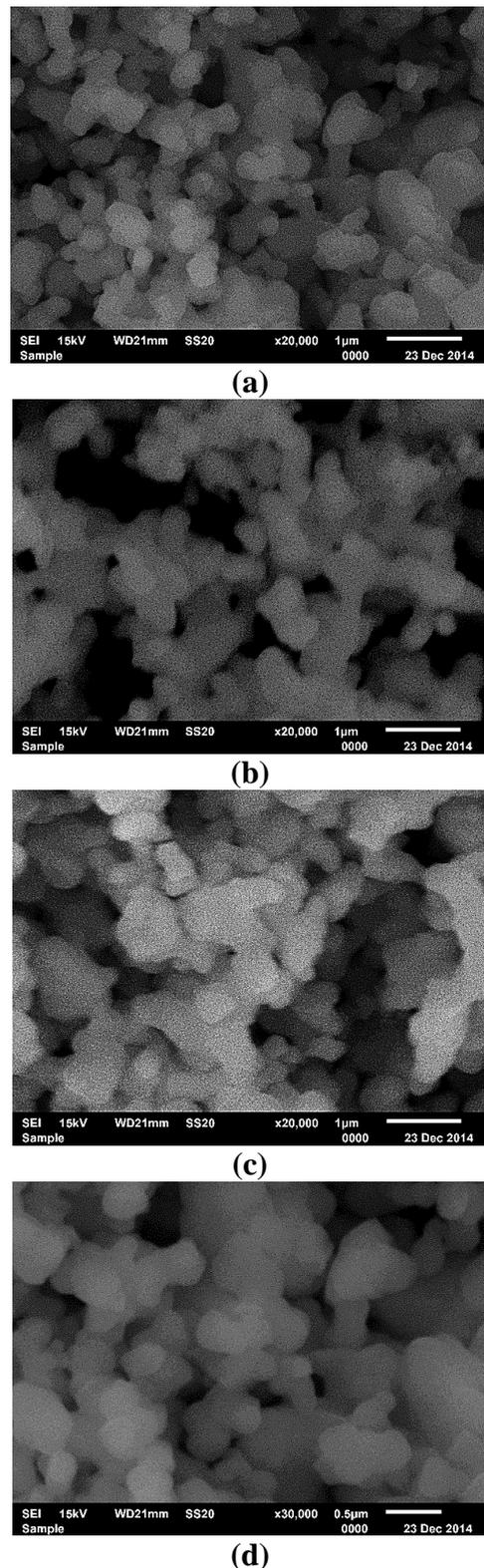
Pada Gambar 3 dengan variasi waktu *ageing* terlihat pada ketiga gambar memiliki puncak-puncak yang sama yaitu mengandung hidroksiapatit dan *tricalcium phosphate* (TCP). Tetapi pada saat variasi waktu *ageing* 48 jam, di sana muncul puncak selain hidroksiapatit dan TCP yaitu kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Menurut Walidani (2012), kalsium hidroksida ini terbentuk karena adanya reaksi antara CaO dengan air karena CaO memiliki sifat hidroskopis.

Setelah dibandingkan, maka dapat disimpulkan bahwa difraktogram HAp hasil sintesis memiliki nilai 2θ yang hampir sama dan menyerupai dengan difraktogram HAp standard dan yang

membedakan Gambar 3a, 3b, dan 3c yaitu intensitas dari masing-masing sampel. Terlihat pada gambar intensitas pada variasi tanpa *ageing* (Gambar 3a) 900, 12 jam *ageing* (Gambar 3b) 1350, dan 48 jam *ageing* (Gambar 3c) 1000. Dapat disimpulkan pengaruh waktu *ageing* yang terlihat dari pola difraksi XRD yaitu semakin meningkatnya intensitas seiring dengan bertambahnya waktu *ageing*, akan tetapi turun pada saat waktu *ageing* 48 jam yang dikarenakan penurunan tingkat kemurnian produk yang diakibatkan oleh udara yang bereaksi dengan Ca membentuk CaCO_3 kembali [Walidani, 2012].

3.4 Analisis SEM

Analisa berikutnya selain FTIR dan XRD yaitu analisa menggunakan SEM yang bertujuan melihat bentuk dari kristal HAp yang didapat dari penelitian ini. Hasil foto SEM untuk sampel dengan variasi tanpa *diageing* ditunjukkan pada Gambar 4a, 12 jam *ageing* pada Gambar 4b, dan 48 jam *ageing* pada Gambar 4c. Pengamatan morfologi menggunakan SEM untuk partikel HAp yang disintesis mengalami aglomerasi atau penggumpalan. Hal ini identik dengan yang pernah diteliti oleh Hui dkk, (2010), dimana partikel yang diamati mengalami aglomerasi. Dari hasil foto SEM juga tampak morfologi dengan gumpalan yang lebih kecil dan berbentuk bulat tidak beraturan (*irregular*). Hal ini disebabkan oleh adanya senyawa fosfat lain berupa trikalsium fosfat (TCP) seperti yang terlihat pada hasil analisa XRD. Hal ini juga dipertegas oleh Suryadi (2011), dimana kristalit dari HAp cenderung membentuk aglomerat dengan rata-rata ukuran kristalnya berada pada rentang 15-50 nm.



Gambar 4 Hidroksiapatit hasil analisa SEM perbesaran 20 ribu kali (a) tanpa *ageing*, (b) 12 jam, (c) 48 jam, (d) tanpa *ageing* perbesaran 30 ribu kali

Hasil foto SEM untuk masing – masing sampel dengan perbesar 20000 kali ditunjukkan pada Gambar 4a, 4b, dan 4c.

Sedangkan hasil uji SEM pada Gambar 4d yaitu perbesaran 30000 kali untuk sampel tanpa *diageing*. Terlihat pada gambar 4 bentuk morfologi partikel dari tiap sampel hampir sama, yang membedakannya hanya jumlah dan gumpalan-gumpalan yang terbentuk saja. Pada Gambar 4a apabila dibandingkan dengan 4b dan 4c, Gambar 4a masih sedikit membentuk gumpalan, hal ini disebabkan karena tidak adanya waktu *ageing* pada hasil hidroksiapatit yang didapat setelah proses reaksi selesai. Sedangkan semakin lama waktu *ageing*, semakin banyak dan besar gumpalan-gumpalan yang terbentuk. Pada Gambar 4 juga memperlihatkan semakin lama waktu *ageing*, maka ukuran kristal yang terbentuk semakin besar yaitu 0.75 μm untuk variasi tanpa *ageing*, 0.89 μm untuk 12 jam *ageing*, dan 1.25 μm untuk 48 jam *ageing*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Semakin lama waktu *ageing* maka akan membentuk ulang reaktan, akan tetapi meningkatkan % *yield* produk. Dari hasil analisa didapatkan kondisi yang mana memiliki puncak PO_4 yang tajam pada waktu *ageing* 12 jam dan dilakukan pada variasi kecepatan pengadukan.

Semakin lama waktu *ageing*, maka ukuran kristal yang terbentuk semakin besar yaitu tanpa *ageing*, 12 jam, dan 48 jam *ageing* berturut-turut ukuran kristalnya yaitu 60 nm, 50 nm, dan 48 nm.

4.2 Saran

Pada sintesis hidroksiapatit selanjutnya, disarankan untuk menutup wadah tempat terjadinya reaksi proses. Hal ini bertujuan untuk mengurangi kadar CO_3 pada hasil yang dapat menurunkan kadar PO_4 yang dihasilkan, dimana CO_3 tersebut timbul akibat terkontaminasi terhadap udara. Hal ini juga untuk mengurangi kadar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ yang juga berasal dari udara yang mengandung air karena sifat CaO yang hidroskopis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Novika Sri Wardani, kak Cory Dian Alfarisi yang telah memberi masukan selama penulis melaksanakan penelitian. Terima kasih juga kepada kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini, serta rekan-rekan seperjuangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainurlaela. (2009). *Penumbuhan Kristal Apatit dari Cangkang Telur Ayam dan Bebek Pada Kitosan dengan Metode Presipitasi*, Tesis, Institute Pertanian Bogor, Bogor.
- Alqap A. S. F., & 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.
- Cimdina, L. G., Borodajenko, N. 2012. *Research of Calcium Phosphates Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. InTech, Institute of General Chemical Engineering, Riga Technical University, Latvia.
- Dewi, S. U. 2009. *Pembuatan komposit kalsium fosfat-kitosan dengan metode sonikasi*. Tesis, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Dahlan, K., Dewi, S. U., Nurlaila, A., & Soejoko, D. (2012). *Synthesis and characterization of calcium phosphate/chitosan composites*. *International Journal of Basic and Applied Sciences*, 12(1), 50-57.
- Dasgupta, P., Singh, A., Adak, S., & Purohit, K. M. (2004). *Synthesis and Characterization of Hydroxyapatite Produced From Eggshell*. *International Symposium of Research Students on Materials Science and Engineering*, 1-6.
- Hui, P., Meena, S.L., Singh, G., Agrawal, R.D., & Prakash, S. (2010). *Synthesis of Hydroxyapatite Bio-*

- Ceramic Powder by Hydrothermal Method*. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, 9(8), 683-692.
- Nascimento, C. D. (2007). *Biomaterials Applied to the Bone Healing Process*. International Journal of Morphology, 25(4), 839-846.
- Pramesti, R. (2011). *Fabrikasi Komposit Kalsium Fosfat – Kitosan Untuk Aplikasi Orthopedic dan Dental*, Universitas Airlangga, Malang.
- Sadat-Shojai, M., Khorasani, M.-T., & Jamshidi, A. (2012). *Hydrothermal processing of hydroxyapatite nanoparticles—a taguchi experimental design approach*. Journal of Crystal Growth 361: 73-84.
- Simsek, D. 2002. *Preparation and Characterization of HA Powder – Dense and Porous HA Based Composite Materials*. Dissertation, Material Science and Engineering, Izmir Institute of Technology, Izmir, Turkey.
- Suryadi. 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Biomaterial Hidroksiapatit dengan Proses Pengendapan Kimia Basah*. Tesis, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Tunggal, N. 2010. *Cangkang Telur Pengganti Tulang*. <http://health.kompas.com/index.php/read/2010/10/08/04265068/Cangkang.Telur.Pengganti.Tulang>, diakses pada tanggal 26 Maret 2014, pukul 15.22 WIB.
- Walidani, K. 2012. *Pengaruh kombinasi proses termal dan agitasi mekanik terhadap presipitasi serta morfologi partikel CaCO₃ dalam air sadah*. Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.