

# **APLIKASI *SHRINKING CORE* MODEL PADA SINTESIS HIDROKSIAPATIT MENGGUNAKAN METODE HIDROTHERMAL SUHU RENDAH**

**Nuraina Siregar<sup>1</sup>, Ahmad Fadli<sup>2</sup>, Edy Saputra<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, <sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Kimia  
Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km 11,5 Pekanbaru 28293  
siregarnuraina9@gmail.com

## **ABSTRACT**

*Hydroxyapatite (HA) is a ceramic material can be used as bone and dental implants. Hydroxyapatite can be synthesized from calcium oxide (CaO). The purpose of this study was to determine the effect of reaction time and stirring rate on the characteristics of HA using a low temperature hydrothermal method and determine the kinetics model with the approach of shrinking core models. There are 3 models that are used; diffusion through the film layers, diffusion through the layer result (HA), and chemical reactions. The first procedure was weighing 36.9 of grams  $NH_4H_2PO_4$  and dissolved in 600 ml of aquadest are then added 30 of grams CaO at a temperature of 90 °C and reaction time with variation 5, 30, 60, 90, and 150 minutes. The mixture was stirred rate of 100, 200, 300 rpm until paste formed. The paste was dried in an oven at a temperature of 110°C for 15 hours and calcined at a temperature of 900°C for 1 hour. XRD diffraction results shows HA with pure content of 95% and SEM result shows morphology of HA was like agglomerate. The best kinetics model showed synthesis of HA is model 2 with equation:*

$$\frac{t}{\tau} = 1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B)$$

*It was named "Diffusion Through the Layer Results (HA)" with the smallest percentage error of 4,3%.*

**Keywords:** *CaO, hydroxyapatite, hydrothermal, model kinetics, shrinking core*

## **1. Pendahuluan**

Riset mengenai implan tulang semakin berkembang seiring dengan majunya teknologi. Implan tulang merupakan salah satu material sintetis yang digunakan sebagai alternatif penyembuhan patah tulang. Hidroksiapatit (HA) dapat digunakan sebagai implan sintetis karena memiliki struktur yang sama dengan struktur tulang dan gigi [Alqab dan Sopyan, 2009]. Penelitian ini akan meninjau model kinetika reaksi pembentukan hidroksiapatit menggunakan metoda hidrotermal suhu rendah dengan

variasi kecepatan pengadukan.

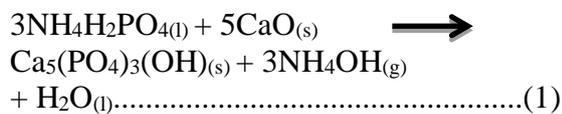
Pendekatan model yang diambil adalah *shrinking core model*. Sumber kalsium yang digunakan dari Kalsium oksida (CaO). Kondisi proses yang digunakan adalah suhu hidrotermal 90°C, suhu kalsinasi hidroksiapatit 900°C dan variasi kecepatan pengaduk 100,200 dan 300 rpm. Hidroksiapatit adalah senyawa polikristalin kalsium fosfat yang paling banyak digunakan sebagai material penyusun tulang dengan 60-70% berat tulang kering, sementara matriks organik melekat pada bagian tulang. Hidroksiapatit

merupakan anggota dari mineral apatit ( $M_{10}(ZO_4)_6X_2$ , dan memiliki rumus kimia  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ . Ada beberapa metode pembuatan hidroksiapatit yaitu presipitasi, *solid state reaction*, *mechanochemical*, hidrotermal dan *sol-gel*.

## 2. Metode Penelitian

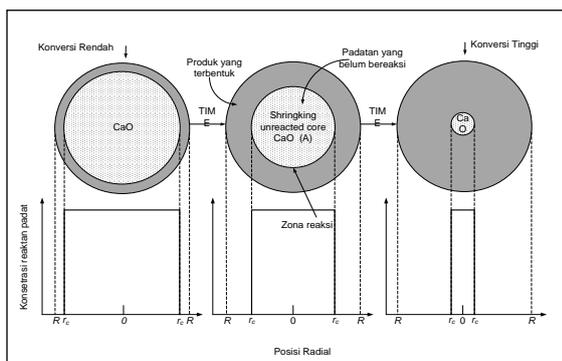
Riset mengenai pembuatan hidroksiapatit (HA) sudah banyak dilakukan Namun riset masih berfokus untuk mencari kondisi operasi yang optimal seperti suhu reaksi [Hien *et al*, 2010], suhu kalsinasi [Alqap dan Sopyan, 2009], terhadap kristalinitas partikel HA, sehingga informasi kinetika reaksi pembentukan HA tidak dapat diketahui secara detail.

Reaksi pembuatan hidroksiapatit [Alqap dan Sopyan, 2009]:



Pada reaksi heterogen cair-padat, dipilih model “*Unreacted Core Model*”, karena *liquid*  $NH_4H_2PO_4$  (A) berdifusi ke permukaan luar  $CaO$  (B) dan reaksi terjadi dari lapisan luar ( $R$ ), makin lama makin masuk ke lapisan makin dalam ( $r_c$ ), dan akhirnya zat padat akan habis bereaksi sempurna. Dimana ( $R$ ) merupakan jari-jari  $CaO$ , sedangkan ( $r_c$ ) adalah jari-jari *unreacted*  $CaO$ .

Fenomena tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Model *Unreacted Core* pada Pembuatan Hidroksiapatit [Levenspiel, 1999]

Untuk mendukung pemilihan model *Unreacted core*, maka asumsi-asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- CaO berupa butiran berbentuk bola
- Selama proses reaksi tidak terjadi perubahan diameter butiran HA
- Produk yang terbentuk berada dalam butiran CaO

Dari mekanisme reaksi yang terjadi dalam reaksi pembentukan hidroksiapatit (HA), dapat dibuat ke dalam 3 model, yaitu:

### Model 1: Difusi Melalui *Liquid Film* Mengontrol

Pada permukaan padatan  $CaO$  tidak terjadi reaksi maupun perubahan, sehingga *driving force*  $C_{Al} - C_{As}$  menjadi  $C_{Al}$  dan konstan selama melewati *liquid film*. Karena dianggap tidak terjadi perubahan pada diameter partikel padatan selama reaksi, maka luas partikel padatan dianggap tetap ( $S_{ex}$ ). Pada reaksi pembentukan hidroksiapatit berlaku hukum *equimolar counterdiffusion*, yaitu dimana setiap mol A yang berdifusi ke permukaan padatan  $CaO$  maka pada saat yang bersamaan 1 mol B akan berdifusi ke arah yang berlawanan (Levenspiel, 1999)  $dN_B = -bdN_A$  sehingga dapat ditulis persamaan:

$$-\frac{1}{S_{ex}} \frac{dN_B}{dt} = -\frac{1}{4\pi R^2} \frac{dN_B}{dt} = -\frac{b}{4\pi R^2} \frac{dN_A}{dt} = bk_l(C_{Al} - C_{As}) = bk_l C_{Al} \dots \dots \dots (2)$$

Nilai  $b$  adalah perbandingan koefisien  $NH_4H_2PO_4$  dengan  $CaO$  yaitu  $b = \frac{5}{3} = 1,67$  Dimana:

$$N_B = \rho_B V \dots \dots \dots (3)$$

Pada saat reaksi berlangsung akan terjadi penurunan pada volume atau jari-jari *unreacted core* ( $r_c$ ) dari padatan B setiap waktu:

$$-\frac{dN_B}{dt} = -4\pi\rho_B r_c^2 \frac{dr_c}{dt} \dots \dots \dots (4)$$

Dari persamaan (4), dapat disusun ulang dan diintegrasikan untuk mendapatkan waktu ( $t$ ) yang dibutuhkan pada saat reaksi (pengecilan jari-jari *unreacted core*) terjadi, sehingga diperoleh persamaan:

$$t = \frac{\rho_B R}{3bk_1 C_{Al}} \left[ 1 - \left( \frac{r_c}{R} \right)^3 \right] \dots\dots\dots (5)$$

Jika padatan telah habis bereaksi berarti  $r_c = 0$ , maka waktu ( $\tau$ ), yang diperlukan untuk memperoleh  $X_B = 1$  adalah:

$$\tau = \frac{\rho_B R}{3bk_1 C_{Al}} \dots\dots\dots (6)$$

Kombinasikan persamaan (5) dan (6), sehingga diperoleh jari-jari *unreacted core* CaO dalam fraksi waktu:

$$\frac{t}{\tau} = 1 - \left( \frac{r_c}{R} \right)^3 \dots\dots\dots (7)$$

Dari fraksi konversi dapat ditulis:

$$1 - X_B = \left( \frac{\text{volume unreacted core}}{\text{total volume partikel}} \right) = \frac{\frac{4}{3}\pi r_c^3}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \left( \frac{r_c}{R} \right)^3 \dots\dots\dots (8)$$

Sehingga diperoleh hubungan antara waktu dengan radius dan dengan konversi, yaitu:

$$\frac{t}{\tau} = 1 - \left( \frac{r_c}{R} \right)^3 = X_B \dots\dots\dots (9)$$

**Model 2: Difusi Melewati Lapisan Hasil [HA]**

Difusi melewati lapisan hasil merupakan langkah yang paling menentukan. Difusi melalui lapisan film berlangsung cepat, maka  $C_{Al} = C_{As}$ . Reaksi permukaan berlangsung cepat, maka  $C_{Ac} = 0$ . Pada model ini baik zat pereaksi A (*liquid*  $NH_4H_2PO_4$ ) maupun bidang reaksi bersama-sama bergerak dari luar ke dalam ke arah pusat butiran B (CaO). Penjabaran dibagi menjadi dua bagian:

**Bagian pertama.** Mengingat proses pengkerutan zat B sangat lambat dibandingkan difusi *liquid* A, maka

dipandang dari *gradient* konsentrasi A, padatan yang belum bereaksi dianggap tetap (konstan).

Jadi, kecepatan reaksi A = kecepatan difusi melalui lapisan hasil (HA) yaitu:

$$-\frac{dN_A}{dt} = 4\pi r^2 Q_A = 4\pi R^2 Q_{As} = 4\pi r_c^2 Q_{Ac} = \text{constant} \dots\dots\dots (10)$$

Untuk memudahkan perhitungan, fluks A di lapisan hidroksiapatit dapat diekspresikan dengan hukum Fick's untuk *equimolar counter diffusion*.

$$Q_A = D_e \frac{dC_A}{dt} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana  $D_e$  merupakan koefisien difusivitas *liquid*  $NH_4H_2PO_4$  di lapisan Hidroksiapatit. Harga  $D_e$  kadang-kadang sulit ditentukan disebabkan sifat hasil padatan bisa saja sangat dipengaruhi oleh adanya kotoran (*impurities*) dalam padatan dan keadaan di sekitar butir-butir padatan. Diperoleh kecepatan difusi untuk setiap  $r$  yaitu:

$$-\frac{dN_A}{dt} = 4\pi r^2 D_e \frac{dC_A}{dt} \dots\dots\dots (12)$$

Susun ulang dan integralkan persamaan (12), diperoleh kecepatan reaksi gas A menjadi:

$$-\frac{dN_A}{dt} \left( \frac{1}{r_c} - \frac{1}{R} \right) = 4\pi D_e C_{Al} \dots\dots\dots (13)$$

**Bagian kedua.** Zat padat yang tidak bereaksi dianggap makin mengkerut/berkurang jika waktu reaksi semakin lama. Pada keadaan jari-jari zat pereaksi padat yang belum bereaksi ( $r_c$ ), harga ( $\frac{dN_A}{dt}$ ) tetap, tetapi jika ( $r_c$ ) makin kecil, berarti lapisan hasil makin tebal, maka kecepatan difusi zat pereaksi A makin kecil. diperoleh:

$$t = \frac{\rho_B R^2}{6bD_e C_{Al}} \left[ 1 - \frac{3r_c^2}{R^2} + \frac{2r_c^3}{R^3} \right] \dots\dots\dots (14)$$

Jika zat padat B habis bereaksi,  $r_c = 0$  atau  $X_B = 1$ , maka :

$$\tau = \frac{\rho_B R^2}{6b D_s C_{Al}} \dots \dots \dots (15)$$

Jika dihubungkan dengan konversi fraksional menggunakan persamaan (6), persamaan (14) menjadi:

$$\frac{t}{\tau} = 1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B) \dots (16)$$

**Model 3: Reaksi Kimia Mengontrol**

Kecepatan difusi melalui lapisan film mengontrol juga berlangsung cepat, sehingga  $C_{Al} = C_{As} = C_{Ac}$ . merupakan ilustrasi gradien konsentrasi partikel CaO ketika reaksi kimia mengontrol. Karena progres reaksi tidak dipengaruhi oleh adanya lapisan Hidroksiapatit, maka jumlah padatan B yang bereaksi berbanding lurus dengan luas padatan B yang belum bereaksi.

$$-\frac{1}{4\pi r_c^2} \frac{dN_A}{dt} = -\frac{b}{4\pi r_c^2} \frac{dN_A}{dt} = bk'' C_{Al} \dots (17)$$

Dimana  $k''$  merupakan konstanta laju reaksi orde satu untuk reaksi permukaan. Dengan menghubungkan persamaan (2.4) mengenai pengecilan jari-jari *unreacted core* CaO, persamaan (18) menjadi:

$$-\frac{1}{4\pi r_c^2} 4\pi \rho_B r_c^2 \frac{dr_c}{dt} = -\rho_B \frac{dr_c}{dt} = bk'' C_{Al} \dots \dots \dots (18)$$

Integralkan persamaan (20), menjadi:

$$t = \frac{\rho_B}{bk'' C_{Al}} (R - r_c) \dots \dots \dots (19)$$

Jika padatan telah habis bereaksi berarti  $r_c = 0$ , maka waktu ( $\tau$ ), yang diperlukan untuk memperoleh  $X_B = 1$  adalah:

$$\tau = \frac{\rho_B R}{bk'' C_{Al}} \dots \dots \dots (20)$$

Kombinasikan persamaan (19) dan (20), sehingga diperoleh jari-jari *unreacted core* CaO dalam fraksi waktu:

$$\frac{t}{\tau} = \left( \frac{R}{R} - \frac{r_c}{R} \right) = 1 - \frac{r_c}{R} = 1 - (1 - X_B)^{1/3} \dots (21)$$

Variabel yang mempengaruhi penelitian ini adalah waktu reaksi.

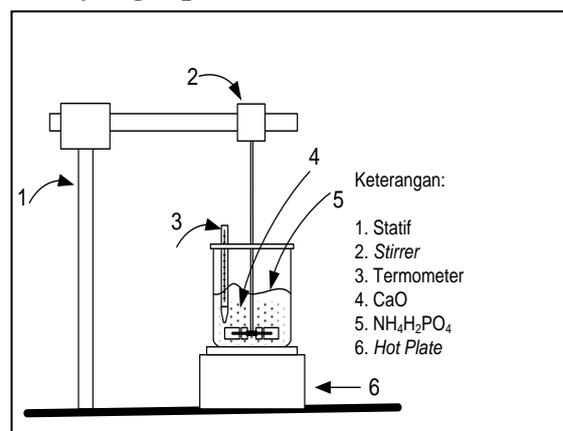
Persamaan yang diperoleh dapat diselesaikan secara analitis dengan mencari nilai konversi reaktan ( $X_B$ ) secara perhitungan dan eksperimen yang dilakukan. Kemudian akan diplotkan grafik yang di dalamnya akan terdapat model 1,2 dan 3 (perhitungan) serta model 1,2, dan 3 (percobaan). Model yang memiliki nilai SSE (*Sum of Square for Error*) terkecil merupakan model yang dipilih untuk mendeskripsikan peristiwa yang terjadi. Kecepatan pengadukan dan Waktu merupakan variabel dari penelitian.

Dari variabel waktu, dapat diketahui langkah selanjutnya dengan cara membandingkan kurva  $\left(\frac{t}{\tau}\right)$  atau  $(1-X_B)$  terhadap  $\left(\frac{t}{\tau}\right)$  dari hasil percobaan.

**Bahan yang digunakan**

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah amonium dihidrogen posfat  $(NH_4)_2H_2PO_4$  (Merck), kalsium oksida (CaO) (Merck) dan akuades. Peralatan yang digunakan sebagai berikut: neraca analitik, cawan porselen, gelas kimia, *hotplate*, mortar, mekanik *stirrer*, termometer, statip, oven, dan *furnace*. Karakterisasi hasil sintesis dengan menggunakan XRD.

**Alat yang dipakai**



**Gambar 2.** Rangkaian Alat Penelitian Sintesis Hidroksiapatit

**Tabel 1.** Variabel Penelitian

Variabel Tetap	Variabel Berubah
Ukuran CaO: 100-200 Mesh	Kecepatan Pengadukan: (100, 200, 300) rpm
Kalsinasi Hidroksiapatit: 900°C, 1 jam	Waktu Reaksi: (5, 30, 60, 90, dan 150) menit
Aquades: 600 ml Massa NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> : 36,9 gram Massa CaO : 30 gram Suhu: 90°C	

### Prosedur Penelitian

Beberapa prosedur yang harus dilalui dapat dilihat pada Gambar 4. Pada prosedur penelitian ini bahan baku yang digunakan sebagai sumber kalsium adalah Kalsium Oksida (CaO), *ammonium hydrogen phosphate* [NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>] dan aquades. Awalnya, *ammonium hydrogen phosphate* [NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>] sebanyak 36,9 gram di larutkan dengan aquades sebanyak 600 ml kedalam gelas piala. Setelah itu tambahkan sebanyak 30 gram kalsium oksida (CaO) [Desparesi, 2015].

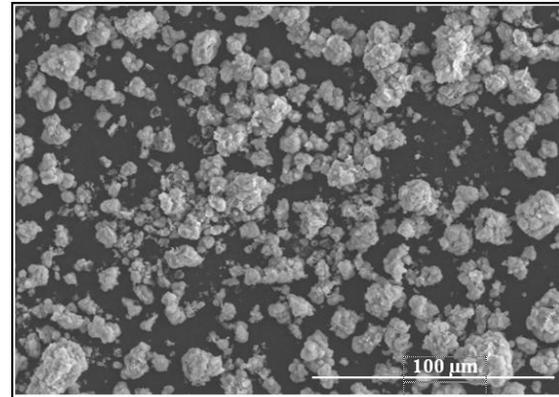
Setelah semua bahan baku telah tercampur maka proses sintesis akan dapat berjalan sesuai dengan kondisi operasi dan variabel yang diinginkan. Hasil sintesis hidroksiapatit menggunakan metode ini adalah berbentuk pasta,

Selanjutnya hidroksiapatit yang sudah terbentuk di oven terlebih dahulu selama 8 jam, setelah itu disintering selama 1 jam. Hidroksiapatit akan berbentuk padatan, dimana padatan itu akan dihancurkan terlebih dahulu, kemudian setelah itu barulah hidroksiapatit tersebut dapat dianalisa, dihitung kinetika reaksi, model, lalu uji model.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

### Analisa SEM

Tujuan analisa (*Scanning Electron Microscopy*) SEM adalah untuk mengetahui ukuran dan morfologi dari permukaan partikel HA.



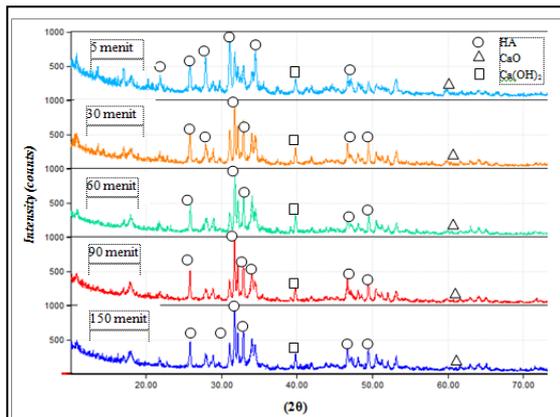
**Gambar 3.** Hasil SEM HA dengan Metode Hidrotermal Suhu Rendah pada suhu 90°C, Kecepatan 300 rpm dan t= 150

Hasil analisa sampel menggunakan SEM pada Gambar 8, dengan perbesaran 500x dapat dilihat bagaimana morfologi permukaan HA tersebut. Hasil karakteristik menunjukkan bahwa morfologi berupa aglomerat atau penggumpalan. Hal ini sesuai dengan yang pernah diteliti oleh Hui, dkk [2010], dimana partikel yang diamati mengalami aglomerat. Juga dipertegas Suryadi [2010] bahwa kristalit dari HA cenderung membentuk aglomerat dengan rentang 200-400 nm dan rata-rata ukuran kristalnya berada pada rentang 15-50 nm. Hal ini terjadi karena pengaruh suhu sintering yang cukup tinggi (900°C) sehingga pada saat sintering partikel HA berubah menjadi berbentuk bulat dan terkumpul membentuk aglomerat.

### Analisa XRD

Pengujian HA menggunakan XRD dengan tujuan untuk mengamati puncak-puncak terbentuknya HA, derajat kristanilitas dan fase yang terdapat dalam suatu sampel serta dapat mengetahui komposisi senyawa dalam material tersebut. Sampel yang akan dianalisa dengan variasi kecepatan pengadukan 100,

200, dan 300 rpm dengan suhu hidrotermal 90°C.



**Gambar 4.** Difraktogram HA pada Kecepatan Pengadukan 100, 200, dan 300 rpm di berbagai Variasi Waktu Reaksi dengan Suhu Sintesis 90°C.

Pada Gambar 4, sintesis yang dilakukan pada kecepatan pengadukan 100 rpm dengan suhu sintesis 90°C dan dikalsinasi pada suhu 900°C disetiap waktu reaksi menunjukkan hampir seluruh produk yang dihasilkan adalah HA. Puncak HA dari analisa XRD memiliki nilai hkl yang mirip dengan pola karakterisasi hasil analisa XRD hidroksiapatit standar dari data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) dengan No. 09-432 yakni (002), (210), (102) dan (300) dengan sudut  $2\theta$  25,866°; 31,779°; 32,188°; dan 32,917°. Pada Gambar 5, HA sudah terbentuk pada waktu reaksi berjalan 5 menit dan reaksi sintesis berakhir pada waktu 150 menit. Saat reaksi berlangsung selama 30, 60 dan 90 menit terlihat fasa yang paling dominan adalah HA dengan tinggi puncak masing-masing 1789, 2084, 2372, dan 2443 count. Namun setelah reaksi berlangsung di atas 150 menit, puncak lain terdeteksi yang dapat dilihat pada Gambar 5(a). Puncak yang muncul adalah  $\text{Ca(OH)}_2$  (kalsium hidroksida) pada sudut  $2\theta$  34,059° (JCPDS No. 09-169).

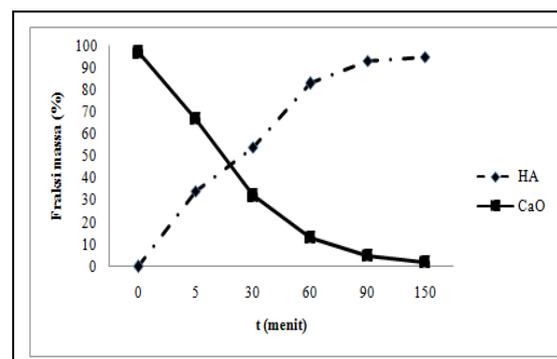
Diameter kristal atau kristalit dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Scherrer's*.

**Tabel 2.** Diameter Kristal dan HA berdasarkan Variasi Suhu pada Suhu Sintesis 90°C

Kecepatan Pengadukan (rpm)	D (211) (nm)
100	56,7673
200	58,9494
300	67,5246

Hasil perhitungan diameter kristal pada Tabel , dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya suhu reaksi, ukuran diameter kristal pada *peak* dengan hkl (211) yang diperoleh cenderung besar. Hasil diatas memperlihatkan bahwa semakin besar kecepatan pengadukan maka semakin banyak kristal yang terbentuk karena susunan atom dalam bahan semakin teratur [Suryadi, 2010]

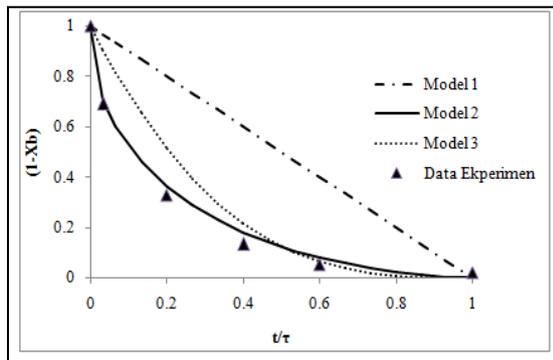
### Penyelesaian Model *Shrinking Core Model* Pada Reaksi Sintesis HA



**Gambar 5.** Kurva Fraksi Massa Pengurangan CaO dan Pembentukan HA pada Variasi Kecepatan Pengadukan (a) 100 rpm terhadap Waktu Reaksi.

Pada gambar 5, dapat dilihat bahwa HA sudah terbentuk dalam waktu 30 menit berlangsungnya reaksi yaitu sebesar 54%. Presentase kenaikan fraksi massa terbentuknya produk (HA) cenderung terus meningkat sampai waktu reaksi mencapai 150 menit dengan fraksi massa HA 95%. Hal ini menunjukkan sesuai dengan teori semakin banyak CaO yang terkonversi

makan semakin banyak produk (HA) yang terbentuk.



**Gambar 6.** Hubungan Konversi CaO ( $1-X_B$ ) terhadap Waktu ( $t/\tau$ ) pada Kecepatan Pengadukan 100 rpm

Pada Gambar 6, dapat dilihat kurva yang menghubungkan antara konversi CaO setiap waktu reaksi, yang paling mendekati dengan grafik data adalah grafik model 2 (dua). Hal tersebut karena persentase kesalahan model 2 paling kecil (4,3%) dibandingkan dengan model 1 (satu) sebesar 261,2% dan model 3 (tiga) sebesar 45,2%.

Jadi dapat disimpulkan bahwa model yang paling baik untuk menggambarkan peristiwa sintesis hidroksiapatit adalah model 2 (dua) yaitu proses difusi melalui lapisan hasil (HA) karena memiliki persentase kesalahan terkecil dan paling mendekati pada kurva model 2 (dua). Selain itu berdasarkan jumlah konversi dibandingkan dengan kedua model lainnya model 2 (dua) menghasilkan jumlah konversi paling besar. Pada model ini dapat dikatakan bahwa produk yang terbentuk dari konversi CaO semakin banyak.

Hal ini dikarenakan lapisan hasil yang semakin menebal menyebabkan proses difusi akan semakin lambat dan membutuhkan waktu reaksi yang semakin lama untuk menembus lapisan hasil menuju lapisan permukaan CaO agar reaksi dapat terjadi.

Pada penelitian nilai model 2 (dua) yang paling sesuai, karena pada model 1 (satu) yaitu difusi *liquid film* mengontrol

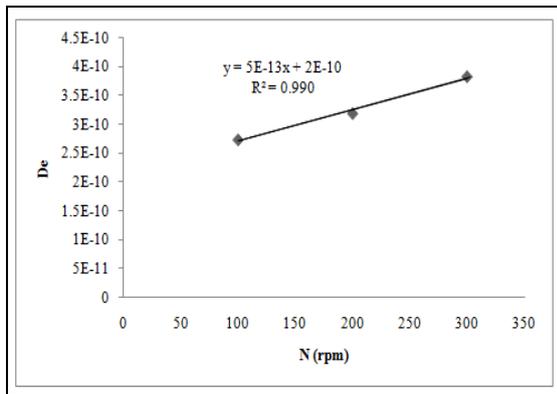
memiliki nilai persentase kesalahan terbesar. Hal ini dikarenakan pada model 1 (satu) proses difusi yang terjadi menuju permukaan padatan sangat lama, disebabkan oleh proses difusi yang terjadi sebanyak dua kali yaitu dari *liquid film* ke lapisan hasil, kemudian dari *liquid film* ke permukaan padatan.

Selain itu pengaruh pengadukan merupakan salah satu penyebab persentase kesalahan pada model 1 (satu) ini semakin besar karena pengadukan ini membuat lapisan *liquid film* semakin tipis sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk reaksi difusi berlangsung. Sedangkan pada model 3 (tiga) yaitu reaksi kimia mengontrol, meski model ini yang paling dekat dengan model 2 (dua) tetapi tidak bisa dikatakan model ini merupakan model yang sesuai. Karena pada model 3 (tiga) proses difusi melalui lapisan *film* yang terjadi berlangsung cepat, sehingga yang menjadi fokus yaitu bagaimana kecepatan reaksi yang terjadi pada permukaan padatan. Selain itu dilihat dari nilai persentase kesalahan model 3 (tiga) juga masih jauh dari model 2 (dua) dan juga pengaruh pengadukan juga menjadi penyebabnya karena pengadukan membuat *liquid film* semakin tipis dan habis sehingga kecepatan reaksi yang menjadi pengontrolnya. Jadi model 2 (dua) yang paling sesuai dengan dengan penelitian yang telah dilakukan.

### Pengaruh pengadukan terhadap koefisien difusivitas

Pengaruh pengadukan terhadap koefisien difusivitas dapat dilihat dari Gambar 9. Untuk rentang kecepatan pengadukan 100-300 rpm, koefisien difusivitas reaksi meningkat setiap kenaikan kecepatan pengadukan. Persamaan yang diperoleh yaitu:

$$y = 5.10^{-13}x - 2.10^{-10}$$



**Gambar 9.** Koefisien Difusivitas vs Kecepatan Pengadukan

Berdasarkan Gambar 9 tersebut, bahwa kecepatan putaran pengaduk akan mempengaruhi turbulensi di dalam proses perpindahan massa. Dengan meningkatnya turbulensi maka film cairan dipermukaan partikel akan semakin tipis, sehingga tahanan transfer massa film akan semakin kecil [Ginting, 2010]. Pernyataan ini semakin diperkuat dengan persamaan (21) [Fogler, 2006]:

$$Kc = \frac{De}{\delta} \dots \dots \dots (21)$$

Dimana: Kc (koefisien transfer massa), De (koefisien difusivitas) dan  $\delta$  (tebal film). Persamaan tersebut menunjukkan korelasi antara koefisien difusivitas dengan kecepatan pengadukan pada *shrinking core* model menggunakan persamaan transfer massa [Fogler, 2006].

### Kesimpulan

1. Semakin lama waktu reaksi maka semakin tinggi konsentrasi HA dengan batasan waktu 150 menit untuk suhu sintesis 90°C dan kecepatan pengadukan 300 rpm, dimana pada kondisi tersebut konsentrasi HA merupakan yang tertinggi.
2. Model kinetika yang menggambarkan peristiwa pada sintesis HA adalah model 2 yaitu difusi melalui lapisan hasil (HA) dengan nilai persentase eror terkecil 4,3%.

$$\frac{t}{\tau} = 1 - 3(1 - X_B)^{2/3} + 2(1 - X_B)$$

### Daftar Pustaka

- Alqap, A., & Sopyan, I. 2009. Low Temperature hydrothermal Synthesis of Calcium Phosphate Ceramics: Effect of excess Ca Precursor on phase behavior, *Indian Journal of Chemistry* 48: 1492-1500.
- Desparesi, A., Y.A. 2015. Model Kinetika Reaksi Sintesis Hidroksiapatit dari Limbah Kulit Kerang dengan Metode Hidrotermal Suhu Rendah. Tesis Universitas Riau: Pekanbaru
- Fogler, H.S. 2006. *Element of Chemical Reaction Engineering Fourth Edition*. The University of Michigan: Ann Arbor.
- Hien, V., Huong, D., & Bich, P. 2010. Study Of The Formation of Porous Hydroxyapatite Ceramics from Corals Via Hydrothermal Process, *Journal of Chemistry* 48 (5): 591 – 596.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering Third Edition*, John wiley & Sons Inc, USA. 569-576.
- Suryadi, 2011. Sintesis dan Karakterisasi Biomaterial Hidroksiapatit dengan Proses Pengendapan Kimia Basah. Tesis Universitas Indonesia: Depok