

## Kinetika Reaksi Pembentukan Kalsium Fosfat dari Asam Fosfat dan Cangkang Kerang Darah

Alvin Hariyanto, Vita Kartika Sari, Caecilia Pujiastuti\*

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur,  
Jalan Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya 60294, Indonesia

\*Corresponding author : [caeciliapujiastuti@gmail.com](mailto:caeciliapujiastuti@gmail.com)

Received 17 Februari 2020; Accepted 30 Juni 2020; Available online 31 Juli 2020

### Abstrak

Pemanfaatan kerang darah di Indonesia umumnya masih terbatas pada bagian dagingnya sebagai sumber protein. Sedangkan cangkangnya belum banyak dimanfaatkan. Cangkang kerang darah mengandung senyawa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang cukup tinggi sehingga memungkinkan untuk disintesa menjadi produk berbahan dasar kalsium. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensintesa kalsium fosfat dari cangkang kerang darah dan asam fosfat serta mempelajari kinetika reaksinya. Prosedur penelitian ini adalah. Pertama menghaluskan cangkang kerang darah sampai ukuran 200 mesh. Kemudian menambahkan senyawa asam fosfat 500 ml dengan konsentrasi 4% ke dalam 40 gram serbuk cangkang kerang darah dan mengaduknya dengan kecepatan 300 rpm. Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah variabel temperatur reaksi 30, 40, 50, 60, dan 70 °C dan waktu reaksi 30, 40, 50, 60, dan 70 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi pengendali adalah reaksi kimia, dan reaksi mengikuti reaksi orde satu semu dengan nilai konstanta reaksi  $k = 0,1518 e^{\frac{660,01}{T}}$ .

**Kata kunci:** Asam Fosfat; Cangkang Kerang Darah; Kalsium Fosfat; Kinetika reaksi

### Abstract

In Indonesia, generally the use of blood clams is limited as protein source. However its shell have not been used widely. Blood clams shells has high calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) content, so it can be synthesized to be calcium based product. The purpose of this research is to produce calcium phosphate from blood clams shell and phosphate acid and to study its reaction kinetics. The procedures of this research are, firstly blood clam shells are crushed into around 200 mesh. Secondly, pour 500 ml phosphoric acid into 40 grams of crushed blood clams shell then stirred by 300 rpm speed. The reaction process in this research have been done with variable reaction temperature 30, 40, 50, 60, and 70 in celcius and reaction time 30, 40, 50, 60, and 70 in minutes. The results show that the controlling reaction is chemical reaction and the reaction follows a pseudo first order reaction with the constant of reaction  $k = 0,1518 e^{\frac{660,01}{T}}$ .

**Key words:** Blood Clam Shells; Calcium Phosphate; Kinetics; Phosphoric Acid

### PENDAHULUAN

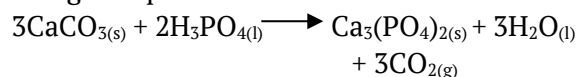
Kerang darah (*Anadara granosa* Linn) merupakan jenis binatang laut yang banyak terdapat di perairan Indonesia. Daging kerang darah kaya akan kandungan protein sehingga

banyak dikonsumsi masyarakat. Cangkang kerang darah umumnya belum dimanfaatkan secara maksimal. Masyarakat sekitar pantai memanfaatkan sebagian limbah cangkang kerang untuk kerajinan berupa hiasan. Cangkang kerang darah tersusun atas kalsium

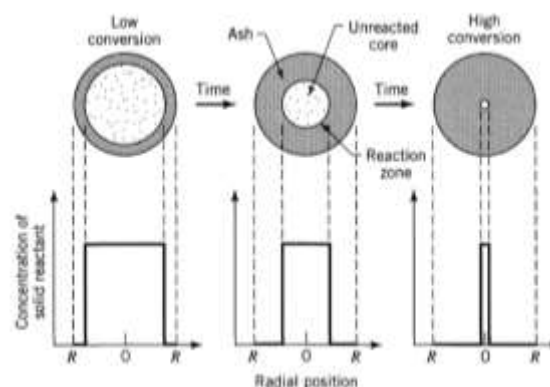
dapat dimanfaatkan untuk mensintesis kalsium fosfat. Untuk mengurangi limbah dari cangkang kerang darah, salah satu hal yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan kandungan  $\text{CaCO}_3$  pada cangkang kerang untuk disintesa menjadi produk turunan yang mengandung kalsium. Kalsium karbonat pada cangkang kerang darah dapat digunakan sebagai donor kalsium pada proses sintesis kalsium fosfat [1]. Kalsium fosfat saat ini digunakan dalam berbagai jenis aplikasi karena sifat osteokonduktif dan respon jaringan. Biokeramik berbasis kalsium fosfat digunakan dalam aplikasi biomedis, seperti implan pada tulang. kalsium fosfat dapat disintesis menggunakan bahan baku seperti cangkang telur, karang laut, tulang hewan, cangkang kerang, dan biomembran lainnya [2].

Asam fosfat merupakan suatu senyawa asam lemah dengan rumus molekul  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Asam fosfat memiliki titik didih  $213\text{ }^\circ\text{C}$  dan titik lebur  $42,35\text{ }^\circ\text{C}$  dan massa molar  $98\text{ gr/mol}$ . Asam fosfat jika direaksikan dengan kalsium hidroksida akan memiliki sifat reaksi asam basa dan akan menghasilkan garam kalsium fosfat. Kalsium Karbonat memiliki rumus molekul  $\text{CaCO}_3$  dengan berat molekul  $100,09\text{ gr/mol}$ , titik lebur nya sebesar  $825\text{ }^\circ\text{C}$  dan kelarutan yang dimiliki pada  $\text{CaCO}_3$  sangat rendah yaitu sebesar  $0,0012$  pada suhu sebesar  $20\text{ }^\circ\text{C}$  [3]. Kalsium karbonat mempunyai komposisi  $56\%$   $\text{CaO}$  dan  $44\%$   $\text{CO}_2$ . Kalsium karbonat berupa serbuk, putih, tidak berbau, tidak berasa, cukup stabil jika dilarutkan dalam air. Namun,  $\text{CaCO}_3$  bila direaksikan dengan kebanyakan asam akan menghasilkan  $\text{CO}_2$ . Reaksi ini terjadi sangat cepat dan gas  $\text{CO}_2$  sangat mudah terlepas [4]. Komponen utama mineral tulang adalah senyawa kalsium fosfat. Pendekatan yang dilakukan untuk memperoleh material substitusi tulang yang tepat dengan menggunakan modifikasi senyawa kalsium fosfat [5]. Senyawa kalsium fosfat telah banyak dilakukan penelitian sebagai bahan biomedis karena biokompatibilitas yang sangat baik dan tidak beracun [6].

Reaksi kimia dibagi menjadi dua yaitu reaksi kimia homogen dan reaksi kimia heterogen. Sebuah reaksi dikatakan homogen jika terjadi dalam satu fase saja. Sedangkan reaksi heterogen adalah reaksi yang terjadi dalam dua fase atau lebih. Reaksi yang terjadi antara asam phospat dengan cangkang kerang darah yang mengandung kalsium karbonat mengikuti persamaan :



Reaksi antara asam phospat dengan cangkang kerang darah merupakan reaksi heterogen. Pada Shringking-Core model untuk reaksi heretogen dapat memvisualisasikan reaksi yang terjadi yaitu pertama pada kulit luar partikel. Zona reaksi kemudian bergerak ke solid, kemudian meninggalkan material yang benar – benar terkonversi dan inert solid. Dengan demikian, setiap saat ada inti material yang tidak bereaksi yang menyusut ukurannya selama reaksi, seperti ditunjukkan pada gambar 1.



**Gambar 1. Reaksi Berlangsung Bergerak Partikel Padat Menurut Model Shringking-Core Untuk Partikel yang Tidak Berubah**

Pada reaksi heterogen padat-cair dipilih Shrinking-Core Model, karena liquid  $\text{H}_3\text{PO}_4$  berdifusi ke permukaan luar  $\text{CaCO}_3$  dan reaksi terjadi dari lapisan luar ( $R$ ), maka semakin lama semakin masuk ke lapisan dalam ( $rc$ ), dan akhirnya zat padat akan habis bereaksi sempurna. Dimana ( $R$ ) merupakan jari-jari  $\text{CaCO}_3$ , sedangkan ( $rc$ ) adalah jari-jari unreacted  $\text{CaCO}_3$ . Oleh karena itu, asumsi yang dipakai dalam menyusun persamaan kinetika adalah :

1. Reaksi heterogen padat – cair.

2. Reaksi yang terjadi:  $A + B \rightarrow \text{produk}$   
3. Padatan  $\text{CaCO}_3$  berbentuk bola pejal.  
Langkah yang terjadi selama proses, yaitu :  
Langkah 1 adalah perpindahan massa zat pereaksi dari badan cairan melalui lapisan film yang mengelilingi partikel ke permukaan padatan.  
Langkah 2 adalah perpindahan massa hasil reaksi dari permukaan butir padatan melalui lapisan film ke badan cairan.  
Langkah 3 adalah reaksi kimia pada permukaan butiran padatan  
Langkah 4 adalah difusi produk gas melalui abu kembali ke permukaan luar padatan.  
Langkah 5 adalah difusi produk gas melalui film gas kembali ke tubuh utama cairan.  
Langkah 4 dan 5 tidak terjadi karena tidak adanya produk gas yang terbentuk, maka langkah 4 dan 5 di tiadakan [7]. Jika reaksi pengendalinya adalah reaksi kimia maka tahap selanjutnya menentukan orde reaksi. Orde reaksi merupakan jumlah pangkat konsentrasi – konsentrasi yang menghasilkan suatu garis lurus. Orde reaksi dapat berupa bilangan bulat positif, nol atau bilangan pecahan. Pada umumnya, reaksi kimia memiliki orde reaksi berupa bilangan bulat positif.

## **METODE PENELITIAN**

### **Bahan**

Bahan yang digunakan diantaranya adalah limbah cangkang kerang darah yang diambil dijalan Dadapan VI, Desa Segoro Tambak, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. Kemudian asam fosfat ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) berkadar 85% dan aquadest dari UD. Sumber Ilmiah Persada Surabaya.

### **Alat**

Alat yang digunakan pada penelitian antara lain beaker glass, thermometer, hot plate stirrer, erlenmeyer, neraca analitik, ayakan ukuran 200 mesh, batang pengaduk, pipet, corong, labu ukur, gelas ukur, buret, dan statif.

### **Prosedur**

### **Persiapan Bahan Baku**

Pada penelitian ini cangkang kerang darah dicuci dan dibersihkan dari kotoran dengan menggunakan air bersih. Kemudian cangkang kerang darah yang telah bersih dikeringkan dan dihaluskan hingga berbentuk serbuk. Kemudian diayak dengan menggunakan ayakan 200 mesh. Cangkang kerang darah setelah diayak kemudian dianalisa kadar  $\text{CaCO}_3$  nya dengan menggunakan analisa XRF, analisa XRF dilakukan di Laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang.

### **Sintesis Kalsium Fosfat**

Proses sintesa kalsium fosfat adalah yang pertama tambahkan larutan asam fosfat konsentrasi 4% sebanyak 500 ml kedalam 40 gram serbuk cangkang kerang darah. Kemudian aduk menggunakan stirrer dengan kecepatan 300 rpm. Lalu campuran serbuk cangkang kerang darah dan larutan asam fosfat kemudian dipanaskan pada variabel temperatur 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, and 70 °C dan variabel waktu reaksi (30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit, dan 70 menit). Kemudian larutan dipisahkan residu dan filtratnya. Filtrat yang dihasilkan kemudian dianalisa untuk mengetahui kadar asam fosfat yang terbentuk dengan cara titrasi.

### **Analisa Kalsium fosfat**

Untuk mengetahui kadar asam fosfat yang terbentuk maka dilakukan titrasi menggunakan indikator phenophtalein dan metil orange. Langkah dalam melakukan titrasi adalah dengan mengambil filtrat hasil reaksi ( $V_L$ ) sebanyak 5 ml dan ditambahkan aquadest ( $V_S$ ) sampai 100 ml sehingga menjadi larutan encer ( $V_{LE}$ ). Kemudian mengambil 10 ml larutan encer ( $V_{LE}$ ) ditambahkan aquadest sebanyak 25 ml sehingga didapatkan larutan solute encer ( $V_{SE}$ ), kemudian ditambahkan indikator phenophtalein. Titrasi dilakukan dengan larutan NaOH 0,1 N sampai tepat akan berubah warna menjadi ungu. Kemudian melakukan titrasi kembali dengan menggunakan indikator metil orange. Titrasi dilakukan menggunakan NaOH 0,1 N sampai

cairan berwarna kuning kemerahan. Kadar asam fosfat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{kadar H}_3\text{PO}_4 = \frac{V_L}{V_S} \times \frac{V_{LE}}{V_{SE}} \times (V_1 - V_2) \times C \times 1000 \quad (1)$$

Keterangan :

$V_L$  = Volume larutan (ml)

$V_{LE}$  = Volume larutan encer (ml)

$V_S$  = Volume solute (ml)

$V_{SE}$  = Volume solute encer (ml)

$V_1$  = Volume NaOH yang diperlukan untuk menitrasi larutan dengan indikator phenophtalein (ml)

$V_2$  = Volume NaOH yang diperlukan untuk menitrasi larutan dengan indikator metil orange (ml)

$C$  = Konsentrasi larutan standar NaOH 0,1 N [8].

### Penentuan Reaksi Pengendali

Untuk mengetahui pengendali reaksi dilakukan plot grafik antara  $\frac{t}{\tau}$  vs  $t$  (menit) sesuai persamaan berikut :

$$\text{Langkah 1 : } \frac{t}{\tau} = 1 - \left(\frac{r_c}{R}\right)^3 = X_B \quad (2)$$

$$\text{Langkah 2 : } \frac{t}{\tau} = 1 - 3(1 - X_B)^{\frac{2}{3}} + 2(1 - X_B) \quad (3)$$

$$\text{Langkah 3 : } \frac{t}{\tau} = 1 - \frac{r_c}{R} = 1 - (1 - X_B)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

Keterangan :

$t$  = Waktu (menit)

$\tau$  = Waktu yang diperlukan untuk konversi sempurna dari partikel reaktan menjadi produk (menit)

$r_c$  = Jari - jari yang tidak bereaksi (m)

$R$  = Jari - jari partikel (m)

$X_B$  = Konversi zat B

Kemudian dilakukan linierisasi untuk melihat nilai intersep pada masing - masing persamaan. Reaksi pengendali ditentukan dari persamaan garis yang memiliki nilai intersep paling mendekati nol.

### Penentuan Orde Reaksi

Pada penentuan orde reaksi dilakukan plot grafik berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Orde nol : } C_A = C_{A0} - k t \quad (5)$$

$$\text{Orde satu : } -\ln(1 - X_A) = k t \quad (6)$$

$$\text{Orde dua : } \frac{1}{C_{At}} = k t + \frac{1}{C_{A0}} \quad (7)$$

Keterangan :

$C_A$  = Konsentrasi akhir

$C_{A0}$  = Konsentrasi awal

$C_{At}$  = Konsentrasi pada waktu yang ditentukan

$X_A$  = Konversi zat A

$k$  = Konstanta orde reaksi

$t$  = Waktu (menit)

Kemudian dilakukan linierisasi untuk melihat nilai  $R^2$ . Orde reaksi ditentukan dari persamaan garis yang nilai  $R^2$  paling mendekati satu.

### Perhitungan Konstanta Arrhenius

Perhitungan konstanta arrhenius dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}} \quad (8)$$

Keterangan :

$k_0$  = Konstanta Frekuensi Tumbukan

$E$  = Energi Aktivasi Reaksi

$T$  = Suhu ( Kelvin )

$R$  = Konstanta Gas Ideal (8,314 j/mol.k)

$e$  = Bilangan Pokok Algoritma Natural (ln)

Nilai  $k$  diperoleh dari plot grafik  $\frac{1}{T}$  vs  $\ln K$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Bahan baku

Hasil analisa bahan baku dengan analisa XRF diperoleh hasil seperti pada tabel 1

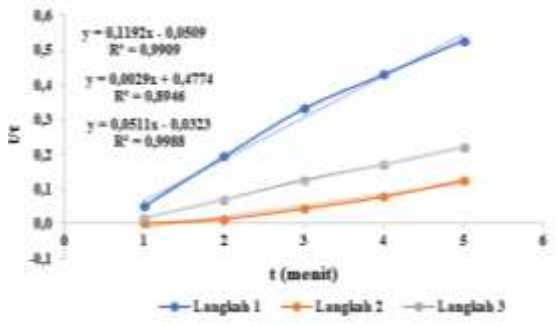
**Tabel 1. Komposisi kandungan dalam cangkang kerang darah**

Komponen	Konsentrasi (% Berat)
Ca	97,7
Mn	0,045
Fe	0,766
Cu	0,037
Sr	0,8
Yb	0,55
Lu	0,1

Berdasarkan tabel 1 terlihat bahwa cangkang kerang darah mengandung kalsium sebesar 97,7 %. Komposisi bahan baku sangat berpengaruh terhadap kecepatan reaksi. Suatu reaksi biasanya dapat berubah menjadi produk dengan cepat apabila direaksikan dengan konsentrasi yang tinggi. [9]

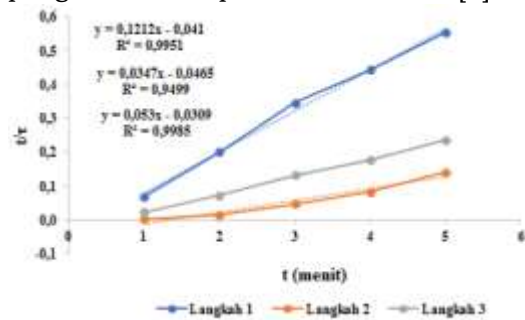
**Reaksi Pengendali**

Hasil plot grafik antara  $t/\tau$  dan  $t$  (waktu). ditunjukkan pada gambar 2 sampai gambar 6.



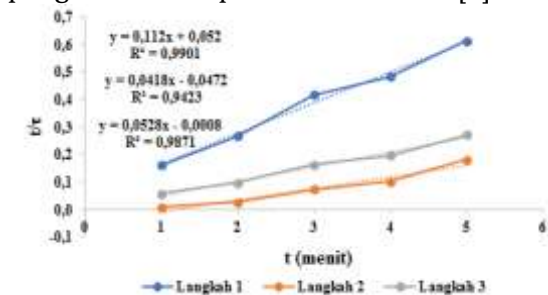
**Gambar 2. Hubungan Antara  $t/\tau$  dan  $t$  (Menit) Pada Suhu 30°C**

Berdasarkan gambar 2, didapatkan nilai intersep untuk langkah 1 sebesar -0,0509; langkah 2 sebesar 0,4774; dan langkah 3 sebesar -0,0323 dari nilai intersep yang paling mendekati nol adalah persamaan langkah 3, dimana pada persamaan tersebut reaksi pengendali merupakan reaksi kimia [7].



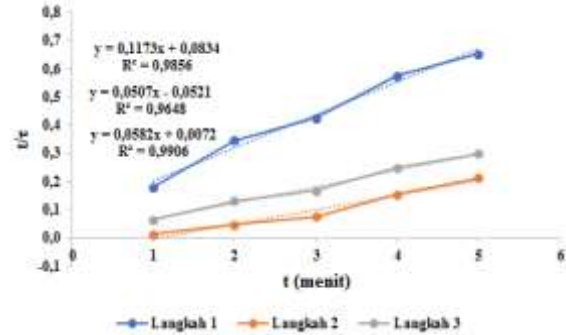
**Gambar 3. Hubungan Antara  $t/\tau$  dan  $t$  (Menit) Pada suhu 40°C**

Berdasarkan gambar 3, didapatkan nilai intersep untuk langkah 1 sebesar -0,041; langkah 2 sebesar -0,0465; dan langkah 3 sebesar -0,0309 dari nilai intersep yang paling mendekati nol adalah persamaan langkah 3, dimana pada persamaan tersebut reaksi pengendali merupakan reaksi kimia [7].



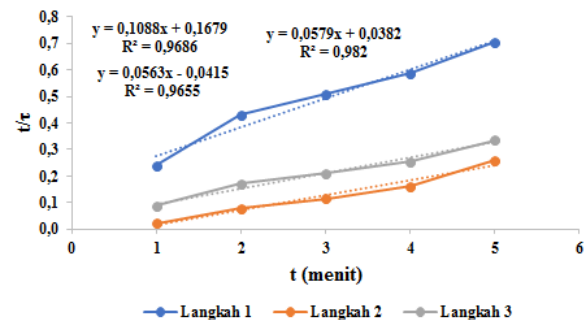
**Gambar 4. Hubungan Antara  $t/\tau$  dan  $t$  (Menit) Pada Suhu 50°C**

Berdasarkan gambar 4, didapatkan nilai intersep untuk langkah 1 sebesar 0,052; langkah 2 sebesar -0,0470; dan langkah 3 sebesar -0,0008 dari nilai intersep yang paling mendekati nol adalah persamaan langkah 3, dimana pada persamaan tersebut reaksi pengendali merupakan reaksi kimia [7].



**Gambar 5. Hubungan Antara  $t/\tau$  dan  $t$  (Menit) Pada Suhu 60°C**

Berdasarkan gambar 5, didapatkan nilai intersep untuk langkah 1 sebesar 0,0834; langkah 2 sebesar -0,0521; dan langkah 3 sebesar 0,0072 dari nilai intersep yang paling mendekati nol adalah persamaan langkah 3, dimana pada persamaan tersebut reaksi pengendali merupakan reaksi kimia [7].

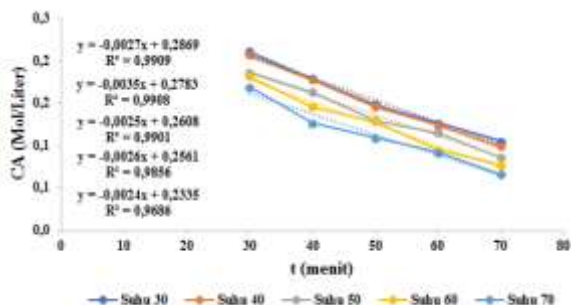


**Gambar 6. Hubungan Antara  $t/\tau$  dan  $t$  (Menit) Pada Suhu 70°C**

Berdasarkan gambar 6, didapatkan nilai intersep. untuk langkah 1 sebesar 0,1679; langkah 2 sebesar -0,0415; dan langkah 3 sebesar 0,0382 dari nilai intersep yang paling mendekati nol adalah persamaan langkah 3, dimana pada persamaan tersebut reaksi pengendali merupakan reaksi kimia [7]. Sehingga pada penelitian Kinetika Reaksi Pembentukan Kalsium Fosfat dari Asam Fosfat dan Cangkang Kerang Darah didapat reaksi pengendalinya yaitu Reaksi Kimia.

### Penentuan Orde Reaksi

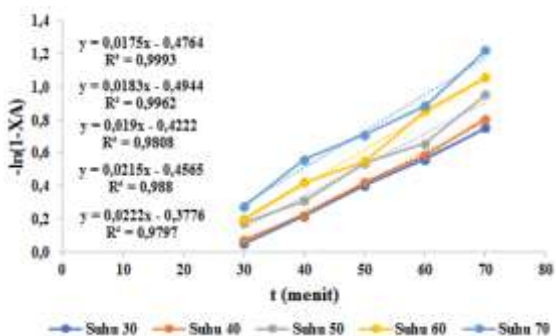
Trial penentuan reaksi orde 0 dilakukan dengan melakukan plot antara  $C_A$  vs  $t$  (menit), hasil ditunjukkan pada gambar 7.



**Gambar 7. Hubungan Antara  $C_A$  (Mol/Liter) dengan  $t$  (Menit)**

Dari gambar 7 terlihat bahwa untuk semua temperatur grafik menunjukkan hubungan garis lurus. Dari linierisasi untuk temperatur 30,40,50,60,70 diperoleh nilai  $R^2$  masing masing 0,9909; 0,9908; 0,9901; 0,9856; dan 0,9686.

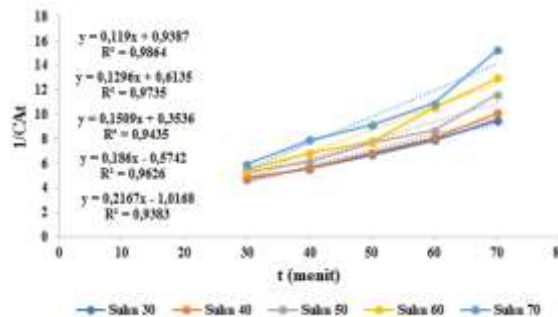
Trial penentuan reaksi orde 1 dilakukan dengan melakukan plot antara  $-\ln(1-X_A)$  vs  $t$  (Menit). Hasil ditunjukkan pada gambar 8.



**Gambar 8. Hubungan Antara  $-\ln(1-X_A)$  (Mol/Liter) dengan  $t$  (Menit)**

Dari gambar 7 terlihat bahwa untuk semua temperatur grafik menunjukkan hubungan garis lurus. Dari linierisasi untuk temperatur 30,40,50,60,70 diperoleh nilai  $R^2$  0,9993; 0,9962; 0,9808; 0,988; dan 0,9797.

Trial penentuan reaksi orde 2 dilakukan dengan melakukan plot antara  $\frac{1}{C_{At}}$  vs  $t$  (Menit). Hasil ditunjukkan pada gambar 9.



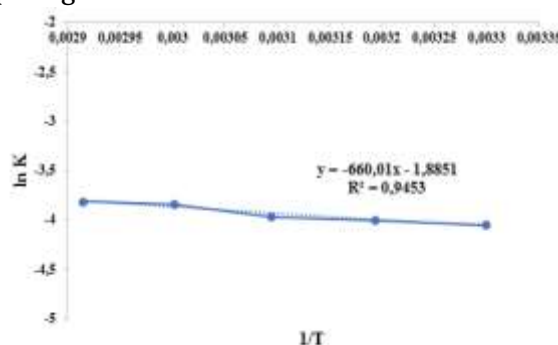
**Gambar 9. Hubungan Antara  $\frac{1}{C_{At}}$  (Mol/Liter) dengan  $t$  (Menit)**

Dari gambar 9 terlihat bahwa untuk semua temperatur grafik menunjukkan hubungan garis lurus. Dari linierisasi untuk temperatur 30,40,50,60,70 diperoleh nilai  $R^2$  0,9864; 0,9735; 0,9435; 0,9626; dan 0,9383.

Menurut [7] orde reaksi dapat ditentukan dengan menggunakan grafik yang mempunyai nilai koefisien korelasi ( $R^2$ ) mendekati satu. Berdasarkan hasil trial penentuan orde reaksi yang paling mendekati satu adalah tampak pada gambar 8 yaitu orde satu semu. Semakin lama waktu reaksi, maka reaksi yang terjadi akan semakin mendekati sempurna karena waktu kontak antara zat – zat tersebut akan semakin lama. [10]

### Penentuan Konstanta Arrhenius

Hasil plot grafik antara  $\frac{1}{T}$  vs  $\ln K$  ditunjukkan pada gambar 10.



**Gambar 10. Hubungan Antara  $\frac{1}{T}$  dan  $\ln k$**

Berdasarkan gambar 10 dimana grafik tersebut menjelaskan hubungan antara  $\frac{1}{T}$  dan  $\ln K$  dan memperoleh persamaan :

$$\ln K = -660,01 - 1,8851$$

Menurut persamaan Arrhenius [7], dimana slope =  $-\frac{E}{R}$ , E adalah energi aktivasi dan R adalah konstanta hukum gas ideal dengan nilai

sebesar 8,314 J/mol K, sehingga energi aktivasi (E) diperoleh sebesar 5487,3231 J/mol K sedangkan untuk intersept =  $\ln k_0$ , dimana  $k_0$  adalah frekuensi tumbukan sehingga frekuensi tumbukan ( $k_0$ ) diperoleh sebesar sehingga mengikuti persamaan Arrhenius sebagai berikut:  $k = 0,1518 e^{\frac{660,01}{T}}$ . Semakin besar temperatur maka nilai dari konstanta reaksi semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur yang disertai kenaikan konstanta laju reaksi menyebabkan reaksi berjalan lebih cepat karena energi kinetik pada partikel semakin besar, sehingga memungkinkan terjadinya tumbukan untuk bereaksi. [10]

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan bahwa kinetika reaksi pembentukan kalsium fosfat dari kalsium fosfat berbahan baku cangkang kerang darah dikendalikan oleh reaksi kimia, dan reaksi mengikuti reaksi orde satu semu. Konversi asam fosfat tertinggi di dapat pada suhu 70°C dengan waktu 70 Menit yaitu sebesar 70,52 % dan memiliki persamaan Arrhenius yaitu  $k = 0,1518 e^{\frac{660,01}{T}}$

### SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk peneliti selanjutnya dapat menggunakan tangki berpengaduk untuk memecah buih yang terbentuk akibat proses reaksi.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Hafisko and T. M. Ardiyanto, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa Linn) dalam Sintesis Nanohidroksiapatit Sebagai Bone Implan untuk Kerusakan Tulang," *Lap. akhir PKM. Bogor Inst. Pertan. Bogor*, 2014.
- [2] T. Laonapakul, "Synthesis of Hydroxyapatite from Biogenic Wastes," *KKU Eng. J.*, 2015, doi: 10.14456/kkuenj.2015.30.
- [3] R. H. Perry, B. E. Poling, G. H. Thomson,

D. G. Friend, R. L. Rowley, and W. Vi. Wilding, *Perry's Chemical Engineers' Handbook, Physical and Chemical Data*. 2008.

- [4] A. I. Vogel, *Buku Teks Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. 1985.
- [5] S. U. Dewi, "Pembuatan Komposit Kalsium Fosfat-Fitosan dengan Metode Sonikasi," Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [6] J. S. Al-Sanabani, A. A. Madfa, and F. A. Al-Sanabani, "Application of Calcium Phosphate Materials in Dentistry," *International Journal of Biomaterials*. 2013, doi: 10.1155/2013/876132.
- [7] O. Levenspiel, *Chemical Reaction Engineering*, Third Edit. New York: John Wiley & Sons Inc, 1999.
- [8] M. H. Haekal, "Pemanfaatan Tulang Keong untuk Produksi Asam Phospat: Optimasi Menggunakan Response Surface Methodology," 2009.
- [9] J. M. Smith, *Chemical Engineering Kinetics*, no. TP149 S58. Tokyo: Mc Graw Hill Book Company, Inc, 1981.
- [10] T. K. F.-U. J. T. Dewati, Retno, "Kinetika Reaksi Pembuatan Asam Oksalat Dari Sabut Siwalan dengan Oksidator H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>," *J. Penelit. Ilmu Tek.*, vol. 10, no. 1, pp. 29–37, 2010.