

Kinetika Reaksi Pembuatan Asam Oksalat Dari Limbah Cangkang kemiri Dengan Hidrolisis Alkali

Ellen Oktavia Varadella*, Hanim Najakha, Siswanto

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

*Corresponding author: ellenoktaviadella@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan cangkang kemiri hasil dari limbah perkebunan di Indonesia masih terbilang sangat terbatas, dimana hanya digunakan sebagai briket bahan pembakaran serta banyak yang hanya dibuang ke lingkungan. Cangkang kemiri memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi sehingga memungkinkan untuk diolah menjadi produk berupa asam oksalat. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesa asam oksalat dari cangkang kemiri dengan hidrolisis menggunakan NaOH serta mempelajari kinetika reaksinya. Percobaan dilakukan menggunakan labu leher tiga yang dilengkapi dengan pemanas, pengaduk, kondensator, dan termometer yang diatur pada temperature 60°C sampai 100°C serta waktu reaksi antara 30 sampai 90 menit. Hasil hidrolisis cangkang kemiri dianalisa menggunakan larutan standar kalium permanganate untuk mengetahui konversi asam oksalat yang terbentuk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu serta semakin lama waktu reaksi maka konversi asam oksalat yang terbentuk juga akan semakin besar. Konversi pembentukan asam oksalat tertinggi didapatkan pada kondisi suhu 90°C, dengan waktu reaksi 90 menit menghasilkan konversi (X_A) sebesar 92,506%. Langkah pengendali yang mengontrol proses sintesis asam oksalat dari cangkang kemiri dengan hidrolisis menggunakan NaOH ini adalah reaksi kimia yang mengikuti reaksi orde satu semu dengan persamaan Arrhenius yaitu $k = 0,07531319 e^{\frac{-812,39}{T}}$.

Kata kunci: Asam Oksalat; Kemiri; Kinetika Reaksi

Reaction Kinetics Of Oxalic Acid From Candlenut Shell Waste By Alkaline Hydrolysis

Abstract

The use of candlenut shells from plantation in Indonesia is limited, where it is only used as briquettes for combustion materials and many of which are only disposed of in the environment. Candlenut shell has high cellulose content that allows it to be processed into a product in the form of oxalic acid. This study aims to synthesize oxalic acid and reaction kinetics from candlenut shells by hydrolysis using NaOH. Experiments were carried out using a three-neck flask equipped with heater, stirrer, condenser, and thermometer set at a temperature of 60°C to 100°C and a reaction time of 30 to 90 minutes. The results of hydrolysis of candlenut shells were analyzed using a standard solution of potassium permanganate to determine the conversion of oxalic acid formed. The results showed that the reaction rate increased with increasing time and temperature. The highest conversion of oxalic acid formation was obtained at conditions of 90°C, with a reaction time of 90 minutes resulting in a conversion 92.506%. The controlling step that controls the process is a chemical reaction that followed pseudo first-order reaction with the Arrhenius equation by $k = 0,07531319 e^{\frac{-812,39}{T}}$.

Key word: Candlenut Shells; Oxalic Acid; Reaction Kinetics

PENDAHULUAN

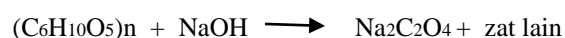
Kemiri (*Aleurites moluccanus*) merupakan tumbuhan yang banyak tersebar di Indonesia, yang mana biji kemiri banyak dimanfaatkan sebagai rempah-rempah serta sumber minyak dalam kehidupan sehari-hari [1]. Salah satu bagian dari pengolahan biji kemiri adalah dihasilkannya limbah berupa cangkang kemiri yang jarang dimanfaatkan lagi. Mengingat banyaknya cangkang kemiri yang tidak dimanfaatkan lagi, maka perlu adanya upaya untuk mengolah cangkang kemiri agar tidak mengganggu lingkungan serta memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi, salah satunya yakni dengan cara mengolah limbah cangkang kemiri tersebut menjadi asam oksalat dengan hidrolisis alkali. Untuk merancang suatu reaktor yang dapat digunakan untuk hidrolisis cangkang kemiri, baik ukuran/dimensi serta kondisi operasinya diperlukan data kinetika dari reaksi tersebut. Untuk itu dalam penelitian ini akan dilakukan pengamatan untuk memperoleh data kinetika tersebut, antara lain bentuk persamaan kecepatan reaksi, serta faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kecepatan reaksinya.

Berdasarkan hasil analisa dari Laboratorium Energi Dan Lingkungan ITS, kandungan selulosa dalam cangkang kemiri yakni sebesar 23,78%. Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n- $C_6H_{11}O_5$ merupakan polisakarida yang terdiri dari banyak molekul anhidroglukosa, dimana molekul anhidroglukosa ini saling berikatan membentuk rantai panjang. Selulosa mudah larut dalam asam dan hasil hidrolisis akan menghasilkan D-glukosa [2]. Hidrolisa selulosa menggunakan asam akan menghasilkan glukosa dilanjutkan proses oksidasi glukosa akan membentuk asam oksalat. Asam oksalat merupakan salah satu senyawa kimia yang banyak dimanfaatkan dalam industri, contohnya digunakan dalam metal treatment, anodizing serta metal cleaning [3]. Melihat kuantitas selulosa yang terkandung dalam cangkang kemiri tersebut memungkinkan cangkang kemiri untuk dimanfaatkan menjadi asam oksalat. Di produksinya asam oksalat dari limbah cangkang

kemiri ini dimaksudkan untuk mengurangi limbah pada sektor perkebunan serta memberikan inovasi baru mengenai bahan dasar dalam pembuatan asam oksalat.

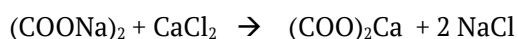
Asam oksalat merupakan turunan asam karboksilat yang mengandung dua gugus karboksil terletak pada ujung rantai lurus karbon dengan rumus molekul $C_2H_2O_4$. Jika dalam keadaan yang murni asam oksalat berupa senyawa kristal yang larut dalam air dan berwarna putih serta tidak berbau. Asam oksalat memiliki melting point sebesar $101.5^{\circ}C$ dengan nilai densitas $1,6530 \text{ gram/cm}^3$, berat molekul 126 gr/mol dan nilai pH "0,1 M" : 1,3 [3]. Terdapat berbagai metode yang dapat digunakan dalam pembuatan asam oksalat, yaitu sintesis dari natrium formiat, fermentasi glukosa, hidrolisis alkali, serta oksidasi dengan asam nitrat [4]. Diantaranya metode yang sering digunakan adalah metode hidrolisis alkali, dimana metode ini tergolong mudah dengan konversi yang diperoleh kurang dari 45% dengan kemurnian sebesar 60%. Alkali kuat yang sering digunakan adalah natrium hidroksida, namun natrium hidroksida dapat diganti dengan kalium hidroksida. Sebabnya natrium dan kalium sama-sama merupakan alkali kuat serta berada dalam satu golongan yang sama yakni pada golongan IA [5]. Asam oksalat yang dihasilkan dalam proses hidrolisis merupakan larutan tidak berwarna, apabila dilakukan proses lebih lanjut yakni dengan cara kristalisasi akan menghasilkan kristal tidak berwarna. Dalam proses hidrolisis jika suhu reaksi yang digunakan terlalu tinggi yaitu $180^{\circ}C$ maka asam oksalat akan terurai menjadi air, gas CO dan gas CO_2 [3].

Proses pembuatan asam oksalat menggunakan metode hidrolisis alkali memiliki beberapa tahap, proses pertama yakni proses peleburan dimana terjadi peleburan selulosa oleh alkali kuat menjadi garam-garam natrium natrium oksalat dan kalium [6].

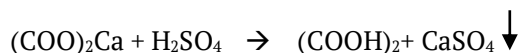


Tahap pengendapan dan penyaringan, filtrate hasil proses hidrolisis ditambahkan larutan

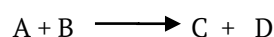
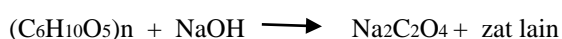
CaCl₂ untuk mengendapkan garam oksalat menjadi kalsium oksalat [7].



Tahap pengasaman, endapan yang terjadi diasamkan menggunakan asam kuat berupa H₂SO₄, sehingga terjadi pertukaran ion menghasilkan asam oksalat [8].



Kinetika reaksi adalah suatu cabang ilmu kimia yang mempelajari tentang mekanisme reaksi, yaitu bagaimana reaksi itu berlangsung dan terjadinya kecepatan reaksi. Kecepatan merupakan pengurangan setiap satuan jumlah “tempat” berlangsungnya reaksi dan tergantung pada jenis reaksi [9]. Adapun reaksi heterogen adalah reaksi yang melibatkan dua fasa campuran reaksi. Kecepatan reaksinya dapat dinyatakan sebagai volume campuran reaksi, sehingga secara matematis kecepatan reaksi dapat ditulis sebagai berikut. Reaksi antara selulosa dan natrium hidroksida merupakan reaksi heterogen pada-cair non katalitik. Pada system heterogen terdapat dua faktor yang harus dipertimbangkan yang membedakan dengan sistem homogen. Faktor tersebut yaitu laju reaksi dan pola kontak untuk system heterogen [10]. Reaksi yang terjadi pada pembuatan asam oksalat dengan cangkang kemiri dan natrium hidroksida ialah sebagai berikut:



Pada reaksi non katalitik antara padatan dan fluida, reaksi pada permukaan padatan terjadi dengan adsorpsi reaktan fluida ke permukaan, lalu diikuti dengan reaksi permukaan yang melibatkan molekul teradsorpsi. Pada reaksi heterogen padat-cair dipilih model “Shrinking Core Model”, karena liquid NaOH berdifusi ke permukaan luar selulosa dan reaksi terjadi dari lapisan luar (R), maka semakin lama semakin masuk ke lapisan dalam (r_c), dan akhirnya zat padat akan habis bereaksi sempurna.

Oleh karena itu, asumsi yang dipakai dalam menyusun persamaan kinetika adalah :

1. Reaksi heterogen padat – cair
2. Reaksi yang terjadi : A + B → Produk
3. Padatan selulosa berbentuk bola pejal

Langkah yang terjadi selama proses, yaitu :

Langkah 1 adalah perpindahan massa zat pereaksi dari badan cairan melalui lapisan film cairan ke permukaan butir padatan.

Langkah 2 adalah perpindahan massa hasil reaksi dari permukaan butir padatan melalui lapisan film badan cairan.

Langkah 3 adalah Reaksi kimia (gas A dengan padatan) pada permukaan butiran padatan. Langkah 4 adalah difusi produk gas melalui abu kembali ke permukaan padatan

Langkah 5 adalah difusi produk gas melalui film gas kembali ke main body liquid. Dalam beberapa kondisi, beberapa langkah ini tidak terjadi. Sebagai contoh, langkah 4 dan 5 yang tidak terjadi apabila tidak terdapat produk gas yang terbentuk atau reaksi yang terjadi merupakan reaksi irreversible [10]. Jika pengendali adalah reaksi kimia maka ditentukan orde reaksi. Orde reaksi merupakan jumlah pangkat konsentrasi-konsentrasi yang menghasilkan suatu garis lurus

METODE PENELITIAN

Bahan

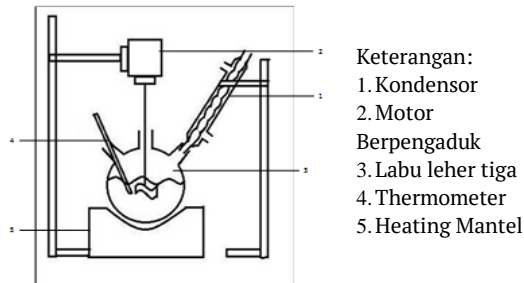
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah cangkang kemiri yang diperoleh dari pemasok cangkang kemiri kering di daerah Jember, Jawa Timur dan Natrium Hidroksida (NaOH) yang dibeli di jalan Tidar Surabaya. Bahan pendukung yang digunakan yaitu Kalsium Klorida (CaCl₂), Kalium Permanganat (KMnO₄), Aquadest dan Asam Sulfat (H₂SO₄) 98% yang dibeli dari toko bahan kimia yang berlokasi di jalan Tidar Surabaya.

Alat

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu labu leher tiga berukuran 500ml dan dilengkapi dengan motor berpengaduk dengan kecepatan 300 rpm, kondensor, thermometer, dan heating mantel.

Alat pendukung lainnya yaitu beaker glass,

ayakan 100 mesh, labu ukur, gelas ukur, corong, pipet, spatula, erlenmeyer, kaca arloji, neraca analitik, buret dan statif. Rangkaian alat yang digunakan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Alat Hidrolisis Alkali

Prosedur

Tahap Persiapan bahan baku

Pada penelitian ini untuk mengurangi kadar air pada cangkang kemiri, maka cangkang kemiri dikeringkan terlebih dahulu dibawah sinar matahari. Kemudian dihaluskan hingga berbentuk serbuk dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh.

Sintesis Asam Oksalat

Proses sintesa asam oksalat adalah yang pertama 25 gram cangkang kemiri yang sudah dihaluskan dimasukkan kedalam labu leher tiga kemudian ditambahkan larutan NaOH dengan konsentrasi yang telah ditentukan, yakni 1,8N sebanyak 250 ml dan dipanaskan selama waktu yang telah ditentukan, yakni 30; 45; 60; 75; dan 90 menit pada suhu 60; 70; 80; 90; 100°.

Setelah dari proses peleburan alkali, larutan didinginkan terlebih dahulu untuk memudahkan proses penyaringan. Hasil dari penyaringan berupa filtrat dan endapan. Kemudian filtrat ditambahkan dengan CaCl₂ jenuh sampai terbentuk endapan kalsium oksalat.

Endapan yang terbentuk dalam filtrat kemudian disaring dan ditambahkan dengan H₂SO₄ 4N 100 ml sehingga terbentuk asam oksalat. Hasil pengasaman kemudian difiltrasi untuk memisahkan filtrat dan endapan. Filtrat yang dihasilkan kemudian dianalisa untuk mengetahui kadar asam oksalat yang didapat.

Analisa Asam Oksalat

Untuk mengetahui kadar asam oksalat yang didapatkan maka dilakukan titrasi permanganometri. Langkah dalam melakukan

titrasi permanganometri adalah filtrat asam yang dihasilkan diambil 10 ml, Kemudian masukkan kedalam erlenmeyer. Setelah itu tambahkan 4-5 ml larutan H₂SO₄ pekat. Kemudian panaskan sampai 75°C. Sambil dipanaskan, titrasi dengan KMnO₄ 0,1N sampai timbul warna merah muda yang tidak hilang lagi.

Penentuan Reaksi Pengendali

Kinetika reaksi pembuatan asam oksalat merupakan kinetika reaksi heterogen padat-cair non katalitik sehingga dalam penyelesaiannya harus menentukan reaksi pengendali terlebih dahulu dengan plot grafik antara $\frac{t}{\tau}$ dan waktu t (menit) dimana:

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

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

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

Keterangan:

t = Waktu (menit)

τ = 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_A = Konversi zat A

Penentuan Orde Reaksi

Penentuan orde reaksi dapat dilakukan dengan plot grafik sesuai dengan persamaan berikut:

$$\text{Orde nol: } C_A = C_{A0} - k t \quad (4)$$

$$\text{Orde satu: } -\ln(1 - X_A) = k t \quad (5)$$

$$\text{Orde dua: } \frac{1}{C_{At}} = k t + \frac{1}{C_{A0}} \quad (6)$$

Keterangan:

C_{A0} = Konsentrasi awal

C_{At} = Konsentrasi pada waktu yang ditentukan

X_A = Konversi zat A

k = Konstanta orde reaksi

C_A = Konsentrasi akhir

Kemudian dilakukan linierisasi untuk melihat nilai R². Orde reaksi ditentukan dari persamaan garis yang nilai R² paling mendekati satu [10].

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)
 Berdasarkan hukum Arrhenius yang diubah dalam bentuk ln menjadi:

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E}{RT} \quad (9)$$

Kemudian plotkan dalam grafik ln k versus 1/T. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh slope = -E/R dan intersep = ln k_0 , sehingga besarnya energi aktivasi (E), dan faktor frekuensi (k_0) dapat dihitung [10].

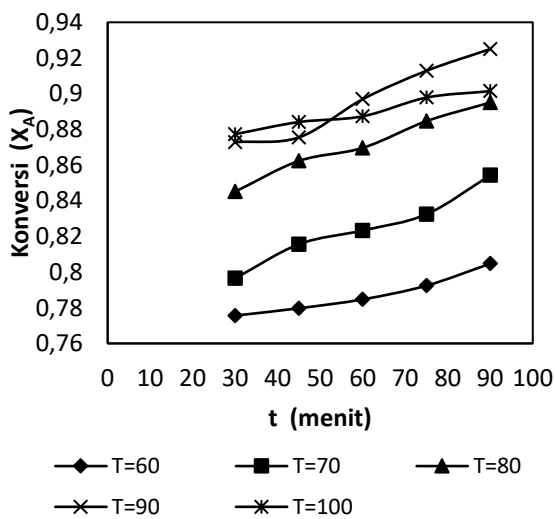
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Bahan Baku

Hasil analisa awal kadar selulosa dengan menggunakan gravimetri yang dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan - LPPM ITS (2019) diperoleh bahwa kandungan selulosa dalam cangkang kemiri sebesar 23,78%. Sehingga dengan kadar selulosa yang ada dalam serbuk cangkang kemiri dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku asam oksalat.

Konversi Asam Oksalat yang dihasilkan dari Proses Hidrolisis Alkali

Hasil penelitian dimana variabel yang dijalankan dalam penelitian ini yaitu suhu (T) dan waktu (t) reaksi, diperoleh data sebagai berikut:



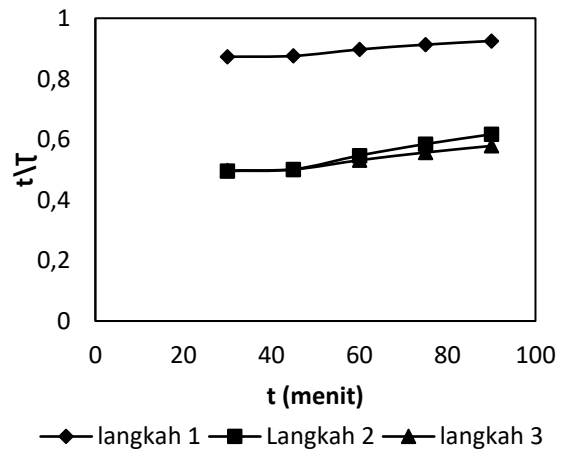
Gambar 2. Pengaruh Suhu Reaksi (°C) dan Waktu (menit) terhadap Konversi (X_A)

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu dan semakin tinggi suhu reaksi maka semakin besar pula hasil asam oksalat. Semakin lama waktu reaksi akan memperbesar kesempatan zat-zat pereaksi bersentuhan sehingga diperoleh hasil asam oksalat yang relative banyak. Tetapi waktu reaksi yang terlalu lama juga dapat menyebabkan reaksi lanjut terhadap asam oksalat menjadi asam formiat, asam asetat, CO₂ dan HO [3], sehingga akan mengurangi hasil yang diinginkan.

Pada reaksi hidrolisis alkali penggunaan NaOH ditambahkan secara berlebihan maka besarnya konsentrasi NaOH yang larut dapat dianggap konstan. Sehingga jumlah kalium hidroksida (KOH), sehingga pada reaksi hidrolisis ini dapat dianggap bahwa kecepatan reaksi hanya tergantung pada jumlah selulosa dalam serbuk cangkang kemiri, karena konsentrasi natrium hidroksida sangat kecil jika dibandingkan dengan natrium hidroksida mula-mula [11].

Penentuan Reaksi Pengendali

Penentuan reaksi pengendali dapat dilakukan dengan plot grafik antara $\frac{t}{\tau}$ dan waktu t (menit).



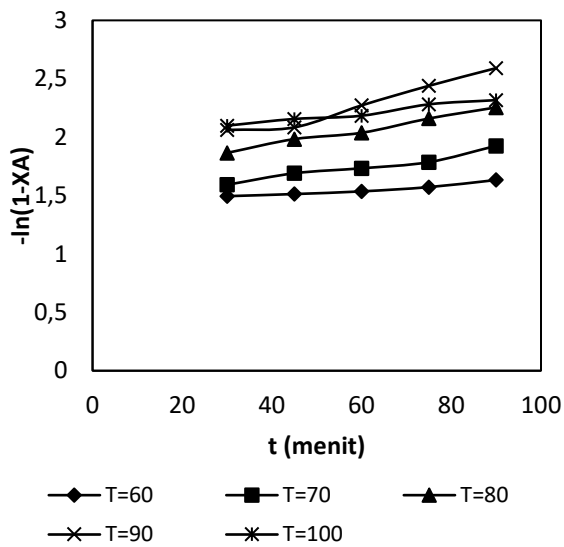
Gambar 3. Hubungan antara $\frac{t}{\tau}$ dan waktu t (menit) pada suhu 90 °C

Berdasarkan gambar 3 didapatkan nilai intersep pada langkah 1 sebesar 0,84; langkah 2 sebesar 0,4454; dan langkah 3 sebesar 0,4188. Reaksi pengendali dapat ditentukan melalui garis perbandingan antara $\frac{t}{\tau}$ dan waktu yang

paling mendekati garis diagonal (intersep mendekati 0). Gambar 3 menunjukkan bahwa garis linier yang paling mendekati garis diagonal (intersep mendekati 0) yaitu pada langkah 3 (reaksi kimia). Sehingga langkah pengendali pembuatan asam oksalat dari limbah cangkang kemiri adalah reaksi kimia.

Penentuan Orde Reaksi

Trial penentuan reaksi orde 1 dilakukan dengan melakukan plot antara $-\ln(1-X_A)$ vs t (Menit). Hasil ditunjukkan pada gambar 4.

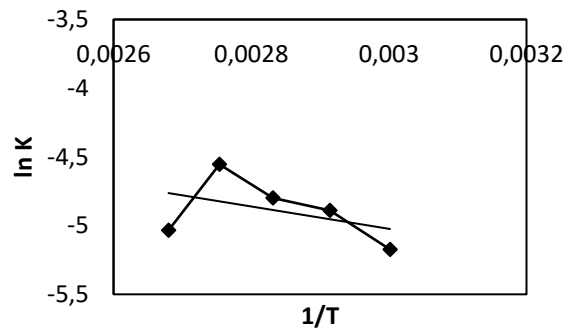


Gambar 4. Hubungan Antara $-\ln(1-X_A)$ (mol/liter) vs t (Menit)

Penentuan orde reaksi dapat ditentukan dengan menggunakan garis perbandingan antara waktu dan C_A (Orde 0), waktu dan $-\ln(1-X_A)$ (orde 1) serta waktu dan $\frac{1}{C_{At}}$ (orde 2) yang mempunyai nilai koefisien korelasi (R^2) yang bernilai mendekati satu [10]. Berdasarkan gambar 4 nilai koefisien korelasi (R^2) yang paling mendekati nilai satu adalah orde satu semu. Sehingga pembuatan asam oksalat dari limbah cangkang kemiri merupakan reaksi kimia orde satu semu.

Penentuan Frekuensi Tumbukan dan Energi Aktivasi

Plot antara $1/T$ vs $\ln k$ dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara $1/T$ vs $\ln k$

Diperoleh persamaan garis lurus yaitu: $y = -812,39x - 2,5861$. Menurut persamaan Arrhenius slope = $-E/R$, dimana E adalah energi aktivasi dan R adalah konstanta hukum gas ideal dengan nilai $8,314 \text{ J/mol K}$, sehingga energi aktivasi (E) diperoleh sebesar $6754,21$. Sedangkan untuk intersept = $\ln k_0$, dimana k_0 adalah frekuensi tumbukan sehingga diperoleh nilai frekuensi tumbukan (k_0) sebesar $0,07531319$. Sehingga mengikuti persamaan arehenius menjadi $k = 0,07531319e^{\frac{-812,39}{T}}$. Suhu (T) berbanding lurus dengan konstanta laju reaksi (k). Namun, pada suhu 100°C nilai laju reaksi mengalami penurunan karena suhu yang terlalu tinggi atau mendekati titik didih air dapat menyebabkan hasil hidrolisa rusak serta akan menghasilkan produk yang tidak diinginkan [10].

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa reaksi pembentukan asam oksalat dari cangkang kemiri dengan hidrolisis alkali berupa NaOH dikendalikan oleh reaksi kimia yang mengikuti reaksi orde satu semu dengan persamaan Arhenius yaitu $k = 0,07531319e^{\frac{-812,39}{T}}$. Konversi pembentukan asam oksalat tertinggi didapatkan pada kondisi suhu 90°C , dengan waktu reaksi 90 menit menghasilkan konversi (X_A) sebesar $92,506\%$

SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka perlu adanya penelitian lebih lanjut agar didapatkan hasil yang

maksimal, misalnya; menggunakan variabel yang berbeda, contohnya penggunaan alkali yang berbeda dengan konsentrasi yang beragam atau kecepatan pengadukan serta menggunakan proses yang berkelanjutan (continue).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Sinaga, D. Desrial, and D. Wulandani, "Physical and Mechanical Characteristics of Candle Nut (*Aleurites moluccana* Wild.)," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 04, no. 1, pp. 97–106, 2016, doi: 10.19028/jtep.04.1.97-106.
- [2] T. N. Asip F., Rizka Febrianti, "PENGARUH KONSENTRASI NaOH DAN WAKTU PELEBURAN PADA PEMBUATAN ASAM OKSALAT DARI AMPAS TEBU," *J. Tek. Kim.*, 2015.
- [3] "KIRK-OTHMER ENCYCLOPEDIA OF CHEMICAL TECHNOLOGY," *Chem. Eng. News*, 1984, doi: 10.1021/cen-v062n011.p003.
- [4] Endang w Mastuti, "Pembuatan Asam Oksalat Dari Sekam Padi," *Ekulilibrium*, 2005.
- [5] C. Eaborn, "Fieser and Fieser's reagents for organic synthesis," *J. Organomet. Chem.*, 1995, doi: 10.1016/0022-328x(95)90012-4.
- [6] P. Coniwanti, Oktarisky, and R. Wijaya, "Pemanfaatan Limbah Sabut Kelapa Sebagai Bahan Baku Pembuatan Asam Oksalat Dengan Reaksi Oksidasi Asam Nitrat," *Tek. Kim.*, 2008.
- [7] Iriany, Andrew Faguh Sitanggang, and Rahmad Dennie A. Pohan, "PEMBUATAN ASAM OKSALAT DARI ALANG-ALANG (*Imperata Cylindrica*) DENGAN METODE PELEBURAN ALKALI," *J. Tek. Kim. USU*, 2015, doi: 10.32734/jtk.v4i1.1454.
- [8] M. Mufid, A. A. Wibowo, A. S. Suryandari, A. N. Fithriasari, and P. A. Nastiti, "Sintesis Asam Oksalat Dari Limbah Serbuk Kayu Jati (*Tectona Grandis* L.F.) Dengan Proses Hidrolisis Alkali," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, 2018, doi: 10.33795/jtkl.v2i1.57.
- [9] L. I. Utami, M. R. Hidayatullah, K. R. Cestyadinda, and K. N. Wahyusi, "PEMBUATAN ASAM OKSALAT DARI SABUT SIWALAN DENGAN PROSES PELEBURAN ALKALI," *J. Tek. Kim.*, 2018, doi: 10.33005/tekkim.v12i2.1086.
- [10] O. Levenspiel, *Chemical Reation Engineering*, 3rd
- [11] G. Andaka and J. T. Kimia, "Vol . 2 No . 2 Februari 2010 ISSN : 1979-8415 Kinetika Reaksi Hidrolisis Gula Dari Tetes Tebu Menjadi Vol . 2 No . 2 Februari 2010 ISSN : 1979-8415," vol. 2, no. 2, pp. 201–212, 2010.