

Kinetika Reaksi Pembentukan Kalium Fosfat dari K_2O Berbahan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Asam Fosfat

Ihsan Kamil^{1,2}, Mohammad Falahul Habibaini Nuruddin^{1,2}, Caecilia Pujiastuti^{1,2*},
Srie Muljani^{1,2}, Sani^{1,2}

¹Departemen Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

²Laboratorium Material Maju, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: caecilia.tk@upnjatim.ac.id

Diterima: 11 Maret 2026

Disetujui: 14 Maret 2026

Abstract

Empty fruit bunch (EFB) waste is a solid by-product of palm oil processing that still has potential for further utilization due to its potassium content in the form of K_2O . This study aimed to examine the reaction kinetics of potassium phosphate formation from K_2O obtained from EFB ash using phosphoric acid as the reactant. The process began with the combustion of EFB to produce ash, followed by extraction with distilled water. The resulting ash extract solution was then reacted with phosphoric acid in a three-neck flask at temperatures of 60, 70, 80, 90, 100 °C with reaction times of 30, 40, 50, 60, 70 minutes with stirring at 200 rpm. Product formed during the reaction was analyzed using a spectrophotometric method to analyze the potassium content. Results indicated that the maximum potassium conversion was obtained at a temperature of 100 °C and a time of 70 minutes, reaching a conversion of 0.8788. Kinetic analysis indicated that the formation of potassium phosphate followed first order reaction model, and the highest reaction rate of 0.0165 min^{-1} obtained at 100 °C. Based on calculations using the Arrhenius equation, the activation energy of the reaction was determined to be 442.421 J/mol, with frequency factor of 0.0289.

Keywords: *empty fruit bunch ash, potassium phosphate, reaction kinetics, reaction order*

Abstrak

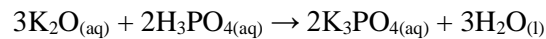
Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) adalah jenis limbah padat yang didapatkan dari industri kelapa sawit dan masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali karena mengandung kalium dalam bentuk K_2O . Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari kinetika reaksi pada proses pembentukan kalium fosfat dari K_2O berbahan abu TKKS dan asam fosfat. Tahap awal penelitian dilakukan dengan membakar TKKS menjadi abu, kemudian dilakukan ekstraksi dengan aquadest. Larutan ekstrak abu kemudian direaksikan dengan asam fosfat pada labu leher tiga dengan variasi temperatur 60, 70, 80, 90, 100 °C serta waktu reaksi 30, 40, 50, 60, 70 menit dengan pengadukan 200 rpm. Produk yang dihasilkan dianalisis menggunakan uji spektrofotometri untuk mengetahui kandungan kalium. Hasil penelitian didapatkan konversi kalium tertinggi diperoleh pada temperatur 100 °C dan waktu reaksi 70 menit dengan nilai konversi sebesar 0,8788. Berdasarkan analisis kinetika reaksi, pembentukan kalium fosfat sesuai dengan orde satu dan konstanta laju reaksi terbesar sebesar 0,0165 menit^{-1} saat temperatur 100 °C. Perhitungan menggunakan persamaan Arrhenius menghasilkan energi aktivasi yaitu 442,421 J/mol dan faktor frekuensi tumbukan sebesar 0,0289.

Kata Kunci: *abu tandan kosong kelapa sawit, kalium fosfat, kinetika reaksi, orde reaksi*

1. Pendahuluan

Industri kelapa sawit adalah penopang perekonomian pada Indonesia. Industri kelapa sawit pada Indonesia selama periode 2019-2024 menunjukkan peningkatan berdasarkan data luas area. Pada tahun 2024 perkebunan kelapa sawit mempunyai total luas area sebesar 15,93 juta hektar [1]. Data dari hasil panen dan pengolahan kelapa sawit terdapat limbah yang jumlahnya sangat banyak seiring dengan bertambahnya hasil panen dari kelapa sawit. Limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) mencapai sekitar 23% dari total tandan buah segar yang diproses pengolahan kelapa sawit. Data dari tiap satu ton kelapa sawit mendapatkan limbah TKKS sebanyak 230 kg [2]. Salah satu cara pemanfaatan limbah TKKS adalah dengan mengambil unsur kandungan kalium dari TKKS yang memanfaatkan proses pembakaran [3]. Hasil pembakaran TKKS berupa abu yang memiliki kandungan K_2O sebesar 30-40%, P_2O_5 sebesar 7%, CaO sebesar 9% dan MgO sebesar 3% [4]. Kandungan kalium pada abu didapatkan dengan cara ekstraksi. TKKS yang mengandung kalium dibakar hingga menjadi abu dan diekstrak menggunakan air sebagai pelarut, sehingga kalium yang terkandung di dalamnya dapat larut [5].

Kalium fosfat (K_3PO_4) merupakan senyawa garam yang terdiri dari ion kalium (K^+) dan ion fosfat (PO_4^{3-}). Kalium fosfat memiliki berat molekul 212,7 g/mol dan memiliki bentuk kristal putih yang larut dalam air [6]. Pada bidang pertanian, kalium fosfat berfungsi sebagai sumber hara kalium dan fosfor yang penting untuk pertumbuhan tanaman [7]. Pada pembentukan kalium fosfat dari abu tandan kosong kelapa sawit (TKKS) memiliki tahapan yang perlu dilakukan. K_2O pada abu pembakaran TKKS diekstraksi dengan air dan direaksikan dengan asam fosfat [8]. Reaksi antara kalium oksida (K_2O) dan asam fosfat (H_3PO_4) merupakan reaksi netralisasi yang menghasilkan kalium fosfat dan air. Reaksinya sebagai berikut [9]:



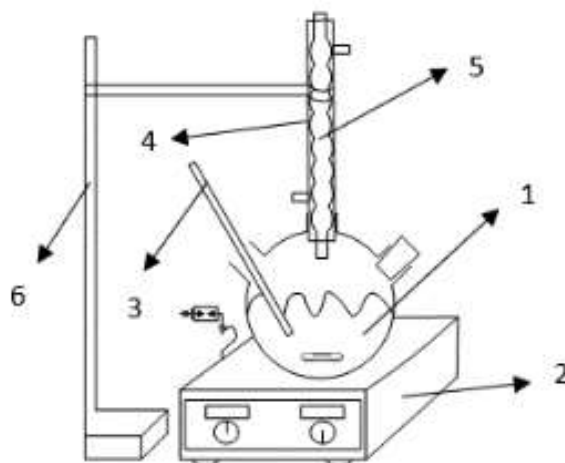
Pembentukan kalium fosfat dapat dipelajari dan diteliti dengan melihat kinetika reaksinya. Kinetika reaksi adalah cabang ilmu kimia yang mengkaji laju terjadinya reaksi serta mekanisme yang terlibat didalamnya. Melalui kinetika reaksi dapat diketahui orde reaksi dan besarnya konstanta laju reaksi pada suatu bahan [10]. Penelitian ini mengkaji kinetika reaksi pada proses pembentukan kalium fosfat dari K_2O berbahan abu tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan asam fosfat. Penelitian mengenai pembuatan kalium fosfat telah dilakukan oleh Mariyam (2022) menggunakan bahan yang berbeda yaitu abu pelepah pisang dengan asam fosfat mengikuti orde satu dan konstanta laju reaksi sebesar $0,0163 e^{-20,533/T}$ [11]. Abu tandan kosong kelapa sawit juga telah dilakukan penelitian sebelumnya oleh Andini (2020) menggunakan bahan berbeda yaitu dengan asam sulfat menjadi kalium sulfat mengikuti orde dua dan konstanta laju reaksi sebesar $1,5 \times 10^{-9} e^{-5480/T}$ [12]. Penelitian yang dilakukan oleh Ariestyowati (2014) mengenai pembentukan kalium sulfat dari abu jerami padi dan asam sulfat mengikuti orde 0,22 serta konstanta laju reaksi sebesar $-1,577 \times 10^{-3} e^{-126,173/R/T}$ [13]. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Sulistyoningsih (2014) mengenai pembuatan kalium sulfat dari abu batang pisang dengan asam sulfat mengikuti orde satu semu dan konstanta laju reaksi sebesar $-0,048 e^{-22,61/T}$ [14].

Meninjau penelitian Andini (2020) memanfaatkan limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) menjadi kalium sulfat dan penambahan asam sulfat [12]. Kinetika reaksi pemanfaatan limbah TKKS menjadi kalium fosfat dan penambahan asam fosfat belum dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini merupakan pembaruan berupa kinetika reaksi pembentukan kalium fosfat dari K_2O berbahan abu tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan asam fosfat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui orde reaksi dan konstanta laju reaksi pembentukan kalium fosfat dari K_2O berbahan abu tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan asam fosfat.

2. Metode Penelitian

Bahan

Bahan utama yang digunakan yaitu tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang didapatkan dari industri kelapa sawit daerah Bintan, Kepulauan Riau dan bahan tambahan yaitu asam fosfat yang dibeli di toko alat dan bahan kimia UD. Nirwana Abadi, Surabaya.



Gambar 1. Rangkaian Alat Pembuatan Kalium Fosfat

Keterangan : (1) Labu leher tiga, (2) *Magnetic Stirrer*, (3) *Thermometer*, (4) Kondensor, (5) Klem, (6) Statif

Prosedur

Penelitian dilakukan di Laboratorium Material Maju Teknik Kimia, UPN “Veteran” Jawa Timur. Prosedur penelitian dibagi menjadi 3 tahapan meliputi persiapan bahan baku, percobaan dan analisa

a. Tahap Persiapan Bahan Baku

Penelitian ini diawali dengan mengumpulkan 64 kg tandan kosong kelapa sawit (TKKS) basah di potong kecil lalu dijemur hingga kering di bawah sinar matahari dan ditimbang. 26,8 kg TKKS kering dibakar hingga diperoleh abu dan ditimbang. 2,4 kg TKKS di ekstrak dengan 8 liter aquadest selama 14 hari lalu disaring (dengan variabel berat abu TKKS 300 gram, volume pelarut aquadest 1 liter dan pengambilan volume ekstrak abu TKKS sebanyak 150 ml per variabel). Larutan ekstrak abu TKKS dilakukan analisa menggunakan spektrofotometri untuk mengetahui kandungan dari kalium awal (C_{A0}).

b. Tahap Percobaan

Percobaan diawali dengan 150 ml larutan ekstrak abu TKKS direaksikan dengan larutan asam fosfat (H_3PO_4) 1,38 N pada labu leher tiga. Temperatur pada labu leher tiga dijaga sesuai variabel 60, 70, 80, 90, 100 °C dengan waktu 30, 40, 50, 60, 70 menit dan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm.

c. Tahap Analisa

Produk kalium fosfat dilakukan analisa menggunakan spektrofotometri untuk mengetahui kandungan kalium akhir (C_A). Uji Spektrofotometri digunakan untuk menganalisis kalium, karena dapat melakukan analisa kuantitatif berdasarkan jumlah pancaran radiasi molekul analit, lalu diemisikan sesuai dengan panjang gelombangnya [15].

Metode Perhitungan

a. Perhitungan Konversi

$$X_A = \frac{\text{mol } K_2O \text{ mula-mula} - \text{mol } K_2O \text{ bereaksi}}{\text{mol } K_2O \text{ mula-mula}} \dots\dots\dots(1)$$

b. Penentuan orde reaksi

Jika reaksi ber-orde satu, maka digunakan persamaan

$$-\ln \frac{C_A}{C_{A0}} = k't \dots\dots\dots(2)$$

Jika reaksi ber-orde dua, maka digunakan persamaan

$$\frac{1}{C_A} = k't + \frac{1}{C_{A0}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana C_A merupakan konsentrasi akhir ; C_{A0} merupakan konsentrasi awal ; X_A merupakan konversi dari zat A ; k merupakan konstanta orde reaksi ; t merupakan waktu (menit)

c. Perhitungan energi aktivasi

Memplot $\ln k$ dengan $1/T$ didapatkan slope berupa $-E/RT$ dan intersep berupa $\ln K_0$. Didapatkan nilai E.

$$k = K_0 e^{-E/RT} \dots\dots\dots(4)$$

$$\ln k = \ln K_0 - \frac{E}{RT} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana k_0 merupakan frekuensi tumbukan ; E merupakan energi aktivasi ; T merupakan suhu (kelvin) ; R merupakan gas ideal (8,314 j/mol.k)

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian pembentukan kalium fosfat diawali dengan mengekstraksi 300 gr abu TKKS dengan 1 liter aquadest. Larutan ekstrak abu di uji kandungan K_2O sebagai data kalium awal (C_{A0}). Pengujian kandungan kalium awal (C_{A0}) dalam larutan ekstrak abu TKKS dilakukan dengan uji spektrofotometri. Hasil pengujian di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya menunjukkan kadar K_2O yaitu 50,1 gr/lit. Variabel yang berubah pada penelitian ini yaitu suhu dan waktu reaksi. Larutan ekstrak di reaksikan dengan asam fosfat pada temperatur 60, 70, 80, 90, 100 °C dengan waktu 30, 40, 50, 60, 70 menit

Data Hasil Penelitian

Didapatkan data hasil penelitian kandungan kalium akhir (C_A) dengan uji spektrofotometri di Balai Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Surabaya pada pembentukan kalium fosfat sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Uji Spektrofotometri Kandungan Kalium pada Filtrat

Temperatur (°C)	Kandungan Kalium (gr/l)				
	Waktu (menit)				
	30	40	50	60	70
60	13,35	13,2	11,91	11,35	7,93
70	13,1	12,67	11,64	10,13	7,53
80	12,81	12,35	11,36	9,83	6,66
90	12,34	11,84	10,47	8,47	6,43
100	11,67	11,21	9,7	7,99	6,07

Tabel 2. Konsentrasi Kalium (C_A) pada Filtrat

Temperatur (°C)	C_A				
	Waktu (menit)				
	30	40	50	60	70
60	0,14172	0,14013	0,126433	0,12049	0,08418
70	0,139066	0,1345	0,123567	0,10754	0,07994
80	0,135987	0,1311	0,120594	0,10435	0,0707
90	0,130998	0,12569	0,111146	0,08992	0,06826
100	0,123885	0,119	0,102972	0,08482	0,06444

Tabel 3. Konversi Kalium (X_A) terhadap Variasi Temperatur dan Waktu

Temperatur (°C)	X_A				
	Waktu (menit)				
	30	40	50	60	70
60	0,733533	0,73653	0,762275	0,77345	0,84172
70	0,738523	0,74711	0,767665	0,7978	0,8497
80	0,744311	0,75349	0,773253	0,80379	0,86707
90	0,753693	0,76367	0,791018	0,83094	0,87166
100	0,767066	0,77625	0,806387	0,84052	0,87884

Tabel 4. Orde Reaksi Satu

Temperatur (°C)	$-\ln C_A/C_{A0}$					$y = k.t$	R^2
	Waktu (menit)						
	30	40	50	60	70		
60	1,322505	1,3338	1,436643	1,4848	1,84337	0,0119x	0,7902
70	1,341409	1,37478	1,459574	1,59852	1,89513	0,0133x	0,8748
80	1,363795	1,40036	1,483923	1,62858	2,0179	0,0154x	0,836
90	1,401175	1,44254	1,565507	1,77749	2,05305	0,0164x	0,9235
100	1,457	1,49721	1,641895	1,83583	2,11066	0,0165x	0,9333

Tabel 5. Orde Reaksi Dua

Temperatur (°C)	$1/C_A$					$y = kt+e$	R^2
	Waktu (menit)						
	30	40	50	60	70		
60	7,05618	7,13636	7,90932	8,29956	11,8789	0,0449x + 1,2667	0,7422
70	7,19084	7,43489	8,092784	9,29911	12,51	0,0519x + 1,1017	0,8266
80	7,35363	7,62753	8,292254	9,58291	14,1441	0,0645x + 0,6774	0,7762
90	7,633712	7,95608	8,997135	11,1216	14,6501	0,0714x + 0,6112	0,8793
100	8,071979	8,40321	9,71134	11,7897	15,5189	0,0755x + 0,6639	0,8912

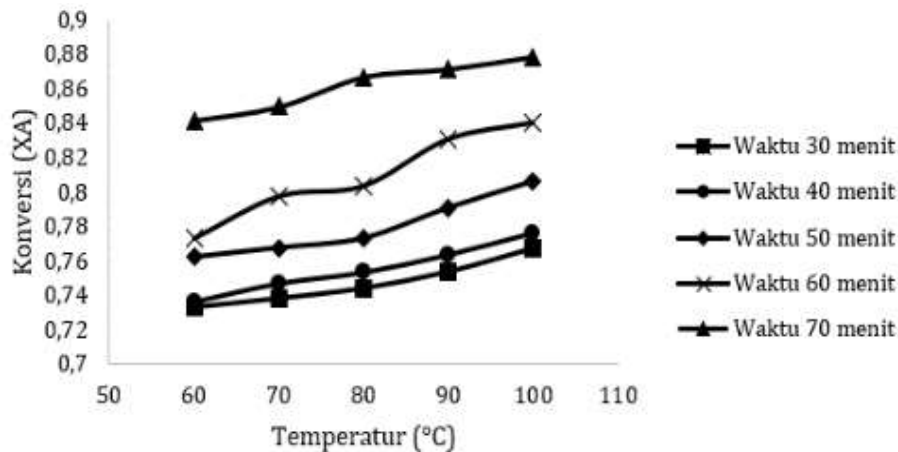
Tabel 6. Penentuan Tetapan Laju Reaksi

Temperatur (°C)	k	ln k	1/T
60	0,0119	-4,4312	0,016667
70	0,0133	-4,32	0,014286
80	0,0154	-4,1734	0,0125
90	0,0164	-4,1105	0,011111
100	0,0165	-4,1044	0,01

Grafik dan Pembahasan

Hubungan Temperatur (°C) terhadap Konversi (X_A)

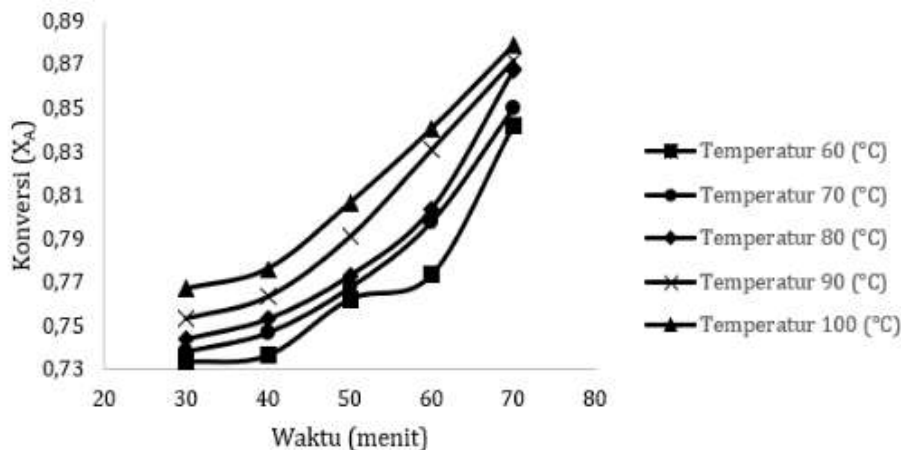
Berdasarkan Gambar 2 diperoleh hasil grafik yang menunjukkan hubungan konversi kalium (X_A) pada proses pembentukan kalium fosfat terhadap temperatur (°C) pada variasi waktu (menit). Proses pembentukan kalium fosfat dilakukan pada variasi temperatur 60, 70, 80, 90, 100 °C dan waktu 30, 40, 50, 60, 70 menit menggunakan Asam Fosfat 1,38 N. Didapatkan konversi terbesar terjadi pada temperatur 100 °C dan waktu 70 menit yaitu 0,8788. Dari Gambar 2 dapat diketahui bahwa konversi kandungan Kalium dipengaruhi oleh temperatur, dimana menunjukkan peningkatan sehingga semakin besar temperatur akan semakin besar nilai konversi kalium (X_A). Kenaikan temperatur reaksi menyebabkan peningkatan konversi X_A pada semua variasi waktu. Temperatur yang lebih tinggi meningkatkan energi kinetik partikel sehingga frekuensi dan energi tumbukan antar molekul reaktan menjadi lebih besar. Tumbukan yang lebih sering dan lebih efektif mempercepat reaksi pembentukan produk, sehingga konversi kalium meningkat [12].



Gambar 2. Hubungan Konversi (X_A) terhadap Temperatur (°C) pada Variasi Waktu (menit)

Hubungan Waktu (menit) terhadap Konversi (X_A)

Berdasarkan Gambar 3 diperoleh hasil grafik hubungan konversi Kalium (X_A) pada proses pembentukan kalium fosfat terhadap waktu (menit) pada variasi temperatur (°C). Hasil penelitian menunjukkan konversi tertinggi terjadi pada waktu 70 menit dan temperatur 100 °C yaitu 0,8788.

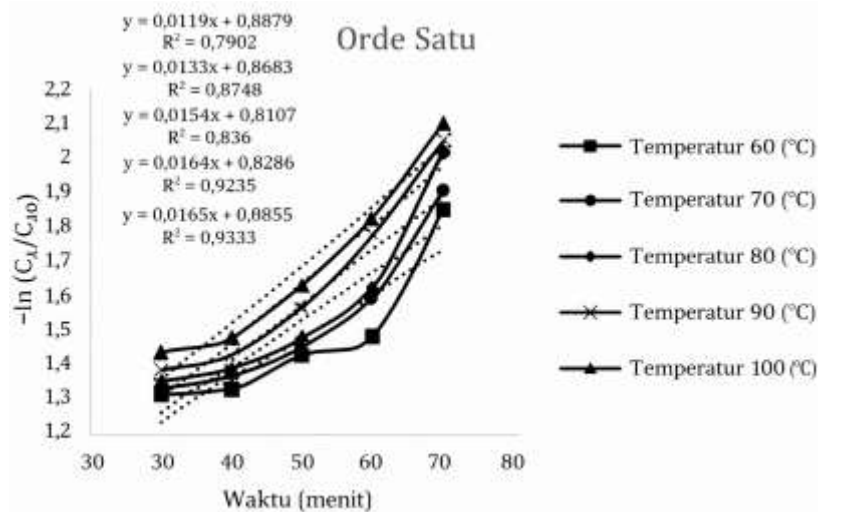


Gambar 3. Hubungan Konversi (X_A) terhadap Waktu (menit) pada Variasi Temperatur (°C)

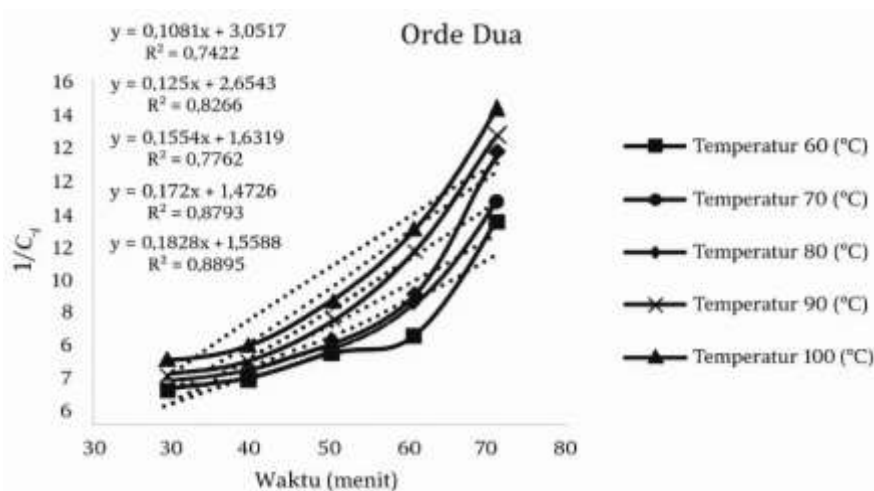
Berdasarkan **Gambar 3** dapat diketahui bahwa konversi kandungan kalium dipengaruhi oleh waktu reaksi, dimana terjadi kenaikan sehingga semakin lama waktu reaksi maka semakin meningkat nilai konversi kalium (X_A). Semakin lama waktu reaksi berlangsung, peluang terjadinya kontak dan tumbukan efektif antara ion kalium dari ekstrak abu dengan asam pereaksi akan semakin besar. Akibatnya, jumlah kalium yang bereaksi membentuk produk meningkat sehingga nilai X_A juga meningkat [12].

Penentuan Orde Reaksi

Pada reaksi orde satu dapat menentukan dengan memplot grafik $-\ln(C_A/C_{A0})$ terhadap waktu, sebagaimana pada **Gambar 4**. Hubungan tersebut menghasilkan grafik berbentuk garis lurus dan nilai kemiringan (slope) berupa tetapan laju reaksi. Berdasarkan persamaan $y = kt$, diperoleh nilai R^2 terbesar yaitu 0,9333 saat temperatur 100 °C. Hasil ini menunjukkan bahwa penentuan orde reaksi satu sudah sesuai teori dimana grafik $-\ln(C_A/C_{A0})$ terhadap waktu menunjukkan kecenderungan linier pada variasi temperatur dengan nilai R^2 yang mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa laju reaksi bergantung langsung pada konsentrasi kalium yang tersisa di dalam larutan. Semakin lama waktu reaksi, nilai $-\ln(C_A/C_{A0})$ semakin besar, yang berarti konsentrasi kalium berkurang akibat reaksi. Selain itu, peningkatan temperatur menghasilkan kemiringan grafik (nilai k) yang lebih besar, menandakan bahwa laju reaksi semakin cepat pada temperatur yang lebih tinggi [11].



Gambar 4. Hubungan $-\ln(C_A/C_{A0})$ terhadap Waktu (menit) pada Variasi Temperatur (°C)



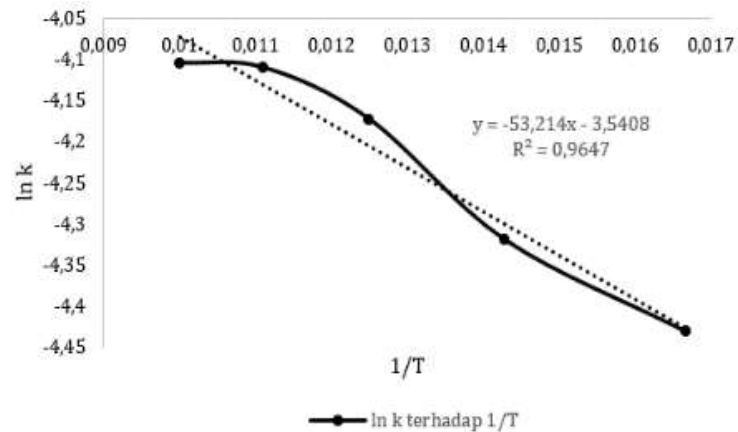
Gambar 5. Hubungan $1/C_A$ terhadap Waktu (menit) pada Variasi Temperatur (°C)

Pada reaksi orde dua dapat menentukan dengan memplot grafik $1/C_A$ terhadap waktu, sehingga diperoleh grafik berbentuk garis lurus dengan nilai kemiringan (slope) = k (**Gambar 5**). Didapatkan persamaan mengikuti $y = kt + e$ dan nilai R^2 pada kondisi maksimum tertinggi untuk reaksi dengan temperatur 100 °C yaitu sebesar 0,8895. Dari nilai R^2 yang didapatkan pada orde keduanya, untuk orde

reaksi satu mempunyai faktor kesalahan dari 0,7902 – 0,9333 sebesar 15,33% sedangkan untuk orde dua mempunyai faktor kesalahan dari 0,7422 – 0,8895 sebesar 16,55%, maka kinetika reaksi pembentukan kalium fosfat mengikuti orde satu yang ditandai dengan terbentuknya grafik garis lurus dengan nilai R^2 mendekati 1 [16]. Penetapan laju reaksi dilakukan dengan menentukan nilai konstanta laju reaksi (k) pada setiap temperatur. Didapatkan nilai tetapan laju reaksi (k) pada temperatur 60, 70, 80, 90, 100 °C secara berurutan sebesar 0,0119; 0,0133; 0,0154; 0,0164; dan 0,0165 menit⁻¹. Nilai k meningkat seiring dengan kenaikan temperatur, yang menandakan reaksi berlangsung semakin cepat [11].

Penentuan Energi Aktivasi

Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ membentuk garis lurus sesuai dengan persamaan Arrhenius, sehingga energi aktivasi dan frekuensi tumbukan dapat ditentukan. Berdasarkan **Gambar 6**, dapat diketahui persamaan hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$ sebagai berikut : $y = -53,214x - 3,5408$



Gambar 6. Hubungan $\ln k$ terhadap $1/T$

Didapatkan nilai $-\frac{E}{R}$ adalah kemiringan garis (slope) yaitu -53,214 sedangkan $\ln k_0$ merupakan intercept yaitu -3,5408. Dengan menggunakan $R = 8,314 \text{ J/mol.K}$ (gas ideal), diperoleh energi aktivasi (E) sebesar 442,421 J/mol dan frekuensi tumbukan (k_0) yaitu 0,0289. Dengan demikian, tetapan laju reaksi berdasarkan persamaan Arrhenius yaitu : $k = 0,0289 e^{-\frac{53,214}{T}}$. Nilai energi aktivasi yang relatif rendah pada pembentukan kalium fosfat dari abu biomassa menunjukkan bahwa reaksi mudah berlangsung dan sensitif terhadap perubahan temperatur [11].

4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konversi kandungan kalium tertinggi pada proses pembentukan kalium fosfat diperoleh pada temperatur 100°C dan waktu 70 menit serta nilai konversi sebesar 0,8788 (87,88%). Hasil analisis kinetika menunjukkan reaksi pembentukan kalium fosfat mengikuti orde satu dengan nilai R^2 yang mendekati 1. Nilai tetapan laju reaksi terbesar diperoleh sebesar 0,0165 menit⁻¹ pada temperatur 100°C. Berdasarkan persamaan Arrhenius, didapatkan energi aktivasi sebesar 442,421 J/mol dan faktor frekuensi tumbukan (k_0) yaitu 0,0289.

5. Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Gunawan selaku laboran Laboratorium Riset Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Sintha Soraya Santi selaku koordinator Program Studi Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur atas dukungan fasilitas selama penelitian berlangsung.

6. Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik Indonesia, *Statistik Kelapa Sawit Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia, 2024.
- [2] S. Salamiyah and N. Hizriani, “Penyuluhan Pembuatan Pupuk Organik Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) di Sekolah,” *Jalujur J. Pengabd. Masy.*, vol. 2, no. 2, pp. 69–78, Dec. 2023, doi: 10.18592/jalujur.v2i2.11022.

- [3] W. D. Aulia, A. T. Permana, F. Dimawarnita, and Y. Faramitha, "Delignifikasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dengan Naoh Terhadap Kualitas Pupuk Organik Cair," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 34, no. 1, pp. 47–54, Apr. 2024, doi: 10.24961/j.tek.ind.pert.2024.34.1.47.
- [4] A. Saleh and M. Anggraini, "Pengaruh Penambahan Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Terhadap Nilai Penetrasi Indeks Aspal Pertamina Pen.60/70," *J. Tek. Sipil Siklus*, vol. 2, no. 2, pp. 104–113, 2016.
- [5] L. Sukeksi, R. D. Hidayati, and A. B. Paduana, "Leaching Kalium Dari Abu Kulit Coklat (Theobroma Cacao L.) Menggunakan Pelarut Air," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 6, no. 2, pp. 30–34, 2017.
- [6] Himmelblau, David Mautner, and James B. Riggs. *Basic principles and calculations in chemical engineering*. FT press, 2012.
- [7] Astuti, Andini Wiji, and Labib Sarwodhito. "Pembuatan Pupuk Kalium Fosfat Dari Limbah Kulit Kentang Menggunakan Metode Ekstraksi." *Chempro 3.2* (2022): 45-48.
- [8] A. Lesti and G. Cristy, "Prarancangan Pabrik Monobasik Kalium Fosfat Dari Asam Fosfat Dan Kalium Hidroksida Dengan Proses Netralisasi Kapasitas 3.500 Ton/Tahun," *J. Tugas Akhir Tek. Kim.*, vol. 5, no. 2, pp. 75–79, 2021.
- [9] Tomaszewski, Robert. "A comparative study of citations to chemical encyclopedias in scholarly articles: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology and Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry." *Scientometrics* 117.1 (2018): 175-189.
- [10] A. Hariyanto, V. K. Sari, and C. Pujiastuti, "Kinetika Reaksi Pembentukan Kalsium Fosfat dari Asam Fosfat dan Cangkang Kerang Darah," 2020. [Online]. Available: www.chempro.upnjatim.ac.id
- [11] S. Mariyam, A. Novriandini, and S. Redjeki, "Kinetika Reaksi Pembuatan Pupuk Kalium Fosfat Dari Abu Pelepah Pisang Dan Asam Fosfat," *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 2, no. 2, pp. 126–132, 2022.
- [12] M. Tri Andini and R. Dewati, "Kinetika Reaksi Pembentukan Kalium Sulfat dari Ekstrak Abu Janjang Kelapa Sawit dan Asam Sulfat," 2020. [Online]. Available: www.chempro.upnjatim.ac.id
- [13] P. Ariestyowati, "Kinetika Reaksi Pembentukan Kalium Sulfat Dari Ekstrak Abu Jerami Padi Dengan Asam Sulfat," *J. Tek. Kim.*, vol. 9, no. 1, pp. 22–26, 2014.
- [14] E. Sulistyoningsih and S. Zahrina, "Kinetika Reaksi Pembuatan Kalium Sulfat Dari Ekstrak Abu Batang Pisang Dan Asam Sulfat," *J. Tek. Kim.*, vol. 8, no. 2, pp. 57–62, 2014.
- [15] Lukum, Astin, et al. *Dasar-Dasar Kimia Analitik*. uwais inspirasi indonesia, 2022.
- [16] Davis, Mark E., and Robert J. Davis. *Fundamentals of chemical reaction engineering*. Courier Corporation, 2013.