



Studi Pembuatan Pupuk Kalium Sulfat dari Abu Sekam Padi dan Gypsum Alam Menggunakan Reaktor Tangki Berpengaduk

The Study of Potassium Sulphate Fertilizer Production from Rice Husk Ash and Gypsum by Using Stirred Tank Reactor

M. H. Ismayanda dan Farid Mulana*

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh, Provinsi Aceh, 23111
*E-mail : farid.mulana@che.unsyiah.ac.id

Abstrak

Proses pembuatan pupuk kalium sulfat umumnya dibuat dari asam klorida dan bahan baku yang mengandung anion sulfat (SO_4). Dalam penelitian ini, pembuatan pupuk kalium sulfat dari bahan baku batuan gipsum alam sebagai sumber sulfat dan abu sekam padi sebagai sumber kalium telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan mengkaji kemungkinan pembuatan pupuk kalium sulfat dari gipsum alam dan abu sekam padi dan juga mengetahui pengaruh kecepatan pengadukan, temperatur operasi dan waktu proses terhadap persentase konversi kalium sulfat yang dihasilkan. Dalam penelitian ini juga dipelajari kinetika reaksi yang terjadi selama proses pembentukan kalium sulfat. Proses pembuatan pupuk kalium sulfat dilakukan dalam reaktor tangki berpengaduk. Variabel berubah dari penelitian ini adalah kecepatan putaran pengaduk, temperatur proses, dan waktu reaksi. Untuk menganalisis produk yang dihasilkan, metode yang digunakan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 02-2809-2005). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pupuk kalium sulfat dapat dihasilkan dari reaksi antara gipsum yang mengandung kalsium sulfat dan abu sekam padi yang mengandung kalium karbonat dengan konversi kalium dari endapan sebesar 99,87% dan konversi kalium dari filtrat sebanyak 18,22%. Nilai konversi sulfat dari endapan hanya sebesar 0,69% dan nilai konversi sulfat dari filtrat 0,26%. Dalam penelitian ini kondisi terbaik proses pembuatan pupuk kalium sulfat adalah pada waktu reaksi 80 menit, kecepatan putaran pengaduk 400 rpm dan temperatur operasi 90°C. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa produk pupuk kalium sulfat tidak mengandung asam bebas sebagai H_2SO_4 dan klorida (Cl), akan tetapi mengandung kalium dan sulfat. Nilai konstanta kecepatan reaksi (k) yang didapat dalam penelitian ini adalah sebesar 0,00218 $\text{ppm}^{-1} \text{menit}^{-1}$ dan nilai laju pengurangan reaktan (r_A) sebesar $8,129 \times 10^{-5} \text{ ppm/menit}$.

Kata kunci: abu sekam padi, gipsum, kalium sulfat, konversi, reaktor tangki berpengaduk

Abstract

The production process of potassium sulphate fertilizer generally is made of hydrochloric acid and raw materials containing sulfate anions (SO_4). In this study the making of potassium sulfate fertilizer was carried out from raw material of gypsum as a source of sulfate and rice husk ash as a source of potassium. The aims of this study were to examine the possibility of production potassium sulfate fertilizer from gypsum and rice husk ash and also to determine the effect of stirring speed, operating temperature, and time on conversion percentage of produced potassium sulphate. This research also studied the reaction kinetics that occur during the process of potassium sulfate formation. Potassium sulphate fertilizer production process was carried out in a stirred tank reactor. Independent variables from this study is stirrer rotation speed, operation temperature and reaction time. In order to analyze products, the method used based on the Indonesian National Standard of SNI 02-2809-2005. The results indicated that the potassium sulfate fertilizer could be produced from the reaction between gypsum containing calcium sulfate and rice husk ash containing potassium carbonate with potassium conversion of the precipitation as much of 99.87% and the conversion of potassium from the filtrate as much of 18.22%. Conversion value of sulfate from precipitation was only 0.69% and the sulfate conversion value of the filtrate was 0.26%. In this study, the best conditions for production of potassium sulphate fertilizer were at reaction time of 80 minutes, agitator rotation speed of 400 rpm and temperature of 90°C. The results of analysis also indicated that the potassium sulfate fertilizer products did not contain free acid as H_2SO_4 , and chloride (Cl). The reaction rate constant (k) is 0.00218 $\text{ppm}^{-1} \text{minute}^{-1}$ and the value of the reactant reduction rate (r_A) as much as $8.129 \times 10^{-5} \text{ ppm/min}$.

Keywords: conversion, gypsum, potassium sulphate, rice husk ash, stirred tank reactor

1. Pendahuluan

Indonesia yang merupakan negara agraris dari tahun ke tahun terus berkembang bidang perkebunan dan pertaniannya. Kebutuhan pupuk juga meningkat untuk menjaga pertumbuhan tanaman di kedua bidang tersebut. Melihat prospek dibidang perkebunan dan pertanian yang terus meningkat maka dimasa yang akan datang selain kebutuhan pupuk yang meningkat maka harga-harga dari pupuk tersebut akan semakin mahal terutama untuk pupuk jenis tertentu yang masih diimpor. Kebutuhan pupuk bagi tanaman sangatlah penting karena pupuk akan mengubah sifat fisik, kimia, atau biologi tanah sehingga menjadi lebih baik bagi pertumbuhan tanaman (Ma dan Shi, 2011). Salah satu pupuk yang banyak digunakan dalam perkebunan dan pertanian saat ini masih banyak diimpor adalah pupuk anorganik jenis pupuk kalium yang menurut SNI 02-2809-2005 (2005) harus mengandung minimal 50% kalium dalam bentuk K_2O dan 17% kadar belerang dalam bentuk S. Saat ini harga pupuk kalium sulfat (K_2SO_4) masih relatif mahal karena pabrik pupuk jenis ini di Indonesia masih sedikit diproduksi di Indonesia dengan kapasitas produksi yang tidak terlalu besar.

Kebutuhan pupuk bagi tanaman sangatlah penting karena pupuk akan mengubah sifat fisik, kimia atau biologi tanah sehingga menjadi lebih baik bagi pertumbuhan tanaman (Bolandnazar dkk., 2012). Pupuk kalium sulfat (K_2SO_4) mengandung unsur kalium (K) yang sangat diperlukan dalam proses menyuburkan tanaman. Kalium (K) berfungsi untuk merangsang pertumbuhan akar dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan hama. Kekurangan unsur kalium (K) menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis dan jumlah tangkai bunga menurun yang juga dapat menyebabkan kerontokan bakal bunga atau buah (Gunadi, 2009). Walaupun K_2SO_4 bukan merupakan jenis pupuk yang utama dalam bidang perkebunan dan pertanian, namun kebutuhannya masih sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas hasil yang diperoleh. Sedangkan belerang yang merupakan unsur hara makro sangat diperlukan untuk pembentukan asam amino dan pertumbuhan tunas, anakan, dan membantu pembentukan bintil akar tanaman serta berperan meningkatkan ketahanan terhadap jamur (Ma dan Shi, 2011).

Mengingat pentingnya ketersediaan jenis pupuk ini bagi petani dalam jumlah yang

cukup dan harga yang terjangkau, maka perlu dikembangkan suatu pemikiran untuk membuat pupuk kalium sulfat alternatif yang berkualitas sesuai standar nasional dengan memanfaatkan bahan baku yang berlimpah, harga murah, dan ramah lingkungan. Salah satunya yaitu membuat pupuk kalium sulfat dari batu gipsum dan abu pembakaran sekam padi, karena ditinjau dari segi lingkungan bahwa sekam padi banyak tersedia di Aceh dan mudah sekali didapat sehingga akan lebih bermanfaat apabila diolah menjadi pupuk kalium sulfat.

Kalium sulfat telah dikenal sejak awalabad ke-14, dan itu dipelajari oleh ahlinya seperti Glauber, Boyle, dan Tachenius. Kalium sulfat juga dikenal sebagai garam abu sulfur, merupakan garam yang terdiri dari kristal putih yang dapat larut dalam air dan tidak mudah terbakar (Peng dkk., 2010). Dalam bidang industri produksi pupuk kalium sulfat dikenal 7 (tujuh) macam cara memproduksi kalium sulfat dengan menggunakan bahan baku utama KCl yang dicampurkan dengan bahan lainnya yang mengandung anion SO_4 seperti Na_2SO_4 , $MgSO_4$, $(NH_4)_2SO_4$, H_2SO_4 dan $CaSO_4$ (Shreve, 1988). Sedangkan dalam bidang riset beberapa peneliti ada yang menggunakan gipsum yang dicampurkan dengan abu pelepah pisang (Edahwati, 2010) dan abu sabut kelapa (Hidayati, 2008) dan juga menggunakan bahan baku abu cangkang kelapa sawit sebagai sumber kalium yang direaksikan dengan asam sulfat (Kurniati, 2011).

Namun demikian pemanfaatan gipsum sebagai sumber sulfur dan abu sekam padi sebagai sumber kalium dalam proses pembuatan pupuk kalium sulfat belum disebutkan dalam literatur sehingga riset pembuatan pupuk kalium sulfat dari gipsum dan abu sekam padi ini dilakukan sebagai alternatif lainnya dalam pembuatan pupuk kalium sulfat.

Propinsi Aceh menyimpan sumber mineral gipsum yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk kalium sulfat mengingat kandungan yang terkandung di dalamnya adalah komponen utama untuk pembuatan pupuk kalium sulfat (Gunadi, 2009).

Pada penelitian ini penulis mengkaji apakah pupuk kalium sulfat dapat dihasilkan dari reaksi antara bahan baku gipsum dan abu sekam padi, dan pengaruh kecepatan pengadukan, temperatur operasi, dan waktu proses terhadap konversi dari reaktan

menjadi produk pupuk kalium sulfat yang dihasilkan dalam reaktor tangki berpengaduk. Selain itu, Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi terbaik dari variabel yang digunakan dalam proses pembuatan pupuk kalium sulfat. Dalam penelitian ini juga dipelajari kinetika reaksi yang terjadi selama proses pembuatan pupuk kalium sulfat dari abu sekam padi dan gipsum.

2. Metodologi

2.1. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan yaitu abu hasil pembakaran sekam padi yang diperoleh dari kawasan Kabupaten Aceh Besar, batuan gipsum yang diambil dari kawasan Paru Kab. Pidie Jaya dan air suling. Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu reaktor tangki berpengaduk sebagai alat utama dan alat penunjang seperti pemanas listrik, ayakan, vibrator, gelas ukur, erlenmeyer 1000 ml, timbangan digital, kertas saring, dan corong buchner.

2.2. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan dua buah variabel penelitian yaitu variabel yang ditetapkan dan variabel yang diubah. Variabel tetap yang digunakan adalah: berat abu sekam padi 100 gr, berat gipsum 100 gr volume larutan 1 liter dan ukuran partikel 80-100 mesh. Sedangkan untuk variabel yang berubah adalah: kecepatan putaran pengaduk yaitu pada: 300, 350, 400 rpm; suhu operasi sebesar 65°C, 75°C, 80°C, 90°C dan waktu operasi selama 20, 40, 60, dan 80 menit.

2.3. Proses Pembuatan Pupuk Kalium Sulfat

Sebelum dilakukan proses pembuatan pupuk kalium sulfat terhadap bahan baku batuan gipsum dan abu sekam padi dilakukan perlakuan awal yang meliputi: penggilingan gipsum dan penyeragaman ukuran partikel dengan pengayakan. Abu sekam padi dan gipsum halus yang berukuran partikel 80-100 mesh ditimbang sebanyak 100 gram, selanjutnya kedua bahan baku utama tersebut dimasukkan kedalam reaktor tangki berpengaduk dan ditambahkan air sebagai pelarut sebanyak 1 liter. Selama proses pembuatan diatur kecepatan putaran pengaduk, temperatur dan waktu operasi sesuai dengan variasi yang digunakan. Setelah proses berlangsung dan menghasilkan pasta kalium sulfat, lalu endapan dan

filtratnya dipisahkan dengan menggunakan corong Buchner/kertas saring. Endapan yang diperoleh selanjutnya diekstraksi dengan air suling panas. Hasil yang didapat kemudian dipisahkan kembali antara endapan kalium sulfat dan filtrat. Pupuk kalium sulfat yang dihasilkan kemudian dianalisis untuk mengetahui kadar kalium dan sulfatnya. Sementara filtratnya digunakan lagi sebagai umpan yang digabungkan dengan filtrat hasil pemisahan dari pasta kalium sulfat. Analisis yang dilakukan terhadap produk yang peroleh meliputi konversi yang terjadi, analisis kadar kalium sebagai kalium oksida (K₂O), kadar belerang (sebagai S), kadar asam bebas sebagai H₂SO₄, dan kadar klorida (Cl). Metode yang digunakan untuk menganalisis kandungan pupuk yang dihasilkan ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia yaitu SNI 02-2809-2005 (Standar Nasional Indonesia, 2005). Untuk perhitungan konversi produk yang dihasilkan mengacu pada persamaan berikut:

$$x = \frac{Ca_o - Ca_t}{Ca_o} \times 100 \% \quad (1)$$

Dimana:

x = konversi

Ca_t = kalium yang terlarut

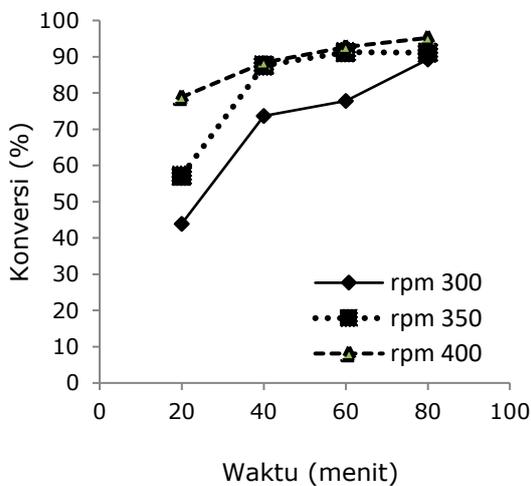
Ca_o = kalium yang mula-mula ada dalam abu sekam padi

3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pupuk kalium sulfat dapat dihasilkan dari pemanfaatan hasil buangan produk hasil pertanian yaitu abu sekam padi dan mineral alam (gipsum alam) yang banyak terdapat di Propinsi Aceh. Nilai konversi pembentukan produk pupuk sebagai endapan K₂O dan S yang diperoleh dari pengolahan data hasil analisis (nilai konsentrasi produk) diperoleh bervariasi tergantung kepada masing-masing variabel yang digunakan. Secara umum nilai konversi adalah 43,41 – 99,87% untuk konversi pembentukan K₂O dan 0,08 – 0,69% untuk konversi pembentukan sulfur. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai konversi untuk proses pembentukan pupuk kalium sulfat ditinjau dari pembentukan K₂O sudah sangat menjanjikan namun sangat sedikit nilai konversi untuk pembentukan sulfur. Hasil analisis yang telah dilakukan terhadap semua produk yang dihasilkan menunjukkan bahwa produk pupuk kalium sulfat tidak mengandung asam bebas sebagai H₂SO₄ dan klorida (Cl),

namun mengandung kalium sebagai K_2O dan sulfur sebagai S. Namun demikian jumlah kandungan kalium sebagai K_2O dan sulfur sebagai S masih belum memenuhi standar yang diinginkan. Kandungan kalium yang diperoleh adalah sekitar 0,8% dan kandungan sulfur yang didapat adalah 0,3% yang mana kedua kadar tersebut masih jauh dari yang dipersyaratkan oleh SNI 02-2809-2005.

3.1. Pengaruh Waktu Reaksi dan Kecepatan Putaran Pengaduk Terhadap Konversi



Gambar 1. Hubungan waktu reaksi dan kecepatan pengaduk terhadap konversi kalium pada endapan dengan temperatur 90°C.

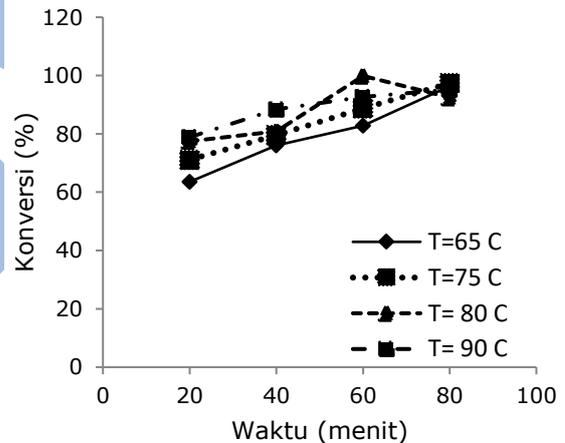
Gambar 1 memperlihatkan hubungan antara waktu reaksi dan kecepatan pengaduk terhadap konversi kalium. Dari gambar tersebut di atas terlihat bahwa konversi kalium pada endapan yang dianalisis dipengaruhi oleh waktu reaksi dan kecepatan pengaduk yang digunakan. Dengan semakin lamanya waktu reaksi, konversi kalium akan semakin meningkat karena semakin banyak partikel-partikel dari kedua reaktan yang bereaksi dan menghasilkan konsentrasi produk yang tinggi. Hal yang sama juga berlaku untuk nilai konversi sulfat pada endapan yang terbentuk.

Sementara untuk pengaruh kecepatan pengaduk hal yang sama juga terlihat dimana dengan semakin besarnya kecepatan pengaduk, maka konversi kalium dan sulfat yang didapat juga semakin tinggi. Hal ini terjadi karena salah satu tujuan pengadukan adalah untuk mempercepat terjadinya reaksi antar reaktan, dan secara teori diketahui

bahwa dengan semakin cepat putaran pengaduk maka semakin banyak pula abu sekam padi dan gipsum yang bereaksi dengan adanya air suling sebagai pelarut. Perry (1997) juga menyatakan bahwa kecepatan pengaduk yang digunakan sangat berpengaruh terhadap konsentrasi produk yang dihasilkan karena dengan semakin cepat pengadukan maka pendispersian umpan akan tercampur merata di dalam reaktor. Dengan saling bertumbuhkannya partikel-partikel maka akan menghasilkan energi untuk memulai terjadinya reaksi. Dengan adanya pengadukan, reaksi akan berlangsung lebih cepat. Pada penelitian ini, nilai konversi yang tertinggi terjadi pada waktu reaksi 80 menit dan kecepatan pengaduk 400 rpm.

3.2. Pengaruh Waktu Reaksi dan Temperatur Terhadap Konversi

Selain dipengaruhi oleh kecepatan putaran pengaduk seperti sudah disebutkan di atas, nilai konversi juga dipengaruhi oleh temperatur sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.

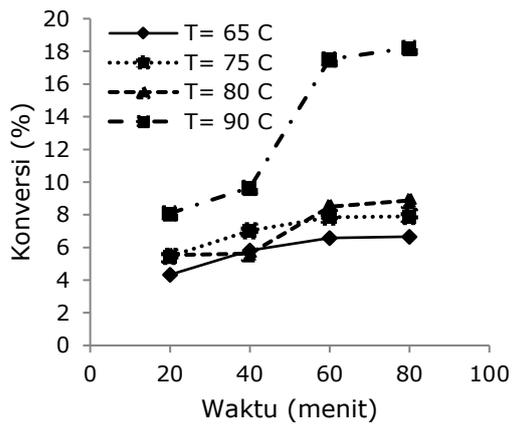


Gambar 2. Hubungan antara waktu reaksi dan temperatur terhadap konversi kalium pada endapan dengan kecepatan pengaduk 400 rpm.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya temperatur maka akan menyebabkan konversi kalium semakin meningkat. Begitu juga sebaliknya, dengan semakin menurunnya temperatur maka akan menyebabkan menurunnya konversi. Fenomena ini terjadi karena temperatur turut berpengaruh terhadap reaksi yang terjadi sebagaimana mengikuti hukum Arrhenius, dimana kenaikan temperatur akan mengakibatkan reaksi berlangsung semakin cepat yang mengakibatkan semakin besarnya

konversi yang terjadi. Pada saat terjadinya reaksi, bila terjadi kenaikan temperatur maka molekul-molekul yang bereaksi akan bergerak lebih cepat, sehingga energi kinetiknya juga menjadi tinggi. Oleh karena energi kinetiknya tinggi, maka energi yang dihasilkan pada tumbukan antar molekul akan menghasilkan energi yang besar dan cukup untuk melangsungkan reaksi dengan mudah (Husin, 2007). Namun demikian, pada temperatur 80°C ada sedikit penurunan konversi kalium pada waktu reaksi 80 menit, hal ini kemungkinan terjadi karena pada waktu reaksi belum 80 menit, kalium telah bereaksi sepenuhnya sehingga dengan bertambahnya waktu reaksi tidak terlalu mempengaruhi lagi nilai konversi.

Selain hubungan waktu reaksi dan temperatur terhadap konversi kalium pada endapan seperti ditunjukkan dalam Gambar 2 maka dapat dilihat juga konversi kalium dalam filtrat pada kecepatan pengaduk 400 rpm seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara waktu reaksi dan temperatur terhadap konversi kalium pada filtrat dengan kecepatan pengaduk 400 rpm.

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa konversi kalium pada filtrat juga meningkat seiring meningkatnya temperatur. Secara teoritis kenaikan temperatur akan mengakibatkan reaksi berlangsung semakin cepat, karena kenaikan temperatur menyebabkan molekul-molekul yang bereaksi akan bergerak lebih cepat (Husin, 2007). Pada penelitian ini, nilai konversi kalium yang paling tinggi terjadi pada temperatur 90°C dan waktu reaksi 80 menit.

Kondisi terbaik dari hasil analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini berdasarkan standar SNI 02-2809-2005 tentang pupuk kalium sulfat yaitu pada waktu reaksi 80

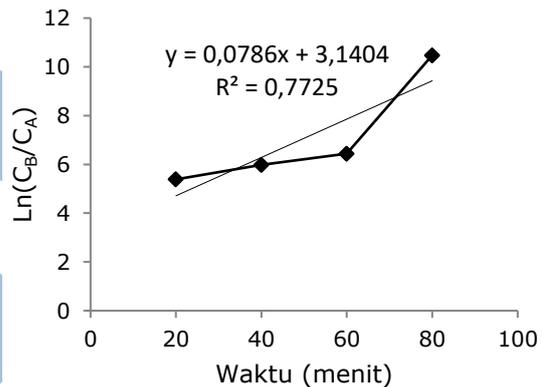
menit, kecepatan pengaduk 400 rpm dan temperatur 90°C dan dengan nilai konversi yang optimum seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai konversi kalium dan sulfur yang didapat pada kondisi optimum

Sampel yang dianalisis	Nilai Konversi (%)	
	Kalium sebagai K ₂ O	Sulfur sebagai S
Endapan	99,87	0,69
Filtrat	18,22	0,26

3.3. Orde Reaksi, Konstanta Kecepatan Reaksi, dan Laju Reaksi

Sebagaimana diketahui dalam penelitian ini pupuk kalium sulfat dibuat dari pencampuran antara gipsum dan abu sekam padi dengan reaksi kimia yang terjadi adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Hubungan antara waktu reaksi terhadap ln(C_B/C_A) untuk reaksi orde dua pada temperatur 90°C dan kecepatan pengaduk 400 rpm.

Secara umum reaksi kimia yang terjadi di atas berlangsung dengan kecepatan tertentu. Laju reaksi diukur sebagai jumlah berkurangnya zat yang bereaksi (reaktan) atau bertambahnya zat hasil reaksi (Husin, 2007). Dari hasil penelitian ini diperoleh data-data yang selanjutnya digunakan untuk menentukan orde reaksi, konstanta kecepatan reaksi, dan laju reaksi. Dari hasil perhitungan sebagaimana diplot dalam Gambar 4 diperoleh reaksi orde dua yaitu tipe reaktan. Dari Gambar 4 dapat diketahui nilai *slope* adalah 0,078 menit⁻¹ sehingga nilai konstanta kecepatan reaksi (k) adalah:

$$k = \text{slope}/(C_{B0}-C_{A0})$$

$$k = 0,078 \text{ menit}^{-1}/(36,56-0,79)\text{ppm}$$

$$k = 0,00218 \text{ ppm}^{-1} \text{ menit}^{-1}$$

Selanjutnya diperoleh laju pengurangan reaktan pada waktu 80 menit adalah sebagai berikut :

$$-r_A = kC_A C_B$$

$$-r_A = (0,00218 \text{ ppm}^{-1}\text{menit}^{-1}) (0,001027 \text{ ppm}) (36,309 \text{ ppm})$$

$$-r_A = 8,129 \times 10^{-5} \text{ ppm/menit}$$

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan pembahasan adalah sebagai berikut: pupuk kalium sulfat dapat diproduksi dari gipsum alam dan abu sekam padi untuk menggantikan bahan baku yang selama ini banyak digunakan yaitu asam klorida; pupuk kalium sulfat yang dihasilkan tidak mengandung asam bebas sebagai H_2SO_4 dan klorida (Cl), namun mengandung sedikit kalium sebagai K_2O dan sulfur sebagai S; kecepatan pengadukan, temperatur operasi, dan waktu proses mempengaruhi nilai konversi pembentukan kalium dan sulfat baik pada endapan dan filtrat yang dianalisis; konversi kalium dan sulfat yang tertinggi diperoleh pada kecepatan putaran pengaduk 400 rpm, temperatur 90°C dan waktu reaksi 80 menit dengan nilai konversi kalium pada endapan sebesar 99,87% dan nilai konversi sulfat pada endapan sebesar 0,68%; orde reaksi adalah orde duadengan nilai konstanta kecepatan reaksi (k) sebesar $0,00218 \text{ ppm}^{-1}\text{menit}^{-1}$ dan nilai laju pengurangan reaktan (r_A) sebesar $8,129 \times 10^{-5} \text{ ppm/menit}$; dan komposisi pupuk kalium sulfat yang dihasilkan dalam riset ini belum memenuhi standar mutu pupuk sebagaimana SNI 02-2809-2005 namun memiliki nilai konversi yang tinggi untuk reaksi kimia yang berlangsung.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Mahasiswa Teknik Kimia Universitas Syiah Kuala yaitu Mukramah dan Titis Swastika atas bantuan dan kerjasamanya dalam membantu pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Balai Industri dan Standardisasi Propins Aceh (2009) Banda Aceh.
- Bolandnazar, S., Mollavali, M., Tabatasaei, S.J. (2012), Influence of NH_4NO_3 and K_2SO_4 on qualitative characteristics of onion, *Scientia Horticulturae*, 136, 24-28.
- Edahwati, L. (2010) Sulphate potassium extraction from banana stem ash with bleaching earth liquid, *Jurnal Teknik Kimia*, 4. 324-317.
- Gunadi, N. (2009) Kalium sulfat dan kalium klorida sebagai sumber pupuk kalium pada tanaman bawang merah, *Jurnal Hortikultura*, 19 (2), 174-185.
- Husin, H. (2007) *Kinetika dan Katalisa*, Syiah Kuala University Press, Banda Aceh.
- Ma, L., Shi, Y. (2011) Effects of potassium fertilizer on physiological and biochemical index of stevia rebaudiana bertonii, *Energy Procedia*, 5, 581-586.
- Maesaroh, S., Sedyawati, S. M. R., Mahatmanti, F. W. (2014) Pembuatan pupuk K_2SO_4 dari ekstrak abu serabut kelapa dan air kawah item, *Indonesian Journal of Chemical Science*, 3, 239-243.
- Peng, C., Zhang, F., Guo, Z. C. (2010) Gypsum crystallization and potassium chloride regeneration by reaction of calcium chloride solution with potassium sulfate solution or solid, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20, 712-720.
- Perry, R. H. (1997) *Chemical Engineers' Handbook*, 7th Edition, McGraw Hill, Singapore.
- Shreve, R.N. (1988) *Chemical Process Industries*. Fourth Edition, Mc. Graw Hill Book Company Inc., London.
- Standar Nasional Indonesia (2005) Pupuk Kalium Sulfat, SNI 02:2809-2005.