

## MORFOLOGI KOMPOSIT SI-K-N GEL DARI KALIUM SILIKAT DAN UREA DENGAN PRESIPITATOR

Akbar Mahmudi, Amelia Rizky Pertamasari, Srie Muljani\*

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

\* Penulis Korespondensi: E-mail: sriemuljani.tk@upnjatim.ac.id

### Abstrak

*Produksi silika dari kalium silikat dengan metode presipitasi menghasilkan 2 tipe produk, yaitu silika presipitat dan silika gel. Pembentukan gel dari kalium silikat dengan menggunakan asam dapat digantikan dengan CO<sub>2</sub> untuk menghasilkan endapan silika dari larutan alkali silikat dengan mengurangi pH larutan dan membentuk gel. Tujuan dari penelitian ini untuk menghasilkan produk komposit Si-K-N gel dari urea dan kalium silikat dan menganalisa morfologi Si-K-N gel yang dihasilkan. Penelitian morfologi komposit Si-K-N gel dilakukan dengan terlebih dahulu mengekstraksi abu sekam padi dengan perbandingan abu 50gr/liter kalium hidroksida (KOH). Hasilnya kemudian diencerkan dan direaksikan dengan urea. Variabel yang digunakan adalah konsentrasi kalium silikat (3,65; 2,433; 1,825; 1,46; 1,2167%) dan jumlah urea (5, 10, 15, 20, 25 gram). Hasil penelitian diperoleh kondisi terbaik dalam pembuatan Si-K-N gel dengan konsentrasi kalium silikat 1,2167% dan penambahan urea 20 gram dengan jumlah partikel terdistribusi secara merata dan penyebaran partikel yang dapat terukur paling banyak berukuran 1,6 sampai 4,5 μm.*

**Kata Kunci:** Ekstraksi; morfologi; gas CO<sub>2</sub>; silika gel; dan urea

### Abstract

*The production of silica from potassium silicate by the precipitation method produces 2 types of products, namely precipitate silica and silica gel. The formation of gels from potassium silicate using acids can be replaced with CO<sub>2</sub> to produce silica deposits from alkaline silicate solutions by reducing the pH of the solution and forming a gel. The purpose of this study was to produce a composite Si-K-N gel product from urea and potassium silicate and analyze the morphology of the Si-K-N gel produced. Morphological research on composite Si-K-N gel was carried out by first extracting rice husk ash with ash ratio of 50gr/liter of potassium hydroxide (KOH). The results are then diluted and reacted with urea. The variables used were the concentration of potassium silicate (3,65; 2,433; 1,825; 1,46; 1,2167%) and the amount of urea (5, 10, 15, 20, 25 grams). The best results were obtained in the manufacture of Si-K-N gel with a potassium silicate concentration of 1,2167% and the addition of urea 20 grams with the number of particles evenly distributed and the spread of the most measurable particles measuring 1,6 to 4,5 μm.*

**Keywords:** Extraction; morphology; CO<sub>2</sub> gas; silica gel; and urea

### PENDAHULUAN

Produksi silika dari kalium silikat dengan metode presipitasi menghasilkan 2 tipe produk, yaitu silika presipitat dan silika gel. Faktor-faktor

yang mempengaruhi dalam metode presipitasi antara lain konsentrasi alkali silikat, nilai pH dan jenis katalis asam atau garam yang digunakan. Pembuatan silika dari kalium silikat dengan metode presipitasi biasanya dilakukan dengan

menggunakan katalis asam, yang sering dapat menghasilkan aglomerasi partikel. Pembentukan gel dari kalium silikat dengan menggunakan asam merupakan hasil peristiwa polimerisasi asam silikat, yang tersusun dari rantai satuan  $\text{SiO}_4$  tetrahedral dengan formula umum  $\text{SiO}_2$ . Di alam senyawa silika ditemukan dalam beberapa bahan alam, seperti pasir, kuarsa, gelas, dan sebagainya. Silika sebagai senyawa yang terdapat di alam berstruktur kristalin, sedangkan sebagai senyawa sintesis adalah amorph [1]. Selain katalis asam,  $\text{CO}_2$  juga dapat digunakan untuk menghasilkan endapan silika dari larutan alkali silikat.

Terkait dengan luasnya aplikasi silika sebagai adsorben dan katalis, silika dari abu sekam padi masih dapat dikembangkan menjadi silika gel yang memiliki karakteristik permukaan, ukuran pori dan porositas produk yang terkontrol. Ukuran partikel yang diperkecil membuat produk memiliki sifat yang berbeda sehingga dapat meningkatkan kualitas material [2].

Penelitian tentang pembuatan silika gel dari abu sekam padi telah dikembangkan oleh Kamath dan Proctor (1998) dengan ekstraksi silika menggunakan  $\text{NaOH}$  sedangkan pembentukan produk gel dengan bantuan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , hasil menunjukkan bahwa luas permukaannya mencapai  $258 \text{ m}^2/\text{g}$  dan diameter pori partikelnya sebesar  $121 \text{ \AA}$  (Kamath dan Proctor 1998) [3].

Sumada dan Muljani (2016), membuat pupuk kalium silikat dengan bahan baku geothermal sludge dengan metode gelling menggunakan asam fosfat. Silika dalam geothermal sludge diekstraksi dengan pelarut  $\text{KOH}$  2 N sehingga menghasilkan larutan kalium silikat. Kondisi terbaik dalam penelitian ini diperoleh pada derajat keasaman (pH) gelling 11 dengan komposisi produk kadar silika ( $\text{SiO}_2$ ): 56,8% dan  $\text{K}_2\text{O}$ : 28,3% atau rasio silika terhadap kalium oksida: 2,00 (Sumada dan Muljani 2016) [4]. Terkait pengaruh pH pada pembentukan gel, semakin kecil derajat keasaman (pH) pada proses gelling maka waktu pembentukan gelling-nya semakin cepat, hal ini disebabkan karena waktu pembentukan gelling dipengaruhi oleh besarnya garam yang terbentuk. Dalam hal ini pada derajat keasaman yang rendah dibutuhkan penambahan  $\text{CO}_2$ , sehingga akan terbentuk garam lebih banyak yang mengakibatkan akan terbentuk gel lebih cepat.

Hasil penelitian dari Umegaki, dkk (2017), pembuatan *spherical silica* dari larutan natrium metasilikat menggunakan urea sebagai presipitator untuk meningkatkan homogenitas partikel silika dengan menyesuaikan rasio natrium metasilikat ke urea. Diperoleh ukuran partikel meningkat dari 20 hingga 1600 nm setelah meningkatkan jumlah natrium metasilikat dan urea, yang menunjukkan bahwa konsentrasi natrium metasilikat dan urea secara signifikan mempengaruhi ukuran partikel silika [5].

Sebelumnya Sumada, dkk (2016) telah melakukan penelitian tentang sintesis komposit silika-kalium-nitrogen dari kalium silikat dan urea melalui metode presipitasi dengan presipitator  $\text{CO}_2$ . Gas  $\text{CO}_2$  dapat mengurangi pH larutan dan membentuk gel. Nitrogen dari urea dapat membentuk komposit melalui pembentukan gel, dan komposisi bahan baku atau rasio silika dan kalium hidroksida akan mempengaruhi komposisi produk [6].

Cangkakan amina dalam silika melewati beberapa tahap proses yang cukup sulit dan biaya yang cukup besar. Penelitian ini mengembangkan komposit silika-kalium-nitrogen dari kalium silikat dan urea melalui proses pengendapan presipitasi dengan  $\text{CO}_2$ . Urea juga dikenal sebagai *carbamide*, adalah senyawa organik dengan rumus kimia  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Amida ini memiliki dua kelompok  $\text{NH}_2$  yang bergabung dengan gugus fungsi karbonil (C-O). Dengan menggunakan  $\text{CO}_2$  dan urea, penelitian yang dikembangkan ini dilakukan pada suhu kamar dan rasio urea ke kalium silikat secara terkontrol.

Pembentukan produk silika gel dari urea dan larutan kalium silikat menggunakan  $\text{CO}_2$  sebagai presipitator dipengaruhi oleh konsentrasi  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ , semakin tinggi konsentrasi larutan  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  maka produk silika gel yang dihasilkan akan semakin banyak, akan tetapi luas permukaan partikel silika gel akan semakin menurun. Serta penggunaan urea akan meningkatkan homogenitas partikel silika dengan menyesuaikan rasio kalium silikat ke urea. Nitrogen dari urea dapat membentuk komposit melalui pembentukan gel. Tujuan dari penelitian ini untuk menghasilkan produk komposit Si-K-N gel dari urea dan kalium silikat dan menganalisa morfologi Si-K-N gel yang dihasilkan.

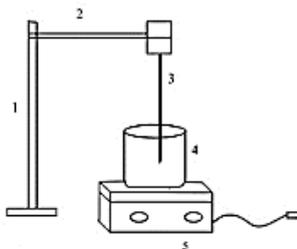
## METODE PENELITIAN

### Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi yang didapat dari daerah Benowo, Kota Surabaya, KOH 2 N sebagai pelarut pada ekstraksi silika abu sekam padi yang diperoleh dari CV. Bratachem Surabaya dan Urea yang diperoleh dari Paguyuban Pedagang Bunga Kusuma Indah Surabaya.

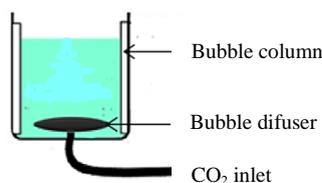
### Alat

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah serangkaian alat ekstraksi silika yang meliputi *beaker glass*, *hot plate magnetic stirrer*, termometer serta *bubble column reactor* sebagai alat pengontakan gas CO<sub>2</sub>.



Rangkaian Alat Ekstraksi  
Keterangan Alat:

1. Statif
2. Klem
3. Termometer
4. *Beaker glass*
5. *Hot plate magnetic stirrer*



Rangkaian Alat Pengontakan CO<sub>2</sub>

### Variabel

Kondisi tetap yaitu berat abu sekam padi 50 gram, konsentrasi KOH 2 N, suhu ekstraksi 95°C selama 1,5 jam, volume pelarutan urea 200 mL, dan laju alir gas CO<sub>2</sub> 1 L/jam. Sedangkan peubah yang dijalankan adalah konsentrasi kalium silikat sebesar 3,65; 2,433; 1,825; 1,46; 1,2167% dan jumlah urea sebesar 5, 10, 15, 20, 25 gram.

### Prosedur

Prosedur pelaksanaan penelitian meliputi 3 tahapan, yaitu : Ekstraksi abu sekam padi dengan komposisi 50 gram abu dalam 1 liter KOH 2 N pada suhu 95°C selama 1,5 jam, kemudian disaring ekstraknya. Ekstrak abu sekam padi diencerkan sesuai konsentrasi kalium silikat 3,65; 2,433; 1,825; 1,46; 1,2167% dalam 1 liter *aquadest*. Urea dengan variabel jumlah 5, 10, 15, 20, 25 gram terlebih dahulu dilarutkan dalam 200 mL *aquadest*. Larutan ekstrak dan urea dimasukkan ke dalam *bubble column reactor*, lalu dialirkan gas CO<sub>2</sub>. Setelah dikontakkan, silika yang terbentuk didiamkan selama 24 jam agar terbentuk gel, lalu dikeringkan pada suhu 100 °C.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Peubah yang dilakukan dalam pemilihan ini meliputi konsentrasi kalium silikat dan jumlah urea dari pembentukan Si-K-N gel. Setelah dianalisa di Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya, kandungan kalium silikat (K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) yang terkandung dalam ekstrak abu sekam padi sebesar 7,30 %. Untuk memperkecil konsentrasi silika dalam larutan dapat dilakukan pengenceran. Semakin kecil rasio pengenceran kalium silikat, *surface area* silika cenderung meningkat. Kecenderungan ini disebabkan karena semakin besar pengenceran, maka konsentrasi silika dalam larutan semakin kecil sehingga jarak antar partikel semakin jauh. Hal ini menyebabkan reaksi pembentukan inti semakin lambat dan partikel primer yang terbentuk semakin kecil sehingga *surface area* yang dihasilkan semakin besar (Asy'hari dan Amirulloh 2011) [7].

### Pengukuran pH Larutan Silika-Kalium-Nitrogendari KaliumSilikat dan Urea

Dalam pembentukan presipitasi silika, digunakan reaksi asidifikasi (penambahan asam). Proses asidifikasi bertujuan untuk membentuk polimer dari monomer silikat yang akhirnya membentuk agregat/gel. Pembentukan gel terjadi karena atom oksigen dari asam silikat akan menyerang atom silikon dari asam silikat yang lain. Asam silikat bebas dengan cepat akan mengalami polimerisasi dengan asam silikat bebas lain akan membentuk dimer, trimer, dan akhirnya membentuk polimer asam silikat [8].

Asidifikasi adalah proses pembentukan atau menjadi asam. Proses asidifikasi digunakan ketika bahan baku yang digunakan bersifat basa. Apabila bahan baku yang digunakan sudah bersifat asam, maka proses asidifikasi tidak diperlukan. Proses perubahan pH ini dilakukan karena silika dapat terbentuk pada  $pH < 10$ . Larutan asam berfungsi menetralkan larutan filtrat silika agar terbentuk partikel-partikel gel. Pemilihan nilai pH didasarkan pada sifat silika yang tidak larut dalam media dengan suasana netral, sehingga pada kondisi ini pengendapan silika diharapkan berlangsung secara optimal [9].

Tabel 1. Hasil Pengukuran pH Larutan Silika Kalium-Nitrogen dari Kalium Silikat dan Urea

Variabel		pH		Waktu gelling (menit)
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (%)	Urea (gram)	Awal	Akhir	
3,65	5	13,1	11	4,13
2,433	5	12,7	10,1	4,3
1,825	5	12,6	9,4	5
1,46	5	12,3	8,6	5,25
1,2167	5	12,2	8,2	5,51
3,65	10	13	10,8	4,1
2,433	10	12,6	10	4,28
1,825	10	12,5	9,2	5,1
1,46	10	12,2	8,4	5,29
1,2167	10	12,1	8	5,56
3,65	15	13,1	10,8	4,13
2,433	15	12,7	10,1	4,26
1,825	15	12,6	9,2	5
1,46	15	12,3	8,4	5,2
1,2167	15	12,2	8	5,48
3,65	20	13,1	11	4,11
2,433	20	12,7	10	4,29
1,825	20	12,6	9,4	5,05
1,46	20	12,3	8,6	5,26
1,2167	20	12,2	8,2	5,5
3,65	25	13,2	10,7	4,1
2,433	25	12,9	10,2	4,3
1,825	25	12,7	9,1	4,58
1,46	25	12,4	8,3	5,22
1,2167	25	12	8,1	5,51

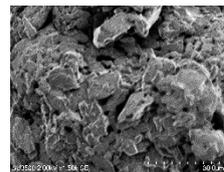
Diperoleh hasil pengukuran pH larutan Silika-Kalium-Nitrogen dari pencampuran kalium

silikat dan urea sebelum dan sesudah digelatinisasi menggunakan gas CO<sub>2</sub>, dengan laju alir gas CO<sub>2</sub> 1 L/jam. Dimana dapat dilihat dari tabel pada konsentrasi K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> tinggi ke rendah diperoleh pH awal dan pH akhir berturut-turut sebesar pH awal = 13 dan pH akhir 11; pH awal = 12 dan pH akhir = 8. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan gas CO<sub>2</sub> sebagai presipitator dapat menurunkan pH larutan dan dapat membentuk larutan kalium silikat dan urea menjadi gel.

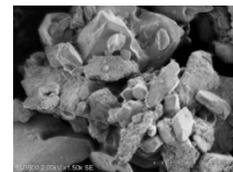
Terdapat beberapa ketidaksesuaian pH dimana silika terbentuk, yaitu  $pH > 10$  ketika gel terbentuk. Hal ini disebabkan konsentrasi kalium silikat yang cukup besarsehingga larutan menjadi sangat basa dan CO<sub>2</sub> sebagai presipitator asam menurunkan pH dan membentuk silika gel pada rentang  $pH > 10$ .

### Hasil Analisa Scanning Electron Microscopy (SEM)

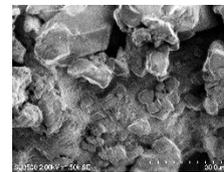
Hasil analisa SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray*) di Laboratorium Instrumen Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jawa Timur menunjukkan morfologi gel Silika-Kalium-Nitrogen pada perbesaran 1500x. Ditambahkan urea sebanyak 5-25 gram dengan variasi pengenceran untuk sintesis produk tersebut.



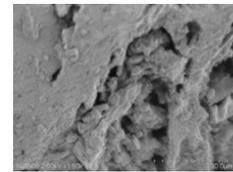
(a) 3,65% + 5gr



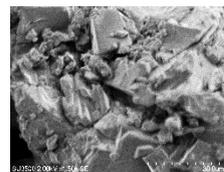
(b) 2,433% + 5gr



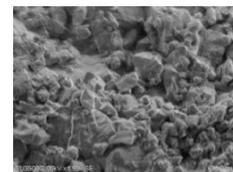
(c) 2,433% + 10gr



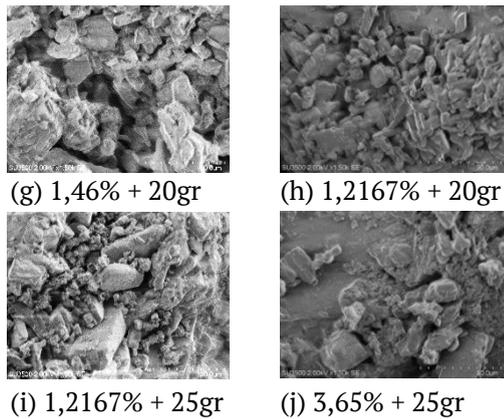
(d) 1,825% + 10gr



(e) 1,825% + 15gr



(f) 1,46% + 15gr

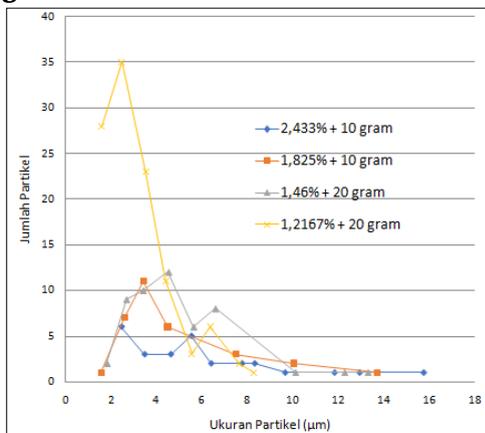


Gambar 1. Morfologi Gel Silika-Kalium-Nitrogen pada perbesaran 1500x dengan variasi pengenceran kalium silikat dan penambahan urea

Dari kesepuluh gambar terlihat bahwa produk (granula) berbentuk sedikit bulat dan persegi tak beraturan. Hasil yang paling maksimal ditunjukkan oleh gambar (g) dan (h), dimana jarak antar partikel saling berdekatan dan mulai terbentuk partikel yang seragam. Sehingga dapat disimpulkan penambahan urea 20 gram merupakan jumlah penambahan urea yang paling optimum. Dengan kondisi optimum urea sebanyak 20gram diperoleh hasil produk dengan variasi pengenceran yang baik pada perbandingan pengenceran 1,2167%.

Hal ini sesuai dengan literatur bahwa peningkatan jumlah urea secara signifikan mempengaruhi ukuran partikel silika. Kondisi optimum diperoleh pada penambahan urea sebanyak 20 gram, dan lebih dari itu partikel menjadi tidak beraturan kembali.

#### Pengukuran Distribusi Partikel

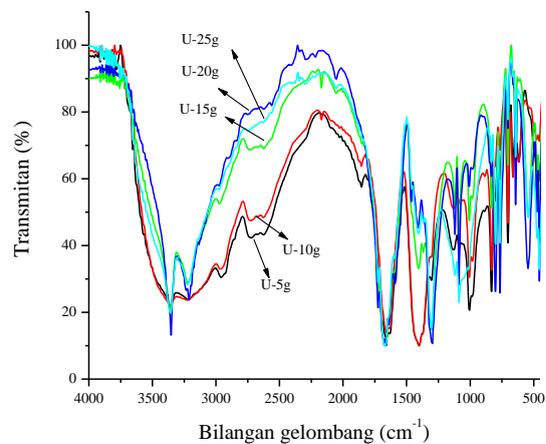


Gambar 2. Distribusi partikel Si-K-N Gel pada perbesaran 1500x dengan variasi pengenceran kalium silikat dan penambahan urea.

Jumlah partikel terdistribusi secara merata dapat ditunjukkan pada Gambar 2, yaitu dengan konsentrasi  $\text{SiO}_2$  1,2167% dan penambahan urea 20 gram dengan jumlah partikel yang dapat terukur paling banyak dengan penyebaran partikel berukuran 1,6 sampai 4,5  $\mu\text{m}$  paling banyak. Berdasarkan gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi  $\text{SiO}_2$  (%) dalam  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  dan jumlah urea yang ditambahkan berpengaruh terhadap distribusi partikel produk. Semakin tinggi konsentrasi  $\text{SiO}_2$ , maka distribusi partikel beragam dan ukuran partikel dominan semakin besar. Dengan penambahan urea meningkatkan homogenitas partikel silika, dimana jumlah partikel yang terukur semakin seragam.

Hal ini sesuai dengan literatur bahwa ukuran partikel meningkat secara parabola dengan meningkatnya konsentrasi kalium silikat, yang menunjukkan bahwa ukuran partikel meningkat melalui agregasi partikel yang lebih kecil (Sumada dan Muljani 2016) [4].

#### Pengaruh Urea terhadap Karakteristik Spektrum IR



Gambar 3. Spektrum FTIR dari Gel Silika-Kalium-Nitrogen pada rentang penambahan urea 5 hingga 25 gram

Hasil Spektrum FTIR komposit Si-K-N yang disajikan pada gambar diatas, dimana produk Si-K-N dengan penambahan urea sebanyak 5 gram – 25 gram menunjukkan adanya perubahan pada bilangan gelombang antara 3700 – 2500  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik gugus silanol (Si-OH). Selain itu, urea telah tercangkok sebagaimana di gambar 5, semakin banyak penambahan urea maka akan semakin banyak gugus -OH yang lepas dan digantikan oleh  $-\text{NH}_2$ .

Analisa FTIR digunakan untuk mengetahui ada tidaknya nitrogen sebagaimana yang telah dijelaskan.

**Hasil Analisa Surface Area Analyzer (SAA)**

Hasil analisa *Surface Area Analyzer* (SAA) dilakukan di Balai Laboratorium Bea dan Cukai Kelas II Surabaya menunjukkan *surface area* Si-K-N gel dengan berbagai variasi konsentrasi kalium silikat dan jumlah urea.

Tabel 2. Hasil Analisa SAA (*Surface Area Analyzer*) pada produk Si-K-N Gel dengan Variasi Pengenceran dan Penambahan Urea

Variabel		<i>Surface Area</i> (m <sup>2</sup> /g)
K <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (%)	Urea (gram)	
2,433	10	1,931
1,825	10	3,003
1,46	20	5,831
1,2167	20	12,642

Konsentrasi silika dalam kalium silikat dapat mempengaruhi luas permukaan. Semakin kecil konsentrasi silika, maka luas permukaan akan semakin besar. Dapat dilihat pada Tabel 2 bahwa *surface area* semakin besar seiring pengenceran kalium silikat.

Untuk pengaplikasian Si-K-N gel sebagai pupuk berbasis nano partikel yaitu meningkatkan efisiensi pupuk melalui pengaturan pelepasan nutrisi sesuai dengan kebutuhan masing – masing tanaman. Daya serap tanaman terhadap pupuk dapat meningkat dikarenakan semakin kecil ukuran partikel pada pupuk, maka luas permukaan material pupuk tersebut semakin meningkat. Selain itu, pori – pori pada tanaman juga memiliki ukuran dalam skala nano sehingga ada kesesuaian antara ukuran partikel pupuk dengan pori pada tanaman. Penggunaan *nanofertilizer* juga dapat meminimalisir terjadinya *leaching* atau pencucian yang berpotensi menimbulkan pencemaran pada lingkungan [10].

**SIMPULAN**

Gel silika dapat dibentuk dari kombinasi larutan kalium silikat dan urea dengan menggunakan CO<sub>2</sub>. Semakin tinggi konsentrasi silika, maka luas permukaan partikelnya akan semakin kecil. Dan variasi penambahan urea

dapat mempengaruhi homogenitas dan distribusi partikel komposit Si-K-N gel. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh kadar silika tertinggi yaitu pada konsentrasi SiO<sub>2</sub> dalam K<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> 1,2167% sebesar 16,56%, kadar kalium sebesar 82,49%, dan kadar nitrogen pada penambahan urea 20 gram sebesar 0,25% dan kondisi terbaik dalam pembuatan Si-K-N gel dengan konsentrasi kalium silikat 1,2167% dan penambahan urea 20gr dengan jumlah partikel terdistribusi secara merata dan penyebaran partikel yang dapat terukur paling banyak berukuran 1,6 sampai 4,5 µm.

**SARAN**

Perlunya pengkajian lebih lanjut tentang Gel Silika-Kalium-Nitrogen agar dapat dikembangkan untuk pengaplikasian lainnya dan diperlukan pencucian produk guna mengurangi impuritis, sehingga didapatkan hasil dengan kemurnian tinggi.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Sulastri, S., 2010. BERBAGAI MACAM SENYAWA SILIKA 6.

[2] Munasir, Sulton, A., Triwikantoro, Zainuri, M., Darminto, 2013. Synthesis of silica nanopowder produced from Indonesian natural sand via alkalifussion route. Presented at the INTERNATIONAL CONFERENCE ON THEORETICAL AND APPLIED PHYSICS (LCTAP 2012), Central of Kalimantan, Indonesia, pp. 28–31. <https://doi.org/10.1063/1.4820986>

[3] Kamath, S., & Proctor, A. (1998). Silica Gel from Rice Hull Ash: Preparation and Characterization. *Cereal Chemistry Journal*, 75(4), 484-487. <https://doi.org/10.1094/cchem.1998.75.4.484>

[4] Sumada, K., & Muljani, S. (2016). Pupuk Kalium silikat (K<sub>2</sub>O.SiO<sub>2</sub>) Berbahan Baku Geothermal Sludge Dengan Metode Gelling. *Seminar Nasional Teknik Kimia Soeardjo Brotoharjono XII.*, C.3, 1-5.

[5] Umegaki, T., Enomoto, Y., Kojima, Y., 2017. Fabrication of Spherical Silica Particles from Sodium Silicate and Their Application as Support Materials for Ruthenium-based Catalysts for the Hydrogenation of Supercritical Carbon Dioxide into Formic Acid.

- J. Jpn. Inst. Energy 96, 332–338.  
<https://doi.org/10.3775/jie.96.332>
- [6] Sumada, K., Muljani, S., Pujiastuti, C., 2019. Synthesis of Silica-Potassium-Nitrogen from Carbamide and Potassium Silicate by CO<sub>2</sub> Precipitator. Mater. Sci. Forum 966, 77–82. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.966.77>
- [7] Asy'hari, Khoirul Anwar, dan Afifudin Amirulloh. “Sintesa Silika Gel dari Geothermal Sludge dengan Metode Caustic Digestion.” 2011: 1-3.