

## KINETIKA PELEPASAN NITROGEN DARI PUPUK UREA LEPAS LAMBAT ( UREA SLOW RELEASE, SRU) MATRIKS ZEOLIT TERAKTIVASI

**Regawa Bayu Pamungkas, Rifqi Ali Ridho**

Program Studi S1 Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Purwokerto  
Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto  
rbayup11@gmail.com

---

### Informasi Makalah

Dikirim, 10 September 2021  
Direvisi, 5 Januari 2022  
Diterima, 5 Januari 2022

---

### Kata Kunci:

*Pupuk  
Urea Pelepasan Lambat  
Zeolit  
Kinetika*

---

### Keyword:

Fertilizer  
Urea Slow Release  
Zeolite  
Kinetic

---

### INTISARI

Pupuk urea lepas lambat (SRU) dibuat dengan mendispersikan urea di matriks zeolit. Proses granulasi dilangsungkan menggunakan granulator piringan miring dengan perekat larutan pati. Penelitian pelepasan nitrogen dilakukan untuk mengetahui karakteristik lepas lambat. Penelitian ini bermaksud mengetahui model kinetika pelepasan nitrogen dari pupuk lepas lambat, serta pengaruh temperatur dan pH terhadap laju pelepasan nutrien dari pupuk SRF. Telah dikaji kinetika release menggunakan pendekatan model orde nol, model Higuchi, dan Korsmeyer-peppas. Analisis kecocokan didasarkan pada nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model kinetika yang memiliki nilai  $R^2$  tertinggi adalah model kinetika orde Kosmeyer-Peppas.

---

### ABSTRACT

Slow-release urea fertilizer (SRU) is made by dispersing urea in a zeolite matrix. The granulation process was carried out using an inclined disc granulator with starch solution adhesive. This urea release research was conducted to determine the slow-release characteristics. This study aims to select the kinetic model of nitrogen release from slow-release fertilizers and the effect of temperature and pH on the rate of nutrient release from SRF fertilizers. The release kinetics has been studied using the zero-order, Higuchi, and Korsmeyer-Peppas model approaches. The fit analysis is based on the value of the coefficient of determination ( $R^2$ ). The results showed that the kinetic model that had the highest  $R^2$  value was the Kosmeyer-Peppas kinetic model.

---

### Korespondensi Penulis:

Regawa Bayu Pamungkas  
Program Studi Teknik Kimia  
Universitas Muhammadiyah Purwokerto  
JL. Raya KHA Dahlan ,Purwokerto, 53182  
Email: rbayup11@gmail.com

---

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris, memiliki area pertanian basah lebih dari 15 juta hektar [1] dan populasi penduduk terbesar ke-empat di bumi [2]. Jumlah penduduk terus meningkat dengan laju

pertumbuhan 1,1 %, membutuhkan pemenuhan kebutuhan pangan yang besar. Sayangnya, kapasitas produksi padi di Indonesia masih dihitung rendah, yakni 5,1 ton/ha [3]. Oleh karena itu, pada tahun 2016 pemerintah menyediakan subsidi pupuk sebanyak 30,1 triliun selama tiga tahun untuk meningkatkan produksi pertanian dan mencapai swasembada [4]. Berdasarkan data Biro Pusat Statistik daring, produksi padi nasional tahun 2018 diperoleh kesimpulan bahwa tingkat produksi masih rendah, yakni sekitar 5,185 ton/ha. Salah satu factor penyebab rendahnya tingkat produksi adalah rendahnya efisiensi pemanfaatan hara nitrogen pupuk oleh tanaman. Sekitar 50 – 70 % pupuk urea tidak dapat dimanfaatkan dan terbuang ke lingkungan [5]. Selain menyebabkan tingkat produksi yang rendah, hal ini memberikan dampak negatif pada lingkungan, kesehatan, sosial dan ekonomi.

Pada dasarnya, rendahnya efisiensi penggunaan N di lahan pertanian disebabkan oleh karakter pupuk urea yang memiliki laju pelarutan cepat [6]. Pelarutan urea di lahan pertanian berair akan membentuk ammonium bikarbonat hanya dalam waktu 48 jam [7]. Secara praktis, upaya peningkatan efisiensi penggunaan N di lahan pertanian telah dilakukan dengan cara pengaturan pemupukan dan pengaturan ukuran butiran. Pemupukan dilakukan secara bertahap sesuai usia tanaman dan warna daun. Modifikasi butiran telah dilakukan dengan memperkeras, memperbesar dan kombinasi memperkeras dan memperbesar butiran. Pemberian pupuk satu minggu sebelum lahan diairi dengan cara memasukkan pupuk ketanah sedalam 10 cm [8] mampu meningkatkan efisiensi penggunaan N. Namun demikian, teknik ini belum mampu menekan kehilangan N secara signifikan dan tidak disukai para petani karena mempersulit proses pemupukan. Oleh karena itu penggunaan pupuk dengan mekanisme rilis N lambat menjadi sangat vital untuk meningkatkan produktivitas dan menurunkan dampak lingkungan [9]. Pupuk ini memiliki sifat lebih stabil sehingga dapat mengatasi kehilangan unsur hara karena *leaching*, penguapan, maupun karena aliran air [10]. Aplikasi pupuk di lapangan memerlukan pengetahuan karakter pupuk secara baik, sehingga tujuan pemupukan dapat tercapai. Karakter

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter pelepasan urea dari pupuk lepas lambat (Slow-release urea,SRU). Pada penelitian ini digunakan pupuk granul SRU yang dibuat dengan cara mendispersikan urea pada matriks zeolite kemudian dicampur dengan tanah liat dan digranulasi

## 2. METODE

### 2.1. Penyiapan pupuk SRU

Bahan zeolit hasil tambang Jawa Barat diperoleh dari toko di Purwokerto, sodium klorida (NaCl) pA, methyl orange (MO) pA, kalium bromat ( $K_2BrO_3$ ) pA, HCl dari Merck. Alat utama yang dipergunakan adalah spektrofotometer uv-vis Shimadzu, ultrasonic TU-250Y dan granulator piringan. Zeolit dihancurkan kemudian diayak untuk mendapatkan ukuran 80 - 100 mesh. Zeolit selanjutnya diaktivasi menggunakan larutan garam NaCl konsentrasi 4 mol/liter dengan cara sonikasi selama 60 menit menggunakan ultrasound TU-250Y. Sebanyak 70 gram zeolit yang telah diaktivasi dicampur dengan 30 ml larutan urea 25 % (b/v) diaduk hingga homogen selama 10 menit. Campuran kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 60 °C selama 10 jam. Butir SRU diperoleh melalui proses granulasi campuran urea-zeolite. Proses granulasi dilakukan granulator piringan miring berputar (*pan granulator*). Sejumlah 5 gram tanah liat kering ukuran 80 mesh sampai 100 mesh dicampurkan tanah liat dan digranulasi dengan urea-zeolit kering yang berukuran sama dimasukkan ke granulator yang diatur miring 45 °, kemudian diputar dengan kecepatan 38 rpm selama 35 menit. Sebagai pengikat dipakai cairan binder tepung tapioka konsentrasi 10% yang disemprotkan ke atas piringan sehingga membentuk pupuk granul urea lepas lambat (*slow release urea*, SRU). Pupuk granul SRU kemudian dikeringkan selama 145 menit dengan suhu 120°C dan didinginkan dalam desikator. Granul yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi sifat fisiknya. Adapun kualitas yang diuji adalah densitas kampa, ukuran granul, durabilitas, dan daya serap air.

## 2.2. Pelepasan Urea

Sebanyak 1 gram pupuk SRU yang memiliki komposisi urea 25 % berat dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang terisi 100 mL air. Setelah waktu tertentu, sebanyak 2 mL sampel cairan diambil dari *beaker* untuk dianalisa kadar ureanya sesuai metode BOJIC menggunakan spektrofotometer UV –Vis merk Shimadzu mini-1240 [11]. Sebanyak 1 ml sampel diambil kemudian ditambahkan 1 ml HCl 2,3 M, KBrO<sub>3</sub> 0,001 M, MO 0,003M diratakan warnanya sekejap, kemudian dianalisa dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 nm.

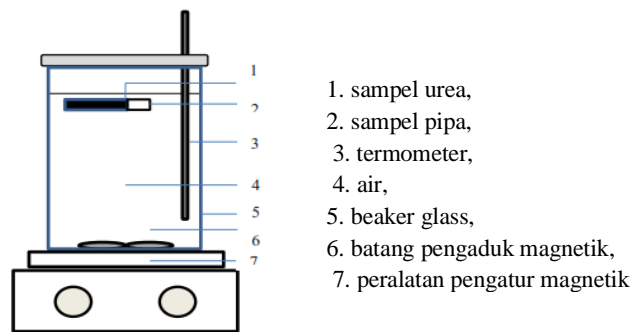
Analisa kinetika pelepasan urea dari pupuk SRU dilakukan menggunakan 4 model kinetika yaitu orde 0, Higuchi, dan Kosmeyer-Peppas [12] yang direpresentasikan dalam persamaan (1), (2) dan (3). Konsentrasi urea hasil analisa spektrofotometer digunakan sebagai data masukan pada persamaan model. Kecocokan model dievaluasi menggunakan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Model kinetika yang memiliki nilai  $R^2$  paling mendekati 1 dan lebih dari 0,9 selanjutnya ditetapkan sebagai model yang paling sesuai.

$$Q_t = k_o \cdot t \quad (1)$$

$$Q_t = k_H t^{0,5} \quad (2)$$

$$(Q_t/Q_\infty) = K t^n \quad (3)$$

$Q_t$ ,  $Q_o$  dan  $Q_\infty$  masing-masing merupakan jumlah urea terlarut pada waktu  $t$ , pada saat awal ( $t=0$ ) dan pada saat semua urea dalam granul terlarut. Koefisien  $k_o$ ,  $k_H$  dan  $K$  masing-masing adalah koefisien pada persamaan model orde nol, Higuchi dan Kosmeyer-Peppas.



Gambar 1. Susunan alat penelitian untuk sistem rilis statis [13]

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Hasil Penelitian

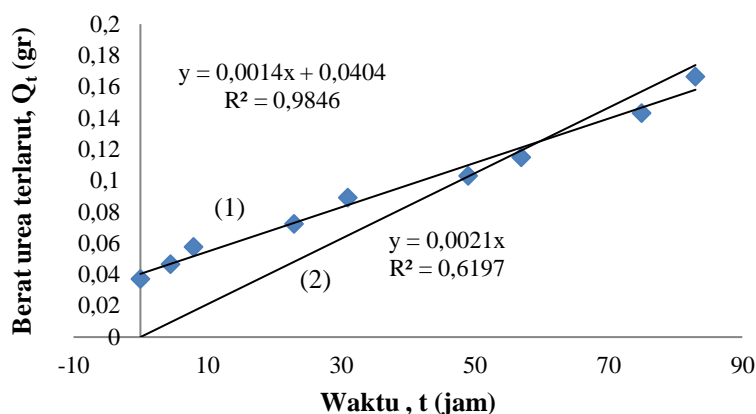
Pembuatan pupuk SRU telah memperoleh kualitas yang baik. Granul memenuhi kualitas standar dengan nilai densitas kamba 0,86 gr/cm<sup>3</sup>, ukuran granul 2-5 mm, durabilitas lebih dari 99%, dan daya serap air 39%. Hasil dari proses pelepasan urea selama 83 jam pada pH netral dan temperature 27 °C disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan data pada Tabel 1, jumlah urea yang terdapat dalam larutan semakin meningkat dengan meningkatnya waktu perendaman. Hal ini berarti telah terjadi proses pelepasan urea dari matriks pupuk SRU menuju media air. Bentuk model kinetiknya, dianalisis menggunakan pendekatan 3 model seperti di sampaikan pada bagian 2.

Tabel 1. Konsentrasi urea dalam larutan

Waktu (jam)	Konsentrasi (Molar)
0	0,0062
4,5	0,0078
8	0,0096
23	0,0121
31	0,0149
49	0,0172
57	0,0192
75	0,0239
83	0,0278

### 3.2. Analisa kinetika dengan pendekatan 3 model

Persamaan (1) menunjukkan hubungan konsentrasi urea dalam cairan dan waktu yang bersifat linier. Oleh karena itu, evaluasi kinetika menggunakan pendekatan model orde 0 dilakukan dengan membuat persamaan pemodelan linier dengan metode regresi linier. Hasil yang diperoleh digambarkan pada garis (1) pada Gambar 2. Garis ini memiliki persamaan  $y = 0,0014x + 0,0404$  dengan nilai koefisien determinasi (R square)  $R^2 = 0,9846$ . Harga koefisien determinasi sangat baik, hal ini menunjukkan kesesuaian persamaan dengan fenomena yang terjadi di penelitian. Namun demikian, pada pendekatan ini diperoleh intersep 0,0404, yang bermakna bahwa konsentrasi urea di cairan bernilai 0,0404 M pada saat detik ke nol. Pada kenyataannya, konsentrasi urea di cairan pada saat awal adalah nol. Oleh karena itu, untuk memenuhi keadaan riil tersebut, maka analisa selanjutnya adalah mengatur intersep sama dengan nol. Persamaan yang diperoleh ternyata hanya menghasilkan koefisien determinasi (R square)  $R^2$  sebesar 0,6197 seperti ditunjukkan pada garis (2) pada Gambar 2. Hal ini berarti pendekatan Orde 0 tidak tepat untuk mempresentasikan bentuk kinetika pelepasan urea dari matriks SRU zeolit.



Gambar 2. Pendekatan kinetika melalui model orde 0

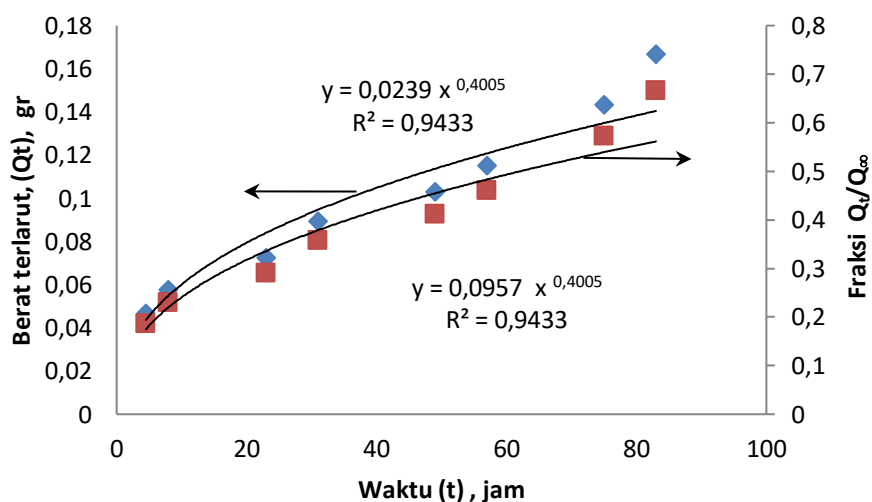
Analisa selanjutnya adalah menggunakan pendekatan model Higuchi seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2). Gambar 3 menunjukkan pendekatan persamaan Higuchi terhadap data penelitian. Persamaan yang diperoleh adalah  $Q_t = 0,0239 t^{0,4005}$ . Persamaan ini sudah mendekati model Higuchi, yaitu persamaan model yang menyatakan hubungan jumlah terlarut

terhadap variabel independent waktu ( $t$ ) berbentuk pangkat (orde). Namun demikian hasil pendekatan yang memiliki kedekatan tinggi dengan  $R^2 = 0,9433$  ini untuk pangkat (orde) sebesar 0,4005. Sedangkan persamaan model Higuchi harus memiliki pangkat sebesar 0,5. Hal ini berarti bahwa pendekatan model Higuchi kurang memenuhi.

Tabel 2. Berat urea yang terlarut dari SRU

Waktu (jam)	$Q_t$	$Q_t/Q_\infty$
0	0,0372	0,1488
4,5	0,0468	0,1872
8	0,0576	0,2304
23	0,0726	0,2904
31	0,0894	0,3576
49	0,1032	0,4128
57	0,1152	0,4608
75	0,1434	0,5736
83	0,1668	0,6672

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada gambar 3, persamaan model Kosmeyer-Peppas dapat menjelaskan fenomena pelepasan urea dari SRU. Hasil *fitting* kurva variabel terikat ( $Q_t/Q_\infty$ ) dengan variabel bebas ( $t$ ) menghasilkan persamaan model  $y = 0,0957 x^{0,4005}$  dengan koefisien determinasi sebesar  $R^2 = 0,9433$ . Persamaan ini sama dengan model umum persamaan yang disampaikan oleh Kosmeyer-Peppas. Hal ini berarti fenomena pelepasan urea dari pupuk SRU matriks zeolit merupakan peristiwa perpindahan massa diffusional tipe Fickian. Tipe Fickian ini ditunjukkan dengan nilai  $n < 0,5$  pada persamaan Kosmeyer-Peppas. Pada perpindahan tipe Fickian proses perpindahan terjadi secara molekuler dan fluks perpindahan massanya berbanding langsung dengan gradient konsentrasi. Bentuk relasinya mengikuti persamaan Fick. Disamping gradient konsentrasi massa, faktor yang mempengaruhi kecepatan perpindahan massa adalah factor-faktor yang menentukan nilai koefisien difusi molekuler seperti temperature, berat molekul, ukuran molekul.



Gambar 3. Pendekatan kinetika melalui model Higuchi dan Kosmeyer-Peppas

#### 4. KESIMPULAN

Persamaan pendekatan untuk kinetika pelepasan urea SRU dari matriks zeolite telah ditemukan. Berdasarkan evaluasi terhadap tiga model, yaitu model orde nol, model Higuchi dan model Kosmeyer-Peppas, diperoleh kesimpulan yang paling mendekati fenomena pelepasan urea adalah model Kosmeyer-Peppas. Nilai  $n$  yang diperoleh sebesar 0,4005, hal ini berarti perpindahan massa urea dari matriks SRU zeolite bersifat difusi Fickian. Laju pelepasan urea masih terhitung besar, karena belum sampai satu bulan sudah mencapai fraksi 66 %. Pada umumnya untuk pupuk urea tipe pelepasan terkendali (controlled-release urea) memiliki laju pelepasan maksimal 75 % selama satu bulan perendaman. Untuk riset selanjutnya dapat dilakukan perbaikan dengan mengubah komposisi matriks maupun factor granulasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heri T, Nuryati Leli, Waryanto Budi, Widaningsih Roch, “Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian”, 2016,
- [2] Kohler H.P and Behrman J. R., (2015), “Post 2015 Development Agenda, Indonesian Perspectives Population and Demography”, 2015
- [3] Ibrahim, K.R.M., Farahnaz E.B., Robiah Y. “Comparative performance of Different”, 2014.
- [4] Ha, N., Til Feike, Back Hans, Xiao Haifeng, Bahrs Enno, “The Effect Of Simple Nitrogen Fertilizer Recommendation Strategies On Product Carbon Footprint And Gross Margin Of Wheat And Maize Production In The North China Plain”, *Journal of Environmental Management*, 163 : 146–154, 2015.
- [5] Ni, B., Liu, M. and Lü, S., “ Multifunctional slow-release urea fertilizer from ethylcellulose and superabsorbent coated formulations. *Chemical Engineering Journal*, 155(3) : 892–898, 2009
- [6] Wijesinghe, W.P.S.L. and Weerasinghe, A.M.C.P., “Development of Nano Fertilizer as Slow Release Fertilizer”. *Young Researchers Forum – PGIS . 2 :28–29*, 2015.
- [7] James, D.W. “Urea: A Low Cost Nitrogen Fertilizer with Special Management” , Requirements. *Fertilizer Fact Sheet, Utah State University*. (Dec) : 1–2, 2010.
- [8] Dunn, B., “Nitrogen for rice. IREC Farmers Newsletter” . (183) : 35–37, 2010.
- [9] Shaviv, A., “Controlled release fertilizers. *International Workshop of Enhanced-Efficiency Fertilizers*”. (June) : 28–30, 2005.
- [10] Ghormade, V., Deshpande, M. V & Paknikar, K.M., “ Perspectives for nanobiotechnology enabled protection and nutrition of plants”. *Biotechnology advances*. 29(6) : 792–803, 2011
- [11] Sad Bojic, J . Radovanovic, B. Dimitrijevic, J. “Spectrophotometric Determination of Urea in Dermatologic Formulation and cosmetics”, *The Japan Society for Analytical Chemistry*, Vol 24, hal 769-774, 2008.
- [12] Rozo G, Bohorques L, and Santamaría J, “Controlled release fertilizer encapsulated by a  $\kappa$ -carrageenan hydrogel “ , *Polímeros*, 29(3), e2019033, 2019
- [13] Xiaoyu, N., Yuejin, W., Zhengyan, W., Lin, W., Guannan, Q., & Lixiang, Y. (2013). A novel slow-release urea fertiliser: Physical and chemical analysis of its structure and study of its release mechanism. *Biosystems Engineering*, 115(3), 274–282. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.04.001>