Pengaruh Rasio Berat Zeolit dan Poly Acrilyc Acid (PAA), Waktu Serta Suhu Pada Proses Coating Terhadap Sifat Karakteristik Pupuk Slow Release Fertilizer (SRF)

Dina Adelina
Universitas Pamulang
E-mail: dosen02861@unpam.ac.id

Article History:
Received: 21 September 2024
Revised: 07 Oktober 2024
Accepted: 11 Oktober 2024

Keywords: *PAA, slow release fertilizer (SRF) fertilizer, fertilizer, coating*

Abstract: *The use of slow-release or controlled-release fertilizers (SRF) is one effective approach to reducing nutrient loss. These fertilizers are designed to release nutrients at a controlled rate and time, aligned with the plant's needs. The nutrient release mechanism can be optimized by manipulating the physical or chemical properties of the fertilizer, involving processes such as diffusion, degradation, and hydrolysis. This study aims to analyze the effects of the mass ratio of zeolite and polyacrylic acid (PAA), as well as the influence of time and temperature during the coating process, on the characteristics of slow-release fertilizers (SRF). The goal is to produce SRF that minimizes negative environmental impacts and reduces costs compared to conventional fertilizers. By adjusting these parameters, it is expected that the resulting SRF will be more effective in gradually supplying nutrients to plants and offer a more economical solution than conventional fertilizers, which tend to deplete quickly or are lost through leaching.*

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan pangan yang sejalan dengan pertumbuhan populasi, khususnya di negara-negara berkembang seperti Indonesia, menuntut penggunaan pupuk yang lebih efisien untuk memastikan kesuburan tanah dan hasil tanaman yang optimal (Kaarstad, 1997; Keeney, 1997). Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pangan, permintaan terhadap pupuk juga terus meningkat. Pupuk menjadi komponen penting dalam praktik pertanian untuk menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman agar dapat tumbuh dengan baik. Tanah sering kali tidak mampu menyediakan semua nutrisi yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang cukup, terutama unsur-unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang esensial untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Napitupulu, *et al"* 2010). Selain itu, unsur hara mikro seperti magnesium, seng, dan tembaga juga memainkan peran penting meskipun dibutuhkan dalam jumlah yang lebih kecil. Unsur mikro ini dapat membantu meningkatkan kualitas hasil panen, seperti meningkatkan rasa, aroma, serta ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit (Rosjidi, M. *et al.*, 2018). Namun, aplikasi pupuk secara konvensional sering kali dilakukan dengan dosis yang tinggi untuk mencapai hasil yang maksimal, yang dapat

menyebabkan masalah lingkungan. Nutrisi yang tidak terserap oleh tanaman bisa terlepas ke lingkungan dan menyebabkan kontaminasi air permukaan dan air tanah. Dari hasil beberapa penelitian, kurang lebih setengah dari pupuk yang telah digunakan bisa hilang begitu saja karena pencucian atau volatilisasi, sehingga tidak dimanfaatkan secara efisien oleh tanaman. Untuk mengatasi masalah ini, pupuk slow release atau pupuk dengan pelepasan nutrisi yang terkendali diperkenalkan sebagai solusi yang lebih ramah lingkungan. Pupuk ini dirancang untuk melepaskan nutrisi secara perlahan dan konsisten sesuai dengan laju penyerapan tanaman, sehingga dapat mengurangi risiko pencucian nutrisi ke lingkungan dan mengoptimalkan penggunaan pupuk. Dengan mengendalikan laju pelepasan nutrisi melalui mekanisme seperti difusi, degradasi, atau hidrolisis, pupuk slow release tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga dapat menurunkan biaya penggunaan pupuk dalam jangka panjang (Tomaszewska and Jarosiewicz. 2002; Tomaszewska, M. 2003; Han *et al.*,
2009).

Salah satu metode untuk mengurangi kehilangan unsur hara adalah dengan menggunakan pupuk yang melepaskan nutrisi secara bertahap atau terkontrol.. (Tomaszewska
and Jarosiewicz, 2002; Muslim, S. *et al.*,
2015; Suharti, N. *et al"* 2016). Pupuk yang melepaskan nutrisi secara lambat atau terkontrol dirancang untuk memberikan nutrisi pada waktu tertentu dan dengan laju yang sesuai dengan kebutuhan tanaman. Proses pelepasan nutrisi ini dapat dikendalikan dan dioptimalkan melalui perubahan pada sifat fisik atau kimia pupuk, dengan memanfaatkan mekanisme seperti difusi, degradasi, dan hidrolisis untuk meningkatkan efisiensi pemupukan. (Harmaen, A. *et al.*, 2016).

Pupuk lepas lambat atau terkontrol secara fisik dibuat dengan cara melapisi butiran pupuk konvensional menggunakan berbagai material untuk mengurangi laju pelarutannya. Beberapa bahan yang sering digunakan untuk lapisan ini antara lain sulfur, lilin, polietilen, poliolefin, poliakrilamida, polisulfon, polistiren, dan lignin kraft pinus (Jarosiewicz.A and
Tomaszewska. M, 2003; Cong, Z. *et al.*,
2010).

Penggunaan Slow Release Fertilizer (SRF) merupakan strategi efektif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan pada pembibitan tanaman, seperti kelapa sawit. Nutrisi yang dilepaskan secara bertahap dari SRF lebih sesuai dengan kebutuhan tanaman dibandingkan pupuk konvensional. Hal ini dapat mengurangi pencucian unsur hara dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Karena keunggulannya tersebut, SRF telah digunakan selama bertahun-tahun, dimulai dengan penerapan lapisan sulfururea (Elfarisna, 2013).

SRF memberikan hasil yang lebih optimal dibandingkan dengan penggunaan pupuk dalam jumlah yang berlebihan, karena pemberian pupuk secara berlebihan dapat merusak pertumbuhan tanaman dan mencemari lingkungan. Dampak dari penggunaan pupuk yang berlebihan meliputi kerusakan tanah, pencemaran badan air, pertumbuhan gulma yang tidak terkendali, serta terganggunya ekosistem makhluk hidup lainnya. Umumnya, SRF dilapisi dengan polimer atau sulfur yang dapat larut dalam air untuk mengatur pelepasan nutrisi. Faktor ketebalan lapisan dan suhu media menjadi dua elemen utama dalam mengontrol laju pelepasan nutrisi dari pupuk tersebut (Elfarisna, 2013).

Sebagian besar pupuk SRF yang tersedia di pasaran umumnya menggunakan teknologi pelapisan (*coating)* dengan polimer (Rosjidi, M. *et al.,* 2018). Pada penelitian ini dilakukan *coating* pupuk SRF dengan menggunakan kombinasi zeolit, *poli akrilik acid* (PAA), dan amilum. Menurut Hermanto et al. (2013), asam humat saat ini telah digunakan sebagai tambahan pada

pupuk untuk mendukung peningkatan pertumbuhan tanaman. Turan et al. (2011) menjelaskan jika asam humat, ketika digunakan sebagai tambahan pada pupuk, dapat menambah tingkat pertumbuhan tanaman jagung di tanah dengan kadar garam yang tinggi. Zeolit adalah mineral silikat berongga dimana kapasitas tukar kation (KTK) yang dimilikinya bervariasi, berkisar antara 80 hingga 180 meq/100g (Suwardi, 1995). Kapastas tukar kation (KTK) yang tinggi pada zeolit memberikan kemampuan yang lebih baik untuk menukar kationnya dengan kation lain. Kation penting dalam zeolit bagi tanaman meliputi kalsium dan kalium. Selain itu, rongga-rongga di dalam zeolit memiliki ukuran yang cocok untuk ion amonium, sehingga zeolit dapat menyerap amonium dengan efisien. Pemanfaatan zeolit sebagai bahan pendukung untuk zat pelepas lambat didasarkan pada luas permukaannya dan kemampuan adsorpsinya yang cukup tinggi. (Senda et al., 2009).

Analisis dan karakterisasi yang dilakukan mencakup pengujian kadar air serta uji kekuatan hancur (crushing strength) pada pupuk yang dihasilkan melalui metode *deep coating. Deep coating* adalah suatu teknik pelapisan pupuk NPK yang dilakukan dengan mencelupkan butiran granul pupuk NPK ke dalam larutan pelapis. (Saleh, M. *et al.,* 2018).

Rumusan Masalah

Berdasarkan pernyataan di atas, rumusan masalah penelitian yang bisa ditelusuri, yaitu : "Bagaimana pengaruh rasio berat zeolit dan *poly acrylic acid* (PAA) waktu serta suhu pada proses coating serta bagaimana sifat karakteristik pupuk *slow release fertilizer* (SRF) yang dihasilkan ?"

TINJAUAN PUSTAKA

Dasar Teori

Pupuk

Pupuk adalah salah satu sumber nutrisi buatan yang penting untuk mengatasi kekurangan unsur hara, terutama nitrogen, fosfor, dan kalium. Di sisi lain, unsur-unsur seperti sulfur, kalsium, magnesium, besi, tembaga, seng, dan boron diperlukan dalam jumlah yang lebih kecil sebagai mikronutrien. Pupuk nitrogen mengandung unsur hara yang esensial bagi tanaman, yaitu nitrogen (N). Bentuk senyawa N umumnya berupa nitrat, amonium, amin, sianida. Contoh : Kalium nitrat (KNO_3), amonium fosfat $(NH_4)_3PO_4$, urea (CH_4N_2O) dan kalsium sianida ($CaCN_2$). Bentuk pupuk N ini berupa kristal, pril, pelet, tablet maupun cair (Sari, 2013).

Pupuk NPK

Pupuk NPK (Nitrogen Phospat Kalium) merupakan pupuk majemuk cepat tersedia yang paling dikenal saat ini. Bentuk pupuk NPK yang sekarang beredar di pasaran adalah pengembangan dari bentuk-bentuk NPK lama yang kadarnya masih rendah. Kadar NPK yang banyak beredar yaitu

15-15-15, 16-16-16, dan 8¬20-
15. Kadar lain yang tidak terlalu umum beredar yaitu 6-12-15, 12-
12-12, atau 20-20-20. Tiga tipe pupuk NPK yang pertama sangat

Batasan Penelitian

1. Penelitian ini dilakukan berdasarkan metode coating.
2. Penelitian ini dilakukan menggunakan pupuk NPK yang diformulasi sendiri dan ditambahkan zeolit alam. Tipe pupuk NPK tersebut juga sangat populer karena kadarnya cukup tinggi dan memadai untuk menunjang pertumbuhan tanaman. Sebagian pupuk NPK yang beredar merupakan pupuk impor, terutama dari Norwegia, Swedia, Jerman, Jepang, dan Amerika Serikat (Hardjowigeno, S. 2007). Indonesia sudah dapat membuat pupuk NPK

namun bahan baku KCl dan pupuk fosfat masih import.

***Slow Release Fertilizer* (SRF)**

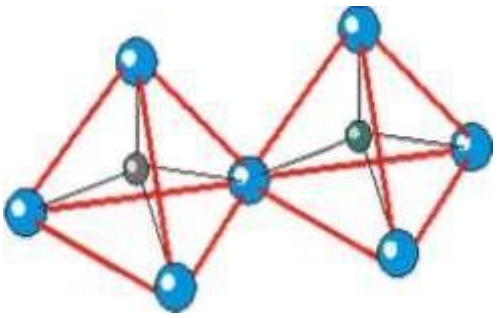
Pupuk lepas lambat dan pupuk dengan kontrol pelepasan adalah jenis pupuk yang menyimpan unsur hara dengan cara menunda ketersediaannya untuk penyerapan oleh tanaman. Prinsip dasar dari SRF adalah mengatur pelepasan nutrisi dari pupuk untuk melindungi pupuk yang larut secara konvensional melalui pelapisan dengan bahan semipermeabel, yang tidak larut dalam air atau menggunakan bahan berpori yang permeabel. Pengaturan ini mencakup kecepatan aliran air, laju pemisahan, serta kebutuhan pelepasan nutrisi dari pupuk (Shoji, S. and Gandeza, AT., 1992).

Slow Release Fertilizer (SRF) dirancang khusus untuk pemupukan yang terkontrol, sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga dapat meningkatkan kandungan gizi, efisiensi penggunaan, serta hasil panen. Pelepasan pupuk yang terkontrol yang ideal dilapisi dengan bahan alami atau semi-alami yang ramah lingkungan, berupa makromolekul yang dapat menghambat pelepasan pupuk, sehingga memperlambat laju pelepasan ke tanah dan memenuhi kebutuhan nutrisi sesuai dengan model pertumbuhan tanaman (Azeem, B. et al., 2014).

Zeolit

Struktur zeolit terdiri dari tiga dimensi tetrahedral silikat yang disebut tektosilikat. Dalam struktur ini sebagian Si^{4+} digantikan oleh Al^{3+} sehingga menghasilkan muatan listrik negatif kristal tersebut bertambah. Kelebihan muatan negatif ini biasanya diimbangi oleh kation-kation logam K^{+}, Na^{+} dan Ca^{+} yang menduduki dalam struktur kristal mineral zeolit yang bersangkutan sehingga zeolit dapat bermuatan netral (Harjanto, 1987).

Sifat-sifat zeolit memberikan pengaruh positif, antara lain memiliki muatan negatif yang tinggi, sehingga mampu mengikat unsur hara dan melepaskannya secara perlahan. Zeolit juga memiliki kemampuan menyimpan air yang tinggi serta menekan keberadaan unsur beracun seperti Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Selain itu, zeolit dapat menyerap atau menyimpan pupuk dan melepaskannya sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga penggunaan pupuk menjadi lebih efisien (Budiono, 1999). Zeolit memiliki sifat fisik yang unik, seperti kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, kemampuan adsorpsi yang baik, dan stabilitas termal. KTK zeolit dapat bervariasi antara 80 hingga 180 meq/100g, yang memungkinkan zeolit untuk berfungsi sebagai penyimpan nutrisi. Sifat adsorpsinya memungkinkan zeolit untuk mengikat air dan nutrisi, serta mengurangi kadar unsur beracun di dalam tanah, seperti Al, Pb, dan Cd. Selain itu, zeolit juga memiliki kapasitas untuk menyimpan kelembaban, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam pertanian. Dalam konteks pertanian, zeolit berfungsi sebagai media penyimpanan unsur hara dan air. Kelebihan muatan negatif pada zeolit memungkinkan mineral ini untuk mengikat unsur hara dan melepaskannya secara bertahap sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dengan cara ini, zeolit tidak hanya meningkatkan ketersediaan nutrisi tetapi juga mengurangi risiko pencemaran lingkungan akibat pencucian pupuk. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan zeolit dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan hasil panen, terutama dalam kondisi tanah yang kurang subur. Struktur kristal zeolit terdiri dari atom Si dan Al dal am bentuk tetrahedra (TO4) disebut Unit Bangun Primer, pengidentifikasian zeolit hanya dapat dilaksanakan berdasarkan Unit Bangun Sekunder (UBS) sebagaimanaterlihat pada berikut:



Gambar 2.1 Tetrahedra alumina dan silika (TO4) pada struktur zeolit (Las, 2005).

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Proses Industri Kimia Pusat Teknologi Sumberdaya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT).

Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama kurang lebih 3 bulan, dimulai pada tanggal 01 September-01 Desember 2021.

Variable Penelitian

Variable yang digunakan dalam penelitian

Pembuatan pupuk *slow release fertilizer* akan diuji menggunakan proses *coating* dengan variable bahan yang digunakan yaitu zeolit, *poly acrylic acid* (PAA), amilum.

Parameter yang digunakan dalam penelitian

Parameter yang diuji pada penelitian ini pengaruh rasio berat, waktu serta suhu pada proses *coating* sifat karakteristik pupuk *slow release fertilizer* (SRF)

Alat dan Bahan Penelitian

Alat

Peralatan yang digunakan adalah beaker glass 50 mL, gelas ukur 25 mL, labu ukur 10 mL dan 50 mL, pipet, spatula, cawan aluminium berukuran kecil dan besar, timbangan analitik, Hot plate, magnetic stirrer, pinset, botol 100 mL, aluminium tray, desikator, oven, hardness tester, corong pemisah, labu Erlenmeyer, kertas saring, dan NPK Meter.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah pupuk NPK 15-10-10-4-3, zeolit, poly acrilyc acid (PAA), amilum (sagu), aquades, pereaksi argentum, pereaksi amolvan, dan pereaksi nessler.

Prosedur Kerja

Pembuatan Pupuk *Slow Release Fertilizer* (SRF)

Pembuatan pupuk SRF yang dilakukan mengikuti prosedur BPPT dengan teknologi fuse pada suhu kamar yang terdiri dari proses size reduction, granulation dan pengeringan produk. Size reduction dilakukan menggunakan crusher. Adapun proses granulasi menggunakan pan granulator dan pengeringan menggunakan rotary dryer.

Pembuatan Larutan Coating Zeolit dan PAA

Ditimbang ± 6 gram dan 5 gram zeolit di haluskan sampai 100 mesh lalu di tambahkan *Poly Acrilyc Acid* (PAA) dengan variasi massa 6 gram, dan 7 gram, kemudian dilarutkan dalam 60 mL air. Ditimbang ± 3 gram amilum (sagu) dan dilarutkan dalam 40 mL air. Kemudian kedua larutan tersebut dicampur merata dengan cara di panaskan.

Proses Pembuatan Pupuk SRF Dengan Metode *Deep-Coating*

Dituangkan ± 3 mL larutan induk *coating* zeolit ke dalam *beaker glass* 50 mL. Pupuk SRF sebanyak 12 granul dicelupkan ke dalam larutan *coating* tersebut, lalu ditiriskan dan diletakkan pada *microscope slides*. Dilakukan pengeringan dengan variasi suhu 80°C dan 90°C dan variasi waktu 90 menit, 180 menit. Setelah dikeringkan pupuk SRF diletakkan pada desikator selama 15 menit lalu dilakukan pengujian *crushing strength,* kadar air, dan % kelarutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Coating Pupuk SRF dengan Zeolit dan PAA Metode *Deep Coating*

Pembuatan larutan coating zeolit terdiri dari kombinasi zeolit, PAA, dan amilum. *Poly acrilyc acid* (PAA) yang digunakan bervariasi mulai dari PAA 6 gram dan PAA 7 gram. Zeolit yang digunakan juga bervariasi massanya mulai dari zeolit 5 gram dan zeolit 6 gram.



Gambar 4.1 PAA ditambahkan 20 mL aquades.

Gambar 4.1 merupakan gambar larutan PAA yang telah ditambahkan dengan 20 mL air, dimana sebelum ditambahkan dengan air PAA berbentuk seperti gel berwarna kuning ketika ditambahkan dengan air warna larutannya berubah menjadi berwarna kuning bening dan PAA larut dalam air sehingga warna kuning dari PAA menjadi pudar dikarenakan PAA bersifat sebagai polimer super absorbent yang berfungsi menyerap dan mempertahankan air. PAA dalam larutan pelapis *(coating)* berperan sebagai tambahan yang memengaruhi pelepasan SRF NPK. PAA berfungsi sebagai agen penyerap untuk meningkatkan kekuatan larutan pelapis tersebut (Saleh, M., et al., 2018).

Poly acrilyc acid (PAA) merupakan polimer *superabsorbent* (SAP) yang digunakan sebagai coating kedua untuk pupuk lambat

urai (Wu et al., 2003; Guo et al.,
2005; Qiao et al., 2016). Polimer super absorbent (SAP) adalah jaringan polimer tiga dimensi yang mampu menyerap dan menyimpan air serta larutan aquades dalam jumlah yang besar (Buchholz et al., 1998; Brannon- Peppas dan Harland, 1990). Karakteristik yang diharapkan dari SAP meliputi kapasitas penyerapan air yang tinggi, kecepatan penyerapan yang cepat, serta kekuatan gel yang tinggi saat mengembang (high absorbency under load). Selain itu, SAP juga diharapkan memiliki kapasitas penyerapan dalam larutan dengan tingkat salinitas yang tinggi dan kandungan gel yang tinggi. (Pourjavadi dan Salimi,
2008).



Gambar 4.2 Larutan Amilum ditambahkan 20 mL Aquades

Untuk larutan amilum terdapat pada Gambar 4.2, dimana ketika amilum yang berbentuk serbuk dan berwarna putih ditambahkan dengan air larutannya menjadi warna putih tetapi terbentuk suspensi pada larutan amilum dikarenakan amilum sukar larut dalam air. Amilum dalam larutan pelapis berfungsi sebagai aditif yang meningkatkan kekuatan pelapis tersebut, karena kelarutan amilum dalam air lebih rendah dibandingkan dengan nutrisi, terutama pupuk urea. (Saleh, M., et al., 2018).



Gambar 4.3 Larutan Amillum 20 mL ditambahkan kedalam Larutan zeolit 20 mL.

Gambar 4.3 merupakan gambar campuran larutan Zeolit dan PAA dimana ketika larutan Zeolit ditambahkan dengan PAA dan ditambahkan air hingga volumenya menjadi 60 mL larutannya menjadi berwarna abu - abu sedikit keputihan dan larutannya menjadi kental. Larutan menjadi kental dikarenakan larutan zeolit ditambahkan dengan larutan PAA yang sudah melewati proses pemanasan dengan suhu 80°C dan kecepatan pengadukan 280rpm sehingga larutan berubah menjadi kental.

atau perekat sehingga larutannya menjadi semakin kental.

Selanjutnya dilakukan proses *coating* pupuk SRF dengan metode *deep-coating*, lalu dikeringkan dengan variasi suhu
80°C dan 90°C dan variasi waktu 90 menit dan 180 menit. Pupuk SRF sebelum di lalukan proses coating berwarna abu-abu tetapi ketika sudah dilakukan proses *coating* pupuk SRF menjadi warna abu- abu sedikit keputihan, hal ini dikarenakan pupuk SRF sudah dilapisi oleh larutan coating Zeolit yang berwarna abu-abu.



Gambar 4.5 Gambar pupuk NPK Sebelum proses Coating.





Gambar 4.6 Gambar pupuk NPK sesudah proses Coating.

Crushing Strength* Pupuk SRF Hasil *Deep Coating

Gambar 4.4 Larutan coating Zeolit yang sudah dicampur dengan PAA dan Amilum

Pada Gambar 14 merupakan larutan coating Zeolit yang sudah selesai dibuat yang terdiri dari zeolit, PAA, dan amilum. Larutan yang dihasilkan berwarna abu-abu sedikit keputihan dan larutannya sangat kental, amilum dapat digunakan sebagai polimer pelapis

Dalam penelitian ini menggunakan tiga variabel yaitu variabel pertama adalah campuran zeolit 5 gram dengan PAA 6 gram, variabel kedua merupakan campuran zeolit 5 gram dengan PAA 7 gram, variabel ketiga yaitu campuran zeolit 6 gram dengan PAA 6 gram.

Metode deep-coating sendiri merupakan proses coating pupuk SRF yang di celupkan langsung ke dalam larutan coating zeolit yang nantinya di letakkan pada aluminium tray lalu di lakukan pemanasan pada suhu dan waktu yang telah ditentukan.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa pupuk SRF hasil deep coating yang paling baik adalah yang dilapisi Zeolit 6 gram dan PAA 6 gram dengan waktu coating 180 menit dan suhu coating 90oC yang memiliki kadar air 1,21% dan kekuatan (crushing strength) 31,96 N. Hasil tersebut sudah sesuai dengan SNI pupuk NPK padat nomor 2803:2010. **Saran**

Saran agar memberikan hasil pupuk SRF yang lebih baik perlu dilakukan pelapisan pupuk SRF dengan metode spray, dikarenakan larutan pelapis yang digunakan hanya sedikit sehingga lapisannya tidak terlalu tebal dan perlu dilakukan observasi struktur mikro dengan instrument SEM *(Scanning Electron Microscopy)* untuk melihat struktur morfologi pupuk SRF sudah terlapisi semua atau belum dengan pelapis *coating.*

DAFTAR REFERENSI

Abraham, J., Pillai, V.N.R. 1996. *Membrane-Encapsulated Controlled Release Urea Fertilizers Based on Acrylamide Copolymers*. Journal of Applied Polymer Science. 60: 2347-2351.

Adnyana. 1986. Kandungan Unsur Biogas. Yogyakarta : UGM.

Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO). 1997. Official Publication No. 50. West Lafayette: AAPFCO. Inc.

Azeem, B., Kushaari, K., Man, Z. B., Basit, A., & Thanh, T. H. 2014. Review on *Materials & Methods to Produce Controlled Release Coated Urea Fertilizer*. Journal of Controlled Release. 181: 11-21.

Bakass, M., Mokhlisse, A., & Lallemant, M. 2002. *Absorption and Desorption of Liquid Water By A Superabsorbent Polymer: Effect of Polymer In The Drying of The Soil And The Quality Of Certain Plants.* Journal of Applied Polymer Science. 83: 234-243.

Brannon, P.L. dan Harland, RS. 1990. *Absorbent Polymer Technology.* *Amsterdam* : Elsevier.

Buchholz, F.L. dan Graham, A.T. 1998 *Modern Super absorbent Polymer Technology.* New York : WileyVCH.

Cong, Z., Yazhen, S., Changwen, D., Jianmin, Z., Huoyan, W., & Xiaoqin, C. 2010. *Evaluation of Waterborne Coating for Controlled Release Fertilizer Using Wurster Fluidized Bed*. Industrial&Engineering Chemistry Research. 49(20):

9644-9647.

Elfarisna. 2013. Pemberian Beberapa Dosis Pupuk Multicote Terhadap Pertumbuhan Akasia (Acacia mangium) di Pembibitan. JurnalMatematika, Sains, dan Teknologi, 14(2): 128-134.

Ferrara, G and Brunetti, G. 2010. *Effect of the times of aplication of a soil humic acid on berry quality of table grape (Vitis vinifera L.) cv Italia*. Spanish J. Agric. 8(3): 817-822. Fessenden dan Fessenden. 1999. Kimia Organik. Jilid 1. Jakarta : Erlangga.

Garci'a, M.C., Di'ez, J.A., Vallejo, A., Garci'a, L., Cartagena, M.C. 1996. *Use of Kraft Pine Lignin in Controlled Release FertilizerFormulations*. Industrial Engineering Chemical Research. 35: 245-249.

Guo, M., Liu, M., Zhan, F., Wu, L. 2005. *Preparation and properties of slow-release membrane- encapsulated urea fertilizer with superabsorbent and moisture preservation.* Industrial &Engineering Chemistry Research. 44: 4206-4211.

Han, X., Chen, S., Hu, X. 2009. *Controlled-release fertilizer encapsulated by starch/polyvinyl alcohol coating*. Desalination. 240: 21-26.

Hardjowigeno S. 2007. Ilmu tanah. Jakarta : Akademika Presindo. Harmaen, A.S., Khalina, A., Mohd, H.A., & Nor, I.A. 2016. *Thermal, Morphological, and Biodegradability Properties of Bioplastic Fertilizer Composites Made of Oil Palm Biomass, Fertilizer, and Poly(hydroxybutyrate-co valerate*. International Journal of Polymer Science. 2016 (8).

Qiao, D., Liu, H., Yu, L., Bao, X., Simon, G.P., Petinakis, E., Chen, L. 2016. *release fertilizer encapsulated by starch-based superabsorbent polymer*. Carbohydr Polym. 147: 146−154. Rosjidi, M. Saputra, H. Wahyudi, I.

Setyorini, D. dan Widowati, L.R. 2018.Pupuk Controlled Release Fertilizer (CRF) Untuk Tanaman Bawang Merah. M.I.P.I. 12(3): 191-196.

Saleh, M., Zulmanwardi, Pasanda, O.S.R. 2018.Pembuatan Pupuk Srf (SlowRelease Fertilizer) Dengan Menggunakan Polimer Amilum. Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M).80-85.

Salman , A.D., Fua, J., Gorham, D.A., Hounslow, M.J. 2003. *Impact breakage of fertiliser granules.*Powder Technology. 130: 359-366.

Sari, E. P. 2013.Formulasi Pupuk Nitrogen Lambat tersedia dari bahan UreaZeolit, dan asam

Humat serta Pengaruhnya terhadap Tumbuhan Jagung(Skripsi).Bogor : Institut Pertanian Bogor.

Shaviv A. 2005. *Controlled Release Fertilizers.Proceedings of International Fertilizer Association (IFA) - International Workshop on Enhanced-Efficiency Fertilizers*.Frankfurt, Jerman.28-30 Juni 2005.

Shoji, S. and Gandeza, A. T. 1992.*Controlled Release Fertilizers with Polyolefin Resin Coating. Kanno Printing. Co. Ltd. Sendai*. Japan, pp. 1-92.

SNI 2803:2010. Pupuk NPK Padat. Badan Standardisasi Nasional (BSN).