

SINTESIS DAN KARAKTERISASI UREA-HIDROKSIAPATIT DENGAN VARIASI Ca(OH)_2 SEBAGAI KANDIDAT PUPUK LEPAS LAMBAT

Synthesis and Characterization of Urea-Hydroxyapatite with Ca(OH)_2 Variations as Slow Release Fertilizer Candidate

Syahiful Hadi¹⁾, Suryajaya²⁾, Abdullah³⁾, Kissinger^{1), 4)}

- 1) Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan
Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat
e-mail : syahifulhadi.physics@gmail.com
- 2) Program Studi Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
- 3) Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
- 4) Fakultas Kehutanan Universitas Lambung Mangkurat

Abstract

Urea-hydroxyapatite can be used as fertilizer which was efficient and environmentally friendly. The variation of Ca(OH)_2 in the urea-hydroxyapatite's synthesis and its characterization would provide information for manufacturing slow release fertilizer. The material used were urea (99.5 %); Ca(OH)_2 ; H_3PO_4 0.67 M and distilled water. The synthesis technique used in this study is bottom-up with Ca(OH)_2 variation of 6, 8, 10 and 12 grams. The results of the synthesis with 6 grams of Ca(OH)_2 was not able to produce sediment powder. The results of the Scanning Electron Microscopy (SEM) showed that the urea packaging with hydroxyapatite was better for variations of Ca(OH)_2 8 grams and 10 grams. The results of the Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDX) showed more elemental composition in the variation of Ca(OH)_2 8 grams and 10 grams which were 35.7 Wt% and 40.4 Wt%. The results of the Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) showed that the variation of Ca(OH)_2 8 gram has a good bonding of urea and hydroxyapatite. The Particle Size Analyzer (PSA) measurement for all samples of urea-hydroxyapatite yielded the particle size of about 0.5–2.5 μm and 10–15 μm for urea and hydroxyapatite, respectively. As a conclusion, the variation of Ca(OH)_2 8 grams could be recommended as a reference in the composition of urea-hydroxyapatite fabrication for slow release fertilizer.

Keywords: Urea-hydroxyapatite; Scanning Electron Microscopy (SEM); Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDX); Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR); Particle Size Analyzer (PSA)

PENDAHULUAN

Nitrogen merupakan unsur hara penting pada tanaman yang berfungsi sebagai pembentukan protein, sintesis klorofil dan proses metabolisme (Albari, Supijatno, & Sudradjat, 2018). Nitrogen dalam kegiatan pertanian dan perkebunan dipenuhi melalui proses pemupukan, seperti penggunaan pupuk urea. Penggunaan pupuk urea berlebih pada kegiatan pertanian dan

perkebunan mengakibatkan pencemaran lingkungan. Pupuk urea hanya memberikan sebagian kecil nutrisi yang diserap tanaman dan sisanya terbuang ke lingkungan (Guru, Thatikunta, & Reddy, 2015).

Pupuk lepas lambat (*slow release fertilizer*) telah menjadi tren baru dalam menghemat penggunaan, meminimalkan polusi lingkungan (Corradini, de Moura, & Mattoso, 2010) (Madusanka et al., 2017) dan sebagai teknologi pertanian berkelanjutan

(Guru et al., 2015) (Naderi & Danesh-Shahraki, 2013). Kemampuan lepas lambat dalam pupuk mampu mengatur ketersediaan unsur hara di tanah dan mampu mengurangi interaksi berlebih antara nutrisi dengan tanah, air dan udara (Guru et al., 2015).

Beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai pembungkus nutrisi pupuk adalah zeolit (Manikandan & Subramanian, 2016) (Rajonee, Zaman dan Huq, 2017), kitosan (Corradini, de Moura dan Mattoso, 2010), dan hidroksiapatit (Brundavanam, Eddy, Poinern, & Fawcett, 2013) (Mondal, Mondal, Dey, & Mukhopadhyay, 2012) (Giroto, Guimarães, Foschini, & Ribeiro, 2017) (Subbaiya, 2012) (Madusanka et al., 2017). Hidroksiapatit merupakan pembungkus dengan kelebihan biokompabilitas dan luas permukaan tinggi (Kottegoda et al., 2017).

Formulasi yang tepat sangat penting didapatkan dalam sintesis urea-hidroksiapatit. Banyaknya jumlah urea yang mampu dipertahankan di dalam hidroksiapatit yang minimum merupakan hasil yang mampu memberikan efektifitas dalam produksi. Sehingga perlu dilakukan pengamatan partikel dalam sintesis urea-hidroksiapatit dengan variasi Ca(OH)_2 yang merupakan pembentuk hidroksiapatit.

Teknik *bottom-up* merupakan teknik sintesis dengan hasil homogenitas partikel yang cukup tinggi (Hadi et al., 2018). Untuk mengetahui hasil sintesis urea-hidroksiapatit perlu dilakukan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengamati morfologi partikel, *Energy Dispersive X-Ray Spectrometry* (EDX) untuk mengamati komposisi unsur, *Fourier Transform Infrared Spectrometer* (FTIR) untuk mengamati ikatan antara unsur dan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengamati distribusi ukuran partikel.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan variasi Ca(OH)_2 yang tepat dalam sintesis pupuk urea-hidroksiapatit dan mendapatkan hasil analisis dari karakterisasi urea-hidroksiapatit dengan variasi Ca(OH)_2 . Variasi Ca(OH)_2 yang tepat dalam mensintesis dan hasil analisis dari

karakterisasi urea-hidroksiapatit mampu memberikan informasi dalam pabrikasi pupuk urea-hidroksiapatit sebagai kandidat pupuk lepas lambat (*slow release fertilizer*).

METODE PENELITIAN

Sintesis

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Urea 99,5%, Ca(OH)_2 , H_3PO_4 0,67 M dan Akuades. Sintesis menggunakan teknik *bottom-up* dengan variasi Ca(OH)_2 . Sintesis dilakukan dengan mencampurkan 60 gram Urea pada variasi penambahan Ca(OH)_2 (Tabel 1) di dalam Akuades (100 cm^3) selama 45 menit. Larutan yang homogen dicampurkan dengan 0,67 M H_3PO_4 (100 cm^3) tetes demi tetes dan dilakukan pengadukan menggunakan *magnetik stirer*. Hasil campuran dikeringkan menggunakan oven pada suhu 250°C selama 6 jam.

Tabel 1. Sintesis Hidroksiapatit dan Urea-hidroksiapatit

Sampel	Urea	Ca(OH)_2	$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_3\text{PO}_4$
1	-	8 g	100 cm^3
2	60 g	6 g	100 cm^3
3	60 g	8 g	100 cm^3
4	60 g	10 g	100 cm^3
5	60 g	12 g	100 cm^3

Sampel 1 adalah hidroksiapatit tanpa urea yang merupakan pembungkus urea, sedangkan sampel 2, 3, 4 dan 5 merupakan urea-hidroksiapatit dengan variasi Ca(OH)_2 .

Karakterisasi

Karakterisasi dilakukan pada sampel dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengamati morfologi partikel, *Energy Dispersive X-Ray Spectrometry* (EDX) untuk mengamati komposisi unsur, *Fourier Transform Infrared Spectrometer* (FTIR) untuk mengamati ikatan antara unsur dan *Particle Size Analyzer* (PSA) untuk mengamati

distribusi ukuran partikel yang terbentuk dari setiap sintesis. Pengamatan dilakukan terhadap hasil sintesis pada variasi Ca(OH)_2 dan hasil karakterisasi SEM, EDX, FTIR dan PSA yang memberikan informasi partikel secara lengkap. Sehingga

didapatkan variasi Ca(OH)_2 yang tepat dalam sintesis untuk menghasilkan urea-hidroksiapatit dengan karakteristik partikel yang memiliki potensi sebagai kandidat pupuk lepas lambat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

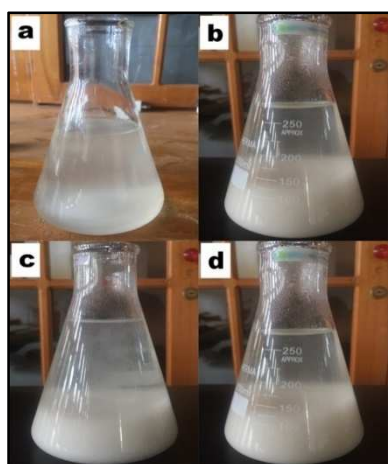
Hasil Sintesis

Tabel 2. Hasil sintesis Hidroksiapatit dan Urea-hidroksiapatit

Sampel	Urea	Ca(OH)_2	H_2O	H_3PO_4	Hasil Endapan
1	-	8 g	100 cm ³	100 cm ³	12,5 g
2	60 g	6 g	100 cm ³	100 cm ³	0 g
3	60 g	8 g	100 cm ³	100 cm ³	43,0 g
4	60 g	10 g	100 cm ³	100 cm ³	36,3 g
5	60 g	12 g	100 cm ³	100 cm ³	51,1 g

Perbedaan variasi Ca(OH)_2 diberikan untuk mengetahui pengaruh Ca(OH)_2 terhadap hasil endapan serbuk. Sintesis menggunakan teknik *bottom-up* dilakukan untuk menghasilkan hidroksiapatit tunggal tanpa urea (sampel 1) dan urea-hidroksiapatit (sampel 2, 3, 4 dan 5). Perbedaan variasi Ca(OH)_2 dalam sintesis urea-hidroksiapatit menghasilkan jumlah endapan yang berbeda.

(Gambar 1b, 1c dan 1d). Kondisi berbeda dimiliki pada sampel 2 yang tidak mengalami pemisahan endapan dengan larutan (Gambar 1a) pada sampel urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)_2 6 gram. Hasil pemisahan antara endapan dengan larutan dikeringkan untuk menghasilkan serbuk urea-hidroksiapatit (Gambar 2). Hasil pembentukan serbuk urea-hidroksiapatit lebih banyak didapatkan pada hasil sintesis dengan variasi Ca(OH)_2 12 gram (Tabel 2). Namun banyaknya hasil serbuk urea-hidroksiapatit dari proses sintesis tidak dapat didefinisikan sebagai banyaknya urea yang dipertahankan dalam hidroksiapatit. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut terhadap banyaknya urea yang mampu dipertahankan di dalam hidroksiapatit setiap perbedaan variasi Ca(OH)_2 yang diberikan.



Gambar 1. Hasil endapan urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)_2 (a) 6 gram, (b) 8 gram, (c) 10 gram dan (d) 12 gram

Sampel 1, 3, 4 dan 5 menghasilkan endapan yang terpisah dengan larutan

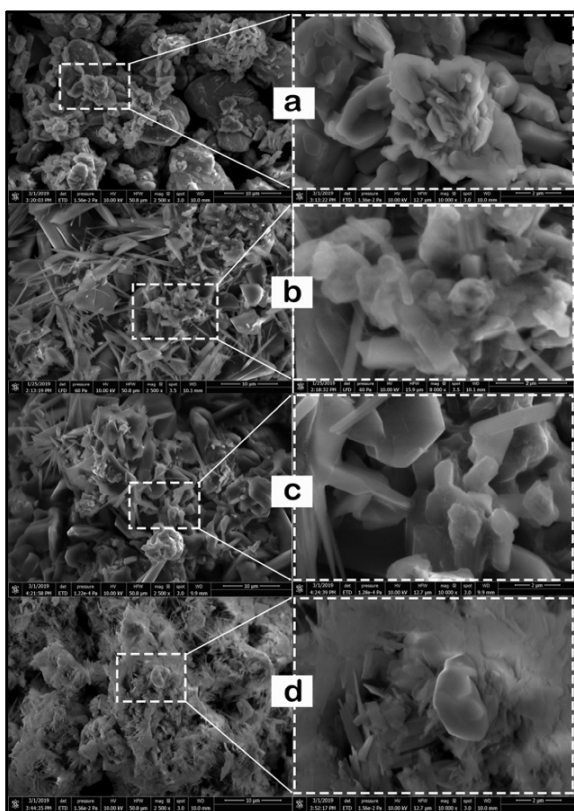


Gambar 2. Hasil Endapan Serbuk Urea-Hidroksiapatit Setelah Proses Pengeringan

Hasil Karakterisasi

Banyaknya serbuk urea-hidroksiapatit dari proses sintesis yang dihasilkan tidak dapat diidentifikasi sebagai banyaknya urea yang dipertahankan di dalam pembungkus hidroksiapatit. Sehingga dengan dilengkapi data karakterisasi dapat memberikan informasi secara lengkap dan menyeluruh terhadap karakteristik partikel yang terbentuk dari proses sintesis. Karakterisasi memberikan informasi bentuk, ukuran, morfologi, komposisi unsur dan interaksi ikatannya. Karakterisasi tidak dilakukan pada sampel 2 dengan variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 6 gram karena tidak munculnya endapan yang digunakan sebagai sampel serbuk.

Scanning Electron Microscopy (SEM)



Gambar 3. Hasil SEM perbesaran 2.500 kali dan 10.000 kali dengan (a) hidroksiapatit (b) urea - hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 8 gram (c) urea - hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 10 gram dan (d) urea - hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 12 gram.

Scanning Electron Microscopy (SEM) memberikan informasi ukuran partikel secara umum dan morfologi partikel dalam rentang mikrometer. Sebagian besar partikel yang terbentuk dari proses sintesis pada sampel berukuran sekitar 10 μm dengan agregasi partikel pada setiap sampel. Hasil karakterisasi SEM memperlihatkan morfologi partikel menggumpal yang dapat diidentifikasi sebagai hidroksiapatit (Gambar 3a) sedangkan partikel seperti jarum dapat diidentifikasi sebagai urea (Gambar 3b, 3c dan 3d). Hasil karakterisasi SEM gambar 3a memperlihatkan morfologi partikel hidroksiapatit yang merupakan pembungkus tanpa urea. Gambar 3b, gambar 3c dan gambar 3d memperlihatkan morfologi urea-hidroksiapatit pada variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 8 gram, 10 gram dan 12 gram. Karakterisasi SEM mampu memperlihatkan ukuran secara umum, bentuk dan morfologi partikel setiap variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Hasil karakterisasi SEM pada urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 8 gram dan 10 gram memperlihatkan kondisi urea di dalam hidroksiapatit. Beberapa partikel berbentuk jarum yang diidentifikasi sebagai bentuk dari urea terlihat pada hasil karakterisasi SEM. Terlihat pada hasil karakterisasi SEM partikel berbentuk jarum pada urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 8 gram dan 10 gram dengan jumlah yang kecil, sehingga diidentifikasi sebagian besar urea lainnya mampu dibungkus dalam hidroksiapatit. Urea yang dapat dipertahankan didalam hidroksiapatit mampu mengurangi interaksi antara nitrogen dengan lingkungan (tanah, air dan udara) secara langsung agar pelepasan nutrisi nitrogen dapat berlangsung secara berkala di lingkungan.

Hasil karakterisasi SEM urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 12 gram memperlihatkan bentuk seperti jarum yang cukup banyak. Gambar 3d memperlihatkan urea lebih banyak berada pada bagian luar hidroksiapatit (tidak terbungkus oleh hidroksiapatit). Kondisi ini memiliki tingkat reaktifitas antara urea dengan lingkungan lebih tinggi, sehingga memiliki potensi

unsur nitrogen lebih cepat terurai. Urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)_2 12 gram mampu menghasilkan jumlah serbuk endapan yang lebih banyak (Tabel 2) dari hasil sintesis sampel, namun dari hasil analisis karakterisasi SEM diidentifikasi bahwa urea tidak mampu dibungkus dalam hidroksiapatit dengan baik.

Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDX)

Energy Dispersive X-Ray Spectrometry (EDX) mampu memberikan informasi komposisi unsur kimia yang ada pada sampel urea-hidroksiapatit. Unsur-unsur yang merupakan penyusun hidroksiapatit adalah Oksigen, Fosfor, Kalsium dan Kalium, sedangkan unsur

utama dalam Urea adalah Nitrogen. Sehingga fokus utama dalam analisis hasil karakterisasi ini adalah banyaknya persentase urea yang mampu dipertahankan dalam sampel urea-hidroksiapatit pada perbedaan variasi Ca(OH)_2 .

Sampel 1 merupakan hidroksiapatit tunggal tanpa urea. Sampel 3 dan 4 merupakan urea-hidroksiapatit dengan variasi Ca(OH)_2 8 gram dan 10 gram yang memiliki komposisi nitrogen cukup besar, sedangkan sampel 5 saat diberikan variasi Ca(OH)_2 12 gram mengalami penurunan komposisi persentase nitrogen. Kondisi variasi Ca(OH)_2 8 gram dan 10 gram pada sampel 3 dan sampel 4 mampu mempertahankan komposisi urea didalam hidroksiapatit lebih baik dibandingkan variasi Ca(OH)_2 12 gram.

Tabel 3. Hasil Karakterisasi EDX

Sampel	Wt%				
	Oksigen	Fosfor	Kalsium	Kalium	Nitrogen
1	48,6	20,1	21,2	5,5	-
3	35,4	6,2	-	22,7	35,7
4	31,1	4,7	-	22,5	40,4
5	45,1	15,8	15,0	8,5	15,6

Hasil karakterisasi EDX ini sangat mendukung dalam analisis hasil karakterisasi SEM sebelumnya yang menjelaskan unsur nitrogen memiliki potensi terurai di lingkungan lebih cepat pada kondisi variasi Ca(OH)_2 12 gram. Terlihat pada hasil karakterisasi EDX (Tabel 3) yang menjelaskan nitrogen dalam sampel variasi Ca(OH)_2 12 gram hanya sebesar 15,6 Wt%. Hasil karakterisasi SEM sebelumnya yang menjelaskan adanya sebagian besar urea berada di dalam hidroksiapatit pada variasi Ca(OH)_2 8 gram dan 10 gram didukung oleh hasil karakterisasi EDX berupa nilai komposisi. Komposisi unsur nitrogen pada urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)_2 8 gram dan 10 gram mampu dipertahankan sebesar 35,7 Wt% dan 40,4 Wt%. Urea-hidroksiapatit dengan variasi Ca(OH)_2 yang minimum yaitu 8 gram sudah mampu mempertahankan nitrogen didalam

hidroksiapatit dengan komposisi yang cukup besar.

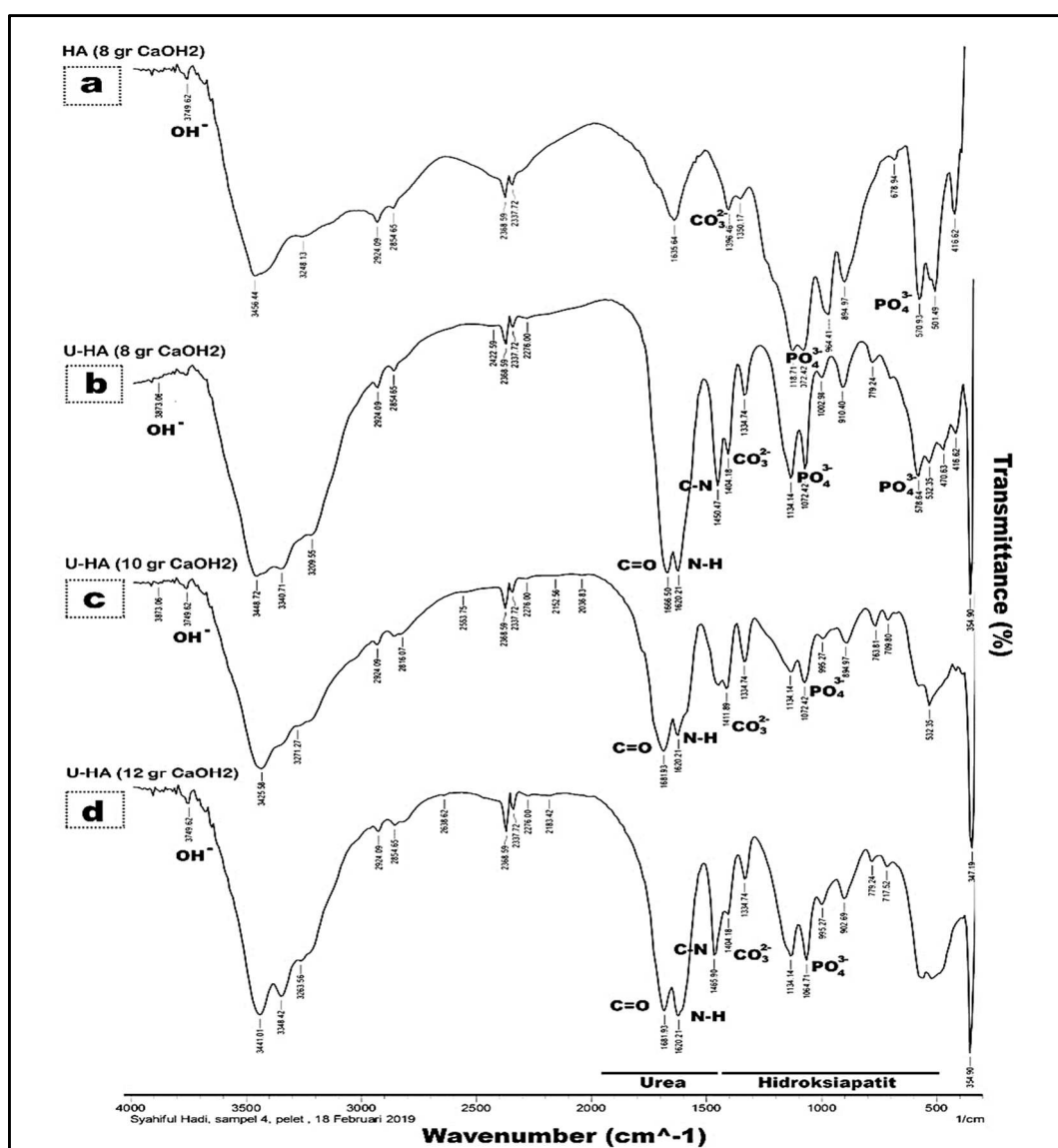
Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) merupakan karakterisasi yang memberikan informasi ikatan antara unsur dalam sampel berdasarkan daerah panjang gelombang inframerah. Wilayah panjang gelombang inframerah yang dihasilkan dari instrumen FTIR dapat mengidentifikasi senyawa urea dan hidroksiapatit. Interaksi antara urea dengan hidroksiapatit diperlihatkan pada hasil karakterisasi FTIR (Gambar 4).

Gambar 4a memperlihatkan spektrum yang dihasilkan dari sampel hidroksiapatit tunggal tanpa urea. Gambar 4b, 4c dan 4d memperlihatkan spektrum yang dihasilkan dari sampel Urea-hidroksiapatit pada

berbedaan variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Spektrum FTIR yang mengidentifikasi ikatan urea yaitu $\text{C}=\text{O}$, $\text{N}-\text{H}$ dan $\text{C}-\text{N}$ sedangkan ikatan hidroksiapatit yaitu OH^- , CO_3^{2-} dan PO_4^{3-} . Setiap sampel memiliki ikatan yang cukup baik antara urea dan hidroksiapatit. Urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 8 gram (gambar 4b) dan urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 12 gram (gambar 4d) memperlihatkan ikatan urea yang baik dengan adanya identifikasi $\text{C}=\text{O}$, $\text{N}-\text{H}$ dan $\text{C}-\text{N}$. Kondisi sedikit berbeda terjadi pada urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 10 gram (gambar 4c) yang identifikasi memiliki intensitas ikatan $\text{C}-\text{N}$ rendah.

Intensitas pada hasil karakterisasi FTIR memberikan informasi banyaknya unsur dengan ikatan yang sama. Semakin tajamnya spektrum intensitas FTIR memberikan informasi semakin banyaknya unsur yang memiliki homogenitas ikatan tersebut. Sampel urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 8 gram memiliki ketajaman spektrum intensitas yang baik terutama pada rentang spektrum gelombang ikatan urea yang merupakan unsur utama pada urea-hidroksiapatit. Puncak spektrum FTIR pada sampel variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 8 gram mengidentifikasi kondisi urea yang lebih stabil dan homogen di dalam hidroksiapatit.



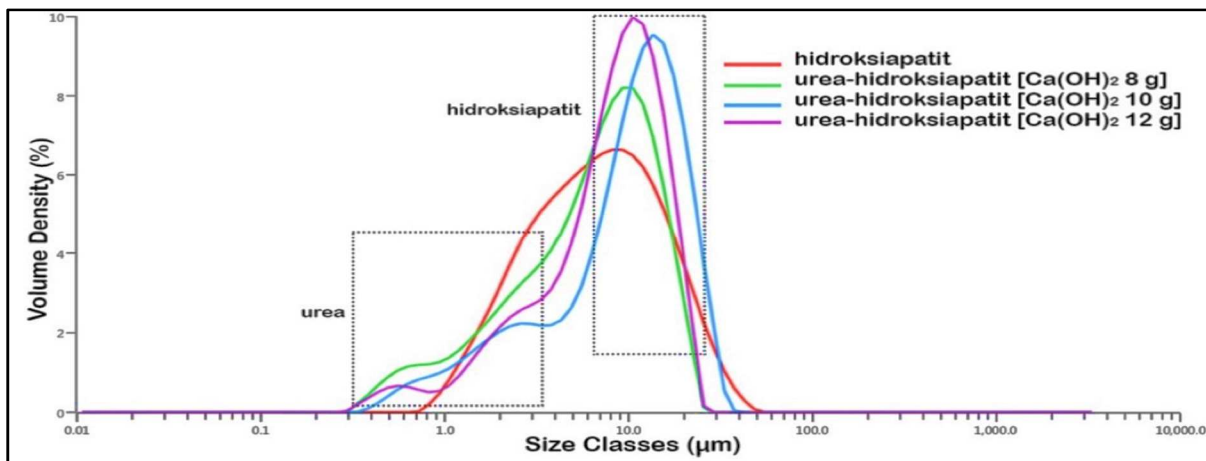
Gambar 4. Hasil FTIR (a) Hidroksiapatit (b) Urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 8 gram (c) Urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 10 gram dan (d) Urea-hidroksiapatit variasi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 12 gram

Particle Size Analyzer (PSA)

Hasil karakterisasi *Particle Size Analyzer* (PSA) memberikan informasi distribusi ukuran partikel (Gambar 5). Karakterisasi dilakukan pada kondisi urea-hidroksiapatit dalam akuades dengan melakukan pelarutan sampel menggunakan ultrasonik untuk didapatkan partikel tunggal sampel. Densitas volume dapat memberikan informasi persentase banyaknya partikel yang terbentuk. Penambahan variasi Ca(OH)_2 diikuti dengan peningkatan puncak densitas volume yang menjelaskan semakin banyaknya partikel hidroksiapatit yang terbentuk.

Posisi puncak intensitas memberikan informasi distribusi sebagian besar ukuran partikel sampel. Partikel yang terbentuk dari semua sampel sebagian besar memiliki ukuran sekitar 10–15 μm . Pergeseran ukuran

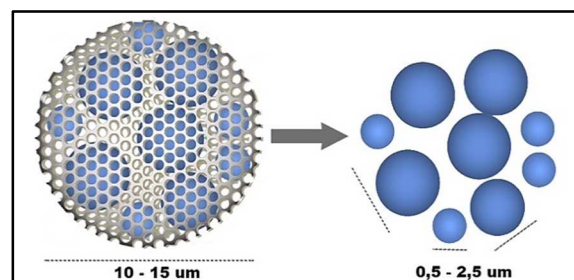
partikel menuju ukuran yang lebih besar terjadi pada hidroksiapatit tunggal (sampel 1) diikuti urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)_2 8 gram (sampel 3) kemudian urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)_2 10 gram (sampel 4). Informasi tersebut mengidentifikasi semakin banyaknya urea yang dipertahankan dalam hidroksiapatit sebanding dengan semakin besarnya partikel sampel. Sedangkan pada urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)_2 12 gram (sampel 5) ukuran partikel menjadi lebih kecil yang mengidentifikasi urea tidak masuk secara sempurna ke dalam hidroksiapatit. Hasil analisis PSA ini mendukung hasil analisis SEM dan EDX sebelumnya dalam memberikan informasi kondisi urea yang berada di luar hidroksiapatit pada variasi Ca(OH)_2 12 gram (sampel 5).



Gambar 5. Hasil karakterisasi PSA

Hasil karakterisasi PSA Urea-hidroksiapatit teridentifikasi adanya puncak lain yang muncul pada rentang ukuran lebih kecil (sampel 3, 4 dan 5). Puncak lain yang muncul diidentifikasi sebagai partikel urea dengan ukuran yang lebih kecil dibandingkan hidroksiapatit. Karakterisasi PSA dilakukan pada kondisi terlarut di akuades, sehingga memberikan informasi penguraian urea terhadap hidroksiapatit dalam kondisi larutan. Didapatkan analisis urea lepas dalam ukuran yang kecil (0,5–2,5 μm) terhadap pembungkus hidroksiapatit

yang memiliki ukuran yang lebih besar (10–15 μm) (Gambar 6).



Gambar 6. Pendekatan ukuran Urea-Hidroksiapatit.

KESIMPULAN

Sampel urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)₂ 6 gram memiliki kelemahan tidak adanya serbuk endapan yang dihasilkan. Hasil endapan serbuk yang lebih banyak terjadi pada kondisi variasi Ca(OH)₂ 12 gram (analisis hasil sintesis), namun memiliki kelemahan pada komposisi persentase unsur nitrogen sangat kecil hanya sebesar 15,6 Wt% (analisis karakterisasi EDX) dengan banyaknya urea yang tersebar diluar hidroksiapatit (analisis karakterisasi SEM) yang memiliki kecenderungan terurainya nitrogen lebih cepat.

Hasil urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)₂ 10 gram dapat menghasilkan endapan serbuk sebesar 36,3 gram. Hasil karakterisasi EDX pada sampel ini memiliki komposisi nitrogen sangat tinggi sebesar 40,4 Wt%. Kelemahan pada sampel ini diperlihatkan oleh hasil karakterisasi FTIR yang mengidentifikasi sangat kecilnya spektrum puncak ikatan C-N.

Kondisi terbaik dimiliki pada sampel urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)₂ 8 gram dengan hasil sintesis serbuk endapan cukup tinggi sebesar 43,0 gram. Hasil karakterisasi SEM didukung hasil karakterisasi EDX memberikan informasi pembungkusan urea dan komposisi nitrogen cukup besar yaitu 35,7 Wt% dengan kestabilan ikatan urea yang lebih baik pada hasil karakterisasi FTIR. Sedangkan hasil karakterisasi PSA didapatkan ukuran partikel hidroksiapatit sekitar 10 µm dan partikel urea sekitar 0,6 µm. Komposisi Ca(OH)₂ yang minimum dengan hasil karakterisasi yang baik menjadikan urea-hidroksiapatit variasi Ca(OH)₂ 8 gram sebagai kandidat dalam fabrikasi dan memiliki potensi performa lepas lambat.

DAFTAR PUSTAKA

Albari, J., Supijatno, & Sudradjat. (2018). Peranan Pupuk Nitrogen dan Fosfor pada Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Belum

Menghasilkan Umur Tiga Tahun, 6(1), 42–49.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.29244/agrob.6.1.42-49>

Brundavanam, R. K., Eddy, G., Poinern, J., & Fawcett, D. (2013). Modelling the Crystal Structure of a 30 nm Sized Particle based Hydroxyapatite Powder Synthesised under the Influence of Ultrasound Irradiation from X-ray powder Diffraction Data. *American Journal of Materials Science*, 3(4), 84–90.

<https://doi.org/10.5923/j.materials.20130304.04>

Corradini, E., de Moura, M. R., & Mattoso, L. H. C. (2010). A preliminary study of the incorporation of NPK fertilizer into chitosan nanoparticles. *Express Polymer Letters*, 4(8), 509–515. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2010.64>

Giroto, A. S., Guimarães, G. G. F., Foschini, M., & Ribeiro, C. (2017). Role of Slow-Release Nanocomposite Fertilizers on Nitrogen and Phosphate Availability in Soil. *Scientific Reports*, 7(1), 46032. <https://doi.org/10.1038/srep46032>

Guru, T., Thatikunta, R., & Reddy, N. (2015). International Journal of Environmental Crop Nutrition Management with Nano fertilizers, (4), 5–7.

Hadi, S., Suryajaya, S., Wijaya, I., Rahmandari, A., Prihatiningsih, M. C., Prasetyo, I., ... Soontaranon, S. (2018). The analysis of hierarchical structure of mesoporous silica in nanometer scale by small angle scattering method. *Atom Indonesia*, 44(1), 9. <https://doi.org/10.17146/aij.2018.848>

Kottegoda, N., Sandaruwan, C., Priyadarshana, G., Siriwardhana, A., Rathnayake, U. A., Berugoda Arachchige, D. M., ... Amaratunga, G. A. J. (2017). Urea-Hydroxyapatite Nanohybrids for Slow Release of Nitrogen. *ACS Nano*, 11(2), 1214–

1221.
<https://doi.org/10.1021/acsnano.6b07781>
- Madusanka, N., Sandaruwan, C., Kottegoda, N., Sirisena, D., Munaweera, I., De Alwis, A., ... Amaratunga, G. A. J. (2017). Urea–hydroxyapatite–montmorillonite nanohybrid composites as slow release nitrogen compositions. *Applied Clay Science*, 150(May), 303–308. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.09.039>
- Manikandan, A., & Subramanian, K. (2016). Evaluation of Zeolite Based Nitrogen Nano-fertilizers on Maize Growth, Yield and Quality on Inceptisols and Alfisols. *International Journal of Plant & Soil Science*, 9(4), 1–9. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/22103>
- Mondal, S., Mondal, B., Dey, A., & Mukhopadhyay, S. S. (2012). Studies on Processing and Characterization of Hydroxyapatite Biomaterials from Different Bio Wastes. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11(01), 55–67. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2012.111005>
- Naderi, M. R., & Danesh-Shahraki, A. (2013). Nanofertilizers and their roles in sustainable agriculture. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences, IJACS/2013*, 2229–2232. Retrieved from www.ijagcs.com
- Rajonee, A. A., Zaman, S., & Huq, S. M. I. (2017). Preparation, Characterization and Evaluation of Efficacy of Phosphorus and Potassium Incorporated Nano Fertilizer. *Advances in Nanoparticles*, 06(02), 62–74. <https://doi.org/10.4236/anp.2017.62006>
- Subbaiya, R. (2012). Formulation of Green Nano-Fertilizer to Enhance the Plant Growth through Slow and Sustained Release of Nitrogen. *Journal of Pharmacy Research*, 55(1111), 5178–5183.