

## Sintesis Dan Karakterisasi Wollastonite Berbasis Prekursor Biogenik Silika Abu Sekam Padi

Amilia Rasitiani<sup>(1,a)\*</sup>, Dwi Asmi<sup>(1,b)</sup> dan Muhammad Badaruddin<sup>(2,c)</sup>

<sup>(1)</sup>Jurusan Fisika, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

<sup>(2)</sup>Teknik Mesin, Universitas Lampung, Bandar Lampung, Indonesia, 35141

Email : <sup>(a\*)</sup>amiliasitiani@gmail.com, <sup>(b)</sup>dwi.asmi@fmipa.unila.ac.id, <sup>(c)</sup>mbruddin@eng.unila.ac.id

Diterima (18 Agustus 2021), Direvisi (20 September 2021)

**Abstract.** The aim of this research is to make wollastonite from silica obtained from rice husk ash and commercial calcium carbonate using the solids reaction method. The DTA-TGA results show mass due to the evaporation of H<sub>2</sub>O and the decomposition of CaCO<sub>3</sub> into CaO along with the calcination temperature, in addition, the DTA results also identify the formation of the  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> phase and the  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub> phase. The XRD results of wollastonite obtained were dominated by the  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> phase and the minor phase was  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub> this was indicated by the peak intensity of the  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> phase which was higher than the peak intensity of the  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub> phase. the second phase in wollastonite is also the result of FTIR results through the analysis of the Si-O-Ca functional group in each wollastonite sample. In addition, the results of the SEM analysis showed the shape of the spheroidal particles (spherical) with an average grain size of 0.19  $\mu$ m, 0.35  $\mu$ m and 0.68  $\mu$ m for the calcination temperatures of 900 °C, 1000 °C and 1100 °C, respectively. The results of this study indicate that the manufacture of wollastonite from the basic ingredients of rice husk silica and commercial calcium carbonate has potential as an alternative material for the manufacture of wollastonite.

**Keywords:** rice husk, calcium carbonate, wollastonite, solid state reaction.

**Abstrak.** Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat wollastonite dari silika yang diperoleh dari abu sekam padi dan kalsium karbonat komersil menggunakan metode reaksi padatan. Hasil DTA-TGA menunjukkan penyusutan massa karena terjadinya penguapan H<sub>2</sub>O dan dekomposisi CaCO<sub>3</sub> menjadi CaO seiring meningkatnya suhu kalsinasi, selain itu, hasil DTA juga mengidentifikasi adanya pembentukan fasa  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> dan fasa  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub>. Berdasarkan hasil XRD wollastonite yang didapatkan didominasi oleh fasa  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> dan fasa minor adalah  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub> hal ini ditunjukkan oleh puncak intensitas fasa  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> lebih tinggi dibandingkan puncak intensitas fasa  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub>. Pembentukan kedua fasa tersebut dalam wollastonite juga diperkuat dari hasil FTIR melalui analisis gugus fungsi Si-O-Ca pada setiap sampel wollastonite. Selain itu, hasil analisa SEM menunjukkan bentuk partikel *spheroid* (bulat) dengan ukuran butir rata-rata 0,19  $\mu$ m, 0,35  $\mu$ m dan 0,68  $\mu$ m untuk masing-masing suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pembuatan wollastonite dari bahan dasar silika sekam padi dan kalsium karbonat komersil mempunyai potensi sebagai bahan alternatif pembuatan wollastonite.

**Kata kunci:** sekam padi, kalsium karbonat, wollastonite, reaksi padatan.

### PENDAHULUAN

Wollastonite merupakan senyawa yang diperoleh dengan mereaksikan silika dan

kalsium karbonat dengan rumus kimia CaSiO<sub>3</sub> [1,2]. Wollastonite memiliki struktur polimorf yang terdiri dari *parawollastonite* ( $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub>) terbentuk pada

kisaran suhu 1100 °C [3] dan *pseudowollastonite* ( $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub>) terbentuk pada suhu tinggi yaitu pada rentang 1200 °C hingga 1450 °C [4]. Beberapa sifat *wollastonite* yaitu memiliki penyerapan kelembaban rendah, ekspansi termal rendah, penyusutan rendah, dan stabilitas termal *wollastonite* berguna dalam bahan kimia, metalurgi, konstruksi dan polimer [5]. Pada bidang industri *wollastonite* sebagai bahan baku plastik, karet, dan semen termasuk keramik [6].

Dalam bidang medis *wollastonite* dapat digunakan sebagai tulang buatan [7], bahan pensubstitusi tulang [8], akar gigi [9], dan penumbuhan sel [3] karena *wollastonite* memiliki porositas serupa tulang (*similar porosity to bone*), kekuatan mekanik yang baik (*good mechanical strength*), dan tingkat kelarutan rendah (*low solubility*) yang baik dipakai dalam tubuh [10].

Mensintesis *wollastonite* dapat menggunakan beberapa metode seperti, metode reaksi padatan [11], sol gel [12], dan metode kopresipitasi [13]. Berdasarkan metode-metode tersebut, metode reaksi padatan merupakan metode yang sederhana dan mudah namun mampu menghasilkan bahan *wollastonite* dalam industri keramik dengan kristalinitas yang baik [4]. Selain itu, metode reaksi padatan memiliki kelebihan yaitu, ramah lingkungan, murah dalam biaya pembuatannya, dan tidak beracun [14, 15].

Saat ini telah banyak dilakukan upaya untuk mengembangkan sintesis *wollastonite* melalui metode reaksi padatan menggunakan limbah bio sebagai bahan bakunya. Misalnya, Ismail *et al* (2016) menggunakan bahan baku sekam padi sebagai sumber SiO<sub>2</sub> dan batu kapur sebagai sumber CaO dengan metode reaksi padatan. Berdasarkan penelitian, di dapatkan fasa  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> dengan suhu kalsinasi 950 °C [2]. Penelitian sejenis juga pernah dilakukan oleh Hossain *et al* (2018)

dengan bahan silika sekam padi dan cangkang telur menggunakan metode reaksi padatan. Berdasarkan penelitian, didapatkan fasa  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> pada suhu kalsinasi 1100 °C dan bertransformasi menjadi fasa  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub> pada suhu kalsinasi 1200 °C [15]. Kemudian Sultana *et al* (2020) melakukan penelitian menggunakan cangkang telur dan silika dari abu sekam padi menggunakan metode reaksi padatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fase *wollastonite* terbentuk pada suhu kalsinasi 1000 °C dengan perbandingan molar 10 : 2.6 [16].

Sehingga penelitian ini bertujuan untuk sintesis dan karakterisasi *wollastonite* berbahan dasar abu sekam padi dan kalsium karbonat komersil pada suhu kalsinasi 900 °C, 1000°C, dan 1100 °C menggunakan metode reaksi padatan.

## METODE PENELITIAN

### Preparasi Silika Sekam Padi

Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *wollastonite* yaitu sekam padi sebagai penghasil silika dan kalsium karbonat komersil. Untuk memperoleh silika dari sekam padi, langkah pertama yang dilakukan menimbang sekam padi sebanyak 100 gram. Sekam padi dicuci dan direndam selama 1 jam. Sekam padi yang tenggelam diambil dan direndam dengan menggunakan air panas selama 15 menit.. Sekam dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2-3 hari hingga kering merata. Sekam padi dikeringkan dalam oven pada suhu 100 °C selama 2 jam. Selanjutnya sekam padi yang sudah kering, dihaluskan menggunakan *blender* selama 10 menit dan diayak sehingga diperoleh abu sekam padi. Abu sekam padi di-*leaching* menggunakan asam sitrat pada suhu 80 °C dan diaduk konstan selama 2 jam. Sekam padi hasil cucian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 3 jam. Selanjutnya sekam padi dibakar dalam furnace pada

suhu 700 °C selama 5 jam dengan laju pembakaran 5 °C/menit. Langkah selanjutnya abu sekam padi di-*leaching* dengan HCl 6 N selama 1,5 jam pada suhu 100 °C kemudian disaring dan dicuci. Abu sekam padi diekstrak dalam larutan NaOH 2,5 N pada suhu 80 °C selama 1,5 jam. Menambahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> tetes demi tetes ke dalam larutan sodium silikat hingga PH menjadi 2. Endapan disaring dan dicuci. Kemudian dioven pada suhu 100 °C selama 24 jam. Serbuk yang diperoleh dikalsinasi pada suhu 700 °C selama 5 jam dengan laju pembakaran 5 °C/menit.

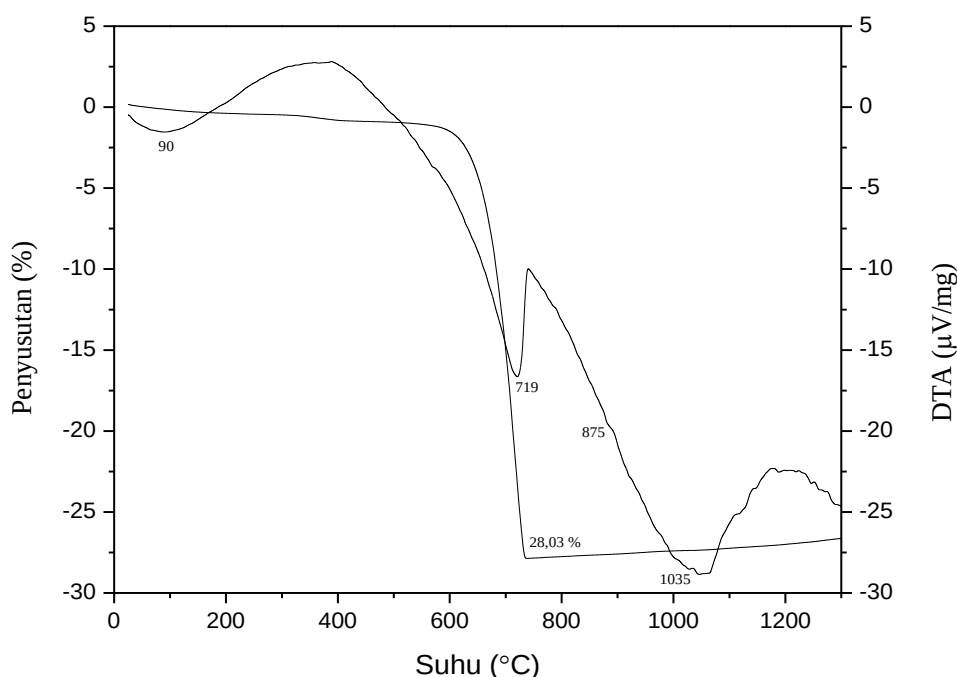
sampel menggunakan oven selama 24 jam pada suhu 100 °C. Menggerus sampel selama 3 jam. Melakukan uji karakteristik DTA-TGA pada sampel. Membuat pelet dari sampel tersebut dengan cara dipress menggunakan *pressing hidrolic* dengan tekanan 100 g/cm<sup>3</sup>. Mengkalsinasi sampel yang sudah berbentuk pelet dengan suhu 900, 1000, dan 1100 °C dengan laju temperatur 5 °C/menit selama 6 jam 50 menit. Membiarkan sampel dingin di dalam furnace. Kemudian mengeluarkan sampel yang telah dingin. Mengkarakterisasi sampel dengan XRF, XRD, SEM dan FTIR.

### Sintesis Wollastonite dan Karakterisasi

Untuk mensintesis *wollastonite* dilakukan dengan mencampurkan SiO<sub>2</sub> dan kalsium karbonat dengan perbandingan 1 : 1. Membuat larutan etanol 150 ml. Melarutkan bahan dengan larutan etanol menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 jam. Menguapkan etanol dan mengeringkan

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis DTA dan TGA *wollastonite* ditunjukkan pada **Gambar 1**. Berdasarkan **Gambar 1** diperoleh puncak endotermik pada suhu 90 °C pada sampel *wollastonite* merupakan hasil penguapan dari H<sub>2</sub>O ketika sampel dipanaskan [17].



**Gambar 1.** Grafik DTA dan TGA *wollastonite*

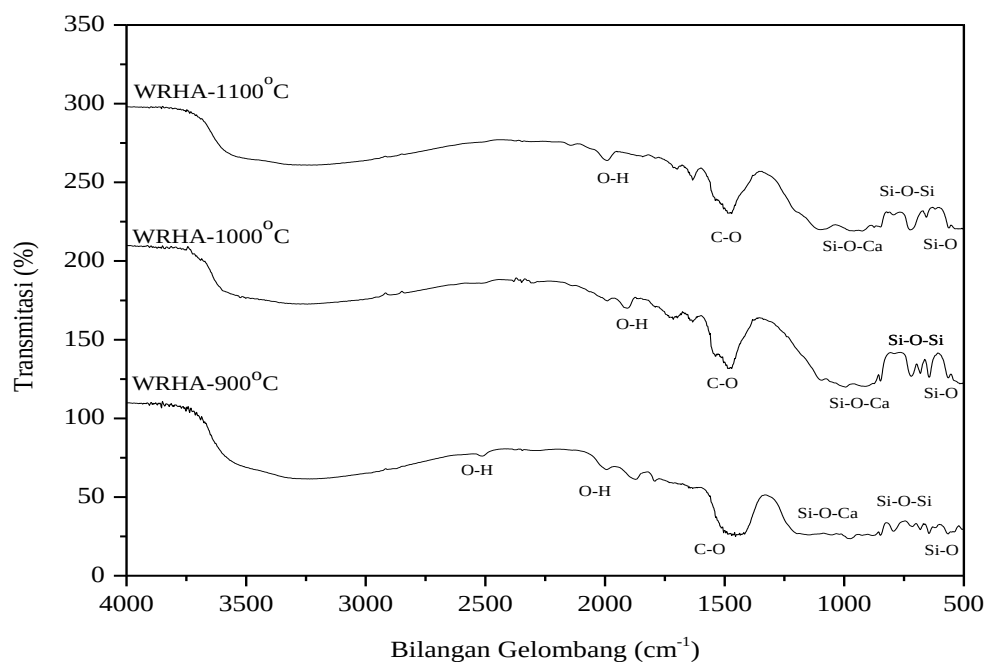
Sedangkan puncak endotermik terjadi pada suhu 719 °C yang menunjukkan terjadi proses dekomposisi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) menjadi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ). Selanjutnya puncak eksotermik pada suhu 875 °C menunjukkan adanya pembentukan fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  [18]. Perubahan fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  menjadi  $\alpha\text{-CaSiO}_3$  terjadi pada suhu eksotermik kecil 1056 °C [19]. Kemudian hasil TGA *wollastonite* diperoleh penyusutan massa sampel terjadi pada rentang suhu 731 °C yaitu sebesar 28,03% dari massa awal 9,866 mg menjadi 7,106 mg. Penyusutan ini dihasilkan dari dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$ . Hal ini terkait dengan hasil DTA bahwa dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$  terjadi pada suhu 706 °C. Sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Ibrahim *et al* (2019) penyusutan massa akibat dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$  terjadi pada rentang 600 – 751 °C [20].

Spektrum FTIR sampel *wollastonite* berbahan dasar silika sekam padi dan kalsium karbonat komersil pada suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C, dan 1100 °C ditunjukkan pada **Gambar 2** terlihat adanya perbedaan pada vibrasi ulur (*stretching vibration*) gugus O-H yang diperoleh semakin berkurang seiring dengan peningkatan suhu kalsinasi. Vibrasi ulur (*stretching vibration*) gugus O-H teridentifikasi pada rentang pita serapan 1600  $\text{cm}^{-1}$  sampai 3500  $\text{cm}^{-1}$  [21]. Terlihat sampel *wollastonite* pada suhu kalsinasi 900 °C diperoleh pita serapan 1640  $\text{cm}^{-1}$ , 1793  $\text{cm}^{-1}$ , 1873  $\text{cm}^{-1}$ , 1993  $\text{cm}^{-1}$ , dan 2512  $\text{cm}^{-1}$  yang diakibatkan oleh penguapan air. Selanjutnya sampel *wollastonite* pada suhu kalsinasi 1000 °C vibrasi ulur (*stretching vibration*) gugus O-H diperoleh pita

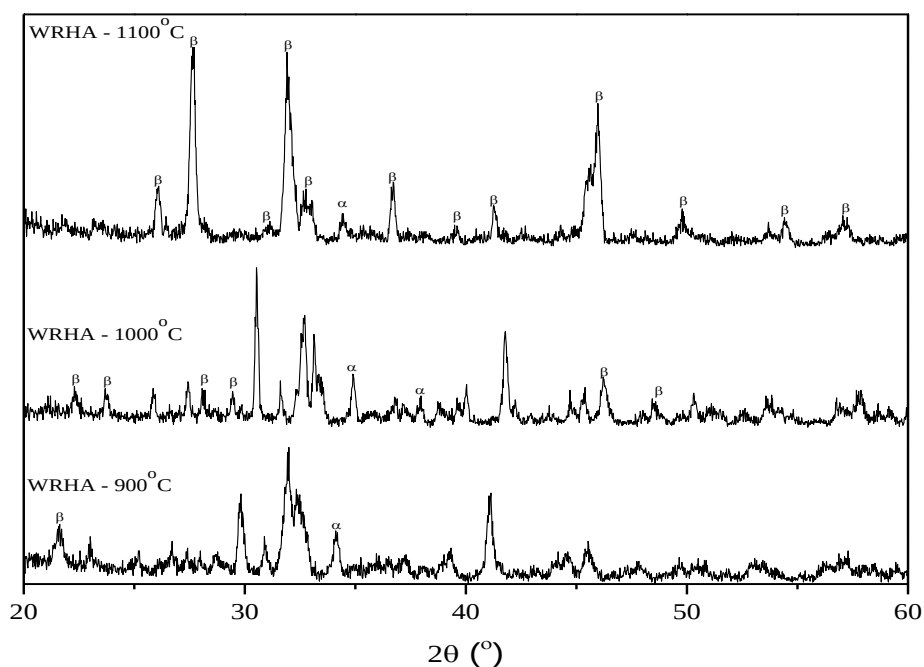
serapan 1633  $\text{cm}^{-1}$ , 1702  $\text{cm}^{-1}$ , 1910  $\text{cm}^{-1}$  dan 1980  $\text{cm}^{-1}$ . Kemudian pada sampel *wollastonite* pada suhu kalsinasi 1100 °C vibrasi ulur ulur (*stretching vibration*) gugus O-H semakin menurun yaitu terbentuk pada serapan bilangan gelombang 1636  $\text{cm}^{-1}$ , 1706  $\text{cm}^{-1}$ , 1997  $\text{cm}^{-1}$  dan 2147  $\text{cm}^{-1}$ . Hal ini menunjukkan bahwa kandungan air semakin berkurang karena adanya peningkatan suhu kalsinasi yang didukung oleh hasil DTA-TGA.

Pita serapan 567  $\text{cm}^{-1}$ , 565  $\text{cm}^{-1}$ , dan 590  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk (*bending vibration*) gugus Si-O. Pita serapan 793  $\text{cm}^{-1}$ , 679  $\text{cm}^{-1}$ , dan 652  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi tekuk simetris (*symmetrical bending vibration*) gugus Si-O-Si. Kemudian vibrasi ulur (*stretching vibration*) gugus Si-O-Ca teridentifikasi pita serapan 973  $\text{cm}^{-1}$ , 993  $\text{cm}^{-1}$ , 915  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya pembentukan *wollastonite* pada setiap sampel. Vibrasi ulur asimetris (*asymmetrical stretching vibration*) gugus O-Si-O teridentifikasi pada pita serapan 1161  $\text{cm}^{-1}$ , 1097  $\text{cm}^{-1}$ , dan 1089  $\text{cm}^{-1}$ . Selanjutnya 1455  $\text{cm}^{-1}$ , 1482  $\text{cm}^{-1}$ , dan 1470  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan C-O.

Pola XRD sampel *wollastonite* yang dikalsinasi pada suhu yang berbeda ditunjukkan pada **Gambar 3**. Berdasarkan pola XRD pada sampel *wollastonite* pada suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C, dan 1100 °C dapat dilihat bahwa fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  dan fasa minor adalah  $\alpha\text{-CaSiO}_3$  hal ini ditunjukkan oleh puncak intensitas fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  (JCPDS # 043-1460) lebih tinggi dibandingkan puncak intensitas fasa  $\alpha\text{-CaSiO}_3$  (JCPDS # 042-0547) [22]. Hasil XRD ini juga sesuai dengan hasil DTA bahwa fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  mulai muncul pada suhu 873 °C, dan dikonfirmasi juga oleh hasil FTIR bahwa adanya gugus Si-O-Ca pada ketiga sampel *wollastonite*.



**Gambar 2.** Spektrum FTIR wollastonite pada suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C, dan 1100 °C



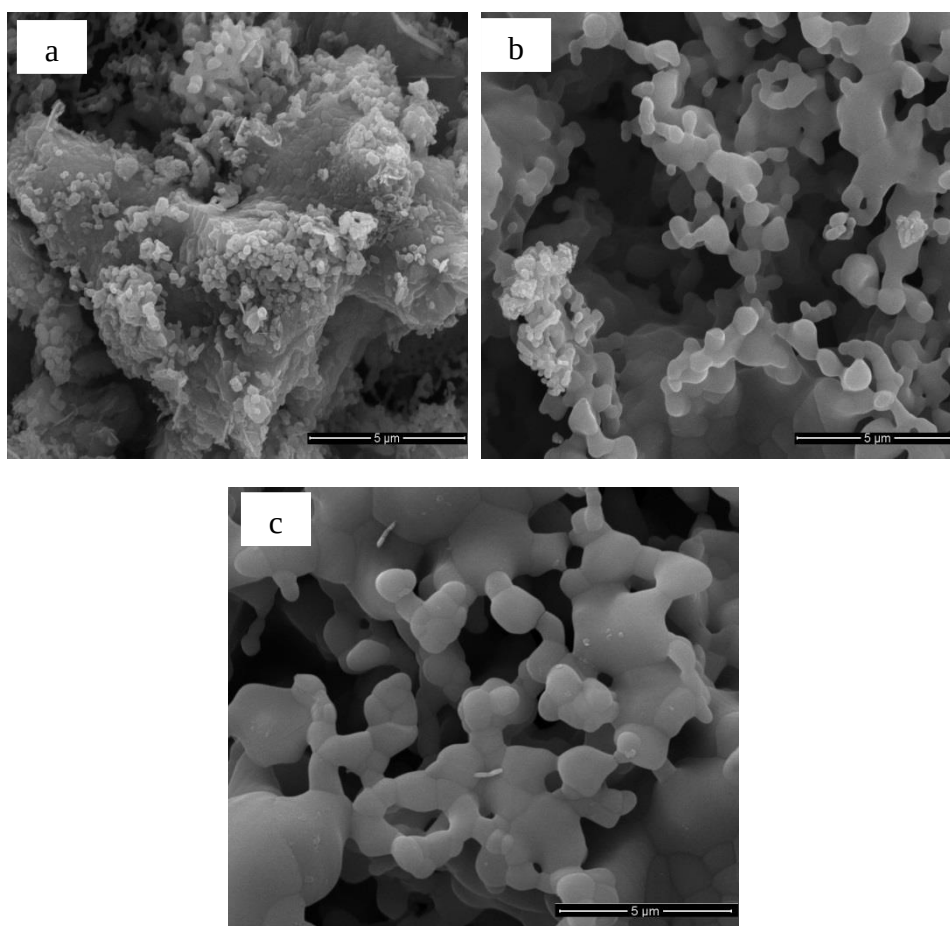
**Gambar 3.** Difaktogram XRD wollastonite pada suhu kalsinasi 900 °C , 1000 °C, dan 1100 °C

Morfologi sampel wollastonite pada suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C, dan 1100 °C ditampilkan pada **Gambar 4. Gambar 4(a)** merupakan morfologi sampel

wollastonite suhu kalsinasi 900 °C dengan permukaan yang terlihat berbentuk bulat (*spheroid*) dengan ukuran butir rata-rata 0,19 μm. Sedangkan pada **Gambar 4(b)** sampel wollastonite suhu kalsinasi 1000 °C

diperoleh ukuran butir rata-rata 0,35  $\mu\text{m}$ , serta permukaan sampel terlihat lebih menggumpal dan pori-pori mulai terlihat. **Gambar 4.12(c)** pada sampel *wollastonite* suhu kalsinasi 1100  $^{\circ}\text{C}$  diperoleh ukuran butir rata-rata 0,68  $\mu\text{m}$  dan permukaan sampel terlihat gumpalan yang semakin membesar. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran butir rata-rata meningkat dengan

seiring peningkatan suhu kalsinasi yang digunakan. Peningkatan suhu kalsinasi menyebabkan penumpukan butir-butir yang menghasilkan gumpalan sehingga ukuran butir rata-rata yang dihasilkan semakin meningkat. Secara morfologi juga terlihat bahwa tekstur partikel menjadi lebih kasar dengan meningkatnya suhu kalsinasi [15].



**Gambar 4.** Morfologi sampel *wollastonite* pada suhu kalsinasi (a) 900  $^{\circ}\text{C}$  , (b) 1000  $^{\circ}\text{C}$ , dan (c) 1100  $^{\circ}\text{C}$ .

## KESIMPULAN

Sintesis *wollastonite* telah dilakukan dengan berbahan dasar sekam padi dan kalsium karbonat komersil menggunakan metode reaksi padatan. Pada penelitian ini didapatkan bahwa silika amorf kemurnian

tinggi yang berasal dari endapan abu silika sekam padi adalah 96,448%. Hasil DTA-TGA, diperoleh penyusutan massa akibat penguapan  $\text{H}_2\text{O}$  dan dekomposisi  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$ . Hasil XRD menunjukkan fasa  $\beta\text{-CaSiO}_3$  merupakan fasa dominan dan fasa  $\alpha\text{-CaSiO}_3$  merupakan fasa minor yang

dikonfirmasi pada hasil TGA bahwa adanya pembentukan fasa  $\beta$ -CaSiO<sub>3</sub> dan  $\alpha$ -CaSiO<sub>3</sub>. Kemudian hasil FTIR juga menunjukkan adanya gugus Si-O-Ca pada setiap sampel *wollastonite*. Morfologi sampel *wollastonite* memiliki permukaan yang terlihat menggumpal dan berbentuk bulat (*spheroid*) dengan ukuran butir rata-rata 0,19  $\mu$ m, 0,35  $\mu$ m dan 0,68  $\mu$ m pada sampel *wollastonite* suhu kalsinasi 900 °C, 1000 °C dan 1100 °C. Sehingga berdasarkan hasil karakterisasi yang telah diperoleh silika sekam padi dan kalsium karbonat komersil berpotensi digunakan sebagai bahan baku alternatif untuk menghasilkan *wollastonite* yang sederhana.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nizami, M. 2003. Characterization Of A Mineral Synthesized By Availing Silica From Plant Source. *Journal Material Science Technology*. Vol. 19. No. 6. Pp. 599-603.
- [2] Ismail, H., Shamsudin, R., Hamid, M.M.A., and Awang, R. 2016. Characteristics of Wollastonite Derived from Rice Straw Ash and Limestone. *Journal of The Australian Ceramic Society*. Vol. 52. No. 2. Pp. 163 – 174.
- [3] Zhang, N., Molenda, J. A., Mankoci, S., Zhou, X., Murphy, W. L., and Sahai, N. 2013. Crystal Structures Of CaSiO<sub>3</sub> Polymorphs Control Growth And Osteogenic Differentiation Of Human Mesenchymal Stem Cell On Bioceramic Surface. *Journal Biomaterials Science*. Vol. 1. Pp. 1101-1110.
- [4] Shukur, M. M., Al-Majeed, E. A., and Obeid, M. M. 2014. Characteristic Of Wollastonite Synthesized From Local Raw Material. *International Journal of Engginering and Technology*. Vol. 4. No. 7. Pp. 426-429.
- [5] Kalapathy, U., Proctor, A., and Shultz, J. 2002. An Improved Method for Production of Silica from Rice Hull Ash. *Bioresource Technology*. Vo. 85. No. 3. Pp. 285-289.
- [6] Yun, Y. H., Kim, S. B., Kang, B. A., Lee, Y. W., Oh, J. S., and Hwang, K. S. 2006.  $\beta$ -Wollastonite Reinforced Glass Ceramics Prepared from Waste Fluorescent Glass and Calcium Carbonate. *Journal Material Processing Technology*. Vol. 178. No 1-3. Pp. 61-66.
- [7] Chen, C. C., Lai, M. H., Wang, W. C., and Ding, S. J. 2010 . Properties of Anti Washout Type Calcium Silicate Bone Cements Containing Gelatin. *Journal Materials Science: Materials Medic*. Vol. 21. Pp. 1057-1068.
- [8] Meiszterics. A and K. Sinko. 2011. Study Of Bioactive Calcium Silicate Ceramic Systems For Biomedical Applications. *5th European IFMBE Conference*. Vol. 37. Pp. 1098-1101.
- [9] Saadaldin, A. A. and Rizkalla, A. S. 2014. Synthesis And Characterization Of Wollastonite Glass Ceramics For Dental Implant Applications. *Journal Dental Materials*. Vol. 30. Pp. 364-371.
- [10] Adams, L, A., Essien, E, R., and Kaufmann, E.E. 2018. A New Route to Sol-Gel Crystalline Wollastonite Bioceramic. *Journal of Asian Ceramic Societies*. Vol. 6.No. 2. Pp. 132-138.

- [11] Vakalova T.V., Pogrebenkov, V.M., and Karionova, N.P. 2016. Solid-Phase Synthesis Of Wollastonite In Natural And Technogenic Siliceous Stock Mixtures With Varying Levels Of Calcium Carbonate Component. *Ceramic International*. Vol. 42. Pp. 16453–16462.
- [12] Udduttula, A., Koppala, S., and Swamiappan, S. 2013. Sol-Gel Combustion Synthesis Of Nanocrystalline Wollastonite By Using Glycine As A Fuel And Its In Vitro Bioactivity Studies. *Transactions of the Indian Ceramic Society*. Vol. 72, No. 4, Pp. 257–260.
- [13] Gallini, S., Jurado, J.R.R., Colomer, M.T.T. 2005. Synthesis And Characterization Of Mon-Azite-Type Sr:Lapo Prepared Through Coprecipitation. *Journal of the European Ceramic Society*. Vol. 25. Pp. 2003–2007.
- [14] Phuttawong, R., Napat, C., Pusit, P., and Ratchadaporn, P. 2015. Synthesis and Characterization of Calcium Silicate from Rice Husk Ash and Shell of Snail Pomacea Canaliculata by Solid State Reaction. *Advanced Materials Research*. Vol. 1103. Pp. 1-7.
- [15] Hossain, S. K. S., and P. K. Roy. 2018. Study of Physical and Dielectric Properties of Bio Waste Derived Synththetic Wollastonite. *Journal of Asian Ceramic Societies*. Vol. 6. No. 3. Pp. 289-298.
- [16] Sultana, S., Rahman, Md, M., Yeasmin, Z., Ahmed, S., and Rony, F.K. 2020. Effect of the Ratio of Eggshell and Rice Husk as Starting Materials on the Direct Synthesis of Bioactive Wollastonite by Solid State Thermal Method. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 21 No. 3. Pp. 285 – 289.
- [17] Ghoddousi, P., and Saadabadi, L, A. 2017. Study on Hydration Products by Electrical Resistivity for Self-Compacting Concrete with Silica Fume and Metakaolin. *Construction and Building Materials*. Vol. 154. Pp. 219-228.
- [18] Srinath, P., Reddy, V, G., Samudrala, R, K., Azeem, A, P. 2019. *In Vitro* Bioactivity and Degradation Behaviour of  $\beta$ -Wollastonite Derived from Natural Waste. *Material Sciences and Engineering*. Vol. 98. Pp. 109-117.
- [19] Luis, A. N. R., Romero, M. A. E., Alvarez, A. G., Garcia, J. I. V., Munive, G. C. T. 2018. Evaluation of Bioactive Properties of  $\alpha$  and  $\beta$  Wollastonite Bioceramics Soaked in a Simulated Body Fluid. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. Vol. 9. No. 263 – 276.
- [20] Ibrahim, M. H., El-Naas, M. H., Zevenhoven, R., and Al-Sobhi, S. 2019. Enhanced CO<sub>2</sub> Capture Through Reaction With Steel-Making Dust in High Salinity Water. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Vol 91. Pp. 1 – 9.
- [21] Shamsudin, R., Farah ‘A. A., Muhammad A. A. H., and Hamisah I. 2017. Bioactivity and Cell



Compatibility of  $\beta$ -Wollastonite Derived from Rice Husk Ash and Limestone. *Materials* Vol. 10. No. 1188. Pp. 1-15.

Experimental Dental Adhesive. *Journal of Dentistry*. No. 102. Pp. 1-9.

- [22] Bendary, I. M., Isadora M. G., Fabrício M. C., Antonio T., Susana M. W. S., and Vicente C. B. L. 2020. Wollastonite as Filler of an

