

## PENGARUH WAKTU *BALL-MILLING* LATERITE GOWA TERHADAP SIFAT MEKANIK GEOPOLIMER

### EFFECT OF TIME OF BALLITE-MILLING LATERITE IN GOWA REGENCY TO MECHANICAL OF GEOPOLYMERS

<sup>1)</sup>Andi Linda Amalia Saputri, <sup>2)</sup>Subaer, <sup>3)</sup>Abdul Haris

Universitas Negeri Makassar

Kampus UNM Parangtambung Jln. Daeng Tata Raya, Makassar, 90224

<sup>1)</sup>e-mail : [Andilinda15@gmail.com](mailto:Andilinda15@gmail.com)

**Abstrak.** Pengaruh Waktu Ball-Milling Laterite Gowa Terhadap Sifat Mekanik Geopolimer. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu *milling* terhadap ukuran butir laterite Kabupaten Gowa. Variasi waktu milling yang digunakan adalah 5 jam, 10 jam, dan 15 jam. Sintesis pasta geopolimer dilakukan dengan metode aktivasi alkali, kemudian *dicuring* pada suhu 100°C selama 2 jam. Pasta geopolimer yang disintesis sebanyak 3 sampel (5 jam, 10 jam, 15 jam). Analisis Kuat Tekan menunjukkan kekuatan tekan yang paling tinggi berurutan dari 10 jam sebesar 19,48 MPa, 15 jam sebesar 14,96 MPa dan 5 jam sebesar 12,03 MPa. Hasil XRD menunjukkan ukuran Kristal terkecil ada pada waktu milling 15 jam sebesar 7.30 nm. Struktur mikro menunjukkan kualitas sampel terbaik pada waktu milling 15 jam.

**Kata kunci :** Waktul Milling, Sifat Mekanik, Micro Structure, XRD

**Abstract. Effect Of Time Of Ballite-Milling Laterite In Gowa Regency To Mechanical Of Geopolymers.** This study aims to determine the effect of milling time on the size of laterite grain of Gowa Regency. The variation of milling time used is 5 hours, 10 hours and 15 hours. The synthesis of geopolymers paste was carried out by the alkali activation method, then curing at 100 °C for 2 hours. The synthesized geopolymers paste is 3 samples (5 hours, 10 hours, 15 hours). Compressive Strength Analysis shows the highest sequential compressive strength of 10 hours of 19.48 MPa, 15 hours of 14.96 MPa and 5 hours of 12.03 MPa. XRD results show changes in particles for a long time ball milling. Microstructure shows the best sample quality at 10 hours milling time.

**Keywords :** Time Milling, Mechanical Properties, Micro Structure, XRD.

### PENDAHULUAN

Laterite secara luas didistribusikan ke seluruh dunia di daerah dengan curah hujan tinggi, terutama di daerah seperti wilayah Afrika, Australia, India, Asia Tenggara dan Amerika Selatan (Patrick, et al., 2011 dan Tzu- Hsing ko, 2014). Di Indonesia tanah laterite dapat dengan mudah ditemukan, salah satunya yaitu di provinsi Sulawesi Selatan (Subaer et al., 2017). Laterite merupakan bahan yang sangat lapuk yang dapat ditemukan di daerah tropis dan subtropis, tanah ini kaya akan zat besi dan aluminium, serta kemampuannya dalam proses pengerasan atau pengeringan (Lassinantti Gualtieri et al., 2015).

Selain mengandung oksida besi, lempung laterite mengandung alumina silikat yang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan

geopolimer. Geopolimer termasuk polimer anorganik yang disintesa dari bahan-bahan alam melalui proses polimerisasi (Subaer, 2012; Manuahe, et al., 2014). Geopolimer adalah bahan-bahan yang banyak mengandung alumina dan silikat yang memiliki ciri umum seperti keras, berpori, mudah dipoles dan mampu bertahan pada suhu yang tinggi (Manuahe, et al., 2014; Indra, et al., 2013). Dalam beberapa tahun terakhir ini para peneliti telah menyelidiki kemungkinan berbagai bahan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan geopolimer (Kairigo, et al., 2015).

Geopolimer adalah *green material* yang ramah lingkungan, yang dikembangkan sebagai bahan yang menjanjikan karena memiliki

kekuatan mekanik, panas dan tahan api yang tinggi, selain itu tingkat kualitas serta permukaannya baik dan tahan terhadap serangan asam (Syamsidar et al., 2017). Geopolimer dapat bereaksi terpolikondensasi mencapai kestabilan dimensional pada suhu di bawah 100 °C dan geopolimer yang dihasilkan bersifat keras serta tahan terhadap cuaca, serangan bahan kimia dan suhu tinggi (Subaer, 2015). Geopolimer merupakan material anorganik yang disintesa melalui proses polimerisasi dari bahan-bahan seperti laterite yang mengandung aluminium dan silika (Riger Manuahe, 2014), sehingga kurang berdampak pada lingkungan sekitar (Bagci et al., 2017).

Ada beberapa metode untuk mensintesis geopolimer salah satunya adalah *mechanical alloying* atau pemanduan mekanik dengan menggunakan *milling*. Banyak faktor-faktor yang berpengaruh terhadap hasil dari proses *milling* ini seperti kecepatan, waktu, temperatur, tekanan, ukuran grinding ball, presentase PCA (*Process control agent*), dan komposisi berat serbuk (Suryanaraya, 2003). Pada penelitian variable yang dipilih adalah pengaruh waktu *milling*. Dimana semakin lama waktu *milling* dilakukan maka semakin kecil ukuran Kristal (Pangesthiaji and Purwaningsih, 2013), ukuran Kristal yang mengecil akan meningkatkan waktu reaksi dan homogenitas suatu bahan. Laterite Gowa

merupakan laterite yang memiliki sifat mekanik yang kecil jika dibandingkan dengan Laterite berasal dari daerah lainnya.

## METODE

Lempung Laterite yang telah dibersihkan dan didehidrosilasi akan di ball milling dengan variasi waktu selama 5 jam, 10 jam, dan 15 jam. Lempung Laterite yang telah diball milling akan di buat pasta geopolimer, kemudian di cetak ke dalam cetakan dan dicurring pada temperatur 100° C selama 2 jam. Sampel yang telah dicurring kemudian dipreparasi untuk dianalisis menggunakan XRD, SEM-EDS, dan Kuat tekan.

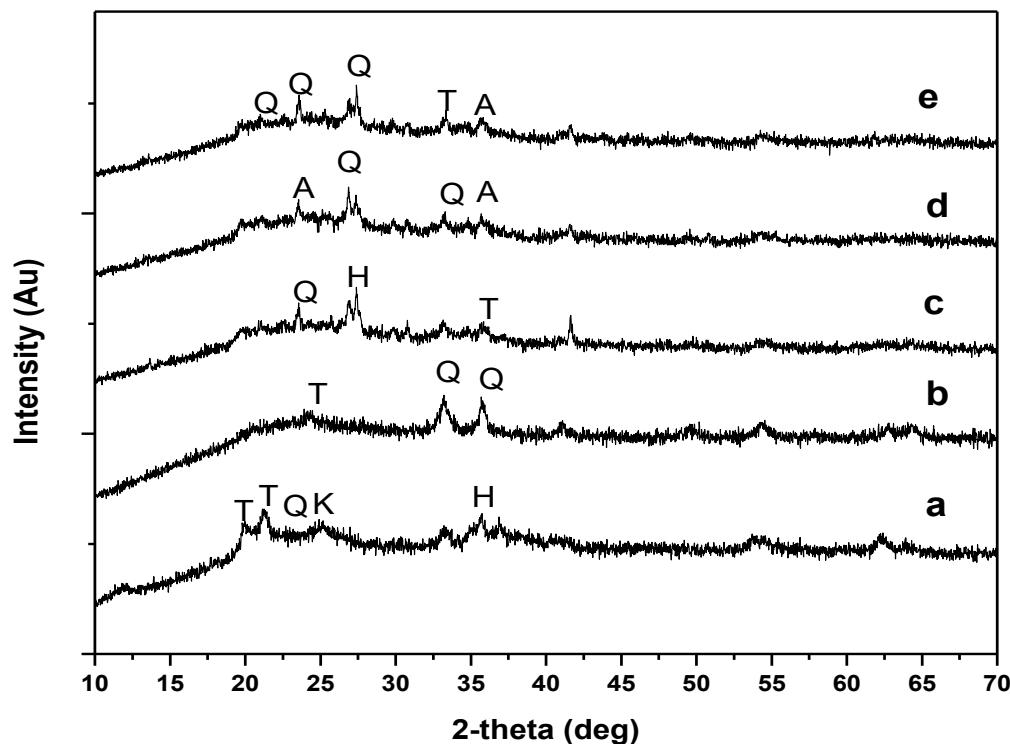
Analisis XRD kemudian diolah untuk mengetahui ukuran Kristal pada sampel Lempung Laterite gowa. Perhitungan ukuran Kristal dilakukan menggunakan persamaan persamaan Debye scherrer.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Karakterisasi XRD

#### Bahan Dasar

Karakterisasi XRD digunakan untuk mengidentifikasi derajat kekeristalan dan komposisi fase yang terdapat pada sampel. Pengukuran XRD menggunakan metode serbuk pada sudut  $2\theta = 10^\circ$ - $70^\circ$ . Adapun hasil karakterisasi analisis XRD yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.1



**Gambar 1.** Difraktogram Bahan Dasar Laterite Gowa Dengan Variasi Waktu Ball Milling (A) Sebelum Dihidrosilasi (B) Sesudah Didehidrosilasi (C) 5 Jam Milling (D) 10 Jam Milling (E) 15 Jam Milling.

Gambar 1 menunjukkan difraktogram XRD bahan dasar laterite gowa sebelum didehidrosilasi, sesudah didehidrosilasi dan berturut-turut waktu milling 5 jam, 10 jam, dan 15 jam. Gambar 1 menunjukkan perubahan intensitas puncak pola difraksi XRD dari bahan dasar laterite gowa dari sebelum didehidrosilasi. Perubahan puncak difraksi didentifikasi

terjadinya perubahan struktur Kristal yang dimiliki oleh bahan dasar laterite gowa selama proses milling.

Berdasarkan hasil difraktogram XRD, diketahui beberapa komposisi fase bahan dasar laterite gowa dan ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan fase sampel bahan dasar laterite gowa.

**Tabel 1.** Fase Sampel Bahan Dasar Laterite Kabupaten Gowa (A) Sebelum Dihidrosilasi (B) Sesudah Didehidrosilasi (C) 5 Jam Milling (D) 10 Jam Milling (E) 15 Jam Milling.

Fase	Kuantitas wt (%)				
	a	b	c	d	e
$SiO_2$	43	56	56	51	58
$Fe_2O_3$	13	24	18	0.75	5
$Al_2O_3$	1.8	9.8	-	47	8
$Al_2(Si_2O_5)(OH_4)$	17	-	-	-	-
$NaO$	10	1	-	-	-
$TiO$	12	4.4	26	0.61	23
$MgO$	2.9	5.4	-	-	5

Tabel 1. memperlihatkan bahwa semakin lama waktu milling, maka terjadi penurunan jumlah komposisi fase yang terbentuk. Perubahan atau penurunan ini mengidentifikasi adanya perubahan struktur Kristal laterite gowa seiring dengan lamanya waktu milling.

Luas puncak dari suatu difraksi sinar-X dipengaruhi oleh ukuran Kristal. Sebagaimana diperlihatkan oleh persamaan Debye-Scherrer (Harold P. Klug, Leroy E. Alexander, 2013). Hubungan ini ditunjukkan oleh nilai perbandingan FWHM terhadap ukuran Kristal. Kurva suatu puncak difraksi akan melebar terutama untuk ukuran suatu Kristal. Puncak-puncak difraksi pada spectra difraksi menunjukkan pelebaran karena ukuran dan regangan suatu Kristal (V. S. Vinila, Reenu Jacob, Anusha Mony, Harikrishnan G, 2014).

**Tabel 2.** Ukuran Kristal Bahan Dasar Laterite Gowa (A) Sebelum Dihidroksilasi (B) Sesudah Didehidroksilasi (C) 5 Jam (D) 10 Jam (E) 15 Jam.

Sampel	Sudut $2\theta$ (°)	$\beta$ (FWHM) (°)	D (nm)
A	<b>19.99</b>	<b>1.12</b>	<b>12.05</b>
B	<b>21.10</b>	<b>5.90</b>	<b>2.80</b>
C	<b>26.85</b>	<b>0.26</b>	<b>51.27</b>
D	<b>27.09</b>	<b>6.10</b>	<b>2.20</b>
E	<b>21.20</b>	<b>7.90</b>	<b>1.70</b>

Berdasarkan tabel 2 ukuran Kristal bahan dasar laterite gowa dengan variasi milling mengalami penurunan yang ditunjukkan dari

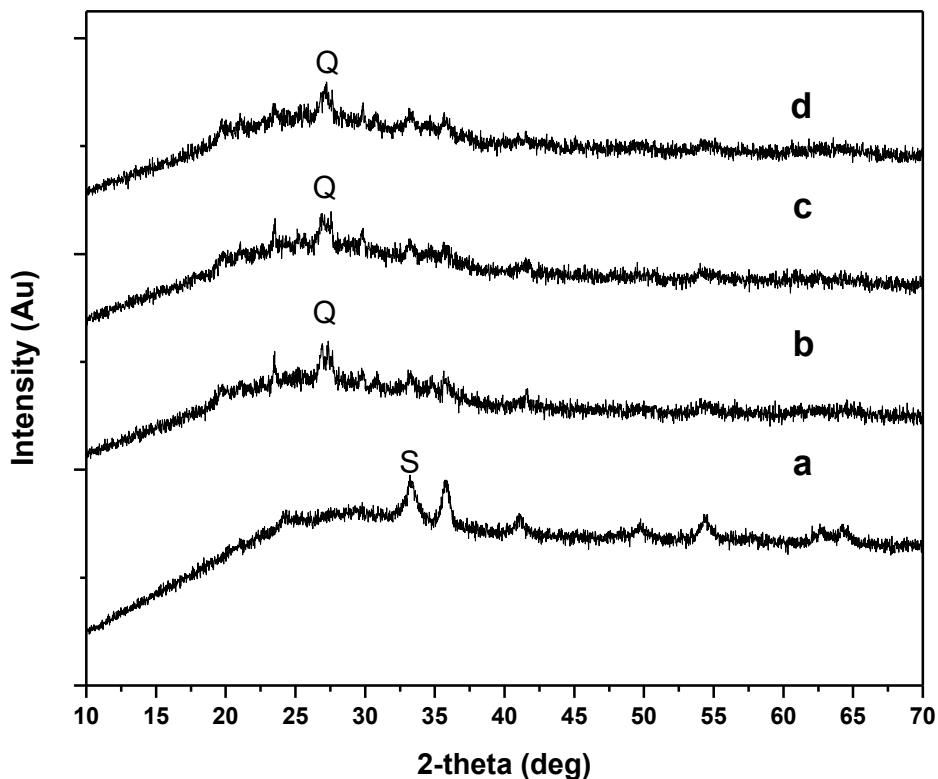
Lebar puncak difraksi dapat digunakan untuk menghitung ukuran rata-rata Kristal. Dari difraktogram XRD, ukuran Kristal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer:

$$D = \frac{0.89 \lambda}{\beta} \cos \theta$$

Dimana D adalah ukuran Kristal,  $\lambda$  adalah panjang gelombang sinar-x (0.1541 nm),  $\beta$  adalah lebar maksimum pada setengah puncak difraksi (FWHM) dalam radian didapat pada hasil X-Ray, dan  $\theta$  adalah sudut difraksi.

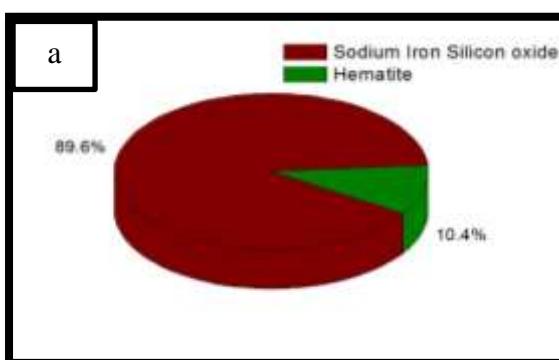
Dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer ukuran Kristal dari bahan dasar laterite gowa dapat diketahui, yaitu untuk sampel (a) memiliki ukuran Kristal sebesar 12.05 nm, (b) 2.80 nm, (c) 51.27 nm, (d) 2.20nm, dan (e) 1.70 nm.(tabel 4.2).

sampel (c) dengan nilai sebesar 51.27 nm, sampel (d) dengan nilai sebesar 2.20 nm, dan sampel (e) dengan nilai sebesar 1.70 nm.

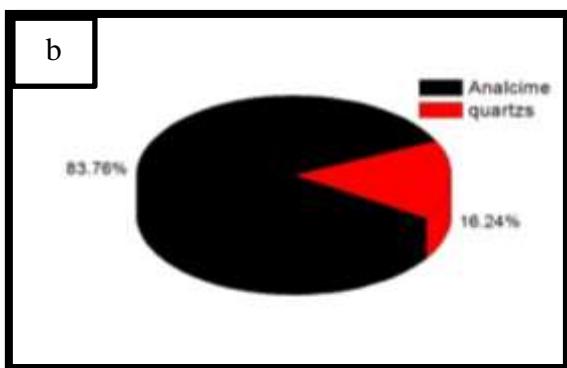


**Gambar 2.** Difraktogram Geopolimer Laterite Gowa Dengan Variasi Waktu Ball Milling (A) 0 Jam (B) 5 Jam (C) 10 Jam (D) 15 Jam.

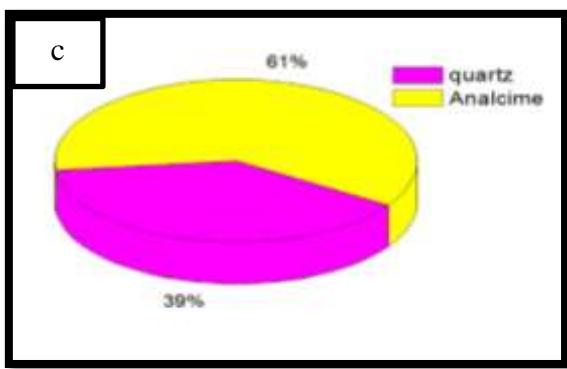
Gambar 2 menunjukkan pola difraktogram XRD pada pasta geopolimer sebelum dilakukan milling (0 jam) dan berturut-turut untuk waktu milling 5 jam, 10 jam, dan 15 jam. Gambar 2 juga menunjukkan perubahan intensitas puncak pola difraksi XRD dari pasta geopolimer dengan waktu milling 0 jam. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan fase awal tergerus menjadi partikel lebih kecil selama proses waktu milling. Perubahan puncak difraksi mengidentifikasi terjadinya perubahan struktur Kristal yang dimiliki oleh pasta geopolimer laterite gowa akibat pembentukan fasa baru. Semakin lama waktu milling dilakukan maka terjadi perubahan struktur Kristal pada pasta geopolimer laterite gowa.



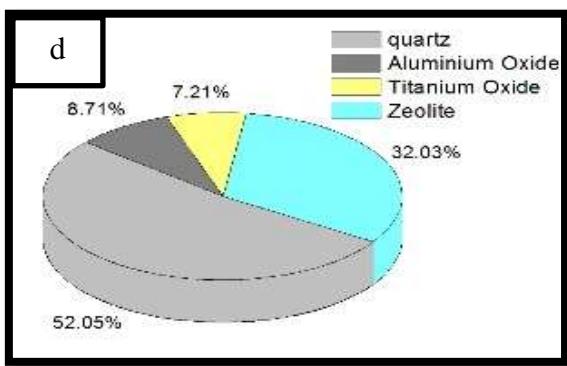
**Gambar 3.** Komposisi Fase Geopolimer Laterite Gowa Dengan Variasi Waktu Milling 0 Jam



**Gambar 4.** Komposisi Fase Geopolimer Laterite Gowa Dengan Variasi Waktu Milling 5 Jam



**Gambar 5.** Komposisi Fase Geopolimer Laterite Gowa Dengan Variasi Waktu Milling Jam



**Gambar 6.** Komposisi Fase Geopolimer Laterite Gowa Dengan Variasi Waktu Milling 15 jam.

Berdasarkan hasil difraktogram XRD, diketahui kandungan fase pasta geopolimer laterite gowa yang ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Hasil analisis kualitatif data XRD juga menunjukkan elemental yang terkandung dalam pasta

geopolimer laterite gowa. Sampel (a) menunjukkan fasa yang dominan adalah sodium silicate ( $SiO_2$ ) sebesar 89.6 wt % dengan fase minor hematit ( $Fe_2O_3$ ) sebesar 10.4 wt %. Sampel (b) menunjukkan fasa yang dominan adalah analcime sebesar 83.76 wt % dan quartz ( $SiO_2$ ) sebesar 16.24 wt %. Sampel (c) menunjukkan elemental yang dominan adalah analcime sebesar 61 wt % dan quartz low ( $SiO_2$ ) sebesar 39 wt %. Sampel (d) menunjukkan elemental yang dominan adalah quartz low ( $SiO_2$ ) sebesar 52 wt%, aluminium oxide ( $Al_2O_3$ ) sebesar 8.7 wt%, titanium oxide ( $TiO_2$ ) sebesar 7.2 wt% dan zeolite sebesar 32 wt%.

**Tabel 3.** Ukuran Kristal Pasta Geopolimer Laterite Gowa dengan Variasi Waktu Milling (a) 0 jam, (b) 5 Jam, (c) 10 Jam dan (d) 15 jam.

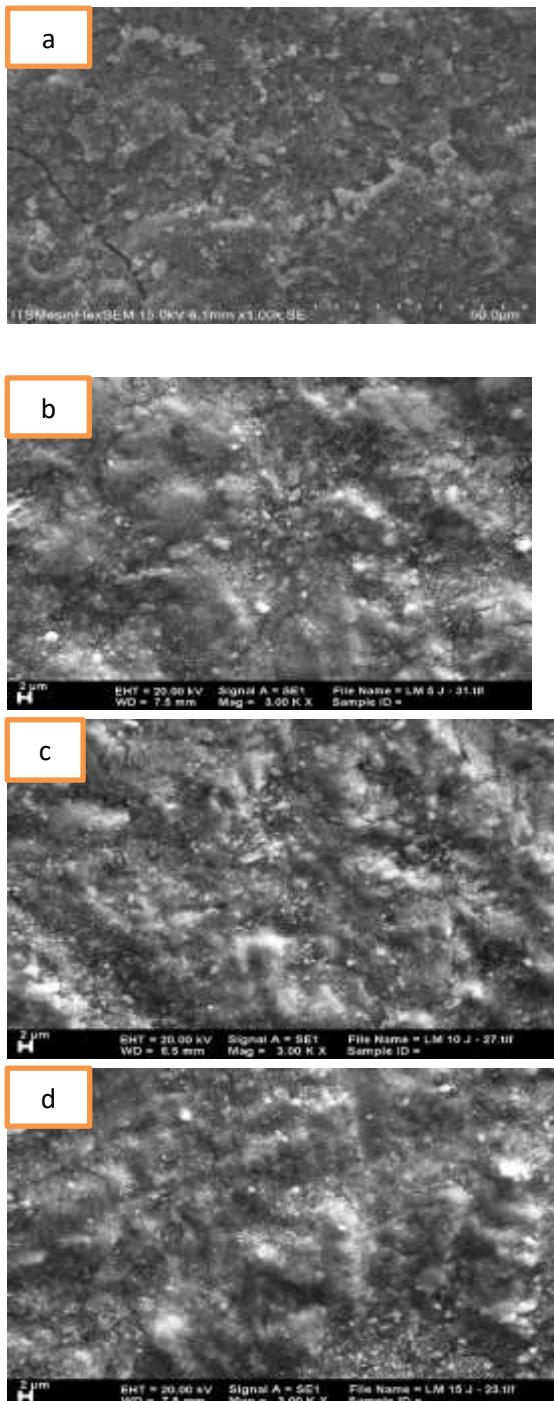
Sampel	Sudut $2\theta$ (°)	$\beta$ (FWHM) (°)	D (nm)
A	<b>33.39</b>	<b>0.88</b>	<b>14.90</b>
B	<b>26.86</b>	<b>0.86</b>	<b>15.50</b>
C	<b>26.94</b>	<b>0.82</b>	<b>16.20</b>
D	<b>27.41</b>	<b>1.80</b>	<b>7.30</b>

Tabel 3 menunjukkan analisa data XRD pasta geopolimer laterite gowa dengan variasi waktu milling. Berdasarkan Tabel 3 ukuran Kristal pada setiap waktu milling menunjukkan perubahan. Perubahan ini mengindikasikan adanya perubahan struktur Kristal pasta geopolimer seiring lamanya waktu milling. Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa ukuran partikel pasta geopolimer laterite gowa mengecil pada sampel dengan waktu milling selama 15 jam sebesar 7.30 nm.

## 2. Karakterisasi SEM-EDS

Morfologi serta komposisi elemental pasta geopolimer laterite gowa dapat dilihat melalui citra SEM dan hasil analisis EDS. SEM memberikan informasi mengenai bentuk butir dan morfologi sampel lempung laterite gowa,

sedangkan EDS memberikan informasi persentase unsur-unsur penyusun sampel laterite gowa.



**Gambar 7.** Morfologi Geopolimer Laterite Gowa Dengan Variasi Waktu Milling (a) 0 Jam, (b) 5 Jam, (c) 10 Jam (d) 15 Jam.

Gambar 7 menunjukkan morfologi permukaan pasta geopolimer laterite gowa dengan variasi waktu milling 0 jam, 5 jam, 10 jam, dan 15 jam.

Sampel (a) merupakan citra SEM dengan skala  $50 \mu\text{m}$ . Terlihat permukaan yang tidak terlalu rapat. Hal ini disebabkan karena pada sampel (a) tidak mengalami proses milling, sehingga memperoleh campuran bahan yang tidak homogen. Sampel (b),(c) dan (d) merupakan citra SEM dengan skala  $2 \mu\text{m}$ . Permukaannya terlihat rapat jika dibandingkan dengan gambar (a), dan gambar (b) terlihat lebih terang jika dibandingkan dengan gambar (a),(c) dan (d). Hal ini disebabkan karena tingginya kandungan besi dan dibuktikan dengan hasil EDS sampel pasta geopolimer laterite gowa dengan variasi *waktu milling* pada *Tabel 4*.

**Tabel 4.** Komposisi Elemental Pasta Geopolimer Laterite Gowa Dengan Variasi Waktu Milling (a) 0 Jam, (b) 5 Jam, (c) 10 Jam dan (d) 15 Jam.

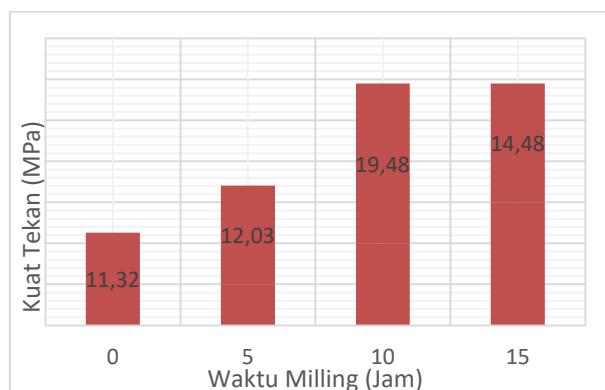
Element	Weight %			
	a	b	c	d
Si	3.70	22.91	15.21	16.69
Al	2.05	14.11	10.73	12.76
Fe	-	7.72	6.19	6.93
Na	26.83	5.41	5.33	6.56
K	-	2.70	1.70	0.96
Ti	-	1.24	0.58	0.69
Mg	-	0.18	0.16	0.37

Tabel 4 memperlihatkan elemental yang terdapat pada sampel pasta geopolimer dengan variasi waktu milling. Data hasil EDS pasta geopolimer laterite gowa menunjukkan perbedaan elemental yang cukup besar pada setiap waktu milling. Pada sampel (a), (b), (c), dan (d) menunjukkan persentase silicon pada setiap sampel yaitu 3.70 wt%, 22.91 wt%, 15.21 wt%, dan 16 wt%. Aluminium sebesar 2.05 wt%, 14.11 wt%, 10.73 wt%, dan 12.76 wt%. Sodium sebesar 26.83 wt%, 5.41 wt%, 5.33 wt%, dan 6.56 wt%. Sampel (a), (b),(c), dan (d) menunjukkan persentase Besi sebesar 0 wt%, 7.72 wt%, 6.19 wt%, dan 6.93 wt%. Serta oksida

yang lain dengan komposisi minor seperti K,Ti, dan Mg.

### 3.Karakterisasi Kuat Tekan

Karakterisasi Kuat tekan digunakan untuk mengidentifikasi kekuatan tekan pada sampel. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sampel menahan beban, seiring bertambahnya waktu milling. Kuat tekan didapatkan dari gaya  $F$  yang diberikan pada bahan dibagi dengan luas bidang tekan  $A_0$ . Adapun hasil kuat tekan yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.5.



**Gambar 8.** Kekuatan Tekan Pasta Geopolimer Gowa dengan Variasi Waktu Ball Milling

Berdasarkan Gambar 4.5 terlihat bahwa nilai kuat tekan bertambah seiring dengan penambahan waktu milling. Hal ini disebabkan semakin lama waktu milling, maka laterite gowa akan semakin homogen. Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pasta geopolimer laterite gowa nilai tertinggi ada pada sampel 10 jam yaitu sebesar 19.48 MPa.

### SIMPULAN

Pada penelitian ini menunjukkan bahwa Analisis XRD Menunjukkan bahwa ukuran butir terkecil terdapat pada variasi waktu milling selama 15 jam. Analisis Kuat Tekan menunjukkan bahwa waktu milling terbaik terdapat pada waktu milling selama 10 jam dan Analisis SEM menunjukkan bahwa variasi waktu

milling berpengaruh terhadap morfologi pasta geopolimer laterite Kabupaten Gowa. Ditandai dengan adanya perubahan ukuran butir dan kerapatan pada setiap sampel.

### DAFTAR RUJUKAN

- Abdullah, M.A.(2013). *Sintesis dan Karakterisasi Bahan Magnet Barium Heksafерит (BaFe12O19) Menggunakan Bahan Dasar Barium Karbonat (BaCO3) dan Pasir Besi Dari Pesisir Selatan Pandeglang-Banten.* Univ. Lampung Bandar Lampung.
- Aginam C. H., Chidozie, N., & Nwajuaku A.I. (2015). *Engineering Properties of Lateritic Soils from Anambra Central Zone, Nigeria. International Journal of Computing and Engineering*, 4(6), 1-6
- B.A. Lawal , M.K.A. Adeboye, P.A. Tsado, M.G. Elebiyo, & C.R. Nwajoku. (2012). *Properties, classification and agricultural potentials of lateritic soils of Minna in sub-humid agroecological zone, Nigeria.* International Journal of Development and Sustainability, 1(3), 903-991
- Bagci, C., Kutyla, G.P., & Kriven, W.M.(2017). *Fully reacted high strength geopolymers made with diatomite as a fumed silica alternative.* Ceram. Int. 43, 14784–14790.  
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.07.222>
- Callister, W.D and Rethwisch, D.G., (2009). *Material Science and Engineering, An Introduction.* Eight. USA: John Wiley Co.
- Chareerat, T., Pimraksa, K., Chindaprasirt, P., Maegawa, A., & Hatanaka, S.(2008). *Composition and Microstructure of Fly Ash Geopolymer Containing Rice Husk Ash*, in: Technology And Innovation For Sustainable Development Conference (TISD 2008). 29.

- Chen, W., Scoenitz, M., Ward, T. S., & Dreizen, E. L.(2005). *Numerical Simulation of Mechanical Alloying in a Shaker Mill by Discrete Element Method.* KONA.23.
- Chen, W., Scoenitz, M., Ward, T. S., & Dreizen, E. L.(2005). *A study of mechanical alloying processes using reactive milling and discrete element modeling.* Acta MAteralia, 53, 2909-2918.
- Cristiane, et al.(2010). *Iron distribution in geopolymers with ferromagnetic rich precursor.* Materials Science Forum, 643, 131-138
- C. Suryanarayana.(2003). *Mechanical Alloying and Milling.* New York : Marcel Dekker.
- Damilola, O.M.(2013). *Syntheses, Characterizaton and Binding Strength of geopolymers:A Review.* Int. J. Mater,2, 185. doi: 10.11648/j.ijmsa.20130206.14
- Harold P. Klung, Leroy E. Alexander. (2013). *X-Ray Difraction Properties,* New York, John Willey and Son Inc, 1962, Chap.9.
- H. H. Murray.(1999). *Applied Clay Mineralogy Today and Tomorrow.* Clay Minerals. 34. 39-49.
- Kairigo,P. K., Kareru, P.G., Madivoli, E.S., & Njonge, F.K.(2015). *Formulation of Geopolymer Building Blocks Using Locally Available Aluminosilicate Waste Material.* International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology, 29(2).64-72
- Kalu, I. E., Jossou, E. E., Jacob, F., Ilboudo, A. I., Adedeji, A. F., & Soboyejo, W.O. (2015). *Polymer Reinforced Laterite for Building Materials.* International Journal of Engineering and Technology, 5(2), 87–94.
- Lassinanti Gualtieri, M., Romagnoli, M., Pollastri, S., & Gualtieri, A.F.(2015). *Inorganic polymers from laterite using activation with phosphoric acid and alkaline sodium silicate solution:* Mechanical and microstructural properties. 67, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.08.010>.
- Latifi, Nima., Marti, Aminaton., Eisazadeh, & Amin. (2013). *Structural Characteristics of Laterite Soil Treated by SH-85 and TX-85 (Non-Traditional) Stabilizers.* EJGE, 3. 1707- 1718
- Lemougna, P.N., Wang, K., Tang, Q., Kamseu, E., Billong, N., Chinje Melo, U., & Cui, X.( 2017). *Effect of slag and calcium carbonate addition on the development of geopolymers from indurated laterite.* Appl. Clay Sci. 148, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.08.015>
- Manuahe, R., Sumajouw, M. D. J. & Windah, R. S.(2014). *Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash).* Jurnal Sipil Statistik, vol.2(6). 277-282.
- Mukri, M., Syuhada Nik Ab Aziz, N.N.(2017). *The Influence of Geopolymer for Laterite Soil with Different Compaction Effort as a Soil Liner.* Reasearch India Publ., International Journal of Applied Engineering Research ,12, 1365–1370.
- Patrick N. Lemougna, Uphie F. Chinje Melo, Elie Kamseu \* & Arlin B. Tchamba. (2011). *Laterite Based Stabilized Products for Sustainable Building Applications in Tropical Countries: Review and Prospects for the Case of Cameroon.* Sustainability, 3. 293-305.
- Obonyo, Esther A., Kamseu Elie, Patrick N. Lemougna, Arlin B. Tchamba, Uphie C. Melo 2 & Cristina Leonelli.(2014). *A Sustainable Approach for the Geopolymerization of Natural Iron-Rich Aluminosilicate Materials.* Sustainability, 66
- Riger Manuahe. (2014). *Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu*

- Terbang (Fly Ash), Jurnal Sipil Statik,2(6).
- S. Scudino, M. Sakaliyska, K. B. Surredi, & J. Eckert,"*Mechanical Alloying adn Mechanical Milling of Al-Mg Alloys,*" Journal of Alloys and Compounds, 483(1-2), 2-7.
- Subaer, S. (2015). *Pengantar Fisika Geopolimer.*
- Subaer, Amalia, N., Nurfadilla, Riska, A., Sulfiana, & San, F.P. (2017). *The Potential of Laterite Soils Deposit South Sulawesi as a Precursor for Na-Poly (Ferro-Sialate) Geopolymers.* MATEC Web Conf 97. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20179701014>
- Syamsidar, D., Nurfadilla, & Subaer.(2017). *The Properties of Nano TiO<sub>2</sub>-Geopolymer Composite as a Material for Functional Surface Application.* MATEC Web Conf 97. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20179701013>
- V.S. Vanita, Reenu Jacob, Anusha Mony, Harikrishan G. Nair, Sheelakumari Issac, Sam Rajan, Anita S. Nair, D.J. Satheesh I, jayakumari Isac.(2014). *Ceramic Nano Crystalline Superconductor Gadolinium Barium Copper Oxide (GdBaCuO) at Different treating Temperature.* Journal Of Crystallization process and Technology. 4. 168-176.
- Wismadi T. *Pembuatan Dan Karakterisasi Lapisan Tipis Copper Oxide (CuO) Sebagai Sensor Gas.*(2001). [Skripsi]. Bogor (ID): Fakutas Matematika Dan Pengetahuan alam, Institut Pertanian Bogor.
- Y. F. Lim, J. J. Choi, and T. Hanrath, J. *Nanomater.*(2012), 393160 (2012).
- Zharvan, V., Muris, M., & Subaer, S. (2013). *Studi Struktur Mikro Dan kuat lentur komposit geopolimer serat bambu dengan temperatur curing berbeda.* J.Fis. Dan Apl. 9,100-104.