

PENGEMBANGAN GEOPOLIMER TIPE POLY (FERRO-SIALATE) BERBAHAN DASAR LEMPUNG LATERIT UNTUK APLIKASI MATERIAL STRUKTURAL

Fitria Pebriyanti San, Subaer, Eko Hadi Sujiono

Program Studi Fisika Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Makassar

Jl. Mallengkeri, Makassar 90224

e-mail: pebriyantifitria@gmail.com

Abstract: Development of Laterit Clay-Based Poly Type Geopolymer (ferro-sialate) for Structural Materials Application. Geopolymer was synthesized from raw material clay using alkali activation method. Laterite clay characterization of at temperature 750 °C during 4 hours and then analyzed by using XRF and SEM-EDS to see elemental composition (in wt%) of three clay. SEM-EDS analysis shows that highest of hematite contained in laterite clay samples Tanah Karaeng with 30.42 wt%. The results of FTIR analysis is used to see the clay laterite oxide clusters, showing that span the range of wave number hydroxyl groups for the raw material such as DTK, DPT, DMW, ranging from 3400, 3388.98 cm^{-1} , 3398.59 cm^{-1} , after made geopolymer STK, SPT, SMW, ranging from 3376.88 cm^{-1} , 3367.72 cm^{-1} , 3393.04 cm^{-1} . According to analysis of X-Ray Diffraction (XRD), the three of laterite clay formed semikristal phase. To see the mechanical properties of geopolymer, it was conducted compressive strength testing. Based on test results obtained for basic, ingredients of clay laterite Tanah Karaeng (STK) has a compressive strength at 39.91 MPa, laterite clay of Pakatto (SPT) at 31.97 MPa, and laterite clay of Mawang (SMW) at 30.42 MPa.

Keywords: FTIR, compressive strength, laterite clay

Abstrak: Pengembangan Geopolimer Tipe Poly (Ferro-Sialate) Berbahan Dasar Lempung Laterit untuk Aplikasi Material Struktural. Geopolimer disintesis dari bahan dasar lempung dengan menggunakan metode aktivasi alkali. Hasil karakterisasi lempung laterite pada suhu 750 °C selama 4 jam kemudian dianalisis menggunakan XRF dan SEM-EDS untuk melihat komposisi elemental (dalam wt%) dari ke tiga lempung. Hasil analisis SEM-EDS memperlihatkan bahwa kandungan hematite tertinggi terdapat pada sampel lempung laterite Tanah Karaeng sebesar 30,42 wt%. Hasil analisis FTIR dilakukan untuk melihat gugus oksida lempung laterite, memperlihatkan bahwa rentang rentang bilangan gelombang gugus hidroksil O-H untuk bahan dasar DTK, DPT, DMW, berkisar 3400 cm^{-1} , 3388,98 cm^{-1} , 3398,59 cm^{-1} , setelah dibuat geopolimer STK, SPT, SMW, berkisar 3376,88 cm^{-1} , 3367,72 cm^{-1} , 3393,04 cm^{-1} . Berdasarkan hasil analisis X-ray Diffraction (XRD), ketiga lempung laterit tersebut membentuk fasa semikrista. Untuk melihat sifat mekanik geopolimer dilakukan pengujian kuat tekan. Berdasarkan hasil pengujian maka diperoleh, untuk bahan dasar lempung laterite Tanah Karaeng (STK) memiliki kuat tekan sebesar 39,91 MPa, lempung laterite Pakatto (SPT) sebesar 31,97 MPa, dan lempung laterite Mawang (SMW) sebesar 30,42 MPa.

Kata Kunci: FTIR, kekuatan tekan, lempung laterit, XRF

PENDAHULUAN

Secara umum batu bata yang digunakan sebagai bahan bangunan terbuat dari tanah liat atau lempung. Salah satu jenis lempung yang potensial untuk digunakan sebagai bata geopolimer yaitu lempung laterite. Laterit adalah hasil pelapukan batuan yang kaya akan oksida besi, aluminium dan nikel. Laterit telah banyak digunakan untuk konstruksi bangunan karena memiliki kuat tekan yang tinggi dengan ketersediaan yang banyak di wilayah tropis.

Laterite dimanfaatkan dan digunakan untuk bahan jalan, bahan pabrik dalam pengelohannya serta pembuatan batu bata, terutama laterite sangat ramah lingkungan. Selain dari sifatnya yang ramah lingkungan, lempung laterite juga memiliki sifat mekanik yang baik.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Adam (2011) memaparkan bahwa nilai kuat tekan pada sampel dengan campuran semen-pasir 5% yang didiamkan selama 28 hari adalah 1,65 N/mm^2 . Untuk campuran laterit-semen pasir 45%

dan 5% semen, diperoleh kuat tekan 1,80 N/mm², ketika agregat dari semen yang digunakan lebih sedikit yakni 6% dan 45% pasir, pada pencampuran laterit-pasir-semen memperoleh kekuatan 20 N/mm². Pembuatan beton yang digunakan untuk aplikasi pondasi tanpa diperkuat agregat memiliki kualitas yang relative baik dalam tujuan pembangunan karena kuat tekan dan daya penyerapan airnya rendah.

Geopolimer poly(sialite) dapat disintesis dari bahan dasar yang mudah ditemukan di alam, seperti lempung, produk (bahan buangan industri) seperti abu terbang (fly ash), abu sekam padi (fly ash), dan furnace slag. Kelebihan utama geopolimer terletak pada manufakturnya yang berenergi rendah. Material ini disintesis melalui reaksi polikondensasi metakaolin. Salah satu metode pembentukan geopolimer dari sintesis tanah liat yang diaktivasi oleh logam alkali hidroksida. Kristalin *poly(sialate)* dapat diperoleh secara hidrothermal, sedangkan pengerasan (*setting*) pada temperatur tinggi akan menghasilkan sistem amorf. Lempung yang dihidroksilasi pada suhu 750°C menghasilkan metalempung ternyata sangat reaktif terhadap larutan alkali (sodium atau *potassium silicate*).

Pengaruh suhu pada proses geopolimer dapat mempercepat proses polimerisasi, dimana suhu curing optimum geopolimer adalah sekitar 60°C dengan hasil kuat tekan sebesar 97,95 MPA dalam perawatan selama 7 hari. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan penelitian yang bersifat pengembangan yang mengarah pada pengembangan produk geopolimer dengan memanfaatkan *lempung laterite* sebagai bahan dasar dalam pembuatannya untuk aplikasi material struktural.

METODE

Penelitian diawali dengan penyiapan bahan dasar lempung dari tiga tempat yang berbeda,

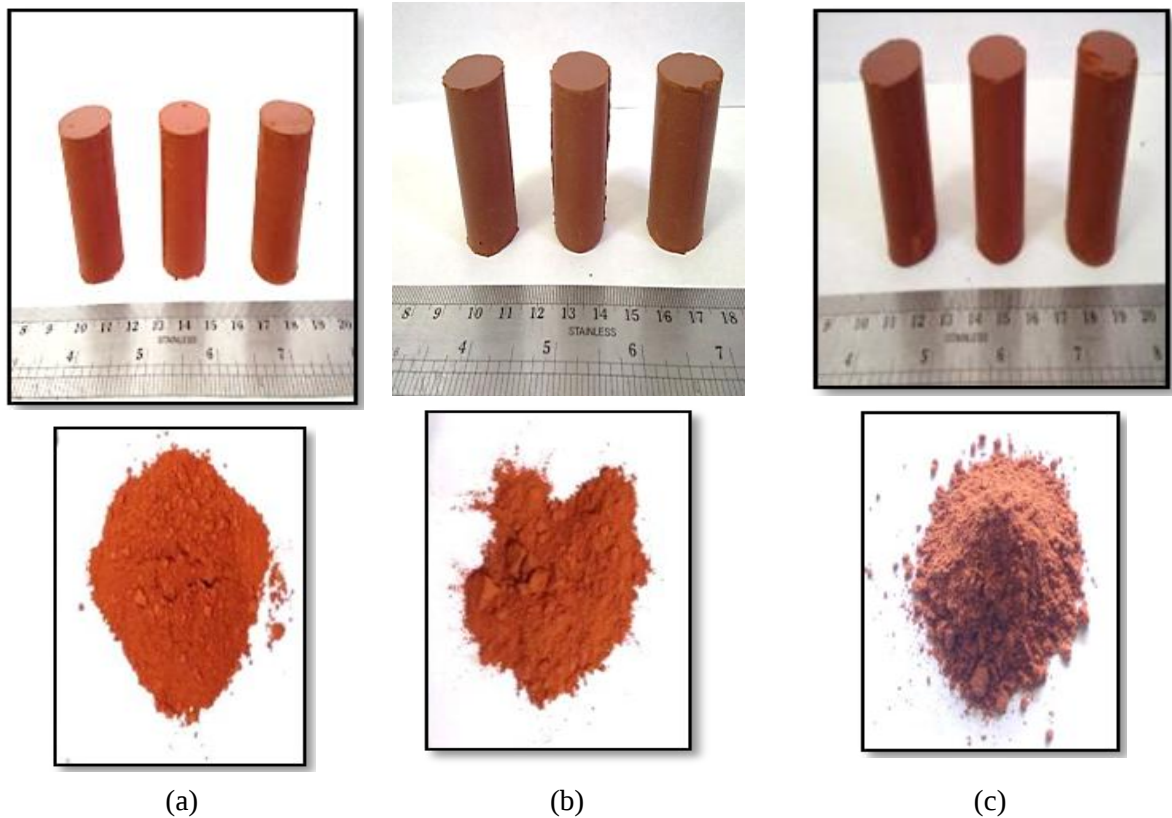
yaitu lempung Tanah Karaeng (STK), Pakatto (SPT) dan Mawang (SMW). Selanjutnya dilakukan perendaman, penggerusan, dan proses dehidroksilasi yaitu pemutusan rantai gusur OH pada bahan dasar tersebut.

Penelitian ini menggunakan metode aktivasi alkali dengan bahan dasar lempung laterit. Dengan metode ini, geopolimer disintesis dengan menggunakan metode aktivasi alkali dari bahan dasar lempung laterite. Terdapat 2 variasi perbandingan molar dari SiO₂/Al₂O₃ untuk setiap lempung laterite yaitu 3.25 dan 3.50. Kekentalan yang tinggi pada campuran geopolimer terdapat pada perbandingan molar 3.25. Selanjutnya, pasta geopolimer yang telah dibuat didiamkan selama satu hari sebelum dicuring pada suhu 70°C selama 2 jam.

Jumlah sampel yang disintesis sebanyak 6 batch untuk setiap pengujian yaitu geopolimer lempung Tanah Karaeng (STK), Pakatto (SPT) dan Mawang (SMW) dengan perbandingan rasio 3.25 dan 3.50. pembuatan sampel untuk STK1, SPT1, SMW1, menggunakan perbandingan rasio molar dari SiO₂/Al₂O₃ sebesar 3.25 sedangkan untuk STK2, SPT2, SMW2, menggunakan perbandingan rasio molar SiO₂/Al₂O₃ sebesar 3.50. Sampel yang telah berusia 28 hari selanjutnya dilakukan pengukuran massa jenis dan FTIR, pengujian kuat tekan karakterisasi struktur mikro menggunakan XRF, SEM-EDS, XRD.

HASIL DAN DISKUSI

Gambar-1 menunjukkan geopolimer berbahan dasar lempung laterite. Bahan dasar sampel geopolimer ini berasal dari lempung laterite Tanah Karaeng (STK) (a), Pakatto (SPT) (b), dan Mawang (SMW) (c). Sampel geopolimer tersebut kemudian dicetak dalam bentuk silinder untuk pengujian kuat tekan.



Gambar 1. (a) Geopolimer Lempung Tanah karaeng, (b) Geopolimer Lempung Pakatto, (c) Geopolimer Lempung Mawang.

A. Karakterisasi Bahan Dasar

Teknik analisis yang digunakan untuk mengetahui komposisi elemental dan fasa kandungan yang terdapat pada lempung laterite menggunakan XRF dan XRD. Tabel-1, tabel-2, dan tabel-3 memperlihatkan komposisi kimia yang diperoleh dari hasil analisis XRF untuk lempung laterite Tanah Karaeng (STK), Pakatto (SPT) dan Mawang (SMW). Dari data tersebut terlihat adanya komponen SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O , CaO dimana komponen yang mendominasi yaitu SiO_2 sebesar 49,33% pada lempung laterite Mawang dan Pakatto sebesar 41,99%. Selain itu kandungan Fe_2O_3 yang tertinggi terdapat pada lempung laterite Tanah Karaeng sebesar 62,18%. Penelitian sebelumnya yang menggunakan lempung laterite sebagai bahan dasar, kandungan besi Fe_2O_3 pada lempung laterite yang digunakan yaitu sebesar 9,68% untuk pembuatan pasta geopolimer.

Tabel 1. Komposisi kimia lempung laterite Tanah karaeng hasil analisis XRF

Elemen	wt%	Componen	wt%
Si	15,55	SiO_2	33,26
Mn	0,93	MnO	1,21
Fe	43,49	Fe_2O_3	62,18
Ti	1,75	TiO_2	2,92
Ca	0,09	CaO	0,12

Tabel 2. Komposisi kimia lempung laterite Pakatto hasil analisis XRF

Elemen	wt%	Componen	wt%
Si	19,63	SiO_2	41,99
Al	12,07	Al_2O_3	22,81
Mn	0,28	MnO	0,36
Fe	22,69	Fe_2O_3	32,45
Ti	1,30	TiO_2	2,17

Tabel 3. Komposisi kimia lempung laterite Mawang hasil analisis XRF

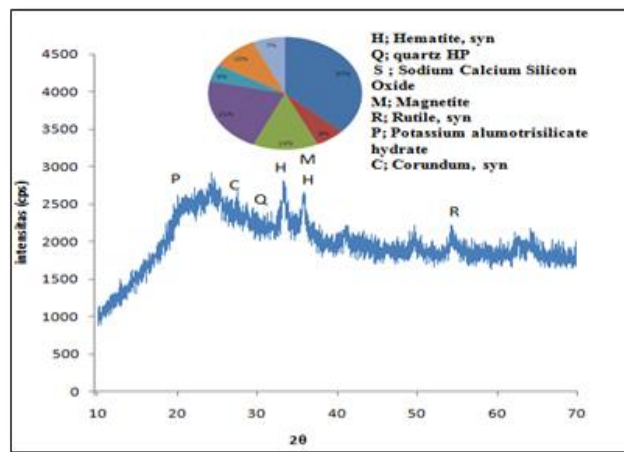
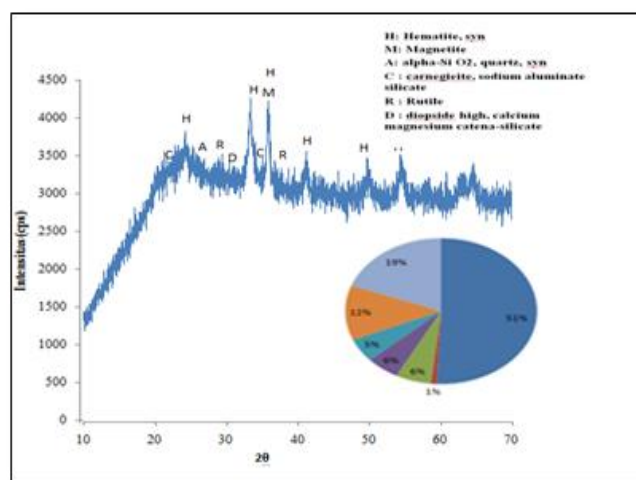
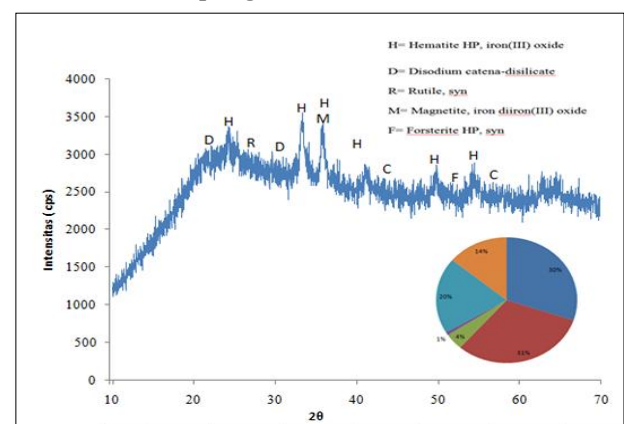
Elemen	wt%	Componen	wt%
Si	23,06	SiO ₂	49,33
Al	12,98	Al ₂ O ₃	24,52
K	0,19	K ₂ O	0,16
Fe	16,04	Fe ₂ O ₃	22,94
Ti	1,47	TiO ₂	2,45

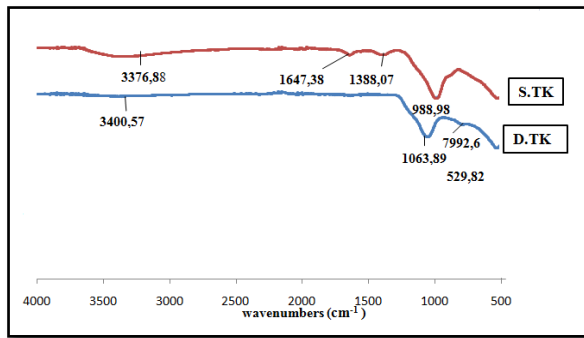
Berdasarkan Gambar-2, tampak bahwa dari difraktogram lempung laterite hasil karakterisasi XRD memperlihatkan fase yang paling dominan pada lempung Tanah Karaeng adalah *hematite* sebesar 51%. Selain itu, terdapat mineral lain seperti *magnetite*, *alpha-SiO₂*, *carnegieite*, *sodium aluminate silicate*, *rutile*, dan *corundum*.

Pada Gambar-3 ditunjukkan bahwa kandungan senyawa pada lempung *laterite* Pakatto yang paling dominan adalah *hematite* sebesar 30% dan *disodium catena-disilicate* 31%. Mineral lainnya yang terkandung dalam lempung ini adalah *magnetite*, *forsterite*, dan *corundum*. Sedangkan kandungan senyawa lempung *laterite* Mawang yang ditunjukkan pada gambar-4 memperlihatkan bahwa kandungan senyawa yang dominan adalah *hematite* sebesar 37% dan *magnetite* 21,8 %. Juga terlihat mineral lain dengan komposisi yang rendah seperti *forsterite*, *corundum*. Kehadiran mineral dengan fasa *hematite* mengubah lempung membentuk fasa semikristal. Kandungan fasa *hematite* ini membentuk struktur kristal.

B. FTIR

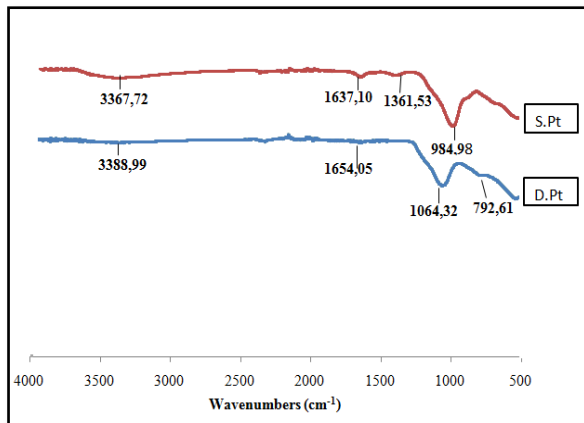
Teknik FTIR digunakan untuk membedakan berbagai mineral lempung dengan dan untuk mendapatkan informasi mengenai struktur, komposisi dan perubahan struktur dan modifikasi kimia.

**Gambar 2.** Difraktogram XRD bahan dasar lempung laterit Tanah Karaeng**Gambar 3.** Difraktogram XRD bahan dasar lempung laterit Pakatto**Gambar 4.** Difraktogram XRD bahan dasar Lempung *laterite* Mawang



Ket : ■ D.TK : Bahan dasar lempung Tanah Karaeng sebelum di dehidroksilasi
■ S.TK : Sampel lempung Tanah Karaeng setelah di dehidroksilasi

Gambar 5. Hasil spektrum FTIR untuk lempung *laterite* Tanah Karaeng



Ket : ■ D.PT : Bahan dasar lempung Pakatto sebelum di dehidroksilasi
■ S. PT : Sampel lempung Pakatto setelah di dehidroksilasi

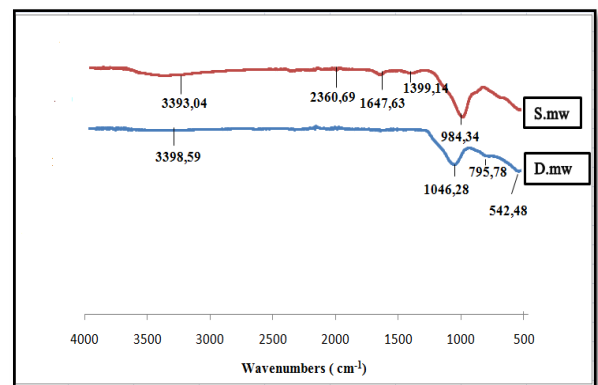
Gambar 6. Hasil spektrum FTIR untuk lempung *laterite* Pakatto

Gambar-5, gambar-6, dan gambar-7 menunjukkan bahwa bahan dasar lempung *laterite* setelah dijadikan geopolimer mengalami pergeseran gelombang pada gugus hidroksil O-H. Rentang bilangan gelombang 3200-3500 cm^{-1} merupakan gugus hidroksil O-H.

Pada Gambar-5 untuk lempung *laterite* Tanah Karaeng terlihat rentang bilangan gelombang untuk bahan dasar berkisar 3400 cm^{-1} setelah dibuat geopolimer berkisar 3376,88 cm^{-1} ini merupakan rentang bilangan gugus hidroksil

O-H. Pada lempung *laterite* Tanah Karaeng, untuk STK terdapat pita serapan pada 1388 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi stretching asimetris dari Si-O-Si. DTK terdapat pita serapan pada pita 1063,89 sedangkan STK terdapat pada pita 998,98 cm^{-1} menunjukkan vibrasi stretching dari Si-O dimana O adalah oksigen terminal, sedangkan dua pita lainnya pada 792,60 cm^{-1} dan 529,82 cm^{-1} menunjukkan jembatan Al-O-Al.

Pada gambar 6 untuk lempung *laterite* Pakatto terlihat rentang bilangan gelombang untuk bahan dasar berkisar 3388,99 cm^{-1} setelah dibuat geopolimer berkisar 3367,72 cm^{-1} . Pada lempung *laterite* Pakatto, untuk SPT terdapat pita serapan pada 1361,53 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi stretching asimetris dari Si-O-Si. DPT terdapat pita serapan pada pita 1064,32 sedangkan SPT terdapat pada pita 984,98 cm^{-1} menunjukkan vibrasi stretching dari Si-O dimana O adalah oksigen terminal, sedangkan DPT pada 792,61 cm^{-1} menunjukkan jembatan Al-O-Al antara struktur *crystaline caliumphosphate*.



Ket : ■ D.TK : Bahan dasar Lempung Mawang sebelum di dehidroksilasi
■ S.TK : Sampel Lempung Mawang setelah di dehidroksilasi

Gambar 7. Hasil spektrum FTIR untuk lempung *laterite* Mawang

Pada gambar-7 untuk lempung *laterite* Mawang terlihat rentang bilangan gelombang gugus hidroksil O-H untuk bahan dasar DMW berkisar 3398,59 cm^{-1} setelah dibuat geopolimer

SMW berkisar 3393,04 – 1647,63 cm^{-1} . lempung *laterite* Mawang, untuk SMW terdapat pita serapan pada 1399,14 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi stretching asimetris dari Si-O-Si. DMW terdapat pita serapan pada pita 1046,28 sedangkan SMW untuk geopolimer terdapat pada pita 984,34 cm^{-1} menunjukkan vibrasi stretching dari Si-O sedangkan DMW bahan dasar lempung pada 792,61 cm^{-1} menunjukkan jembatan Al-O-Al.

C. Uji Mekanik

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk melihat kemampuan sampel menahan beban yang diberikan. Kuat tekan di peroleh dengan menggunakan persamaan:

$$C = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan C adalah kekuatan tekan (MPa), P adalah beban total hingga sampel rontok (N), dan A adalah luas permukaan sampel yang ditekan (mm^2).

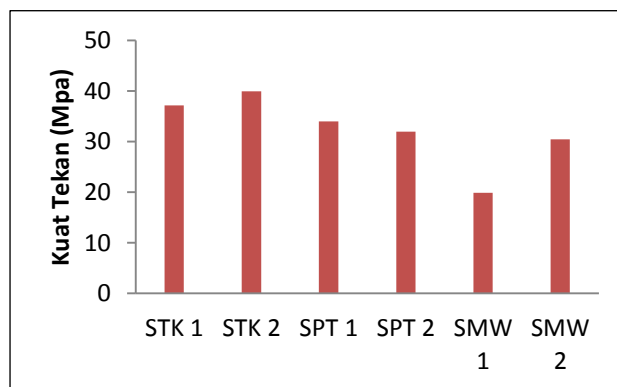
Tabel-4 memperlihatkan data massa jenis dan kuat tekan sampel geopolimer dengan perbandingan rasio pada setiap sampel yaitu 3,25 dan 3.50 Sampel ini diuji ketika berusia 28 hari. Dari data kuat tekan menunjukkan kuat tekan geopolimer tertinggi pada sampel STK1 sebesar 39,91MPa. Massa jenis geopolimer menunjukkan kadar ruang atau pori suatu sampel, semakin besar massa jenis suatu sampel maka semakin kecil porositasnya dan semakin kecil massa jenis maka semakin besar porositas suatu sampel. Dalam tabel-4 tampak bahwa massa jenis tertinggi pada sampel GLS.40 adalah sebesar 1.96 g/cm^3 .

Dalam gambar-8 diperlihatkan diagram batang kuat tekan rata-rata sampel geopolimer untuk lempung *laterite* Tanah Karaeng (STK), Pakatto (SPT) dan Mawang (SMW). Dari gambar tersebut tampak terjadinya penurunan kuat tekan pada sampel lempung *laterit* yang

berbeda. Penurunan tersebut terjadi pada perbandingan rasio molar dari $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 3,25 pada sampel lempung *laterite* Tanah Karaeng (STK1), Pakatto (SPT1) dan Mawang (SMW1), selanjutnya terjadi peningkatan kuat tekan pada sampel dengan menggunakan rasio molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sebesar 3.50 *laterite* Tanah Karaeng (STK2), Pakatto (SPT2) dan Mawang (SMW2).

Tabel 4 Nilai rata-rata massa jenis, kuat tekan geopolimer berbahan dasar lempung *laterite*

Sampel	Massa jenis (kg/m^3)	Kuat tekan (MPa)
STK 1	1,92	37,15
STK 2	1,96	39,91
SPT 1	1,92	33,97
SPT 2	1,87	31,97
SMW 1	1,90	19,85
SMW 2	1,85	30,42



Gambar 8. Kuat tekan rata-rata geopolimer dari lempung *laterit* yang berbeda.

D. Karakterisasi Struktur Mikro

1. Karakterisasi Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)

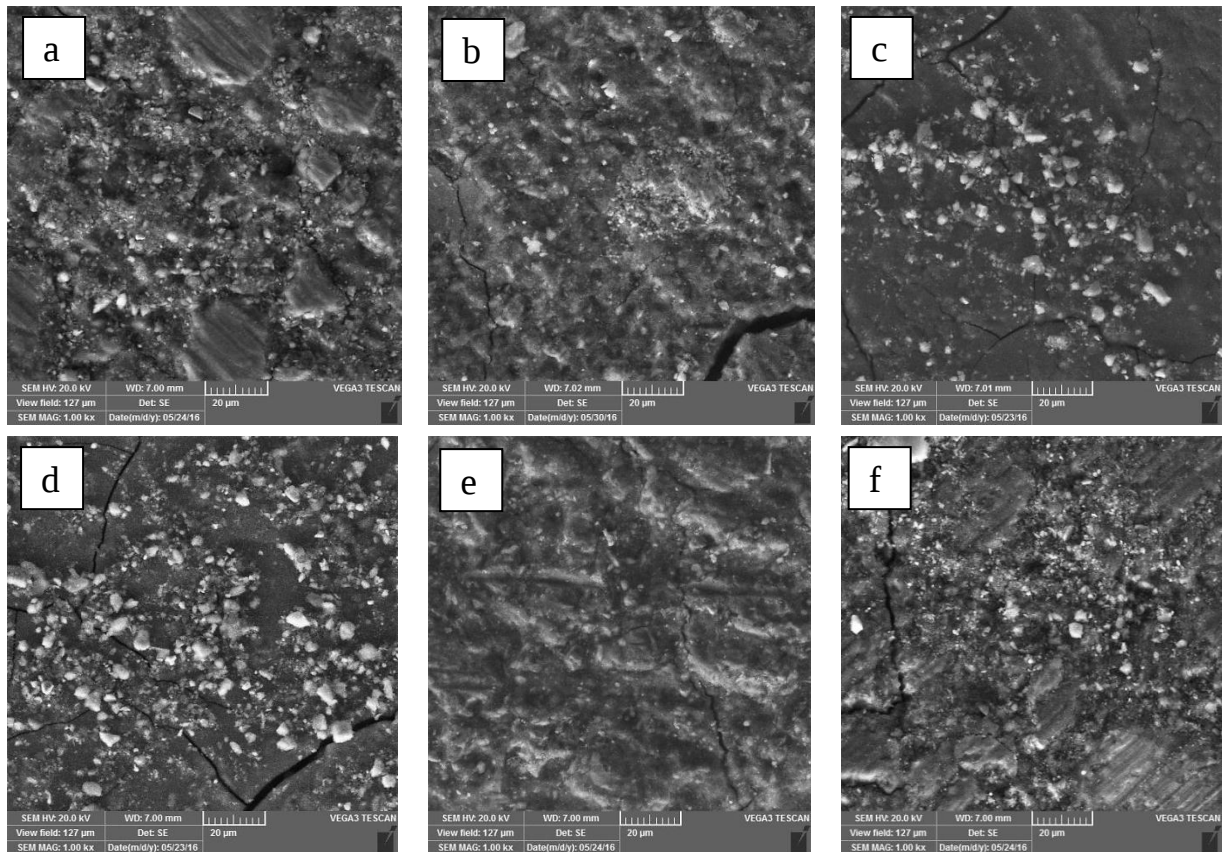
Karakterisasi Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS) dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dan morfologi dari sampel dengan perbandingan rasio molar dari $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

sebesar 3,25 dan 3.50 pada setiap variasi lempung yang digunakan.

Pada tabel-5 diperlihatkan komponen-komponen yang terdapat pada sampel geopolimer dengan perbandingan rasio yang berbeda. Data EDS sampel geopolimer menunjukkan komponen-komponen yang terdapat pada masing-masing geopolimer relatif sama dan persentasi kandungannya pun relatif sama. Pada sampel STK1, STK2, SPT1, SPT2, SMW1, SMW2 menunjukkan persentase sodium pada setiap sampel yaitu 12.18%, 14.88%, 17.46%, 16.68%, 14.48% dan 13,36%.

Tabel 5. Komposisi kimia dari geopolimer dengan variasi lempung *laterit*

Element and Compound nom.	Comp. C (wt%)								
	STK	STK1	STK2	SPT	SPT1	SPT2	SMW	SMW1	SMW2
Sodium (Na_2O)	-	12,18	14,88	-	17,46	16,68	-	14,84	13,36
Magnesium (MgO)	-	0,69	1,64	-	0,96	0,99	-	1,91	1,39
Silicon (SiO_2)	30,68	45,48	41,66	33,09	44,27	42,6	34,71	41,08	40,53
Aluminium (Al_2O_3)	34,94	28,75	25,4	36,94	27,16	27,87	39,92	26,96	25,92
Phosphorus (P_2O_5)	-	0,33	0,33	-	0,47	0,62	-	0,54	0,11
Calium (CaO)	-	-	-	-	0,04	0,04	-	-	0,03
Titanium (TiO_2)	2,21	1,25	1,29	2,38	1,07	1,19	2,14	1,18	1,51
Iron (FeO)	30,42	8,11	14,79	25,66	8,12	9,48	22,82	13,48	16,97
Potassium (K_2O)	-	0,21	-	-	0,15	0,05	-	-	0,06



Gambar 9. Citra SEM geopolimer dengan variasi lempung *laterite* berbeda-beda (a) STK 1; (b) STK 2; (c) SPT 1; (d) SPT 2; (e) SMW1; (f) SMW2

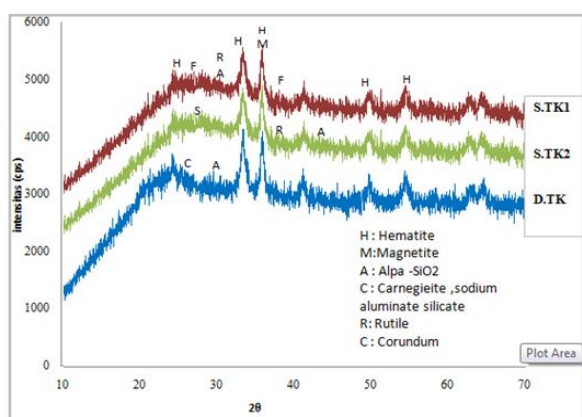
Gambar-9 menunjukkan morfologi sampel geopolimer lempung *laterite* memperlihatkan citra SEM sampel pada temperatur 70°C yang dicuring selama 2 jam, geopolimer ini diproduksi dengan rasio atomik $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$: 3,25,

$\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$: 0,30 $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$: 10 untuk STK1, SPT1, SMW1 tampak struktur morfologi sampel yang memiliki ukuran butir yang bervariasi serta ukuran bentuk yang tidak homogen dan terjadi retakan pada sampel yang terlihat pada gambar

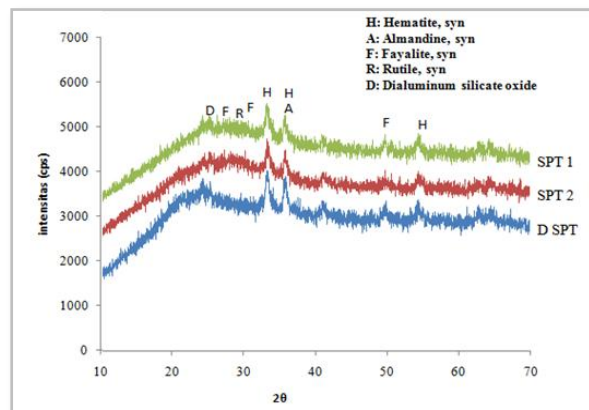
3.9 (a) (b) dan (c) hal ini disebabkan pada saat pemolesan pada proses preparasi sampel. Kemudian rasio kedua $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$: 3,50, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$: 0,30 $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$: 10 untuk STK2, SPT2, SMW2 tampak struktur morfologi sampel yang lebih padat dan merata berikatan dengan larutan alkali yang digunakan. Gambar-9 menunjukkan setiap sampel memperlihatkan adanya partikel besi yang berbentuk butiran putih berukuran kecil yang tidak merata di permukaan sampel.

2. Karakterisasi X-ray Diffraction (XRD)

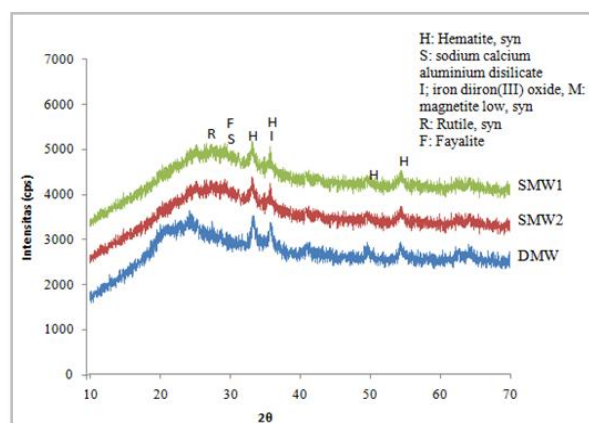
Untuk mengidentifikasi fasa, parameter kisi, dan derajat kristalinitas yang terdapat sampel geopolimer dilakukan karakterisasi XRD. Difraktogram hasil difraksi masing-masing sampel dapat dilihat pada gambar-10, gambar-11, dan gambar-12. Berdasarkan gambar tersebut, tidak terdapat perubahan fase yang signifikan terhadap perbedaan pemberian perbandingan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$: 3.25 dan 3.50, $\text{Na}_2\text{O}/\text{SiO}_2$: 0,30 $\text{H}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$: 10 yang berbeda pada setiap variasi sampel. Difraktogram tersebut memperlihatkan tidak ada perubahan pola difraksi dari bahan dasar ketika disintesis menjadi geopolimer. Data analisis XRD pada sampel geopolimer lempung laterite Tanah Karaeng (STK), Pakatto (SPT) dan Mawang (SMW), terdapat fase baru berupa *Almandine* ($\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$) yang merupakan salah satu ciri dari *Ferro-poly-sialite*.



Gambar 10. Difraktogram Geopolimer lempung laterite Tanah Karaeng



Gambar 11. Difraktogram Geopolimer lempung laterite Pakatto



Gambar 12. Difraktogram Geopolimer lempung laterite Mawang

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, material geopolimer berhasil di sintesis dari ketiga bahan dasar lempung laterite Tanah Karaeng (STK), Pakatto (SPT) dan Mawang (SMW) dengan perbandingan rasio molar yang berbeda. Diperoleh kuat tekan untuk lempung laterite Tanah Karaeng sebesar 39,91 MPa, lempung laterite Pakatto sebesar 31,97 MPa, dan lempung laterite Mawang sebesar 30,42 MPa.

DAFTAR RUJUKAN

Adam E. A *Compressed stabilized earth blocks manufactured in Sudan*, Graph O pring trance for the UNESCO.. 2011.

- Bing-hui Mo, He Zhu, Xue-min Cui. 2014. Effect of curing temperature on Geopolymerization of metakaoling - Based Geopolymers, Volume : 99, No :144-148.
- Davidovits F, Davidovits, J. Davidovits M, Davidovits, R. 2012. "Geopolymer Cement Of The Calcium Ferro-Aluminosilicate Polymer Type And Production Process ", *Paten No WO 2012/056125*.
- Ferone, C. et.al. 2013. Application-Oriented Chemical Optimization of a Metakaolin Based Geopolymer: Open Access Materials. pp 1996-1944.
- J. Modejova. 2003. FTIR techniques in Clay Mineral Studies. Vibrational spectroscopy, vol. 31, pp. 1-10
- Joseph O. Ukpata, Maurice E. Ephraim and Godwin A. Akeke. (2012). "Compressive strength of Concrete using Lateritic Sand and Quarry Dust as Fine Aggregate." *Arpn Journal of Engineering and Applied Sciences*, Volume 7, No.1.
- Kasthurba. A. K, 2012. "Characteristics of Malabar Laterite as a Building Material Field and Laboratory Studies". *International journal of earth science*. ISSN 0974-5904, Volume 05, No. 03 (01)
- Latifi, Nima., Marti, Aminaton., Eisazadeh, Amin. 2013. *Structural Characteristics of Laterite Soil Treated by Sh-85 and TX-85 (Non-Traditional) Stabilizers*. *EJGE*, Vol.3, pp. 1707-1718.
- Michelina, C., et al., 2015. *Geopolymer/PEG Hybrid Materials Synthesis and Investigation of the Polymer Influence on Microstructure and Mechanical Behavior*. *Materials Research*, Vol. 18, pp. 698-705.
- Obonyo, Esther A. et al., 2014. *A Sustainable Approach for the Geopolymerization of Natural Iron-Rich Aluminasilicate Materials*. *Sustainability*, Vol.
- Subaer, Pengantar Fisika Geopolimer, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, 2012