

PENGEMBANGAN KOMPOSIT SERATKARBON-GEOPOLIMER BERBASIS METAKAOLIN SEBAGAI MATERIAL REFRAKTORI

¹⁾Kharisma Noor Afifah, ²⁾Subaer

^{1,2)}Universitas Negeri Makassar

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

²⁾e-mail : subaer@unm.ac.id

Abstrak. Penelitian ini mengkaji tentang pengembangan geopolimer refraktori berbasis metakaolin dengan penguat serat karbon Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mempelajari struktur dan sifat mekanik dari komposit geopolimer. Sintesis komposit geopolimer dilakukan dengan metode aktivasi alkali ($\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$), kemudian dicuring pada suhu 60°C selama 2 jam. Komposit geopolimer disintesis sebanyak 5 sampel yaitu Geo-Cf0, Geo-Cf0.05, Geo-Cf0.10, Geo-Cf0.15, dan Geo-Cf0.20 dengan variasi penambahan serat karbon sebanyak 0 gr, 0.05 gr, 0.10gr, 0.15gr dan 0.20gr dan parameter lain dibuat konstan. Struktur mikro dan interface dari sampel komposit geopolimer menunjukkan kualitas sampel terbaik pada penambahan 0.15gr serat karbon hal tersebut juga ditunjukkan dari hasil pengujian lentur sampel 0.15gr yaitu 10.6 MPa. Hasil analisis XRD menunjukkan terjadi penyempitan gundukan (*hump*) pada penambahan serat karbon yang semakin banyak. Hasil kuat tarik serat maksimum yaitu 48,34 GPa. Uji ketahanan api komposit geopolimer dapat mencapai suhu maksimum yaitu 800°C dan uji ketahanan panas menunjukkan pada sampel Geo-Cf0.10 tidak terdapat retakan dan perubahan fisik setelah dipanaskan hingga 600°C .

Kata kunci : Metode eksperimen, pembelajaran konvensional, hasil belajar fisika

Abstract. This study examines the development of refractory geopolymer-based metakaolin with carbon fiber reinforcement The purpose of this study is to study the structure and mechanical properties of the geopolymer composite. The synthesis of geopolymer composites was performed by alkali activation method ($\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$), then curing at 60°C for 2 hours. Composites Geopolymer synthesized by 5 samples are Geo-Cf0, Geo-Cf0.15, Geo-Cf0.10, Geo-Cf0.20, and Geo-Cf0.20 with variations of carbon fiber addition of 0 gr, 0.05 gr, 0.10gr, 0.15gr and 0.20gr and other parameters are made constant. The microstructure and the interface of the geopolymer composite sample showed the best sample quality at the addition of 0.15gr of carbon fiber as well as the results of the 0.15gr sample bending test of 10.6 MPa. XRD analysis results show a constriction of mound (*hump*) on the addition of carbon fiber in a large quantities. The result of maximum tensile strength of fiber is 48.34 GPa. The geopolymer composite resistivity test can achieve a maximum temperature of 800°C and a heat resistance test indicated in the Geo-Cf0.10 sample there is no physical cracking and after heating up to 600°C .

Keywords : Composite, Geopolymer, Metakaolin, Carbon Fiber, Refractories

PENDAHULUAN

Perkembangan industri dunia yang tidak luput dari kemajuan riset dan teknologi serta rekayasa material sejalan dengan semakin pesatnya terobosan baru dalam menciptakan material maju (*Advanced Material*). Selama ini masalah utama yang dihadapi oleh produsen Indonesia adalah lemahnya daya saing dengan industri luar negeri terutama dalam hal *quality, cost and delivery*.

Kemampuan teknologi yang belum mendukung industri *engineering* telah banyak memutuskan rantai pengolahan material

sehingga menimbulkan *high-cost technology*. Oleh karena itu, tantangan selanjutnya adalah bagaimana mengembangkan berbagai produk industri sehingga dapat mendorong inovasi rekayasa material.

Penelitian ini dimaksudkan untuk melakukan inovasi dalam menyambung rantai pengolahan material dengan mengembangkan komposit yang memiliki sifat refraktori sebagai aplikasi tanur suhu tinggi (1500°C). Tanur komersial yang dipakai saat ini cenderung memiliki umur yang terbatas akibat

pemakaian pada temperatur tinggi yang berlangsung terus-menerus.

Salah satu material yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah geopolimer. Geopolimer merupakan polimer anorganik yang memiliki kekuatan mekanik yang lebih baik dari semen portland, tahan terhadap suhu tinggi dan zat asam (Abdel-Ghani et al., 2016; Schmücker and MacKenzie, 2005). Geopolimer berperilaku seperti keramik yang keras tetapi dengan kuat lentur dan kuat tarik yang rendah.

Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan menambahkan material sisipan yang dapat berfungsi sebagai penguat (agregat) (Rustan et al., 2015). Salah satu bahan sisipan yang dapat ditambahkan pada pasta geopolimer adalah serat karbon. Serat karbon adalah serat sintesis dengan kekuatan tarik dan konduktivitas listrik yang tinggi, massa jenis serta koefisien ekspansi termal

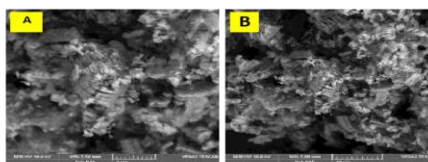
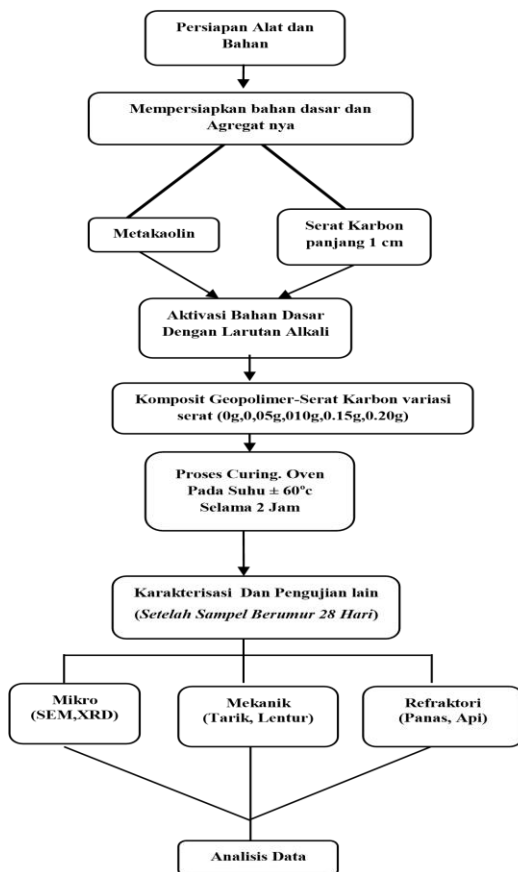
yang rendah membuatnya sangat populer di bidang Industri.

METODE

Pada penelitian ini disintesis sebanyak 5 sampel dengan variasi penambahan serat karbon yaitu 0gr, 0.05gr, 0.10gr, 0.15gr, 0.20gr dan parameter lain dikonstantakan. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah aktivasi alkali dengan cara mengaktivasi metakaolin kemudian dicampurkan serat karbon.

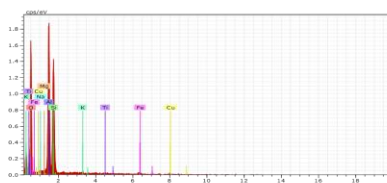
Pada Gambar 1 menunjukkan citra metakaolin yang dikalsinasi pada suhu 750 selama 4 jam dengan pembesaran 5000x dan 1000x. Pada gambar tersebut juga terlihat keadaan morfologi metakaolin yang menunjukkan ukuran partikel metakaolin berbentuk pipih dan tidak seragam dengan ukuran butir berkisar antara 2-5µm.

serat karbon-geopolimer :



Gambar 1. Morfologi bahan dasar metakaolin dengan scale bar (a) 5µm dan (b) 10µm

Dengan menggunakan fasilitas EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) untuk mengetahui komposisi elemental nya. Hasil EDS dari metakaolin menunjukkan terbesar fase SiO₂ sebesar 57,15 wt% dan Al₂O₃ sebesar 42,85 wt%. Serta adanya pegotor dalam jumlah kecil berupa Na₂O, MgO, K₂O, FeO dan TiO₂ masing-masing sebesar 0,41%, 0,37%, 0,42%, 1,82% dan 0,72% Seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Spektrum EDS bahan dasar metakaolin

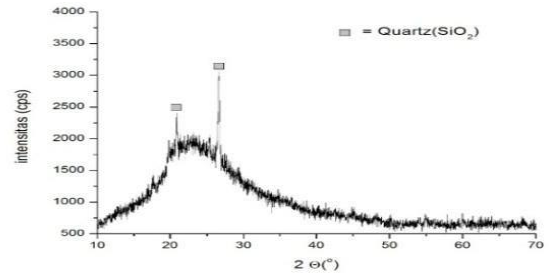
Tabel 1. Komposisi Elemental metakaolin menggunakan fasilitas EDS

Elemen	Unn. C [wt.%]	Norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Compound norm.	Comp.C [wt.%]
Aluminium	17.76	26.16	15.73	Al ₂ O ₃	49.49
Silicon	14,58	21.50	19.95	SiO ₂	45.99
Sodium	0.21	0.30	0.27	Na ₂ O	0.41
Iron	0.96	1.42	0.52	FeO	1.82
Copper	0.51	0.74	0.24		0.74
Magnesium	0.15	0.23	0.19	MgO	0.37
Pottasium	0.25	0.37	0.20	K ₂ O	0.42
Titanium	0.29	0.43	0.19	TiO ₂	0.72
Total	66.36	100	100		

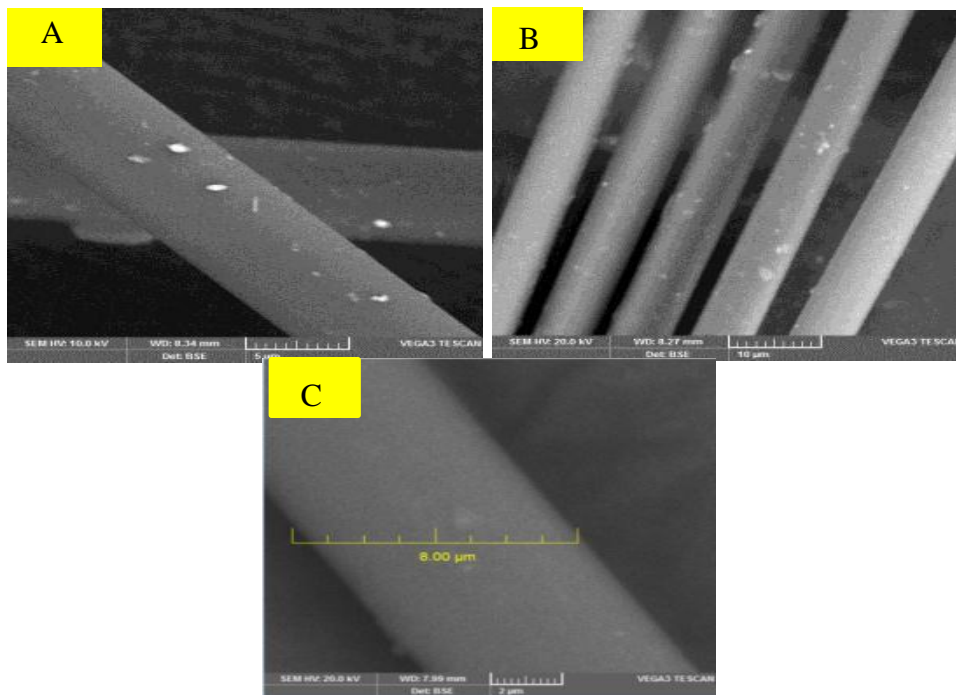
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Bahan Dasar

Dari gambar 3 menunjukkan struktur fase amorf yang ditandai dengan adanya gundukan (*hump*). Tampak pula adanya fase kristal pada sudut 227,20 yaitu fase quart. Serat karbon merupakan serat yang di sintesis dari bahan *Polyacriolinitrile* (C_3H_3N)_n dengan diameter 7-10µm (Frank et al., 2012).



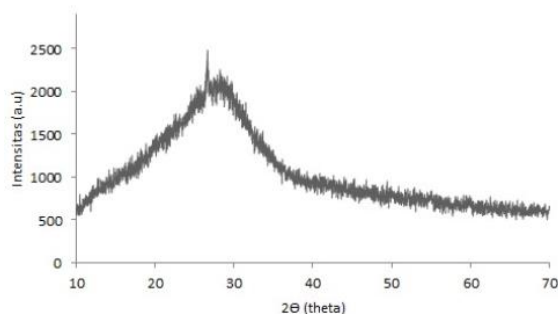
Gambar 3. Difraktogram metakaolin.



Gambar 4. Morfologi Serat Karbon dengan scale bar (A) 5µm (B) 10µm dan (c) Pengukuran diameter serat karbon

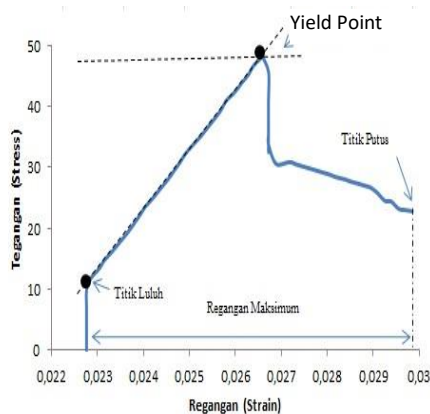
Gambar 4 (a) dan (b) memperlihatkan citra SEM serat karbon berupa serat panjang yang cukup bersih namun ada beberapa partikel kecil dipermukaan serat yang kemungkinan berasal dari residu polimer saat proses sintesis serat. Diameter serat karbon pada penelitian ini yaitu 8 µm

Serat karbon ini disintesis dari bahan dasar PAN (*Polyacriolinitrile*) yang berada pada sudut 2525.9°. Difraktogram serat yang digunakan dalam penelitian ini memiliki sudut *polyacrilinitrile* yang sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Dhakate et al., 2016). Difraktogram dari serat karbon dapat dilihat pada gambar 5



Gambar 5. Difraktogram Serat Karbon

Gambar 6. merupakan hasil pengujian tarik serat karbon. pengujian tarik dilakukan menggunakan Lloyd LR10K plus Materials Testing Machine

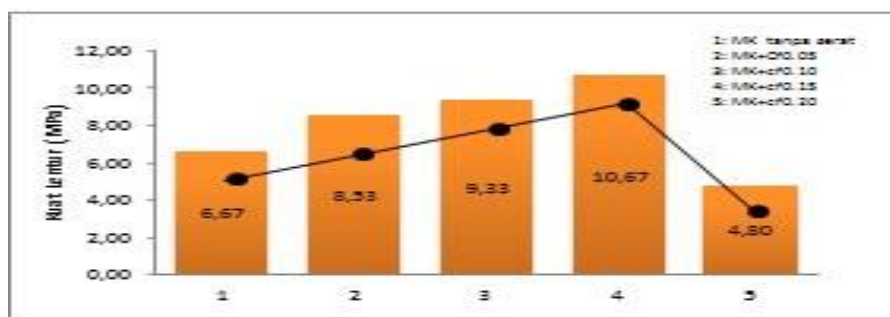


Gambar 6. *Grafik Uji Tarik*

Dari hasil pengujian diperoleh kekuatan tarik maksimum σ (stress) yang dimiliki oleh serat dengan diameter $8\mu\text{m}$ dan panjang 10.6 cm yaitu 49.6 GPa.

Hasil Karakterisasi Komposit Geopolimer

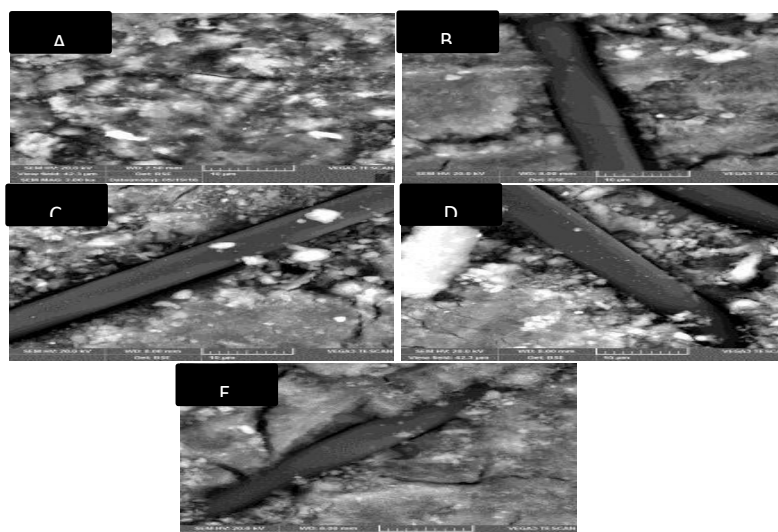
Komposit geopolimer disintesis dengan metode aktivasi alkali. Geopolimer disintesis dari bahan dasar metakaolin yang dicampur dengan agregat serat karbon. Pada penelitian ini dibuat 5 sampel yaitu sampel dengan variasi penambahan serat karbon yaitu 0 gr, 0,5 gr, 0,10 gr, 0,15 gr dan 0,20 gr dan parameter lain yang dibuat konstan. Variasi penambahan agregat dilakukan untuk melihat pengaruh penambahan serat karbon terhadap kekuatan mekanik dan kualitas geopolimer yang dihasilkan. Gambar 7. menunjukkan hasil pengujian lentur komposit geopolimer.



Gambar 7. *Grafik kekuatan lentur komposit geopolimer dengan komposisi agregat yang berbeda Magnitude kuat lentur komposit dengan penambahan serat karbon sebanyak 0.15 gr memperoleh nilai yaitu 10.6 MPa menunjukkan kualitas geopolimer yang paling baik.*

Struktur mikro komposit geopolimer dengan agregat serat karbon yang dikarakterisasi

dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* merk Tescan Vega 3SB.



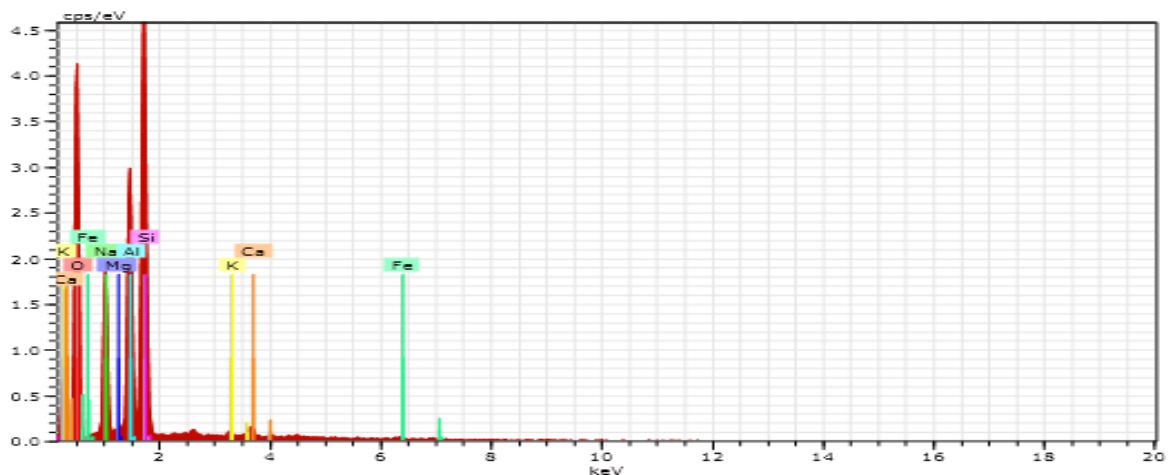
Gambar 8. *Morfologi komposit geopolimer kelima sampel (A) Geo-Cf0 (B) Geo-Cf0,5 (C) Geo-Cf0,10 (D) Geo-Cf0,15 (E) Geo-Cf0,20*

Pada gambar 8(a) yaitu sampel tanpa penambahan serat karbon, sampel hanya memiliki struktur metakaolin yang berbentuk pipih dengan ukuran $\pm 10\mu\text{m}$ namun adapula ukuran partikel dari sampel yang tidak seragam akibat pemanasan. Untuk sampel Geo-Cf0,5 dan Geo-Cf0,20 terlihat adanya retakan disekitar sampel yang terjadi akibat pemrosesan pada saat preparasi sampel SEM (retakan sekunder) atau disebabkan karena penambahan serat yang terlalu banyak namun retakan yang berada di sekitar serat di defleksikan atau mengalami pembelokan.

Geopolimer dengan penambahan serat karbon sebanyak 0,10 gr memiliki morfologi yang

baik tanpa ada retakan disekitar sampel namun terlihat terdapat void yang cukup lebar antara matriks dan agregat. Kondisi ini menyebabkan ikatan antar zona tidak begitu kuat. Morfologi terbaik ada pada sampel dengan penambahan serat 0,15gr dimana interface atau ikatan antar geopolimer sebagai matriks dan serat karbon sebagai agregat sangat baik tanpa ada celah batas antar matriks dan agregatnya (*void*).

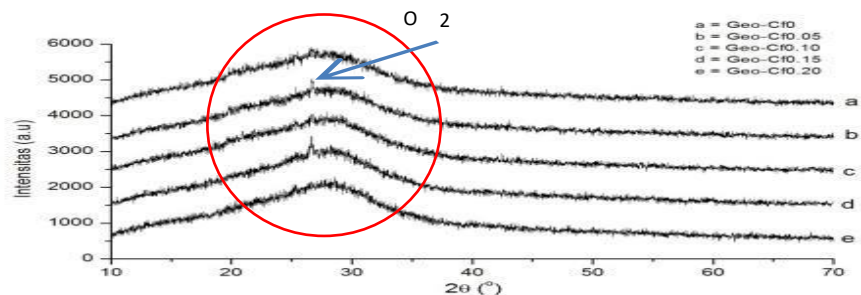
Dengan menggunakan fasilitas EDS, maka diperoleh komposisi elemental beberapa sampel diantaranya sampel Geo-Cf0gr dan Geo-Cf0,15gr seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil analisis EDS sampel Geo-Cf0,15gr

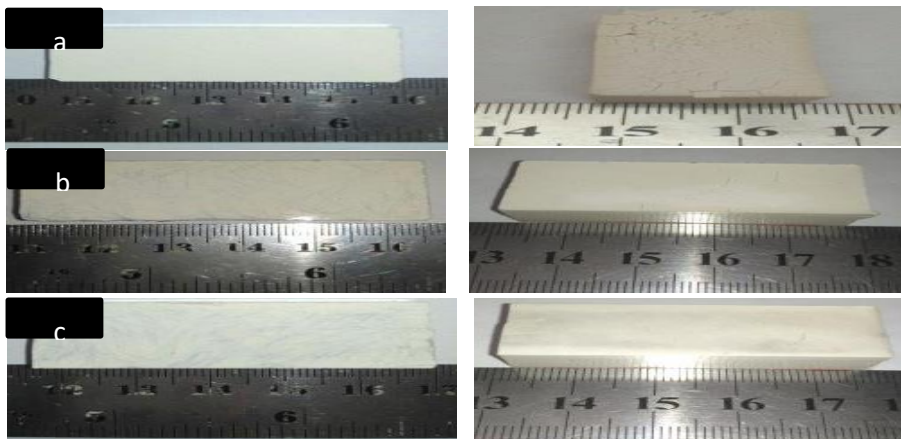
Data EDS tersebut menunjukkan bahwa komposisi SiO_2 dan Al_2O_3 (wt%) dari sampel geopolimer menunjukkan fase tertinggi dan diikuti beberapa pengotor lain berupa CaO , MgO , Na_2O , K_2O , FeO , P_2O_5 , dan TiO_2 . Pengotor tersebut diduga berasal dari metakaolin yang telah di dehidrosilasi dari kaolin (batuan/lempung).

Berikut ini merupakan data hasil Karakterisasi XRD dari kelima sampel komposit geopolimer dengan agregat serat karbon yang disintesis pada penelitian ini. difraktogram memperlihatkan bahwa penambahan serat karbon tidak mempengaruhi struktur amorf dari geopolimer. Difraktogram sampel ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Difraktogram Komposit Geopolimer-Serat Karbon.

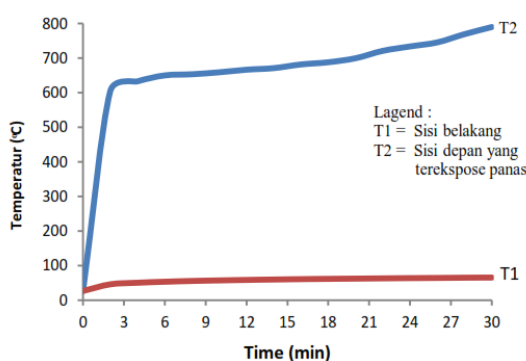
Pengujian daya tahan panas, sampel kembali di sintering pada suhu 600 °C selama 2 jam menggunakan furnace.



Gambar 11. Komposit geopolimer sebelum dan setelah pengujian termal (a) Geo-Cf0g (b) Geo-Cf 0.05g (c) Geo-Cf 0.10g (d) Geo-Cf 0.15g (e) Geo-Cf 0.20g.

Sampel Geo-Cf 0gr menunjukkan banyaknya retakan yang timbul hingga terlihat sampel rusak sepenuhnya. Namun pada sampel (b) terjadi sedikit retakan di sekitar sampel yang disebabkan penambahan serat yang terlalu sedikit sehingga sampel masih memiliki sifat metakaolin dan serat karbon yang sedikit tidak mampu menahan retakan. Pada gambar (c) setelah pemanasan, serat karbon telah menyatu sepenuhnya dengan geopolimer hingga warna dari serat karbon yaitu warna hitamnya keluar sepenuhnya dan tidak terlihat retakan disekitar sampel sehingga dapat dimanfaatkan sebagai material refraktori. Pada gambar (d) dan (e) memperlihatkan retakan di permukaan komposit geopolimer yang sangat banyak. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan serat karbon yang terlalu banyak dapat menyebabkan retakan parah pada sampel geopolimer. Retakan yang terjadi disebabkan serat karbon merupakan penyerap panas yang baik. Selisih temperatur yang dinaikkan hingga 600 °C menyebabkan stress termal antara matriks dan agregat.

Pengujian daya tahan api dilakukan dengan menggunakan flame torcher



Gambar 12. Grafik perubahan T1 dan T2

Gambar 12 Grafik perubahan t1 dan t2. Temperatur 1 (1) memperlihatkan suhu mula-mula sampel yaitu suhu kamar atau sekitar 26.°C. Pemanasan yang dilakukan selama 2 menit dapat meningkatkan temperatur hingga 604,55°C hingga 30 menit temperatur sisi A konstan pada suhu 790.0°C. Hal berbeda pada sisi diseborang yaitu pada sisi (2) suhu awal sebelum pemanasan sama dengan sisi yaitu 26.0 °C namun setelah pemanasan selama 2 menit temperatur sisi B hanya 45.75°C hingga pemansan selama 30 menit temperatur konstan di suhu 65.33 °C.

Hal tersebut disebabkan karena geopolimer merupakan bahan yang bersifat refraktori dan tidak berubah hingga suhu 1200 °Cv(Palomo et al., 1992) dan serat karbon merupakan serat sintesis

yang tahan hingga suhu 1500 °C sehingga sisi B tidak terekspose panas yang diberikan pada sisi A.

SIMPULAN

Komposisi geopolimer-serat karbon dapat disintesis menggunakan metode aktivasi alkali. Hasil karakterisasi SEM menunjukkan ikatan kimia dan interface yang antara agregat serat karbon dan matriks geopolimer yang menunjukkan sifat mekanik yang kuat. Namun penambahan agregat serat karbon yang terlalu banyak dapat menurunkan ikatan antara matriks dan agregat.

Analisis XRD menunjukkan bahwa penambahan serat tidak mempengaruhi sifat amorf dari geopolimer. Pengujian tahan panas dan api pada komposit geopolimer menunjukkan sampel komposit memiliki ketahanan yang baik hingga suhu 750 °C. Kekuatan mekanik dari komposit geopolimer menunjukkan bahwa komposit memiliki kekuatan lentur tinggi hingga 10 Mpa.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Abdel-Ghani, N.T., Elsayed, H.A., AbdelMoied, S., 2016. Geopolymer synthesis by the alkali-activation of blastfurnace steel slag and its fire-resistance. *HBRC Journal*.
- [2] Dhakate, S.R., Chaudhary, A., Gupta, A., Pathak, A.K., Singh, B.P., Subhedar, K.M., Yokozeki, T., 2016. Excellent mechanical properties of carbon fiber semi-aligned electrospun carbon nanofiber hybrid polymer composites. *RSC Adv.*, 36715–36722.
- [3] Ekaputri, J.J., Adiningtyas, T., 2007. Analisa Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbahan

Dasar Fly Ash dan Lumpur Porong Kering sebagai Pengisi. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil "Torsi"*.

- [4] Frank, E., Hermanutz, F., Buchmeiser, M.R., 2012. Carbon Fibers: Precursors, Manufacturing, and Properties. *Macromolecular Materials and Engineering*, 493–501.
- [5] Hamidi, R.M., Man, Z., Azizli, K.A., 2016. Concentration of NaOH and the Effect on the Properties of Fly Ash Based Geopolymer. *Procedia Engineering*, 189–193.
- [6] Komnitsas, K.A., 2011. Potential of geopolymer technology towards green buildings and sustainable cities. *Procedia Engineering*, 1023–1032.
- [7] Rustan, M., Junaedi, S., Irhamsyah, A., 2015. Studi Tentang Pengaruh Nanopartikel ZnO(Seng Oksida) Terhadap Kuat Tekan Geopolimer Berbahan Dasar Metakaolin. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 286–291.
- [8] Schmücker, M., MacKenzie, K.J.D., 2005. Microstructure of sodium polysialate siloxo geopolymer. *Ceramics International*, 433–437.
- [9] Subaer. 2009. Studi Tentang Kekerasan Vickers Geopolimer Berbahan Dasar Fly Ash Dan Metakaolin. *JSPF Vol. 9. ISSN : 1858-330X*
- [10] Tiwari, S., Bijwe, J., 2014. Surface Treatment of Carbon Fibers - A Review. *Procedia Technology*, 505–512.
- [11] Živica, V., Alou, M., Križma, M., 2015. Geopolymer Cements and Their Properties: A Review. *Building Research Journal*.