

Karakterisasi Thermal dan Ketahanan Sifat Kimia Refraktori Bata Tahan Api Berbasis Alumina

Hecci Herdianton^{*1}, Tumpal Ojahan Rajagukguk¹, David Candra Birawidha², Teuku Marjun¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Malahayati, Bandar Lampung, Indonesia.

²Pusat Riset Teknologi Pertambangan BRIN, Jl. Ir. Sutami KM. 15 Tanjung Bintang, Lampung Selatan, Indonesia.

e-mail : ^{*1}herdianton747@gmail.com

ABSTRAK

Bata tahan api memiliki peran penting pada dunia Industri seperti industri pengecoran, boiler, incinerator serta industri lainnya, yang mengalami proses pemanasan pada temperatur tinggi untuk menunjang dan mendorong produktivitas produksi. Bata tahan api yang terkena siklus pembakaran yang terus berulang didalam ruang kerja, sedikit demi sedikit mulai mengalami deformasi volume yang disebabkan stres termal (*thermal shock resistance*) dan terkena sifat kimia dari cairan seperti terak (*slag*), deformasi yang terjadi terus menerus dapat mengakibatkan retak bahkan hancurnya bata tahan api. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan karakterisasi thermal serta ketahanan sifat kimia pada bata tahan api. Variabel penelitian memvariasikan komposisi kaolin, alumina, dan chamotte, V1(K20%, A30%, C50%), V2(K15%, A35%, C50%), V3(K10%, A40%, C50%) dimana setiap variasi dibakar pada temperatur 1200°C. Hasil pengujian analisis karakterisasi STA dengan perlakuan temperatur 1400°C terhadap semua sampel, bata tahan api mengalami transformasi fasa Mullite pada temperatur 1200°C. Pada analisis ketahanan sifat kimia dengan perlakuan temperatur 1150°C pada bata tahan api secara pengamatan visual diketahui, bata tahan api bereaksi atau terkonsumsi larutan basa natrium hidroksida (NaOH). Berdasarkan hasil penelitian bata tahan api berbasis alumina memiliki kemampuan dominan menahan sifat kimia terhadap serangan sifat asam sulfat (H₂SO₄), sedangkan karakteristik thermal menghasilkan transformasi fasa Mullite pada temperatur 1200°C terhadap sampel V3.

Kata kunci : Bata Tahan Api, Alumina, Mullite, Analisis, Karakterisasi

ABSTRACT

Refractory bricks have an important role in the industrial world, such as the foundry industry, boilers, incinerators and other industries, which undergo a heating process at high temperatures to support and encourage production productivity. Refractory bricks that are exposed to repeated combustion cycles in the working space, little by little begin to experience volume deformation caused by thermal stress (*thermal shock resistance*) and are exposed to the chemical properties of liquids such as slag, continuous deformation can result in cracking, even the destruction of refractory bricks. This research aims to obtain thermal characterization and chemical resistance properties of refractory bricks. The research variables varied the composition of kaolin, alumina, and chamotte, V1(K20%, A30%, C50%), V2(K15%, A35%, C50%), V3(K10%, A40%, C50%) where each variation is burned at a temperature of 1200°C. The results of the STA characterization analysis test with a temperature treatment of 1400°C on all samples, refractory bricks underwent Mullite phase transformation at a temperature of 1200°C. In the analysis of the chemical properties of refractory bricks with a temperature treatment of 1150°C, by visual observation it was found that the refractory bricks reacted or were consumed by an alkaline solution of sodium hydroxide (NaOH). Based on research results, alumina-based refractory bricks have a dominant ability to withstand chemical properties against attacks by sulfuric acid (H₂SO₄), while thermal characteristics produce Mullite phase transformation at a temperature of 1200°C against sample V3.

Keywords: Refractory Brick, Alumina, Mullite, Analysis, Characterization

1. LATAR BELAKANG

Bata tahan api (*refraktori*) merupakan sebuah material yang mempunyai komponen struktur yang cocok untuk ruang kerja tertutup seperti pengecoran, boiler, incinerator, rotary klin dan

komponen struktur lainnya. Bata tahan api memiliki peran penting pada industri yang memiliki sebuah struktur bangunan yang bekerja pada temperatur tinggi untuk menunjang dan mendorong produktivitas. Bata tahan api yang terkena siklus pembakaran yang terus berulang dengan temperatur suhu yang tinggi didalam ruang kerja tertutup akan mengalami perubahan sedikit demi sedikit sehingga akan menimbulkan terjadinya deformasi volume yang disebabkan *stres* termal (*thermal shock resistance*) dan terkena sifat kimia dari cairan seperti terak (*slag*), deformasi volume yang terus terjadi dapat mengakibatkan retak atau bahkan hancurnya bata tahan api yang mengakibatkan terhentinya seluruh proses produksi. Berdasarkan hal tersebut sangat penting untuk mengetahui sifat-sifat serta spesifikasi keseluruhan bata tahan api. Dari sudut pandang umum, bahan tahan api adalah keramik multifasa yang dirancang untuk beroperasi dalam kondisi layanan yang keras pada suhu yang sangat tinggi. Misalnya material tersebut diharuskan tahan terhadap guncangan termal yang parah akibat pembebanan termomekanis yang berulang dan/atau korosi kimia [1].

Berdasarkan standar ASTM C71-12, [2], refraktori bata tahan api didefinisikan sebagai "bahan *nonmetalik* yang memiliki sifat kimia dan fisika yang membuatnya sesuai untuk struktur, atau sebagai komponen sistem, yang terkena lingkungan di atas 1000°F/538°C. Refraktori merupakan bahan padat anorganik bukan logam dengan titik lebur yang tinggi [3]. Refraktori bata tahan api dengan komposisi *Mullite* sebagai penyusunnya saat ini banyak digunakan pada perusahaan-perusahaan yang bergerak pada pengecoran metalurgi, dikarenakan *Mullite* memberikan sifat penting untuk sistem tahan api (ekspansi termal rendah, konduktivitas termal rendah, stabilitas kimia yang baik, stabilitas termo-mekanis yang sangat baik). *Mullite* ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) adalah salah satu bahan keramik yang paling banyak digunakan dalam aplikasi suhu tinggi karena sifat tahan api dan stabilitasnya yang sangat baik (suhu leleh lebih tinggi dari 1800°C) sifat-sifatnya seperti konduktivitas listrik dan termal yang rendah, ketahanan guncangan termal yang tinggi karena koefisien ekspansi termal yang rendah, ketahanan mulur dan deformasi yang tinggi serta sifat mekanik yang baik pada temperatur tinggi (bahkan lebih baik daripada bahan zirkonia dan alumina canggih lainnya) [4,5]. Sementara itu, disisi lain kandungan Al_2O_3 pada produk keramik khususnya bata tahan api akan meningkatkan nilai ketahanan terhadap temperatur kerja maksimum, dapat menghambat panas dengan baik dan tahan korosi serta zat asam yang merusak. Menurut Sadik et al., [6], *Mullite* diperoleh melalui reaksi antara silika dan alumina dengan temperatur suhu pembakaran berkisar antara 1200°C. dan 1400°C. Semakin banyak penambahan senyawa silika pada pembuatan *body* keramik akan membuat keramik tersebut semakin kuat tetapi harus dengan kadar tertentu dan juga harus melalui penelitian terlebih dahulu [7].

Berdasarkan uraian diatas, bata tahan api dengan komposisi *Mullite* memiliki keunggulan untuk struktur komponen bangunan yang beroperasi pada lingkungan temperatur ekstrim dengan spesifikasi yang dimilikinya. *Experiment* ini bertujuan mengetahui karakterisasi bata tahan api dengan memvariasikan bahan komposisi kaolin, alumina, dan chamotte terhadap transformasi fasa *mullite* dan kekuatan mampu tahan sifat kimia. Pendekatan analisis karakterisasi menggunakan uji STA, dimana untuk menganalisis data menggunakan parameter perlakuan panas temperatur (°C) terhadap eksoterm dan endoterm serta laju penurunan masa (degradasi volume massa). Terjadinya puncak eksoterm dan endoterm pada hasil pengujian karena ada proses pelepasan dan penyerapan panas [8]. Menurut Escalante et al., [9], semakin tinggi temperatur maka akan meningkatkan berat sampel akan berkurang karena kehilangan massa yang dihasilkan oleh degradasi thermal. *Single decomposition* merupakan proses dekomposisi yang terjadi karena *on set* dan *end set* hanya terjadi satu kali. *On set* merupakan suhu saat sampel mulai mengalami degradasi secara termal dan *end set* merupakan suhu saat massa sampel bertahan dari reaksi pembakaran [10]. Namun dalam beberapa kasus pada analisis laju penurunan masa, mengalami kenaikan masa, hal tersebut selaras dengan pernyataan De Aza et al., [11], oksidasi senyawa dapat menimbulkan reaksi kenaikan masa diatas temperatur 1200°C. Sedangkan pada uji ketahanan sifat

kimia, dengan menggunakan analisis pengkorosifan bata tahan api terhadap sifat asam dan basa. Lingkungan korosif biasanya mengandung fase cair (meleleh) yang berpartisipasi dalam reaksi kimia dengan bahan tahan api pada suhu tinggi yang mengakibatkan konsumsi atau keausan bahan tahan api [12,13].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Preparasi Raw Material

Raw material yang digunakan pada penelitian ini adalah kaolin, alumina, dan chamotte. Semua bahan yang digunakan dalam pembuatan refraktori bata tahan api ini dilakukan penggerusan atau penghalusan menggunakan *ball mill* hingga menjadi serbuk, kemudian dilakukan tahapan pengayakan dengan ukuran 10 *mesh* untuk *agregat* dan 100 *mesh* untuk *filler*. Kemudian dilakukan proses sintering pada bahan kaolin pada temperatur 900°C selama 60 menit dengan harapan kaolin menjadi metakaolin agar dapat menstimulasi terbentuknya fasa *Mullite*.

2.2 Pembuatan Bata Tahan Api

Tabel 1. Variasi Komposisi Bata Tahan Api

Bahan	Komposisi (%)			Temperatur (°C)
	V1	V2	V3	
Kaolin	20	15	10	1.200
Alumina	30	35	40	1.200
chamotte	50	50	50	1.200

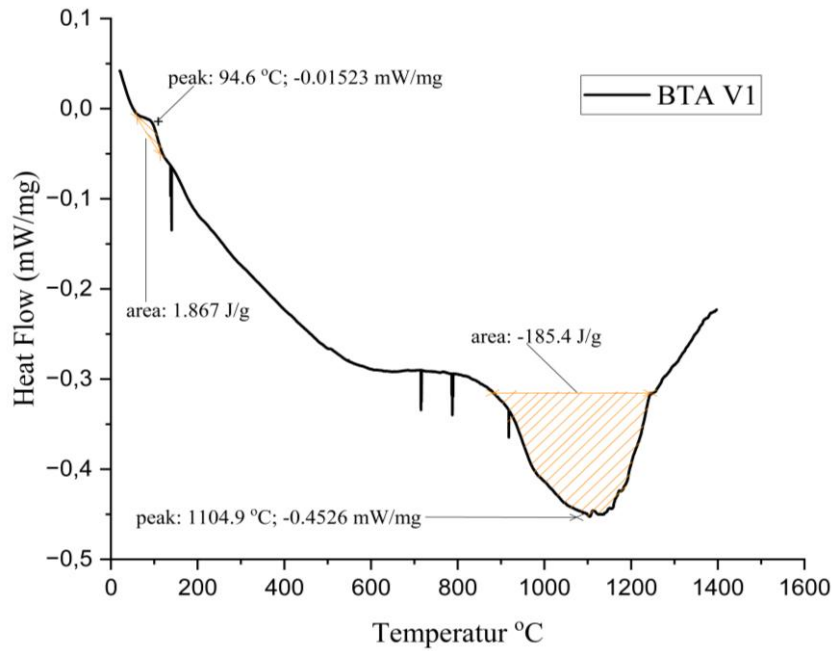
Semua *Raw material* ditimbang dan disesuaikan dengan variasi komposisi, dengan berat total 300 gram, pada setiap variasi komposisi ada penambahan bentonit sebesar 10% dari berat total. Kemudian dilakukan pencampuran semua bahan dengan penambahan air sebesar 20%, adonan bata tahan api kemudian dimasukkan pada cetakan berbentuk tabung silinder dengan kedalaman cetakan 7,7cm dan diameter cetakan 1,8cm. Kemudian sampel bata tahan api dipadatkan secara manual menggunakan penekan alat press hidrolis dengan beban penekan sebesar 10 ton yang ditahan selama 3 menit. Bata tahan api yang berhasil dicetak kemudian dikeluarkan dari cetakan, lalu dilakukan proses pengeringan menggunakan mesin oven pada suhu 60°C dengan waktu penahan 60 menit. Sampel bata tahan api kemudian dipanaskan 1200°C dan dinginkan sampai mencapai suhu ruang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan proses pemanasan sampel bata tahan api dipatahkan pada bagian ujung untuk dikarakterisasi menggunakan analisis *Simultaneous Thermal Analyzer* (STA) dengan perlakuan temperatur 1400°C untuk mengetahui dekomposisi material dan pengukuran suhu transisi fase. Setelah dilakukan pembakaran pada sampel bata tahan api, kemudian sampel bata tahan api dilakukan analisis ketahanan sifat kimia. Pada analisis ketahanan sifat kimia sampel bata tahan api diberi tetesan larutan asam sulfat (H₂SO₄) dan natrium hidroksida (NaOH) pada daerah yang ditandai bekas lubang dengan diameter kedalaman 1cm. Kemudian sampel uji ketahanan kimia dipanaskan kembali dengan temperatur 1150°C dan didinginkan sampai mencapai suhu ruang, kemudian sampel uji diamati dan dianalisis secara visual.

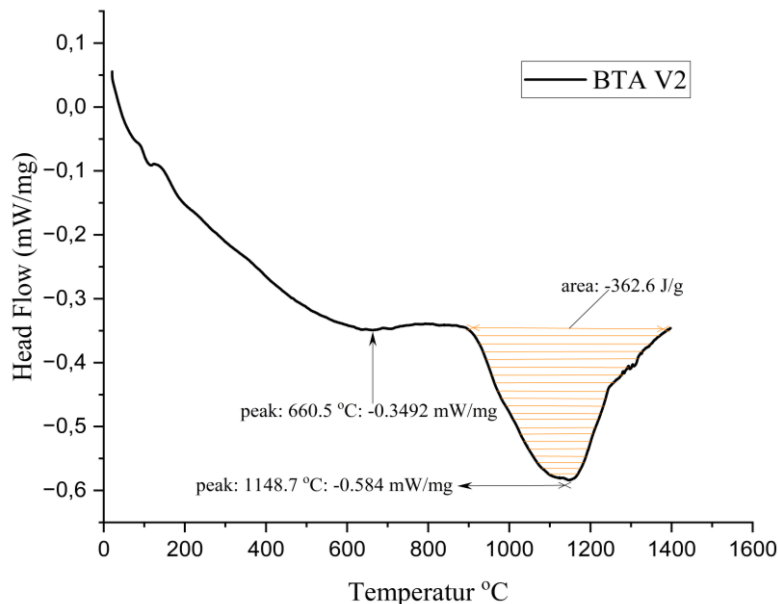
3.1 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi bata tahan api menggunakan analisis *Simultaneous thermal analyzer* (STA) dengan perlakuan temperatur 1400°C, bertujuan untuk mengetahui atau menganalisis deformasi massa volume dengan menggunakan pendekatan *thermo gravimetric analysis* (TGA) dan perhitungan temperatur pembentukan fasa atau transformasi fasa dengan pendekatan *different scanning calorimetry* (DSC).



Gambar 1. Hasil analisis DSC bata tahan api sampel V1

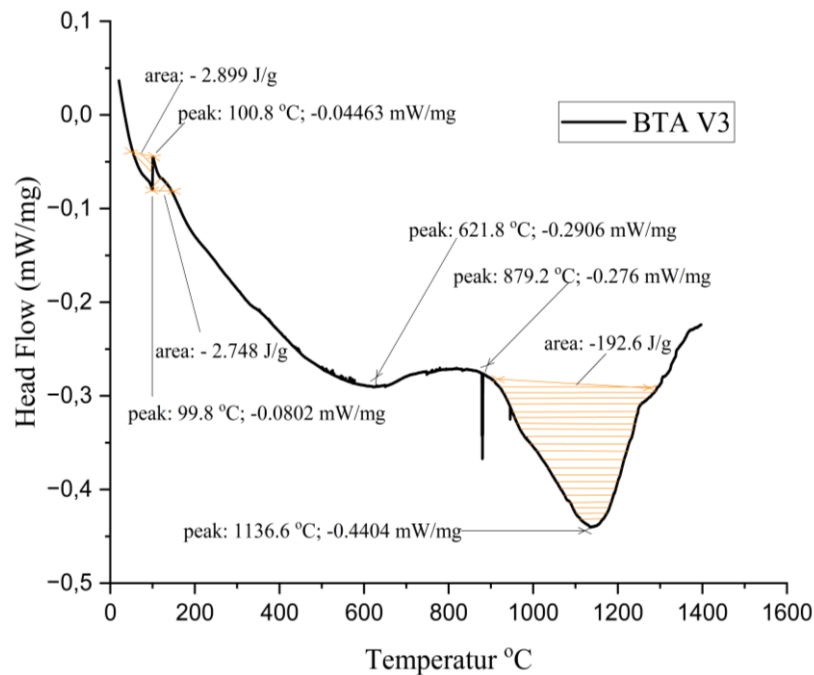
Berdasarkan Gambar 1, pada analisis bata tahan api sampel V1 terhadap analisis DSC diketahui menunjukkan puncak *eksoterm* pada temperatur 94,6°C hal tersebut ditandai dengan adanya gelombang seperti bukit hal tersebut disebabkan oleh pelepasan molekul air akibat laju temperatur. Sedangkan pada temperatur 1104,9°C terdapat puncak *endoterm* yang ditandai dengan adanya lembah yang disebabkan oleh reaksi proses transisi fase alumina yang bertransformasi menjadi fasa mullite.



Gambar 2. Hasil analisis DSC bata tahan api sampel V2

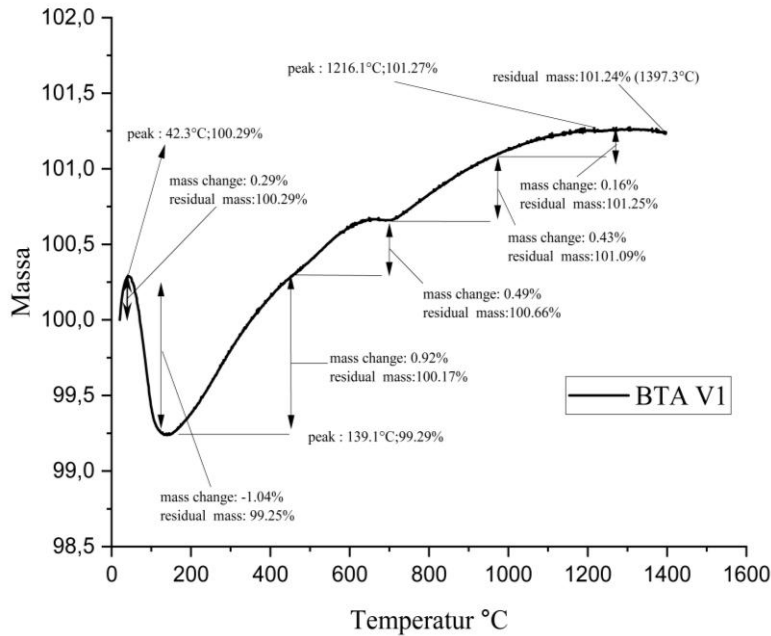
Pada analisis DSC sampel V2 terdapat karakterisasi STA diketahui berdasarkan hasil analisis, menunjukkan adanya puncak *endoterm* pada temperatur 1148°C ditandai adanya lembah

hal tersebut disebabkan oleh reaksi transisi fase alumina yang bertransformasi menjadi fasa mullite.



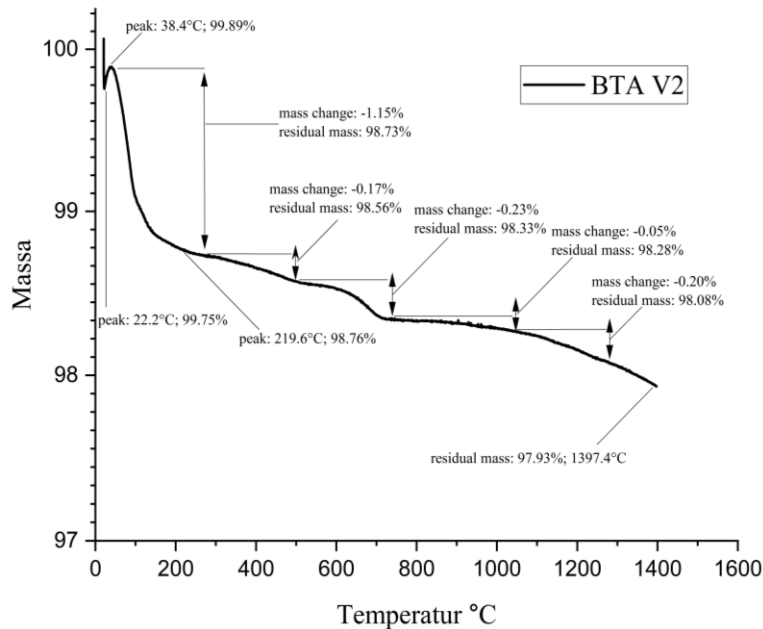
Gambar 3. Hasil analisis DSC bata tahan api sampel V3

Pada analisis DSC sampel V3 terhadap karakterisasi STA diketahui, terjadinya puncak *endoterm* pada temperatur 99°C yang ditandai adanya lembah hal tersebut disebabkan desorpsi molekul air yang teradsorpsi secara fisik, sedangkan pada temperatur 100°C terjadi puncak *eksoterm* yang ditandai dengan adanya gelombang seperti bukit hal tersebut disebabkan pelepasan molekul air dari reaksi laju pembakaran. Pada temperatur 1136°C terjadinya puncak *endoterm* yang ditandai dengan adanya lembah hal tersebut disebabkan dari reaksi transisi fase alumina yang bertransformasi menjadi fasa mullite. Berdasarkan analisis pada hasil karakterisasi STA dengan pendekatan DSC perubahan transformasi fasa terbanyak dimiliki sampel V3 yang ditimbulkan akibat reaksi penyerapan dan pelepasan energi. Puncak pertama disebabkan oleh *desorpsi* molekul air yang *teradsorpsi* secara fisik, puncak kedua disebabkan oleh pelepasan molekul air yang teradsorpsi secara kimia dan dekomposisi dan/atau pembakaran templat surfaktan dan puncak terakhir berhubungan dengan proses transisi fase alumina [14,15]. Berdasarkan hasil analisis DSC ketiga sampel komposisi dapat ditarik sebuah hipotesis dimana kandungan alumina yang lebih tinggi persentasenya menimbulkan reaksi *eksoterm* dan *endoterm* yang lebih banyak, hal tersebut selaras dengan hasil analisis sampel V3.



Gambar 4. Hasil analisis TGA bata tahan api sampel V1

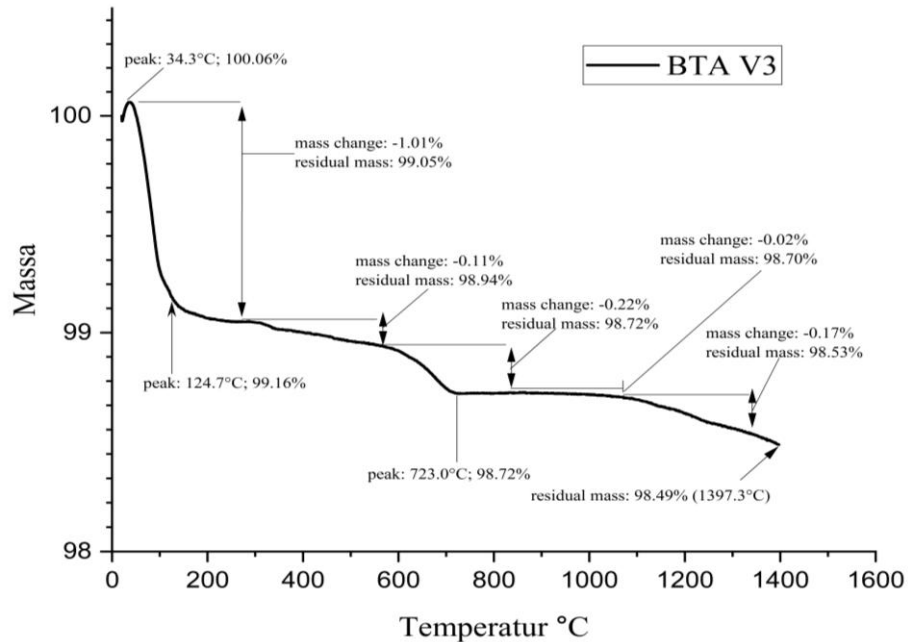
Berdasarkan hasil analisis TGA pada sampel bata tahan api pada gambar 2, diketahui sampel V1 diketahui adanya puncak pada temperatur 42,3°C dan kenaikan masa 0,29% dari reaksi adsorpsi. Pada temperatur 139°C terjadi puncak deformasi penurunan massa dengan nilai -1,04% yang disebabkan dari reaksi laju pembakaran. Disisi lain pada temperatur 1.216°C terjadi puncak kenaikan masa dengan nilai 2,02%, kenaikan tersebut terjadi akibat reaksi oksidasi senyawa yang menimbulkan kenaikan masa. Berdasarkan analisis sampel V1 menunjukkan bahwa sampel bata tahan api mengalami *single decomposition*.



Gambar 5. Hasil analisis TGA bata tahan api sampel V2

Pada analisis TGA sampel V2 diketahui, adanya puncak penurunan masa pada temperatur 22°C dengan nilai -0,25% dari reaksi pembakaran, namun setelah reaksi tersebut volume masa

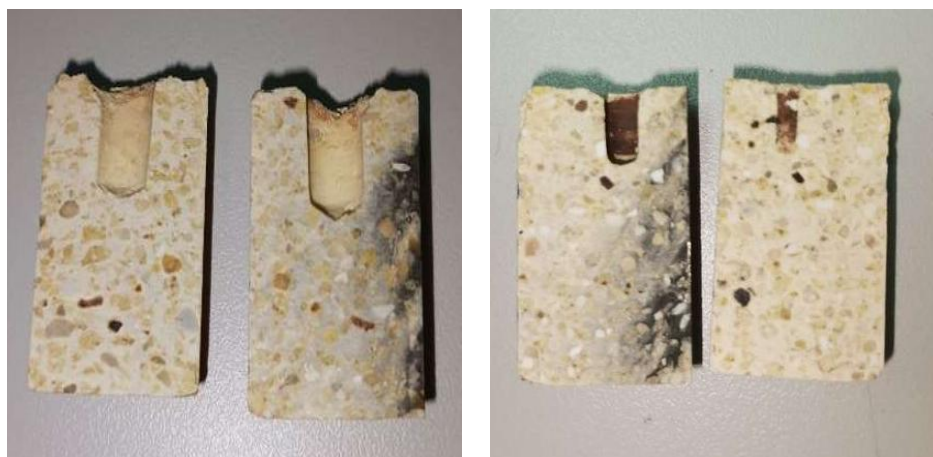
mengalami peningkatan hingga puncaknya pada temperatur 38°C dengan nilai 0,14% akibat reaksi adsorpsi. Kemudian sampel uji mengalami laju deformasi volume massa secara bertahap hingga puncaknya pada temperatur 1.397°C dengan nilai penurunan -1,96% akibat reaksi laju pembakaran.



Gambar 6. Hasil analisis TGA bata tahan api sampel V3

Sedangkan pada analisis sampel V3 terhadap hasil uji TGA diketahui, adanya kenaikan masa pada temperatur 34°C dari reaksi adsorpsi dengan nilai 0,6%. Sedangkan pada temperatur 35°C mulai mengalami penurunan masa secara bertahap hingga puncak penurunan pada temperatur 1.397°C dengan nilai -1,57% dari reaksi laju pembakaran. Berdasarkan hasil analisis ketiga komposisi pada uji STA dengan pendekatan TGA, diketahui sampel dengan penurunan masa tertinggi pada sampel V2, sedangkan disisi lain komposisi sampel V1 mengalami kenaikan masa hal tersebut dapat dikarenakan dari reaksi oksidasi metakaolin yang bertransformasi menjadi mullite (Al_2O_3).

3.2 Ketahanan Kimia



(a) Tetesan Asam Sulfat

(b) Tetesan NaOH.

Gambar 7. Sampel Uji Ketahanan Kimia

Hasil analisis karakterisasi ketahanan sifat kimia pada sampel bata tahan api berdasarkan analisis secara visual pada Gambar 7, diketahui sampel bata tahan api menunjukkan reaksi pada daerah yang diberi cairan larutan basa (NaOH) dengan adanya daerah yang terkonsumsi (menghitam) setelah dipanaskan pada temperatur 1150°C, pada bata tahan api yang diberi cairan larutan asam sulfat (H₂SO₄) justru tidak menunjukkan reaksi adanya daerah yang menghitam. Berdasarkan hal tersebut diketahui pada bata tahan api dengan komposisi berbasis alumina lebih dominan mampu menahan sifat asam kimia, tetapi kurang baik dalam menangani sifat basa kimia. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh asam sulfat yang menguap ketika dipanaskan namun pada cairan asam justru beraksi dan menjadi residu endapan. Dari pengamatan secara komposisi bahan, komposisi penyusun kaolin, alumina, dan *chamotte* memiliki kadar komposisi kimia SiO₂ yang relatif tinggi, hal tersebut selaras dengan sifat SiO₂ yang mempunyai ketahanan sifat asam kimia, namun kurang bagus untuk menahan sifat basa kimia. Komposisi kimia tanah liat kaolin yang digunakan sebagian besar terdiri dari alumina (29%) dan silika (57%) sementara unsur *chamotte* tidak ada [16].

4. KESIMPULAN

Sebelum dilakukan proses pemanasan sampel bata tahan api dipatahkan pada bagian ujung untuk dikarakterisasi menggunakan analisis *Simultaneous Thermal Analyzer* (STA) dengan perlakuan temperatur 1400°C untuk mengetahui dekomposisi material dan pengukuran suhu transisi fase. Pada analisis ketahanan sifat kimia sampel bata tahan api diberi tetesan larutan asam sulfat (H₂SO₄) dan natrium hidroksida (NaOH) pada daerah yang ditandai bekas lubang dengan diameter kedalaman 1cm. Kemudian sampel uji ketahanan kimia dipanaskan kembali dengan temperatur 1150°C dan didinginkan sampai mencapai suhu ruang.

Hasil analisis karakterisasi termal serta ketahanan sifat kimia refraktori bata tahan api yang divariasikan komposisi menghasilkan: Bata tahan api berbasis alumina memiliki kemampuan dominan menahan sifat kimia terhadap serangan sifat asam sulfat, sedangkan karakteristik termal menghasilkan transformasi fasa *Mullite* pada temperatur 1200°C.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Pimpinan BPTM-BRIN yang telah memfasilitasi kami dalam melakukan penelitian ini dan Program studi teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Malahayati serta semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Gu, Y. Zhang, Y. Tu, X. Wu, Y. Zhu, Y. Long, D. S. (2022). Assessing magnesia effect on preparing refractory materials from ferrochromium slag. *Ceramics International*, vol/48/(issue/9), Pages 13100-13107.
- [2] ASTM C71-12. (2018). 'Standard Terminology Relating to Refractories'. *ASTM INTERNATIONAL*.
- [3] Bayuseno, A. P. (2009). Pengembangan Dan Karakterisasi Material Keramik Untuk Dinding Bata Tahan Api Tungku Hoffman K1. *Rotasi*, 11(4), 5–10.
- [4] Schneider, H., Schreuer, J., & Hildmann, B. (2008). Structure and properties of mullite-A review. *Journal of the European Ceramic Society*, 28(2), 329–344. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.03.017>
- [5] Aksay, I. A., Dabbs, D. M., & Sarikaya, M. (1991). Mullite for Structural, Electronic, and Optical Applications. *Journal of the American Ceramic Society*, 74(10), 2343–2358. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1991.tb06768.x>
- [6] Sadik, C., El Amrani, I. E., & Albizane, A. (2014). Recent advances in silica-alumina refractory: A review. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 2(2), 83–96.

- <https://doi.org/10.1016/j.jascr.2014.03.001>
- [7] Kuntaarsa, A. (2017). *Perbaikan Mutu Bodi Keramik Lempung Pundong Dengan Penambahan Pecahan Kaca Lampu Neon Bekas* *Quality Improvement of Lempung Pundong Ceramics with the Addition of Glass Waste from Neon Lamp*. 14(2), 62.
- [8] Guglielmi, M., & Martucci, A. (2018). Sol-gel nanocomposites. In *Handbook of Sol-Gel Science and Technology: Processing, Characterization and Applications*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32101-1_100
- [9] Escalante, J., Chen, W. H., Tabatabaei, M., Hoang, A. T., Kwon, E. E., Andrew Lin, K. Y., & Saravanakumar, A. (2022). Pyrolysis of lignocellulosic, algal, plastic, and other biomass wastes for biofuel production and circular bioeconomy: A review of thermogravimetric analysis (TGA) approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 169(May), 112914. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112914>
- [10] Nurdin, I., Zulkifli, Z., Elwina, E., Nurlaili, N., Irza, T. A., & Suhendrayatna, S. (2023). Monosodium Glutamate as Corrosion Inhibitor for Low Carbon Steel in Circulated Crude Oil. *Letters in Applied NanoBioScience*, 12(4), 1–7.
- [11] De Aza, A. H., Valle, F. J., Ortega, P., Pena, P., & De Aza, S. (2006). Analytical characterization of a magnesia-graphite refractory. *Journal of the American Ceramic Society*, 89(5), 1704–1708. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2006.00975.x>
- [12] Doctorale, É., Et, S., & Bakkali, A. E. L. (2009). *Conditions Extrêmes et Matériaux : Haute Température et Irradiation Contribution à l ' étude de la corrosion des réfractaires à base de SiC dans les cuves d ' électrolyse de l ' aluminium* [UNIVERSITÉ D'ORLÉANS]. <https://theses.hal.science/tel-00476725v1>
- [13] Frédéric, T. (2004). *Propriétés mécaniques et durée de vie de bétons réfractaires* *Propriétés mécaniques et durée de vie de bétons réfractaires*. THESIS, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [14] Rangel-Porrás, G., Rangel-Rivera, P., & Ramos-Ramírez, E. (2014). Changes in the thermal behavior and surface area of transitional alumina induced by the inclusion of metallic ions. *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic and Nano-Metal Chemistry*, 45(5), 629–638. <https://doi.org/10.1080/15533174.2013.841228>
- [15] Zhu, Z., Liu, H., Sun, H., & Yang, D. (2009). PEG-directed hydrothermal synthesis of multilayered alumina microfibers with mesoporous structures. *Microporous and Mesoporous Materials*, 123(1–3), 39–44.
- [16] Sadik, C., El Amrani, I. E., & Albizane, A. (2013). Effect of andalusite rich schist grain size and the addition of metallic aluminum powder on the properties of silica-alumina refractory. *Journal of Asian Ceramic Societies*, 1(4), 351–355.
-