

OPTIMALISASI PENGGUNAAN MATERIAL RAMAH LINGKUNGAN TERHADAP KINERJA BATA TAHAN API/*FIRE BRICKS* UNTUK KONSTRUKSI BERKELANJUTAN

Yusuf Amran¹, Tedy Pramono², Chica Oktavia³

Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro^{1,2,3}
E-mail : yusufamran307@gmail.com¹, tedypramono49@gmail.com²,
Chicaoktavia04@gmail.com³

ABSTRAK

Tujuan utama peneliti dalam penelitian ini adalah ingin meningkatkan kualitas bata tahan api/*fire bricks* dengan menggunakan tambahan bahan berupa limbah batu bara dan serbuk daur ulang kaca. Selain meningkatkan kualitas bata *tahan api/fire bricks*, peneliti juga ingin mengurangi masalah limbah abu batu bara dan limbah kaca yang dapat menjadi bahaya lingkungan dan kesehatan jika tidak dikelola dengan benar. Pemanfaatan *fly ash*/limbah batu bara dan limbah kaca secara bijaksana serta penggunaan teknologi pengolahan yang tepat dapat membantu mengurangi bahaya yang ditimbulkan oleh limbah ini dimana nantinya juga mampu menekan biaya produksi yang otomatis juga dapat menghasilkan bata tahan api/*fire bricks* yang berkualitas, mudah dan murah.

Berdasarkan pada hasil pengujian dan penelitian yang telah dilakukan, penambahan *fly ash* dan *glass powder* dengan komposisi 25% *fly ash* + 25% *glass powder* + 50% tanah lempung mampu menghasilkan bentuk fisik yang baik pada *fire bricks* berupa permukaan yang halus dan siku dibandingkan dengan bata konvensional. *Fire bricks* yang dihasilkan pada penelitian ini masih mempunyai kemampuan densitas, porositas dan penyerapan air yang cukup tinggi jika diparameterkan kepada standarisasi yang digunakan. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan penggunaan *fly ash* dan *glass powder* dengan komposisi 25% *fly ash* dan 25% *glass powder* serta 50% tanah lempung mampu menghasilkan nilai kuat tekan rata – rata sebesar 169,267 kg/cm² setara dengan 20,41 Mpa. Nilai ini sudah memenuhi kategori kelas I pada SNI 15-2094-2000 dimana *fire bricks* tipe/jenis ini sesuai/cocok untuk penggunaan/penerapan pada area konstruksi yang memerlukan ketahanan panas sedang, seperti dinding pembakaran *boiler* atau cerobong industri. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* dan *glass powder* sesuai dengan komposisi disebutkan diatas mampu meningkatkan daya dukung *fire bricks* walaupun menggunakan metode produksi yang sangat sederhana/konvensional. Hal ini juga membuktikan bahwa penggunaan *fly ash* dan *glass powder* pada komposisi tertentu mampu memberikan dampak perubahan pada karakteristik *fire bricks* baik karakteristik fisik maupun mekanisnya.

Kata Kunci : Bata Tahan Api, Tanah Lempung, *Fly Ash*, *Glass Powder*.

PENDAHULUAN

Bata tahan api adalah jenis bata khusus yang dibuat dengan menggunakan *fire clay* dan memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi yang digunakan

dalam *kiln*, *furnace*, perapian dan sebagainya. Bata tahan api ini dibuat dengan cara yang mirip dengan bata biasa, kecuali selama proses pembakaran bata tahan api terkena suhu yang sangat tinggi. Komposisi bata tahan api adalah salah

satu hal yang sering ditanyakan dalam hal mendesain mengenai *refractory lining* pada suatu *equipment*. Dalam proses pembuatan material *refractory fire bricks*, komposisi material akan banyak pengaruhnya terhadap sifat, jenis dan kegunaannya.

Kelebihan bata tahan api mampu menahan suhu sekitar 1.800–3.000 derajat Fahrenheit (1.000–1.650 derajat Celsius) serta kemungkinan terjadinya *cracking* kecil sekali, karena sudah melalui proses *sintering* pada waktu pembuatannya, selain itu kelebihan bata tahan api juga tidak memerlukan *refractory dryout* yang panjang setelah *installation*. Sedangkan kelemahan *fire bricks* antara lain harus dicetak dengan bentuk tertentu sesuai bentuk yang diinginkan, memerlukan waktu yang lama untuk pembuatan dan pemesanan, pada posisi *arch*, jika salah satu bata tahan api jatuh, maka akan menyebabkan runtuhnya seluruh *section*, sehingga harus diganti semua, selain itu juga gas bisa dengan mudah masuk melalui *jointing bricks*. Dari aspek fisik bata tanah api juga mudah terjadi *spallin*, memiliki kepadatan tinggi dan cenderung lebih berat. Hal ini dapat menambah beban struktural pada bangunan, terutama jika digunakan dalam jumlah besar, *fire bricks* cenderung lebih rapuh (karena lebih getas) dibandingkan bata biasa dan harganya lebih mahal.

Fly ash batu bara adalah produk sampingan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap dengan oksida logam seperti silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), oksida besi (Fe_2O_3), dan kalsium oksida (CaO) yang mengandung 40-60% silika memberikan sifat pozolan (kemampuan untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida dalam air) dan dapat meningkatkan kekuatan bata.

Penggunaan serbuk daur ulang kaca/*glass powder* pada material konstruksi ringan telah menarik banyak perhatian para praktisi dibidang konstruksi maupun peneliti karena permasalahan limbah tersebut terhadap

lingkungan. Bahan kaca yang biasa digunakan untuk membuat botol / toples dengan bahan *lime silica*, memiliki kadar *silica* sampai 80% dari kaca tersebut. Sehingga kaca yang mengandung kadar *silica* yang tinggi, bisa digunakan sebagai bahan campuran pada beberapa bahan kostruksi termasuk semen (Khatib, dkk, 2012). Sangat penting untuk diperhatikan bahwa reaktivitas dari serbu kaca tergantung pada tipe, komposisi, dan bentuk fisik dari kaca tersebut (Figg, 1982 dalam Shayan dan Xu, 2005). Diharapkan dari kedua bahan additive tersebut dapat meningkatkan kualitas bata *fire brick* dengan menambahkan kandungan mineral yang memperbaiki sifat termalnya. Dengan komponen seperti silika dan alumina dapat yang mampu meningkatkan ketahanan bata terhadap suhu ekstrem, memungkinkan bata tersebut untuk menahan suhu tinggi.

Dari penggunaan bahan *additive* berupa *fly ash* batu bara dan serbuk daur ulang kaca/*glass powder* dapat berpengaruh besar dalam konstuksi yang berkelanjutan dalam mengurangi limbah industri, mengurangi jejak karbon, dan meningkatkan kualitas bahan bangunan yang tahan lama. Pemanfaatan serbuk daur ulang kaca/*glass powder* dan limbah *fly ash* batu bara diharapkan mampu membantu meningkatkan ketahanan bata tahan api terhadap suhu tinggi sekaligus mendukung prinsip ekonomi sirkular dengan memanfaatkan limbah industri sebagai bahan baku yang bernilai. Dengan mengadopsi teknologi ini industri konstruksi dapat mempercepat transisi menuju pembangunan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Tujuan utama peneliti dalam penelitian ini adalah ingin meningkatkan kualitas bata tahan api/*fire bricks* dengan menggunakan bahan *additive* berupa limbah *fly ash* batu bara dan memanfaatkan serbuk daur ulang kaca/*glass powder*. Selain meningkatkan kualitas bata *tahan api/fire bricks*, peneliti juga ingin mengurangi masalah limbah *fly*

ash batu bara dan limbah kaca yang dapat menjadi bahaya lingkungan dan kesehatan jika tidak dikelola dengan benar. Oleh karena itu, pengelolaan limbah batu bara dan limbah kaca yang tepat sangat penting untuk mencegah pencemaran tanah, air, dan udara serta melindungi kesehatan manusia dan ekosistem. Pemanfaatan *fly ash*/limbah batu bara dan limbah kaca secara bijaksana serta penggunaan teknologi pengolahan yang tepat dapat membantu mengurangi bahaya yang ditimbulkan oleh limbah ini dimana nantinya juga mampu menekan biaya produksi yang otomatis juga dapat menghasilkan bata tahan api/*fire bricks* yang berkualitas, mudah dan murah.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Bata Tahan Api/*Fire Bricks*

Bata tahan api adalah jenis bata khusus yang dibuat dengan menggunakan *fire clay* dan memiliki ketahanan yang baik terhadap suhu tinggi yang digunakan dalam *kiln*, *furnace*, perapian dan sebagainya. Bata tahan api ini dibuat dengan cara yang mirip dengan bata biasa, kecuali selama proses pembakaran batu tahan api terkena suhu yang sangat tinggi. Komposisi bata tahan api adalah salah satu hal yang sering ditanyakan dalam hal mendesain mengenai *refractory lining* pada suatu *equipment*. Dalam proses pembuatan material *refractory fire bricks*, komposisi material akan banyak pengaruhnya terhadap sifat, jenis dan kegunaannya.

Unsur Utama Komposisi Bata Tahan Api/*Fire Bricks*

Unsur utama yang digunakan dalam pembuatan *refractory fire bricks* adalah *fire clay*, material *fire clay* inilah yang membuat material tersebut bisa tahan terhadap api karena memiliki dua unsur yaitu alumina dan *silica*. *Fire clay* digunakan untuk membuat bata tahan api dan umumnya ditemukan di bawah lapisan batu bara. *Fire clay* mengandung

dua unsur utama yaitu material silika dan alumina, yang persentase silika bervariasi dari 60 sampai 70% dan alumina bervariasi dari 25 sampai 35%. Beberapa unsur lain seperti calcium oxide, magnesium, besi, kalium dan titanium juga terdapat di *fire clay*. Namun, persentase unsur selain silika dan alumina tidak melebihi 5% untuk *fire clay* yang baik. Kandungan *fire clay* dalam *fire bricks* tahan api biasanya tidak lebih besar dari 95%. dan unsur lainnya sebesar 5%. Kandungan Alumina dan silika pada bata tahan api *fire bricks* bervariasi semakin tinggi kandungan aluminanya maka semakin bagus kualitas tahan api tersebut. dan hubungan alumina dan silika ini berbanding terbalik, jika alumina tinggi maka silika akan turun begitu juga sebaliknya.

Penggunaan Bata Tahan Api

Bata tahan api digunakan untuk tujuan berikut :

- a. Digunakan untuk lapisan permukaan dalam kiln, tungku, cerobong asap, dan lain-lain.
- b. Membangun struktur tahan api sehingga mengurangi kerusakan struktur terhadap kecelakaan kebakaran. Untuk lapisan dalam oven berbahan bakar kayu. Sebagai bahan isolasi untuk tungku, oven karena konduktivitas termalnya lebih rendah.

Komposisi bata tahan api memegang peranan yang sangat penting dalam penentuan kegunaan *fire brick* dalam berbagai keadaan. dengan penentuan tersebut dalam *design* maka material akan bisa tepat guna.

Fire brick/ bata tahan api terdiri dari :

- a. *Standard Fire Brick / Fire Clay Brick*
 - a. SK-32
 - b. SK-33
 - c. SK-34
- b. *High Alumina Brick SK*
 - a. SK-36
 - b. SK-38
- c. *High Alumina Brick HA*
 - a. HA-1

b. HA-2

c. HA-3

Bata Tahan Api adalah salah satu golongan dari *refractory material*, dimana material tersebut masuk dalam kategori *formed refractory (fire bricks)*. Golongan *material refractory* ini memiliki bentuk dan ukuran tertentu. dan diaplikasikan pada bidang tertentu tidak bisa diaplikasikan pada semua bidang seperti halnya pada *material monolithic refractory*. Dalam prosesnya golongan jenis *fire bricks* ini memerlukan proses dalam produksinya, antara lain sebagai bahan pembuatan matras, pembentukan, proses *drying* dan *firing*. Proses produksi bata tahan api ini memerlukan proses yang lebih panjang dibanding dengan *material monolithic refractory (castable, plastic material, dan sebagainya)*. karena ada proses pembuatan matras dan proses *drying* dan *firing* yang membedakan dengan *castable* sehingga waktu produksinya lebih panjang dibanding *castable*. Berdasarkan spesifikasinya *fire bricks* secara umum dapat dibedakan menjadi beberapa yaitu jenis *SK series*, *high alumina*, *HA series* dan *ASTM standart series*. dan beberapa jenis yang lain yang diinginkan oleh *customer* yang berbeda komposisinya.

Spesifikasi Bata Tahan Api

Secara umum yang sering diproduksi massal dan yang saat ini beredar dipasaran adalah material *fire bricks* dengan spesifikasi teknik sebagai berikut :

- a. *Fire Bricks SK – Series*
- b. *High Alumina Bricks, SK - Series*
- c. *High Alumina Bricks, HA – Series*
- d. *High Alumina Bricks, Sesuai ASTM C27-98*

Bentuk Khusus Bata Tahan Api

Fire bricks bentuk khusus merupakan material yang diproduksi berdasarkan permintaan konsumen/*client* dimana dalam proses produksinya memerlukan waktu yang agak lama dari bentuk yang *standard (straight, arch, wedge, dan key)*

karena perlu ada pembuatan matras terlebih dahulu. Berdasarkan metode pembuatannya biasanya dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu : jenis *pressed bricks* dan *precast bricks*. Fungsi *fire bricks* adalah sesuai dengan definisi *refractory* yaitu material yang dapat menahan suhu yang sangat tinggi secara terus menerus dan dalam waktu yang lama tanpa mengalami perubahan bentuk dan *properties* yang signifikan. dalam hal ini bata tahan api biasanya dipakai didalam *furnace/tungku, boiler, Incinerator*, dan lain sebagainya dimana *equipment* tersebut *temperature* dipastikan sudah diatas 1000 °C dan beroperasi sampai 24 jam secara terus menerus. sehingga dengan adanya bata tahan api ini bagian/*part* dari *equipment* tersebut bisa awet dengan catatan *desigannya* benar dan tepat. Secara umum karakteristik bata tahan api (*formed refractory*) adalah sebagai berikut :

- a. Dibuat dalam bentuk dan ukuran tertentu, baik dalam ukuran standart maupun ukuran khusus.
- b. Sudah melalui proses cetak ("*Pressing*" sampai dengan 600 ton), *drying* dan *firing* sampai dengan *sintering*.
- c. Untuk kondisi dan posisi tertentu harus dibuatkan dalam bentuk dan ukuran khusus sesuai kondisi yang akan dilapisi.
- d. Memiliki berat jenis lebih dari 1,7.

Secara umum standar pengujian atau *properties* untuk bata tahan api meliputi sebagai berikut :

Tabel 1. Standar Pengujian Atau Properties Untuk Bata Tahan Api

PROPERTIES	TEST METHOD	MEASUREMENT STANDART
Refractorines s/ PCE / Seger Cone	ASTMC 24	SK; (°C)
Bulk density (after dried)	ASTMC- 134	G/cm3
Cold crushing strength (CCS)	ASTMC- 133	Mpa; Kg/m2; N/mm2
Modulus of		

Rupture (MOR)		
Permanent Linier Change	ASTMC-113	%
Thermal conductivity	ASTM C-202	W/m ² k ; Kcal/mhoC
Chemical composition		%
AL ₂ O ₃ (%)		%
SiO ₂ (%)		%
CaO(%)		%
Fe ₂ O ₃		%

Sumber: Yusuf Amran. 2025

Karakteristik Bata Tahan Api

Secara umum bata *fire bricks* memiliki karakter yaitu:

- Ketahanan suhu ekstrem, bata tahan *api/fire bricks* mampu menahan suhu hingga sekitar 1.800–3.000 derajat Fahrenheit (1.000–1.650 derajat Celsius), jauh lebih tinggi dari pada bata biasa.
- Tahan terhadap kejutan termal, material ini dapat menahan perubahan suhu yang mendadak, yang biasanya terjadi pada *furnace* atau *kiln*.
- Kekuatan tinggi dan daya tahan lama

Bata tahan *api/fire bricks* dibuat dengan material khusus seperti alumina, silika, atau magnesia, yang membuatnya tahan terhadap abrasi dan pengaruh kimia dari material yang diolah pada suhu tinggi.

Klasifikasi Bata Tahan Api

Berdasarkan aturan dalam SNI 15-2094-2000 tentang bata tahan api dan bata merah, klasifikasi *bata tahan api/fire bricks* dibagi menjadi 3 yaitu :

- Kelas I: digunakan di area yang memerlukan ketahanan panas sedang, seperti dinding pembakaran *boiler* atau cerobong industri. Kekuatan tekan sekitar 20 MPa.
- Kelas II: digunakan di area yang memerlukan ketahanan suhu lebih tinggi, misalnya dalam *kiln* untuk produksi semen atau *furnace* untuk proses metalurgi. Kekuatan tekan sekitar 40 MPa.

- Kelas III: digunakan dalam kondisi suhu dan tekanan sangat tinggi, seperti *furnace* peleburan logam, *incinerator*, atau tungku khusus dalam industri keramik. Kekuatan tekan sekitar 60 MPa.

Adapun Persyaratan umum dalam SNI 15-2094-2000 bata tahan *api/fire bricks* yaitu :

- Bahan Baku.

Bata tahan *api/fire bricks* harus terbuat bahan dasar yang khususnya alumina (Al₂O₃) dan silika (SiO₂), yang penting untuk ketahanan terhadap suhu tinggi.

- Sifat Fisik dan Mekanik

Kekuatan tekan minimum harus tercapai untuk berbagai jenis *fire bricks* dan kerapatan massa untuk memastikan ketahanan terhadap tekanan tinggi dan benturan.

- Ketahanan Suhu

Standar ini menentukan persyaratan ketahanan terhadap suhu tinggi, sehingga *fire bricks* dapat digunakan dalam industri yang membutuhkan panas ekstrem, seperti tungku pembakaran dan *furnace*

Fly Ash/Abu Terbang Limbah Batu Bara

Fly ash/abu terbang hasil pembakaran batu bara adalah limbah padat halus yang dihasilkan dari proses pembakaran batu bara di pembangkit listrik tenaga uap. *Fly ash* terbentuk dari partikel halus yang terangkat bersama gas buang dari tungku pembakaran batu bara dan kemudian ditangkap oleh sistem penangkap debu (*elektrostatik precipitator*) sebelum gas buang dilepaskan ke udara/ atmosfer.

Fly ash memiliki komposisi kimia yang bervariasi tergantung pada jenis batu bara yang dibakar dan kondisi pembakarannya, tetapi umumnya terdiri dari silika oksida (SiO₂), alumina (Al₂O₃), oksida besi (Fe₂O₃), dan kalsium oksida (CaO). *Fly ash* sering digunakan dalam berbagai aplikasi industri, terutama dalam konstruksi, karena memiliki sifat-sifat yang bermanfaat dan dapat meningkatkan

kualitas material tertentu, seperti beton dan material konstruksi ringan lainnya seperti bata tahan api dan lain-lain.



Gambar 1. Abu Limbah Batu Bara/*Fly Ash* (Sumber : Yusuf Amran 2024)

Komposisi Kimia *Fly Ash*

- a. Silika (SiO_2), adalah salah satu komponen utama dalam *fly ash*, yang memberikan sifat *pozzolan*. Silika dalam *fly ash* dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida (Ca(OH)_2) dalam beton untuk meningkatkan kekuatan dan daya tahan material.
- b. Alumina (Al_2O_3), meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap suhu tinggi.
- c. Oksida Besi (Fe_2O_3), memberikan sifat penguatan pada *fly ash* dan berperan dalam reaksi kimia di dalam beton atau material konstruksi lainnya.
- d. Kalsium Oksida (CaO), dapat berperan sebagai aktivator dalam reaksi *pozzolan* di dalam material konstruksi.
- e. Magnesium (MgO) dan Sulfat (SO_3) juga dapat ditemukan dalam *fly ash*, meskipun dalam jumlah lebih sedikit.

Manfaat *Fly Ash* Dalam Industri

- a. *Fly ash* banyak digunakan sebagai bahan pengganti sebagian semen dalam pembuatan beton dan mortar. Penggunaan *fly ash* dapat meningkatkan kekuatan beton, mengurangi permeabilitasnya, dan memperpanjang umur pakai struktur beton, terutama dalam kondisi lingkungan yang keras. Selain itu, *fly ash* juga dapat mengurangi kebutuhan akan semen *portland*, yang membantu mengurangi jejak karbon dalam industri konstruksi.
- b. *Fly ash* dapat digunakan dalam pembuatan bata, terutama bata ringan dan bata tahan api. Dalam pembuatan bata tahan api, *fly ash* dapat menggantikan sebagian tanah lempung atau bahan baku lainnya, meningkatkan ketahanan bata terhadap suhu tinggi.
- c. *Fly ash* digunakan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan aspal untuk meningkatkan kualitas dan ketahanannya. *Fly ash* juga dapat digunakan untuk mengurangi pengeluaran aspal dalam pembuatan jalan.
- d. Karena sifatnya yang tahan terhadap suhu tinggi, *fly ash* digunakan dalam pembuatan bata tahan api dan material lain yang digunakan dalam industri pengolahan logam, pembuatan *furnaces*, atau *kilns*.
- e. Dalam beberapa kasus, *fly ash* digunakan untuk membantu mengolah limbah atau untuk menangani masalah pencemaran tanah dan air. Ini dapat membantu mengurangi potensi polusi dari limbah *fly ash* yang terbuang sembarangan.

Limbah Kaca/Glass Powder

Kaca merupakan salah satu produk industri kimia yang merupakan gabungan beberapa oksida anorganik yang memiliki tingkat penguapan rendah, yang diproduksi dari penguraian dan pencairan senyawa alkali dan alkali tanah, pasir dan

e-ISSN ; 2548-6209
p-ISSN ; 2089-2098

berbagai bahan lainnya. Dari sudut pandang fisika, kaca adalah cairan yang sangat dingin. Kondisi demikian disebabkan oleh struktur partikel yang menyusunnya saling berjauhan seperti dalam zat cair, tetapi kaca itu sendiri adalah benda padat. Hal ini terjadi karena proses pendinginan yang sangat cepat, sehingga partikel silika tidak sempat mengatur dirinya sendiri secara teratur. Kaca merupakan hasil pengayaan senyawa organik yang telah mendingin tanpa mengkristal. Unsur utama kaca adalah silika

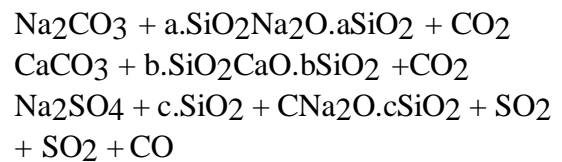


Gambar 2. Abu Limbah Kaca/*Glass Powder* (Sumber : Nurainun Br Pasaribu 2022)

Komponen utama dari kaca adalah silika. Dalam kehidupan sehari – hari kaca digunakan sebagai cermin, insulator panas, alat – alat laboratorium, dekorasi, dan pembatas ruang. Kaca merupakan bentuk lain dari gelas (*Glass*). Oksida – oksida yang digunakan untuk menyusun komposisi kaca dapat digolongkan menjadi :

- Glass former*, yaitu oksida utama pembentuk kaca.
- Intermediate*, Oksida yang menyebabkan kaca mempunyai sifat-sifat yang lebih spesifik, contohnya untuk menahan radiasi, menyerap UV, dan sebagainya.
- Modifier*, Oksida yang tidak menyebabkan kaca memiliki elastisitas, ketahanan suhu, tingkat kekerasan, dan lain-lain.

Kaca memiliki ciri-ciri yang khas dibandingkan dengan kelompok keramik lainnya. Kekhususan ciri-ciri kaca ini utamanya disebabkan oleh uniknya silika (SiO_2) serta siklus terbentuknya. Reaksi-reaksi yang terjadi dalam pembentukan kaca secara singkat dapat dipahami sebagai berikut:



Serbuk kaca mempunyai kelebihan dibandingkan dengan bahan pengisi pori yang lainnya, yaitu:

- Mempunyai sifat tidak menyerap air (*zero water absorption*),
- Kekerasan dari gelas menjadikan beton tahan terhadap abrasi yang hanya dapat dicapai oleh sedikit agregat alami,
- Bubuk kaca/serbuk kaca memperbaiki kandungan dari beton segar sehingga kekuatan yang tinggi dapat dicapai tanpa penggunaan *superplasticizer*,
- Bubuk kaca/serbuk kaca yang baik mempunyai sifat *pozzoland* sehingga dapat berfungsi sebagai pengganti semen dan *filler*.

Perencanaan Komposisi Campuran Bata Tahan Api

Perencanaan campuran bata tahan api/*fire bricks* merupakan perpaduan dari komposisi material penyusunnya. Pada dasarnya perencanaan campuran bata tahan api/*fire bricks* dimaksudkan untuk menghasilkan suatu porsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Kriteria dasar dalam pencampuran bata tahan api/*fire bricks* adalah kekuatan tekan, ketahanan fisik terhadap suhu tinggi dan kemudahan dalam pengerjaannya. Dalam penelitian ini rencana komposisi campuran tidak mengacu pada pencampuran pada umumnya dan menggunakan campuran

dengan metode *trial and error*/coba-coba sampai diperoleh komposisi yang optimal.

Metode Pembuatan Bata Tahan Api

Dalam pembuatan bata tahan api/*fire bricks* yang biasanya digunakan dalam masyarakat dapat diklasifikasikan menjadi dua metode, yaitu metode konvensional dan metode mekanis (luluk hamidah, 2018).

- a. Metode Konvensional
- b. Metode *Mekanis*

Pengujian Bata Tahan Api

Pengujian bata tahan api/*fire bricks* yang dilakukan adalah ;

- a. Pengujian sifat fisik, meliputi :
 - 1) Pengujian daya serap air material
 - 2) Pengujian densitas material
 - 3) Pengujian porositas material
- b. Pengujian sifat mekanis, meliputi :
 - 1) Pengujian kuat tekan
 - 2) Pengujian ketahanan retakan akibat panas (pembakaran satu sisi)

Bertempat di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah pelaksanaan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

Tahapan Penelitian

a. Teknik Sampling

Teknik sampling merupakan cara untuk menentukan sampel yang jumlahnya sesuai dengan ukuran sampel yang akan dijadikan sumber data sebelumnya, dengan memperhatikan sifat-sifat dan penyebaran populasi agar diperoleh sampel yang *representative* (Margono, 2004). Korelasinya atau implementasinya dalam penelitian ini adalah, dilakukan tahap awal berupa uji coba (*trial*) menggunakan sampel bata konvensional yang diperoleh dari produsen lokal. Sampel tersebut dianalisis untuk mengetahui berat 1 sampel bata serta rasio air yang digunakan dalam proses pembuatannya. Hasil analisis ini

kemudian dijadikan sebagai acuan utama dalam perancangan campuran (*mix design*) yang akan digunakan pada penelitian selanjutnya, sehingga komposisi campuran yang dibuat dapat mendekati karakteristik material referensi dan mempermudah proses evaluasi kinerja campuran alternatif. Selain itu teknik samping juga dilakukan pada material/bahan utama pembentuk bata tahan api yaitu tanah lempung. Tanah lempung yang digunakan untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini adalah tanah lempung yang tidak mengandung agregat baik agregat halus maupun kasar dan bergradasi lolos saringan nomor #100 serta tidak mengandung kotoran organik yang semuanya itu diperoleh dengan cara dilakukan peujian analisa saringan dilaboratorium mekanika tanah.

b. Teknis Pelaksanaan

Adapun beberapa langkah-langkah yang harus dilakukan oleh peneliti yaitu, sebagai berikut:

Persiapan Bahan

Tanah lempung yang digunakan pada penelitian ini haruslah yang kaya akan mineral kaolin (alumina silikat) dan biasanya digunakan untuk membuat bahan bangunan yang harus tahan terhadap suhu ekstrem, seperti bata tahan api, *ceramic refractories*, dan berbagai produk tahan api lainnya.

Glass powder dan *fly ash* mengandung silika dalam jumlah yang sangat tinggi, yang memberikan sifat pozzolanik pada abu ini. Silika ini biasanya sekitar 85-95% dari berat *glass powder* dan *fly ash*, yang membuatnya sangat berguna dalam aplikasi beton dan konstruksi ringan.

Air yang digunakan adalah air bersih yang tidak berwarna dan berbau serta tidak mengandung limbah organik/kotoran atau dengan kata lain air yang digunakan adalah air yang layak konsumsi, yang digunakan untuk mencampur semua

material pembentuk benda uji bata tahan api tersebut.

Perhitungan dan Perencanaan Komposisi Campuran

Perencanaan campuran bata tahan api/*fire bricks* merupakan perpaduan dari komposisi material penyusunnya. Perencanaan campuran bata tahan api/*fire bricks* dimaksudkan untuk menghasilkan suatu porsi campuran bahan yang optimal dengan kekuatan yang maksimum. Kriteria dasar dalam pencampuran bata tahan api/*fire bricks* adalah kekuatan tekan, ketahanan fisik terhadap suhu tinggi dan kemudahan dalam pengerjaannya. Dalam penelitian ini rencana kebutuhan bahan untuk tiap komposisi campuran tidak mengacu pada pencampuran pada umumnya dan menggunakan campuran dengan metode *trial and error*/coba-coba sampai diperoleh komposisi yang optimal.

Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Benda uji yang akan dibuat pada penelitian ini adalah *fire bricks* berbentuk persegi dengan ukuran pajang 20 cm, lebar 10 cm dan tinggi 6 cm berikut merupakan tahapan pembuatan *fire bricks*:

- a. Tahap persiapan bahan utama dan tambahan serta peralatan pembuatan benda uji.
- b. Tahap pencampuran bahan penyusun/pembentuk bata tahan api/*fire bricks*.
- c. Tahap pencetakan dan pembuatan benda uji.
- d. Tahap pemeliharaan benda uji (pengerangan, pembakaran dan pendinginan).
- e. Tahap pengujian sifat fisik dan sifat mekanis bata tahan api/*fire bricks* di laboratorium berupa Pengujian daya serap air, densitas, porositas, pengujian kuat tekan dan pengujian ketahanan retakan akibat panas/suhu tinggi (pembakaran satu sisi).

HASIL PENELITIAN

Gambaran Umum

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kajian eksperimental yang dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro dan lokasi sentral pembuatan bata (tobong bata) milik warga di Kelurahan Karang Rejo Kecamatan Metro Utara, Kota Metro. Pengujian yang dilakukan hanya pada benda uji penelitian yaitu berupa bata tahan api/*fire bricks* sederhana baik fisik maupun mekanisnya. Pengujian terhadap sifat fisik bata tahan api/*fire bricks* meliputi pengujian daya serap air/porositas dan pengujian ketahanan retakan akibat pembakaran, sedangkan pengujian sifat mekanisnya berupa pengujian kuat tekan bata tahan api/*fire bricks*, semuanya menggunakan benda uji persegi panjang berukuran 10 cm x 20 cm x 6 cm, dan berjumlah total 27 benda uji persegi panjang untuk tiga jenis pengujian/parameter tersebut.

Hasil Penelitian

Pengujian Sifat Fisik Bata Tahan Api

Mengacu pada hasil pengujian densitas, porositas dan daya serap air bata tahan api/*fire bricks* menghasilkan *fire bricks* yang masih mempunyai kemampuan densitas, porositas dan penyerapan air yang cukup tinggi atau dengan pengertian lain, bata tahan api/*fire bricks* yang dihasilkan pada penelitian ini masih mempunyai nilai densitas, porositas dan daya serap air yang besar jika diparameterkan kepada standarisasi yang digunakan yaitu SNI dan ASTM, dan dapat dikategorikan belum memenuhi syarat ambang batas nilai densitas, porositas dan daya serap air untuk suatu bata tahan api/*fire bricks*.

Nilai densitas yang diperoleh adalah sebesar 4,7 g/cm³– 5,24 g/cm³ untuk ketiga komposisi campuran yang digunakan, dimana semakin banyak penggunaan *fly ash* dan *glass powder* menghasilkan nilai densitas yang semakin

besar juga. Mengacu dari nilai porositas yang didapatkan dari hasil pengujian benda uji, diperoleh nilai porositas dengan rentang nilai 18,27% -17,62%, nilai ini mengindikasikan semakin banyak penggunaan *fly ash* dan *glass powder* menghasilkan nilai porositas yang semakin kecil dimana kondisi yang terjadi berbanding terbalik terhadap nilai densitas yang dihasilkan. Sedangkan terkait kemampuan penyerapan benda uji terhadap air, berdasarkan pengujian daya serap air yang dilakukan, diperoleh rentang nilai daya serap air sebesar 17,58% - 16,02%, dimana kondisi ini sama dengan nilai porositas yang dihasilkan yaitu semakin banyak penggunaan *fly ash* dan *glass powder* menghasilkan nilai daya serap air yang semakin kecil.

Pengaruh langsung yang ditimbulkan dari kondisi ini adalah jika bata tahan api/*fire bricks* tersebut digunakan sebagaimana seharusnya maka dampak yang ada adalah bata tahan api/*fire bricks* akan mudah basah atau lembab akibat perubahan suhu atau jika terkena air secara langsung yang otomatis akan mempengaruhi daya dukung bata tahan api/*fire bricks* tersebut (menjadi mudah retak), jika melihat dari nilai porositas dan daya serap air yang dihasilkan, yaitu semakin besar/banyak penggunaan *fly ash* dan *glass powder* nilai porositas dan daya serap air yang cenderung semakin kecil, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* dan *glass powder* sangat mempengaruhi kerapatan pori/rongga pada bata tahan api/*fire bricks* sehingga akan mempengaruhi nilai dan kemampuan penyerapan air pada bata tahan api/*fire bricks* tersebut.

Pengujian Sifat Mekanis Bata Tahan Api/ Fire Bricks

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan, dilakukan pembahasan terhadap kekuatan tekan bata tahan api/*fire bricks* menggunakan total waktu produksi selama 21 hari mulai dari produksi,

pembuatan dan pemeliharaan dengan penggunaan *fly ash* dan *glass powder*. Mengacu pada hasil pengujian kuat tekan bata tahan api/*fire bricks* penggunaan *fly ash* dan *glass powder* mampu meningkatkan kemampuan mekanis bata tahan api/*fire bricks* dibandingkan pada bata konvensional (komposisi 0%), jika melihat nilai kuat tekan yang dihasilkan pada penelitian ini dan mengacu pada parameter yang digunakan, penggunaan *fly ash* dan *glass powder* pada komposisi III (25% *fly ash* + 25% *glass powder* + 50% tanah lempung) mampu menghasilkan bata tahan api/*fire bricks* yang mempunyai kemampuan daya dukung sebesar 20,41 Mpa, nilai ini telah memenuhi syarat nilai minimum bata tahan api/*fire bricks* kelas I SNI 15-2094-2000 yaitu sebesar 20 Mpa. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil benda uji pada komposisi III mempunyai ketahanan fisik yang lebih tinggi dibandingkan benda uji pada dua komposisi lainnya (komposisi I dan II), dimana benda uji pada komposisi III baik warna, bentuk dan kondisi tidak banyak mengalami perubahan fisik serta dari semua benda uji yang digunakan tidak ada yang mengalami patah, retak atau hancur (hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran penelitian). Hasil tersebut memberikan simpulan bahwa penggunaan *fly ash* dan *glass powder* sesuai dengan komposisi III walaupun menggunakan metode produksi yang sangat sederhana/konvensional dapat meningkatkan ketahanan fisik yang baik pada *fire bricks* pada penggunaan disuhu tinggi dengan waktu yang relatif lama tanpa menyebabkan perubahan fisik yang signifikan/kegagalan material pada *fire bricks* tersebut.

Penerapan Dilapangan

Penggunaan *fly ash* dan *glass powder* pada semua komposisi yang digunakan pada penelitian ini, walaupun menggunakan metode produksi yang tergolong sederhana/konvensional dapat

menghasilkan dampak ketahanan fisik yang baik pada bata tahan api/*fire bricks* walaupun digunakan pada suhu yang tinggi (berkisar antara 530⁰ C sampai 1200⁰ C) dengan waktu yang relatif lama (24 jam) tanpa menyebabkan perubahan fisik yang signifikan atau kegagalan material pada bata tahan api/*fire bricks* tersebut. Bata tahan api/*fire bricks* yang dihasilkan pada penelitian ini masuk kategori kelas I yang cocok untuk penggunaan/penerapan pada area konstruksi yang memerlukan ketahanan panas sedang, seperti dinding pembakaran *boiler* atau cerobong industri. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* dan *glass powder* sesuai dengan komposisi III dapat meningkatkan daya dukung bata tahan api/*fire bricks* walaupun menggunakan metode produksi yang sangat sederhana/konvensional.

KESIMPULAN

Mengacu pada semua hasil pengujian karakteristik fisik benda uji berupa uji porositas/daya serap air pada bata tahan api/*fire bricks*, dapat dijelaskan bahwa pada penambahan *fly ash* dan *glass powder* dengan komposisi 25% *fly ash* + 25% *glass powder* + 50% tanah lempung mampu menghasilkan bentuk fisik yang baik pada bata tahan api/*fire bricks* *fire bricks* berupa permukaan yang halus dan siku dibandingkan dengan bata konvensional. Bata tahan api/*fire bricks* yang dihasilkan masih mempunyai kemampuan penyerapan air yang cukup tinggi atau dengan pengertian lain, bata tahan api/*fire bricks* yang dihasilkan pada penelitian ini masih mempunyai porositas yang besar jika diparameterkan kepada standarisasi yang digunakan. Pengaruh langsung yang ditimbulkan dari kondisi ini adalah jika bata tahan api/*fire bricks* tersebut digunakan sebagaimana seharusnya maka dampak yang ada adalah bata tahan api/*fire bricks* akan mudah basah atau lembab akibat perubahan suhu atau jika terkena air secara langsung yang

otomatis akan mempengaruhi daya dukung bata tahan api/*fire bricks* tersebut walaupun jika dilihat dari nilai porositas yang dihasilkan, semakin besar/banyak penggunaan *fly ash* dan *glass powder* nilai porositas cenderung semakin kecil, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* dan *glass powder* sangat dapat mempengaruhi kerapatan pori pada bata tahan api/*fire bricks* sehingga akan mempengaruhi nilai dan kemampuan penyerapan air pada bata tahan api/*fire bricks* tersebut. Adapun melihat hasil uji karakteristik mekanis benda uji berupa pengujian kuat tekan, bata tahan api/*fire bricks* tanpa campuran memiliki nilai kuat tekan rata – rata sebesar 140,657 kg/cm² atau setara dengan 16,94 Mpa, sedangkan bata tahan api/*fire bricks* pada penambahan *fly ash* dan *glass powder* dengan komposisi 12,5% *fly ash* dan 12,5% *glass powder* serta 75% tanah lempung memiliki nilai kuat tekan rata – rata sebesar 159,478 kg/cm² setara dengan 19,21 Mpa, serta untuk *fire bricks* pada penambahan *fly ash* dan *glass powder* dengan komposisi 25% *fly ash* dan 25% *glass powder* serta 50% tanah lempung menghasilkan nilai kuat tekan rata – rata sebesar 169,267 kg/cm² setara dengan 20,41 Mpa. Dengan demikian, penggunaan limbah batu bara/*fly ash* dan serbuk limbah kaca/*glass powder* sebagai bahan pengganti penggunaan tanah lempung pada pembuatan bata tahan api/*fire bricks* pada komposisi tertentu mampu memberikan dampak perubahan pada karakteristik bata tahan api/*fire bricks* baik karakteristik fisik maupun mekanis sesuai dengan yang diparameterkan dalam SNI 15-2094-2000.

DAFTAR PUSTAKA

Amin, M., Suryana, Y. I., Isnugroho, K., Aji, B. B., Birawidha, D. C., & Hendronursito, Y. (2018). *Characterization Of Refractory Brick Based On Local Raw Material From Lampung Province - Indonesia*. AIP

- Conference Proceedings, 1945.
- ASTM C133-97. (2021). *Standard test methods for cold crushing strength and modulus of rupture of refractories*. ASTM International, 97(Reapproved 2008), 1–6.
- ASTM C134-95. (2016). *Standard Test Methods for Size, Dimensional Measurements, and Bulk Density of Refractory Brick and Insulating Firebrick*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0134-95R16.2>
- ASTM C20-00. (2015). *Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0020-00R10.2>
- ASTM C27-98, (2015). *Spesifikasi Bata Tahan Api/Fire Bricks*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0134-95R16.2>
- Bayuseno, A. P. (2019). *Pengembangan Dan Karakterisasi Material Keramik Untuk Dinding Bata Tahan Api Tungku Hoffman K1*. ROTASI, 11(4), 5–10.
- Dana, K., Sinhamahapatra, S., Tripathi, H. S., & Ghosh, A. (2019). *Refractories of Alumina-Silica System*. Transactions of the Indian Ceramic Society, 73(1), 1–13.
- Dwi Handoko, Azmal, Iyus (2024). *“Pengaruh Penambahan Serat Asbes terhadap Sifat Refractory Brick Berbahan Kaolin dan Fly Ash”*.
- Ekaputri, J. J., Limantono, H., and Triwulan (2022). *“Effect of PVA Fiber in Increasing Mechanical Strength on Paste Containing Glass Powder”*. Key Engineering Materials, Volume 673, pp. 83-93.
- Elly Indahwati, (2024). *“Analisis Konduktivitas Termal pada Bata Tahan Api Berbahan Dasar Material Lokal.”* Jombang, Jawa Timur.
- Kiko Pranaka, (2022). *“Pengaruh Variasi Komposisi Material Terhadap Pembentukan Bata Tahan Api”*. Fakultas MIPA, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Nurainun BR Pasaribu, (2022). *“Pengaruh Limbah Serbuk Kaca/Glass Powder Terhadap Karakteristik Paving Block”*. Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Sumatera Utara. Medan.
- SNI 15-2094, (2000). *Standar Nasional Indonesia Tentang Bata Tahan Api*. Jakarta.