

PENGARUH TEMPERATUR *SINTERING* TERHADAP DENSITAS, POROSITAS, DAN KEKUATAN *BENDING LINING REFRACTORY* BERBASIS LIMBAH *EVAPORATION BOATS*

Lucky Erliyanti¹ dan Heri Sunyoto²

^{1,2}Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Negeri Semarang
erliyantilucky@gmail.com

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur *sintering* terhadap densitas, porositas, dan kekuatan *bending lining refractory* berbasis limbah *evaporation boats*, adapun variasi temperatur *sintering* yang digunakan adalah 800^oC, 1000^oC dan 1200^oC. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah Desain *Experimental*. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *evaporation boats*, semen *castable* tipe C-16, dan pasir silika dengan masing-masing komposisi 50%, 40%, dan 10%. Data yang sudah didapatkan dan dianalisis dengan cara analisis deskriptif, disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh temperatur *sintering* terhadap densitas, porositas, dan kekuatan *Bending*. Nilai densitas terendah ditunjukkan pada temperature 800^oC sebesar 1,72 gram/cm³ dan tertinggi ditunjukkan pada temperatur 1200^oC sebesar 3,08 gram/cm³. Nilai porositas terendah ditunjukkan pada temperatur 1200^oC sebesar 42% dan tertinggi ditunjukkan pada temperatur 800^oC sebesar 18%. Kekuatan *bending* terendah ditunjukkan pada temperatur 800^oC sebesar 7,32 MPa dan tertinggi ditunjukkan pada temperatur 1200^oC sebesar 32,91 MPa. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh variasi temperatur *sintering* terhadap densitas, porositas, dan kekuatan *Bending lining refractory* berbasis limbah *evaporation boats*.

Kata kunci: *sintering*, *lining refractory*, densitas, porositas, kekuatan bending, dan *evaporation boats*

1. PENDAHULUAN

Industri pengecoran logam ataupun di kampus yang menerapkan mata kuliah pengecoran logam, yang menjadi salah satu hal penting yang perlu diperhatikan saat proses pengecoran yaitu proses peleburan bahan di tungku peleburan. Tungku peleburan akan memasak logam yang solid hingga menjadi cair. Menurut Waghela et al. (2018: 2) tungku adalah peralatan yang digunakan untuk meleburkan logam untuk proses

pengecoran atau pemanasan suatu bahan untuk mengubah bentuk dan ukurannya seperti penggulangan, penempaan, dan lain-lain. Tungku juga dapat digunakan untuk mengubah sifat-sifat dari logam-logam seperti proses perlakuan panas.

Pembuatan *lining* yang sangat diperhatikan adalah bahan *Refractory* untuk membuat batu tahan api pada *lining* tersebut. Menurut Bhatia (2012: 3) *Refractory* adalah bahan anorganik, non-logam, berpori dan heterogen yang

terdiri dari agregat mineral yang memiliki ketahanan panas dan fase pengikatan yang stabil, serta aditif.

2. METODE

Metode penelitian/eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Desain *Experimental*. Temperatur *sintering* dapat mempengaruhi nilai densitas, porositas, dan kekuatan *bending*. Variasi temperatur *sintering* tersebut adalah 800°C, 1000°C dan 1200°C. Setiap spesimen uji diberikan perlakuan temperatur *sintering* menggunakan tiga variasi temperatur tersebut dengan waktu penahanan selama 2 jam dan laju panas sebesar 50C. Setelah itu akan di uji densitas, porositas, dan kekuatan *bending* kemudian hasilnya akan dianalisis. Untuk menghitung nilai Densitas dapat digunakan persamaan berikut:

$$\rho m = \frac{Mk}{Mk - Ma} \times \rho H_2O \dots\dots\dots 1$$

Untuk menghitung nilai porositas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\emptyset = \frac{Mb - Mk}{Mb - Ma} \times 100\% \dots\dots\dots 2$$

Untuk menghitung nilai kekuatan *bending* dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma b = \frac{3PL}{4b d^2} \dots\dots\dots 3$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1) Uji densitas

Pengujian densitas menggunakan prinsip *Archimedes*. Dengan menimbang spesimen di udara untuk mendapatkan massa kering, menimbang spesimen di air untuk mendapatkan massa benda di dalam air, dan menimbang spesimen yang sudah di rendam di air selama 24 jam

untuk mendapatkan massa basah. Penimbangan massa spesimen tersebut menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Menghitung densitas spesimen menggunakan Persamaan 1, dimana:

- ρm : densitas aktual (gram/cm³)
- Mk : massa sampel kering (gram)
- Mb : massa sampel dalam air (gram)
- H_2O : massa jenis air = 1 gram/cm³ (Wilastri, 2011:3).

Setelah dihitung menggunakan persamaan tersebut, didapatkan hasil pengujian seperti tabel dibawah ini. Tabel 1. Hasil nilai densitas pada temperatur 800°C.

Spesi men	Mk	Mb	Ma	Densitas (gram/cm ³)
1	7,8	12	3,2	1,69
2	8	12	3,3	1,70
3	8,7	11	3,6	1,70
4	8,3	11	3,7	1,80
5	7	11	2,9	1,70
Rata-rata				1,72

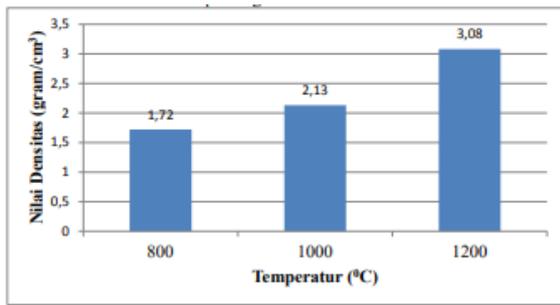
Tabel 2. Hasil nilai densitas pada temperatur 1000°C

Spesi men	Mk	Mb	Ma	Densitas (gram/cm ³)
1	12,8	14	7,1	2,24
2	13	14	6,5	2
3	12,3	13	6,2	2,01
4	10,7	13	6,6	2,60
5	9,8	15	4,3	1,78
Rata-rata				2,13

Tabel 3. Hasil nilai densitas pada temperatur 1200°C

Spesi men	Mk	Mb	Ma	Densitas (gram/cm ³)
1	10,3	11	5,7	2,23
2	7,8	9	5,4	3,25
3	8,5	9	5,9	3,26
4	8,7	9	6,1	3,34
5	8,3	9	5,8	3,32
Rata-rata				3,08

Berikut merupakan grafik rata-rata nilai densitas.



Gambar 1. Grafik rata-rata nilai densitas

2) Uji porositas

Dengan menggunakan metode yang sama dengan densitas, pengujian porositas juga menggunakan massa kering, massa di dalam air, dan massa basah dari spesimen. Untuk menghitung nilai porositas digunakan persamaan 2, dimana:

Mb: massa basah

Mk: massa sampel kering

Ma: massa sampel dalam air

Setelah melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan tersebut, maka di dapatkan hasil seperti di bawah ini.

Tabel 4. Hasil nilai porositas pada temperatur 800°C.

Spesi men	Mk	Mb	Ma	Porositas (%)
1	7,8	12	3,2	47
2	8	12	3,3	45
3	8,7	11	3,6	31
4	8,3	11	3,7	36
5	7	11	2,9	49
Rata-rata				42

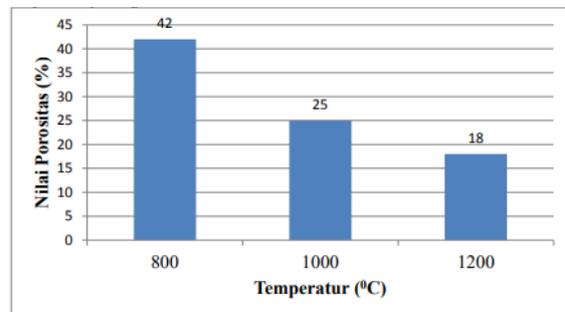
Tabel 5. Hasil nilai porositas pada temperatur 1000°C

Spesi men	Mk	Mb	Ma	Porositas (%)
1	12,8	14	7,1	17
2	13	14	6,5	13
3	12,3	13	6,2	10
4	10,7	13	6,6	35
5	9,8	15	4,3	48
Rata-rata				25

Tabel 6. Hasil nilai porositas pada temperatur 1200°C

Spesi men	Mk	Mb	Ma	Porositas (%)
1	10,3	11	5,7	13
2	7,8	9	5,4	33
3	8,5	9	5,9	16
4	8,7	9	6,1	10
5	8,3	9	5,8	21
Rata-rata				18

Untuk mempermudah analisis, maka dibuat grafik rata-rata nilai porositas yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik rata-rata nilai porositas

3) Uji kekuatan bending

Hasil uji *bending* digunakan untuk menghitung nilai dari kekuatan *bending* (σ_b). Metode *bending* yang digunakan adalah Four Point Bending berdasarkan ASTM C1161-13. Nilai kekuatan *bending* dapat dihitung dengan persamaan 3, dimana:

L: tekanan maksimal

b: jarak 2 *support span*

d: tebal spesimen uji

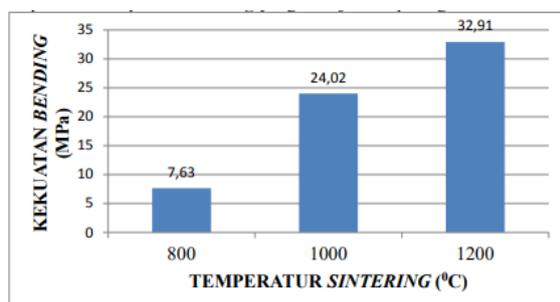
Setelah melakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas, didapatkan hasil seperti di bawah ini.

Tabel 6. Nilai kekuatan *bending*.

Temp era	S p e	F o rc e	L (m	b	d	d ²	Kek uata n	Ra ta-rat
----------	-------	----------	-------	---	---	----------------	------------	-----------

tur e (°C)	si m e n (N)	m ()				Bending (Mpa)	a (Mpa)
800	1	2880	80	86	36	5,836	7,63
	2	4220	80	86	36	8,756	
	3	4400	80	86	36	8,336	
1000	1	154	80	86	36	32,08	24,02
	2	700	80	86	36	14,58	
	3	122	80	86	36	25,41	
1200	1	116	80	86	36	24,16	32,91
	2	108	80	86	36	22,50	
	3	142	80	86	36	29,58	

Untuk memudahkan analisis data, maka dibuat grafik kekuatan *bending* terhadap variasi temperatur *sintering* yang ditunjukkan pada gambar 3 di bawah.



Gambar 3. Grafik kekuatan *bending* terhadap variasi temperatur *sintering*

Pembahasan

Data dari hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan hasil nilai densitas, porositas, dan kekuatan bending pada temperatur *sintering* 800°C, 1000°C,

dan 1200°C. Karena teknik *sintering* merupakan suatu proses pembakaran dengan temperatur yang dikontrol dan densifikasi padatan serbuk dapat diperoleh sekaligus sehingga tingkat porositas berkurang dan densitas relatif, kekerasan serta kekuatan tarik (*mechanical strength*) bertambah/naik (Sembiring dan Karo-Karo, 2007: 1). Sehingga dapat dikatakan proses *sintering* dapat merubah struktur bagian dalam ataupun kristal dari benda tersebut menjadi lebih rapat.

Densitas spesimen uji, mengalami kenaikan dari temperatur *sintering* 800°C, 1000°C sampai 1200°C. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur *sintering* akan semakin besar nilai densitas, sedangkan semakin rendah temperatur *sintering* akan semakin rendah nilai densitas. Hal tersebut terjadi karena proses *sintering* yang mengubah struktur dalam spesimen menjadi lebih rapat dan kuat.

Porositas spesimen uji, mengalami penurunan dari temperatur *sintering* 800°C, 1000°C sampai 1200°C. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur *sintering* akan semakin kecil nilai porositas, sedangkan semakin rendah temperatur *sintering* akan semakin tinggi nilai porositasnya. Menurut Nugroho dan Umardhani (2011: 5-6), ada beberapa faktor yang mempengaruhi porositas dapat terbentuk selama proses *sintering* yaitu karena adanya difusi atom yang tidak setimbang, gas yang terperangkap pada atmosfer *sintering*, atau penyebaran fasa cair yang meleleh saat *sintering*.

Hasil kekuatan *Bending* pada temperatur 800°C, 1000°C sampai 1200°C mengalami peningkatan karena adanya perbedaan nilai densitas dan porositas dari spesimen pada setiap temperatur *sintering*. Spesimen pada temperatur 800°C, menunjukkan nilai densitas yang terendah yaitu 1,72

gram/cm³, nilai porositas yang tertinggi yaitu 42%, dan memiliki kekuatan *Bending* yang terendah yaitu 7,63 MPa. Spesimen pada temperatur 1200°C, menunjukkan nilai densitas yang tertinggi yaitu 3,08 gram/cm³, nilai porositas yang terendah yaitu 18%, dan memiliki kekuatan *Bending* yang tertinggi yaitu 32,91 MPa. Hal tersebut dikarenakan semakin rendah nilai densitas dan semakin tinggi nilai porositas maka kekuatan *Bending*-nya pun semakin rendah. Semakin tinggi nilai densitas dan semakin rendah nilai porositas maka kekuatan *Bending*-nya pun semakin tinggi. Dapat diketahui bahwa nilai densitas berbanding lurus dengan kekuatan *Bending* dan berbanding terbalik dengan nilai porositas.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh temperatur *sintering* terhadap densitas, porositas, dan kekuatan *bending lining refractory* berbasis limbah *evaporation boats* dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat pengaruh variasi temperatur *sintering* terhadap densitas *lining refractory* berbasis limbah *evaporation boats*. Spesimen pada temperature 800°C, memiliki nilai densitas yang terendah yaitu 1,72 gram/cm³. Spesimen pada temperatur 1200°C, memiliki nilai densitas yang tertinggi yaitu 3,08 gram/cm³. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi temperatur *sintering* maka spesimen akan semakin padat sehingga memiliki nilai densitas yang besar.
2. Terdapat pengaruh variasi temperatur *sintering* terhadap porositas *lining refractory* berbasis limbah *evaporation boats*. Spesimen pada temperature 800°C, memiliki nilai

porositas yang tertinggi yaitu 42%. Spesimen pada temperatur 1200°C, memiliki nilai porositas yang terendah yaitu 18%. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi temperatur *sintering* maka spesimen akan semakin padat sehingga memiliki nilai porositas yang rendah. Dapat diketahui bahwa nilai densitas berbanding terbalik dengan nilai porositasnya.

3. Terdapat pengaruh temperatur *sintering* terhadap kekuatan *Bending lining refractory* berbasis limbah *evaporation boats*. Spesimen pada temperatur 800°C, memiliki nilai kekuatan *Bending* yang terendah yaitu 7,32 MPa. Spesimen pada temperatur 1200°C, memiliki nilai kekuatan *Bending* yang tertinggi yaitu 32,91 MPa. Kekuatan *Bending* akan meningkat seiring bertambahnya temperatur *sintering*. Hal tersebut dikarenakan temperatur *sintering* yang semakin tinggi akan membuat struktur di dalam spesimen lebih padat dan keras.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International C1161-13. 2014. *Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature*. Halaman 2-9.
- Bhatia, A. 2012. *Overview of Refractory Materials*. Meadow Estates Drive: PDHonline Course M158 (3 PDH).
- Munro, Ronald G. 2000. *Material Properties of Titanium Diboride*. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology* 105(5): 1.
- Nugroho, Sri dan Yusuf Umardhani. 2011. Karakterisasi Material Refractory Basa Berbahan Dasar Magnesia (*Mgo*) Guna *Lining* Tungku Induksi Pengecoran Baja di PT X

- Klaten. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2*. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. Semarang.
- Ogunsemi, B.T, Ikubanni, P.P, Agboola, O.O and Adediran, A.A. 2018. *Investigative Study of The Effects of Certain Additives on Some Selected Refractory Properties of Ant-Hill Clay for Furnace Lining. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* 9(12): 2.
- Putri, Tania Dian dan Ardian Putra. 2017. Analisis Pengaruh Temperatur Pemanasan Terhadap Sifat Fisis Sinter Silika dan Tipe Fluida (Air) pada Mata Air Panas Sapan Maluluang, Kecamatan Alam Pauh Duo, Kabupaten Solok Selatan. *Jurnal Fisika Unand* 6(1): 2-3.
- Sembiring, Simon Dan Pulung Karo-Karo. 2007. Pengaruh Temperatur Sintering terhadap Karakteristik Termal dan Mikrostruktur Silika Sekam Padi. *Jurnal Sains Mipa Edisi Khusus* 13(3): 1.
- Sudjana, Hardi. 2008. TEKNIK PENGECORAN JILID 2 Untuk SMK Edisi Pertama. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Waghela, Rahul, Shreyas Parmar, Susmit Vasava, dan Dr. Nirajkumar Mehta. 2018. Review of Refractory Materials for Innovative Investigation and Testing. *International Journal of Advance Engineering and Research Development* 5(3): 2.
- Walker, Harbison. 2005. *Handbook of Refractory Practice*. Moon Township, PA: Harbison-Walker Refractories Company.
- Wilastri, AP. Bayuseno, dan S. Nugroho. 2011. Pengaruh Variasi Kecepatan Putar dalam Metode Stir Casting Terhadap Densitas dan Porositas Al-Sic untuk Aplikasi Blok Rem Kereta Api. *Momentum* 7(2): 32.