

Sandy Triyanto

Mahasiswa
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
sandytriyanto38@gmail.com

Rusiyanto

Dosen
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
me_rusiyanto@mail.unnes.ac.id

Rahmat Doni Widodo

Dosen
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
rahmat.doni@mail.unnes.ac.id

Samsudin Anis

Dosen
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
samsudin_anis@mail.unnes.ac.id

Deni Fajar Fitriyana

Dosen
Universitas Negeri Semarang
Jurusan Teknik Mesin
deniifa89@mail.unnes.ac.id

PENGARUH WAKTU PENCAMPURAN TERHADAP KEKERASAN VICKERS MATERIAL CRUCIBLE BERBAHAN LIMBAH EVAPORATION BOATS, KAOLIN DAN SEMEN TAHAN API

Evaporation boat waste contains Boron Nitride (BN) and Titanium Diboride (TiB₂) so that it has electrically conductive properties with high resistance to chemicals and heat. In addition, the combination of these materials has high thermal conductivity properties with a melting point of up to 2700°C and has an oxidation resistance of up to 1000°C so it is very suitable if applied to crucibles, or refractory. The purpose of this study was to determine the effect of mixing duration on the hardness of the crucible material made from a mixture of evaporation boats waste, kaolin and fire mortar SK-34. The mixing process of evaporation boats waste, kaolin and refractory cement is carried out using a mixer machine with a duration of 30, 60 and 90 minutes. The compaction process was carried out on the mixture with a force of 40 kg/cm² to produce a cylindrical test specimen. After seven days, the specimens were sintered at 1000°C for 2 hours. The hardness test process was carried out with the FM-800 microhardness tester machine to determine the effect of mixing duration on the final product hardness. The highest hardness of 37,2 HV was found in the final product with a mixing duration of 90 minutes. The hardness of final product is increasing with an increase in mixing duration.

Keywords: *Mixing Duration, Crucibles, Evaporation Boats, Hardness, BN, TiB₂.*

1. PENDAHULUAN

Proses metalisasi plastik dilakukan dengan cara memanaskan aluminium hingga titik lebur di ruang hampa sehingga atom dan molekul akan menguap dan menempel pada permukaan plastik yang bergerak dengan kecepatan tinggi lalu didinginkan dengan cepat sehingga mengkristal dan membentuk lapisan tipis di seluruh lapisan plastik. Teknologi ini banyak digunakan oleh industri manufaktur yang menghasilkan produk kemasan makanan.. Namun dalam operasinya, industri yang bergerak pada bidang ini selalu menghasilkan limbah yang disebut limbah *evaporation boats*. Limbah *evaporation boats* memiliki kandungan *Boron Nitride* (BN) dan *Titanium Diboride* (TiB₂). *Titanium Diboride* (TiB₂) dan *Boron Nitride* (BN) dalam *evaporation boats* memiliki sifat konduktif elektrik dengan resistensi tinggi terhadap bahan kimia dan panas. Selain itu kombinasi material tersebut memiliki sifat konduktivitas termal yang tinggi dengan titik leleh mencapai 2700°C dan memiliki ketahanan oksidasi mencapai 1000°C sehingga sangat cocok jika diaplikasikan pada *crucible*, kowi atau *refractory* [1- 3].

Crucible adalah alat yang terbuat dari logam atau keramik yang dapat digunakan sebagai tempat peleburan logam atau kaca karena memiliki titik lebur yang tinggi [4]. Pembuatan material *crucible* diawali dengan proses pencampuran bahan baku yang akan digunakan. Proses pencampuran bahan baku *crucible* yang dilakukan secara manual mengakibatkan campuran yang dihasilkan kurang homogen. Hal ini akan mengakibatkan terbentuknya retakan (*crack*) ketika adonan *crucible* mengering. Sehingga diperlukan alat bantu berupa *mixer* yang efektif, efisien dan dengan kapasitas yang besar. Alat *mixer* yang digunakan pada

penelitian ini dilengkapi dengan handel pemutar dan penuang adonan agar memudahkan pemakai dalam penuangan [5]. Bahan untuk pembuatan *crucible* pada penelitian ini adalah limbah *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api. Kaolin merupakan masa batuan yang tersusun dari material lempung yang berwarna putih atau agak keputihan. Kaolin mempunyai komposisi hidrous aluminium silikat ($2\text{H}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) dan mineral lainnya.

Komposisi mineral yang termasuk kedalam kaolin antara lain *kaolinite*, *nakrite* dan *halloysit* (mineral utama, $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{SiO}_5 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mempunyai kandungan air yang lebih besar. Sifat fisik kaolin lainnya seperti kekerasan antara 2-2,5 (skala Mohs), berat jenis 2,60-2,63, daya hantar panas dan listrik rendah serta kadar asam (pH) yang bervariasi [6]. Semen tahan api memiliki ketahanan terhadap panas 900°C dan sangat sesuai untuk pembuatan *crucible* [7].

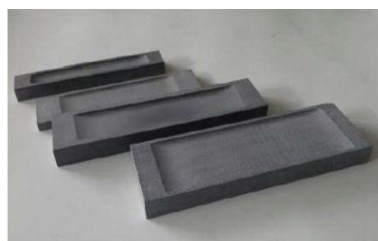
Parameter prosedur homogenisasi, seperti jenis, kecepatan pencampuran, tekanan air dalam *mixer*, urutan penambahan senyawa, waktu atau suhu pencampuran dapat mempengaruhi secara signifikan sifat-sifat dan kekerasan bahan. Semakin lama waktu pencampuran memungkinkan partikel bahan menyerap lebih banyak air [8]. Schiessl, et al., [9] menunjukkan bahwa jumlah partikel halus dalam campuran meningkat dengan adanya abrasi agregat kasar ketika waktu pencampuran diperpanjang. Oleh karena itu, peningkatan permukaan agregat berpengaruh pada adsorpsi air yang lebih tinggi.

Kecepatan pencampuran dan durasi pencampuran mempunyai efek yang signifikan terhadap kekerasan produk yang dihasilkan. Semakin tinggi kecepatan pencampuran dan semakin lama durasi pencampuran maka dapat menurunkan sifat alir dan kekerasan karakteristik campuran [10]. Struktur kristal kaolin terdiri dari pasangan lapisan lembaran silika tetrahedral dan lembaran alumina oktahedral. Masing-masing pasangan dari lembaran tersebut bergabung melalui atom oksigen secara selang seling menjadi satu kesatuan melalui ikatan hidrogen antara oksigen dari silika dan oksigen hidroksil dari alumina dengan ketebalan tiap lapisan sekitar $0,72 \mu\text{m}$ [11]. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh durasi proses pencampuran menggunakan *mixer* terhadap kekerasan *crucible* yang dihasilkan.

2. METODE DAN BAHAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah *evaporation boats*, semen tahan api SK-34, dan kaolin. Gambar 1 dan 2 menunjukkan *evaporation boats* dan limbah *evaporation boats* yang diperoleh dari mitra industry *metallizing plastic*. Limbah *evaporation boats* dihaluskan menggunakan mesin *crusher* sehingga dihasilkan serbuk *evaporation boats*. Serbuk *evaporation boats* yang dihasilkan diayak dengan ayakan *80 mesh*. Spesimen dibuat menggunakan komposisi serbuk limbah *evaporation boats*, kaolin, dan semen tahan api masing-masing sebesar 70%, 15% dan 15%. Ketiga bahan tersebut dilakukan proses *mixing* mesin *mixer* yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada penelitian ini, proses pencampuran material *evaporation boats*, kaolin, dan semen tahan api dilakukan selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Selama proses *mixing*, dilakukan penambahan air sebanyak 15% dari total berat material. Bahan yang telah dicampur dimasukkan dalam cetakan berbentuk silinder dengan diameter dan tinggi masing-masing sebesar 20 mm. Cetakan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.

Setelah itu dilakukan kompaksi menggunakan mesin *press* dengan kekuatan 40 kg/cm^2 . Proses kompaksi dalam pembuatan spesimen sangat dibutuhkan karena dapat menghilangkan kadar air didalam spesimen tersebut. Semakin tinggi tekanan kompaksi mengakibatkan peningkatan densitas dan kekerasan material yang dihasilkan [12]. Spesimen yang telah dikompaksi didiamkan pada suhu ruang selama satu minggu sebelum di sintering. Proses sintering dilakukan pada suhu 1000°C selama 2 jam untuk menghasilkan produk akhir seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada penelitian ini dilakukan uji kekerasan menggunakan mesin *Microhardness Tester* FM-800 dengan pembebanan 10 gf selama 10 detik.



Gambar 1: *Evaporation boats*



Gambar 2: Limbah *evaporation boats*



Gambar 3: Mesin *mixer* untuk mencampur serbuk limbah *evaporation boats*, kaolin, dan semen tahan api



Gambar 4: Cetakan Spesimen untuk proses kompaksi



Gambar 5: Produk akhir setelah proses sintering

3. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh durasi proses pencampuran menggunakan *mixer* terhadap kekerasan *crucible* yang dihasilkan. Pada penelitian ini, durasi proses pencampuran dilakukan selama 30 menit, 60 menit dan 90 menit. Setiap variasi waktu pencampuran mixing terdapat 3 spesimen dan pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 3 titik pada masing-masing spesimen. Hasil pengujian kekerasan setiap titik pada masing-masing spesimen ditunjukkan pada Tabel 1.

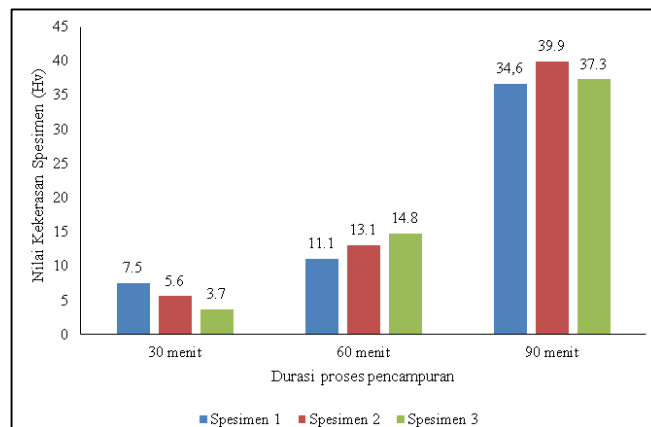
Tabel 1: Hasil Uji Kekerasan Pada Spesimen

Waktu <i>Mixing</i> (Menit)	Spesimen	Nilai Kekerasan pada :			Rata-Rata (HV)	Rata-Rata Kekerasan (HV)
		Titik 1	Titik 2	Titik 3		
30	1	6,7	6,9	9,0	6,7	5,6

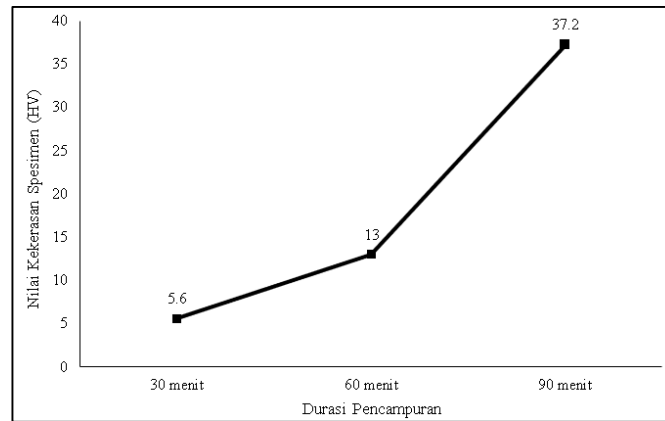
	2	4,5	6,2	8,0	4,5	
	3	3,7	3,7	7,5	3,7	
	1	4,5	12,0	16,8	11,1	
60	2	12,8	12,8	13,9	13,1	13,0
	3	12,1	13,9	18,4	14,8	
	1	21,4	35,9	46,5	34,6	
90	2	26,2	36,6	57,1	39,9	37,2
	3	34,3	37,7	40,1	37,3	

Gambar 6 menunjukkan grafik kekerasan rata-rata setiap spesimen pada variasi durasi pencampuran. Nilai kekerasan rata-rata yang paling kecil ditemukan pada spesimen 3 dengan variasi waktu pencampuran selama 30 menit. Sedangkan nilai kekerasan rata-rata yang paling besar ditemukan pada spesimen 2 dengan variasi waktu pencampuran selama 90 menit. Pada spesimen 1, 2 dan 3 dengan durasi pencampuran selama 90 menit menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan spesimen 1, 2 dan 3 dengan durasi pencampuran selama 30 dan 60 menit. Secara keseluruhan, nilai kekerasan semakin meningkat dengan lamanya proses pencampuran. Gambar 7 menunjukkan pengaruh durasi pencampuran terhadap kekerasan pada produk yang dihasilkan pada penelitian ini. Nilai kekerasan didapatkan dari nilai rata-rata kekerasan setiap spesimen pada variasi durasi proses pencampuran. Nilai kekerasan yang paling kecil sebesar 5,6 HV ditemukan pada produk yang dihasilkan dengan durasi pencampuran selama 30 menit. Sedangkan nilai kekerasan yang paling tinggi sebesar 37,2 HV ditemukan pada produk yang dihasilkan dengan durasi pencampuran selama 90 menit. Semakin lama proses pencampuran akan meningkatkan nilai kekerasan pada produk yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena partikel-partikel penyusun sampel semakin rapat dan mampat sehingga lebih padat secara fisis.

Semakin lama waktu pencampuran atau *mixing time* mengakibatkan material tercampur secara homogen. Hal ini akan mengakibatkan porositas yang dihasilkan semakin kecil setelah dilakukan kompaksi dan sintering pada kondisi yang sama. Porositas yang semakin kecil mengakibatkan densitas dari material meningkat [5]. Hal inilah yang mengakibatkan kekerasan pada spesimen dengan durasi pencampuran selama 90 menit memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi. Hasil penelitian ini sama dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Naga dkk, 2020 dan Pattanaik dkk, 2015. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Naga dkk, 2020 dan Pattanaik dkk, 2015 menyebutkan peningkatan durasi pencampuran material akan meningkatkan *strength* dari produk yang dihasilkan [13, 14].



Gambar 6: Nilai Kekerasan Setiap Spesimen dengan Variasi Durasi Proses Pencampuran



Gambar 7: Pengaruh Durasi Pencampuran Terhadap Kekerasan Produk Yang Dihasilkan

4. KESIMPULAN

Campuran limbah *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api cocok digunakan sebagai material *refractory* pembuatan *crucible*. Masing-masing bahan memiliki keunggulan yang mampu meningkatkan sifat fisik dan mekanik *crucible*. Variasi waktu *mixing* 30 menit, 60 menit dan 90 menit berpengaruh terhadap kekerasan material *crucible* yang dibuat dari campuran limbah *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api. Semakin homogen campuran bahan *crucible* maka semakin solid hasil struktur mikro *crucible*. Semakin lama waktu *mixing* maka kekerasan *crucible* semakin meningkat. Penelitian ini menunjukkan semakin lama durasi pencampuran maka nilai kekerasan semakin besar karena partikel-partikel penyusun sampel semakin rapat dan mampat sehingga lebih padat secara fisis. Hal tersebut sesuai dengan hasil uji kekerasan *Vickers* yang diperoleh pada penelitian ini bahwa kekerasan *crucible* yang paling baik adalah pada waktu pengadukan 90 menit dengan kekerasan sebesar 37,2 HV.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Universitas Negeri Semarang Fakultas Teknik Mesin, dosen penguji dan khususnya kepada dosen pembimbing penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] INDIARTI NURROHMAH. Pengaruh Thermal Shock dan Komposisi Grafit, Kaolin (Clay) terhadap Ketahanan Impact dan Struktur Mikro Kowi Berbahan Dasar Limbah Evaporation Boats. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang, 2019.
- [2] MIFTAHUL J. Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Densitas, Porositas, Dan Kekerasan Berbahan Evaporation Boats, Kaolin Dan Semen Castable Sebagai Material Crucible. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang, 2019
- [3] FAJRI, N., RUSIYANTO, R., WIDODO, R., SUMBODO, W., & FITRIYANA, D. “Pengaruh *Thermal Shock* dan Komposisi *Evaporation Boats*, Semen Tahan Api, dan Pasir Silika terhadap Kekuatan *Impact* dan Foto Makro *Lining Refractory*”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 12, No. 1, pp. 11-17. 2021
- [4] PERCY, JOHN. *Natural Refractory Materials Employed in the Construction of Crucibles, Retorts, Furnaces &c.* Metallurgy. London: W. Clowes and Sons, 1861. 208–09. Print.
- [5] RAHMAH, JANNATIKA. Pengaruh Variasi Lama Waktu Pengadukan pada Komposit Gelatin-Hidroksiapatit Bergentamisin sebagai Bahan Implan Tulang. *Skripsi*. Universitas Airlangga, 2013.
- [6] DAUD. “Kaolin sebagai bahan pengisi pada pembuatan kompon karet: Pengaruh ukuran dan jumlah terhadap sifat mekanik fisik”. *Jurnal Dinamika Industri*, vol.26. No.1. Palembang, 2015.
- [7] RAHMADIKA, B., & APRIYANTI, Y. “Pengaruh Pengurangan *Setting Time (Wait on Cement)* pada Semen Tahan Api dengan Penambahan *Oil Well Cement*”. *Jurnal Mineral*, Maret 2017, Vol. II (1), 41 – 47, 2017.
- [8] FLÁDR, J., DAN BILÝ, P. “Influence of mixing procedure on mechanical properties of high-performance concrete”. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 246(1), 2017.
- [9] SCHIESSL P., MAZANEC O., LOWKE K. “SCC and UHPC effect of mixing technology on fresh

- concrete properties”. *Advances in construction materials*. VI, 513–522, 2007.
- [10] HIREMATH, P. N., DAN YARAGAL, S. C. “Influence of mixing method, speed and duration on the fresh and hardened properties of Reactive Powder Concrete”. *Construction and Building Materials*, 141, 271–288, 2017.
- [11] SUNARDI. “Karakterisasi Kaolin Lokal Kalimantan Selatan Hasil Kalsinasi”. *Jurnal Fisika FLUX*, Vol. 8 No.1, 2011.
- [12] AMIN, M., DAN IRAWAN, B. “Pengaruh tekanan kompaksi terhadap karakterisasi keramik kaolin yang dibuat dengan proses *pressureless sintering*”, *TRAKSI*, Vol. 7, No. 2, pp. 40-54, 2008.
- [13] NAGA, S. M., EL SHAER, M., AWAAD, M., & SALEH, M. A. “Effect of Soaking Time on the Properties of SrAl₁₂O₁₉/ZTA Composites”. *Journal of Materials Engineering and Performance*. doi:10.1007/s11665-020-04836-4, 2020
- [14] PATTANAİK, A., MOHANTY, M., SATHPATHY, M.P., & MISHRA, S. “Effect of Mixing Time on Mechanical Properties of Epoxy-Fly Ash Composite”. *Journal of Materials & Metallurgical Engineering*, Vol. 5, No. 2, pp. 11 – 17. 2015.