

## BAB II. PENGARUH DURASI PENCAMPURAN TERHADAP *MECHANICAL PROPERTIES CRUCIBLE* PELEBURAN ALUMINIUM

Rusiyanto<sup>1</sup>, D.F. Fitriyana<sup>1</sup>, R.D. Widodo<sup>1</sup>, W. Widayat<sup>1</sup>, S.  
Triyanto<sup>1</sup>, M.S. Ilham<sup>1</sup>, Casminto<sup>1</sup>, dan I. Sanubari<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri

Semarang

me\_rusiyanto@mail.unnes.ac.id,

deniifa89@mail.unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ik.v1i1.61>

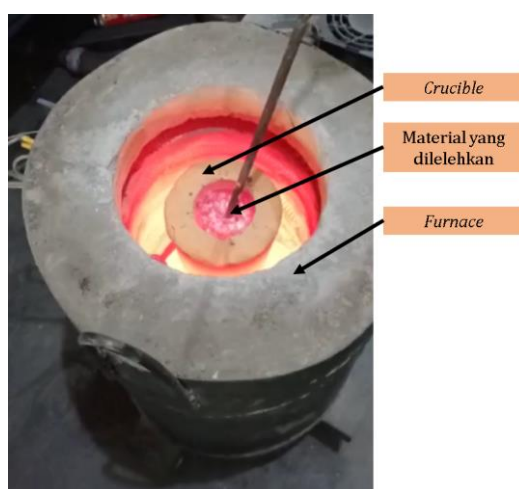
### Abstrak

Proses pencampuran perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya *agglomeration* sehingga dapat meningkatkan kualitas dari produk *crucible*. Pencampuran adalah proses mencampurkan satu atau lebih bahan dengan menambahkan satu bahan ke bahan lainnya sehingga membuat suatu bentuk yang seragam. Oleh sebab itu, diperlukan suatu kajian untuk mengetahui pengaruh durasi pencampuran terhadap sifat mekanik pada material *crucible* yang dihasilkan. Spesimen *crucible* dibuat dengan mencampurkan semen tahan api, limbah *evaporation boats*, dan kaolin dengan komposisi tertentu. Proses pencampuran bahan dilakukan selama 30, 60 dan 90 menit dengan penambahan air sebanyak 15% dari total berat material. Proses kompaksi dilakukan dengan tekanan sebesar 40 kg/cm<sup>2</sup>. Spesimen yang terbentuk didiamkan pada suhu 30°C selama 7 hari sebelum di sintering. Proses sintering dilakukan pada suhu 1000°C selama 2 jam menggunakan *furnace* untuk menghasilkan produk akhir. Proses karakterisasi pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan dan foto makro. Hasil penelitian ini menunjukkan spesimen dengan durasi *mixing* yang paling lama (90 menit) memiliki kekerasan yang paling tinggi dikarenakan campuran bahan yang dihasilkan lebih homogen dibandingkan spesimen yang lain.

Kata Kunci: Pencampuran, *Evaporation Boats*, *Crucible*

## PENDAHULUAN

Kowi atau *crucible* merupakan sebuah wadah yang digunakan untuk meleburkan atau mencairkan logam pada proses pengecoran atau dapat juga digunakan untuk memanaskan bahan dalam proses perlakuan panas (Hendronursito *et al.*, 2019). Dalam pengertian lain, Kowi atau *crucible* adalah wadah yang terbuat dari keramik atau logam yang digunakan untuk meleburkan atau memurnikan material logam dan paduannya pada suhu yang sangat tinggi (Przylucki *et al.*, 2018). Gambar 2.1 menunjukkan penggunaan material *crucible* yang digunakan dalam proses peleburan logam. Daya tahan (*durability*) atau masa pakai (*lifetime*) dari suatu material *crucible* tergantung pada kualitas agregat yang tidak hanya harus tahan terhadap suhu tinggi, tetapi juga harus bersifat *inert* atau tidak bereaksi secara kimia dengan material yang dileburkan. Kegagalan *crucible* pada disebabkan adanya kontak panas dari bahan yang dilelehkan sehingga menyebabkan penetrasi, korosi dan erosi pada material *crucible*. Faktor lain yang menyebabkan kegagalan pada materil *crucible* adalah adanya suhu dan pemanasan berlebih atau suhu yang berubah dengan sangat cepat selama operasi yang terjadi secara terus menerus (Hendronursito *et al.*, 2019).



### Gambar 2.1. Penggunaan *Crucible* untuk Peleburan Logam

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, idealnya sebuah material *crucible* harus memiliki kemampuan untuk mencegah menempelnya material yang dilebur pada dinding *crucible* (*melt wetting*) sehingga mudah saat dilakukan proses pelepasan material (*unmolding*), memiliki *thermal shock resistance* yang tinggi, dan tidak bereaksi dengan logam yang dilelehkan. Jika persyaratan ini tidak terpenuhi, akan mengakibatkan kerusakan *crucible* saat proses *unmold* material yang dilebur (Gambar 2.2), terjadi retak pada *crucible* selama proses *cooling* (Gambar 2.3), atau kerusakan pada material *crucible* karena bereaksi dengan material yang dileburkan (Gambar 2.4) (Ilias, 2018).



Gambar 2.2. *Fracture* pada *Crucible* karena *Melt Wetting* pada *Crucible* Berbahan (a) *Glassy Carbon* dan (b) *Zirconia* (Ilias, 2018)



Gambar 2.3. *Fracture* pada *Crucible* Selama Proses *Cooling* (*Thermal Shock Resistance* yang Rendah) (Ilias, 2018)



Gambar 2.4. *Fracture* pada *Crucible* karena Bereaksi dengan Logam yang Dileburkan (Ilias, 2018).

Kegagalan material *crucible* juga dapat disebabkan karena proses produksi. *High performance* pada material keramik seperti *crucible* dapat dihasilkan apabila proses produksi yang dilakukan dapat meminimalkan adanya pori dengan *uniform microstructures*. Secara umum, fabrikasi material keramik meliputi preparasi serbuk, membentuk *green compact*, dan proses sintering untuk menghasilkan produk akhir. Tahapan preparasi serbuk atau *powder preparation* yang meliputi *chemical precipitation*, *drying* dan *calcination*, adalah tahapan yang sangat krusial karena berhubungan dengan kualitas *crucible* atau keramik yang dihasilkan. Selama proses produksi *crucible*, *powder preparation* harus dapat memastikan tidak terbentuknya *agglomeration* (Ciftcioglu *et al.*, 1986).

Hal ini dilakukan karena *agglomeration* tidak akan hilang selama proses kompaksi, dan mengakibatkan *nonuniform pore size distribution* yang semakin banyak pada *green compact*. Hal inilah yang menyebabkan adanya porositas setelah dilakukan sintering dan menghasilkan final produk dengan densitas yang tidak seragam (Ciftcioglu *et al.*, 1986). Porositas adalah parameter yang sangat penting untuk menentukan kualitas dari sebuah *crucible*. Peningkatan porositas menghasilkan keterbasahan permukaan (*wetting*) dan infiltrasi lelehan yang lebih tinggi sehingga mengintensifkan proses erosi selama proses peleburan dan

menyebabkan *crack* yang prematur pada *crucible* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5 (Fashu *et al.*, 2020).



Gambar 2.5. Crack yang Terjadi pada Crucible (Hendawi *et al.*, 2020)

Kegagalan pada material *crucible* seperti yang sudah dijelaskan dapat dihindari dengan mekanisasi proses produksi terutama pada tahapan *powder preparation*. Hal ini perlu dilakukan untuk mencegah *agglomeration* sehingga dapat meningkatkan kualitas dari produk *crucible*. Tahapan *powder preparation* pada proses produksi *crucible* yang dilakukan secara manual berakibat pada waktu produksi yang tidak tentu dan terbentuk adanya *agglomeration* yang dapat menurunkan kualitas dari material *crucible* yang dihasilkan. Alternatif solusi untuk mekanisasi proses *powder preparation* saat produksi *crucible* adalah menggunakan mesin *mixer*. Mesin *mixer* yang digunakan pada penelitian ini bertipe *moveable* yang dilengkapi dengan *handle* untuk memutar dan menuangkan adonan agar memudahkan pemakai dalam proses produksi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh durasi penggunaan mesin *mixer* pada proses produksi material *crucible* terhadap kualitas produk akhir yang dihasilkan.

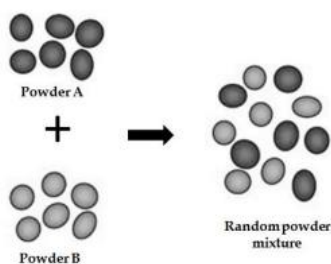
### **MIXING (PENCAMPURAN)**

*Mixing* adalah proses mencampurkan satu atau lebih bahan dengan menambahkan satu bahan ke bahan lainnya sehingga membuat suatu bentuk yang seragam dari beberapa bahan baik cair-padat, padat-padat, maupun cair-gas (Bhatt & Agrawal, 2007). Sedangkan *mixer* adalah alat mekanis yang digunakan untuk melakukan *mixing*. Tingkat homogenitas bahan baku yang

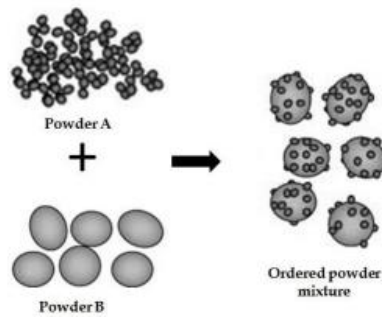
dihasilkan tergantung pada parameter *mixing* yang digunakan. *Nonhomogeneous* pada bahan yang dicampur dapat mengakibatkan kerusakan pada material *crucible* seperti *distortion*, *cracks*, dan *voids*.

Beberapa factor yang berpengaruh terhadap homogenitas pada proses *mixing* adalah kecepatan, durasi, geometri dari *blade*, suhu, karakteristik bahan yang dicampur, komposisi dan viskositas bahan (Arifin & Sulong, 2017).

Pada proses pembuatan *crucible*, proses *mixing* dilakukan pada bahan baku yang sudah diolah menjadi serbuk. *Powder mixing* diklasifikasikan sebagai *random mixing* dan *orderd mixing*. *Random mixing* adalah proses berulang kali membelah dan menggabungkan kembali lapisan setiap partikel hingga berada pada titik tertentu dalam campuran pada satu waktu. Sebaliknya, pada *orderd mixing* partikel halus cenderung untuk mengisi dan menempel pada permukaan partikel kasar selama proses *mixing*. Hal ini akan menghasilkan partikel halus yang menempel pada partikel yang lebih besar. *Orderd mixing* berurutan dapat menghasilkan lebih banyak sistem yang homogen dan stabil dibandingkan dengan *mixing* acak. Ilustrasi *random mixing* dan *orderd mixing* ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7 (Conway & Ghori, 2018).

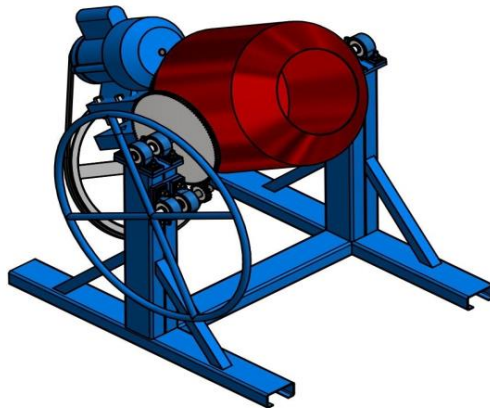


Gambar 2.6. Ilustrasi *Random Mixing*



Gambar 2.7. Ilustrasi *Orderd Mixing*

Peningkatan kecepatan dan suhu selama proses *mixing* mengakibatkan homogenitas pada campuran bahan yang semakin cepat. Hal ini menyebabkan proses *mixing* lebih efektif dan efisien (Arifin & Sulong, 2017). Sementara itu, semakin lama durasi *mixing* akan berakibat pada peningkatan *tensile*, *flexural* dan *impact strength* pada material komposit. Hal ini terjadi karena material *filler* tersebar secara merata pada matrik (Pattanaik *et al.*, 2015). Kecepatan dan durasi *mixing* yang semakin besar akan meningkatkan sifat *mechanical* dan *physical* pada material *laminated ceramic plates* (De Lima Santana *et al.*, 2003). Selain itu, peningkatan durasi *mixing* akan berakibat pada kualitas multi-component *granular mixtures* yang semakin baik. Sehingga kualitas produk yang dihasilkan juga semakin meningkat (Krolczyk, 2016).



Gambar 2.8. Mesin *Mixer*

Pada penelitian ini menggunakan mesin *mixer* yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya. Mesin *mixer* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukan pada Gambar 2.8 dengan spesifikasi sebagai berikut (Anam, 2020):

- Kapasitas tabung *mixer* sebesar 40 kg setiap pengadukan.
- Menggunakan motor listrik 1400 Rpm sebagai penggerak utamanya dan putaran poros utama sebesar 48 Rpm.
- Spesifikasi mesin yang ergonomis dengan dimensi yang nyaman bagi operator dan mudah disesuaikan dengan ruang kerja mesin
- Panjang, lebar dan tinggi *mixer* masing-masing sebesar 850 mm, 725 mm, dan 750 mm.

## PEMBUATAN DAN PENGUJIAN MATERIAL *CRUCIBLE*

### 1) Persiapan Bahan



Gambar 2.9. Limbah *Evaporation Boats*

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah limbah *evaporation boats*, kaolin, dan semen tahan api. Limbah *evaporation boats* yang diperoleh dari PT 3M (Gambar 2.9) dihaluskan menggunakan mesin *crusher* (Gambar 2.10). Proses pengayakan atau *meshing* dilakukan dengan mesh 80 (Gambar



2.11) untuk menghasilkan serbuk limbah *evaporation boats* (Gambar 2.12). Serbuk *evaporation boats* yang dihasilkan dilakukan uji XRD untuk mengetahui kandungan fasa kristal. Hasil uji XRD (Gambar 2.13) menunjukkan boron nitride (BN) dan titanium diboride ( $\text{TiB}_2$ ) adalah material penyusun pada limbah *evaporation boats*. Kombinasi dari BN dan  $\text{TiB}_2$  mengakibatkan limbah *evaporation boats* memiliki sifat *chemical*, *mechanical* dan *electrical* yang sesuai untuk aplikasi *crucible* (Fajri *et al.*, 2021).



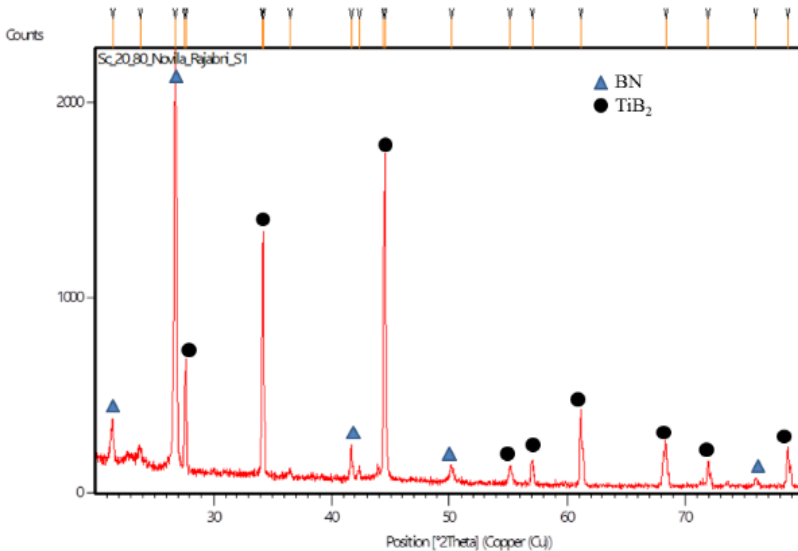
Gambar 2.10. Mesin *Crusher* untuk Limbah *Evaporation Boats*



Gambar 2.11. Mesh 80



Gambar 2.12. Serbuk Limbah *Evaporation Boats*



Gambar 2.13. Hasil Uji XRD pada Limbah *Evaporation Boats* (Fajri *et al.*, 2021)

Selain limbah *evaporation boats*, pada penelitian ini juga menggunakan material semen tahan api, dan kaolin, sebagai campuran untuk membuat spesimen *crucible*. Semen tahan api yang digunakan adalah SK-34 yang banyak digunakan pada aplikasi perekat batu tahan api, *furnace*, tungku peleburan, *incenerator*, cerobong, *ducting*, dan *rotary kilns*. Sedangkan lempung kaolin asli

Belitung diperoleh dari toko kimia Indrasari, Kota Semarang, Jawa Tengah.

## 2) Pencampuran bahan-bahan

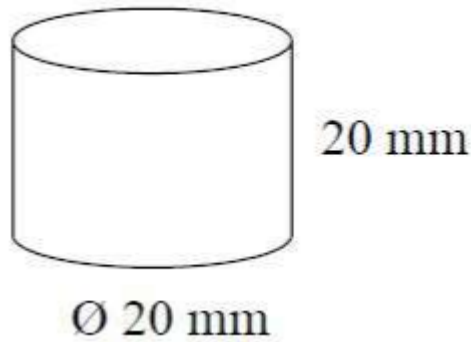
Pada penelitian menggunakan campuran limbah *evaporation boats*, kaolin, dan semen tahan api dengan berat total 4 kg. Komposisi limbah *evaporation boats*, kaolin, dan semen tahan api masing-masing 70%, 15%, dan 15%. Proses *mixing* dilakukan dengan variasi 30 menit, 60 menit dan 90 menit menggunakan mesin *mixer* yang ditunjukkan pada Gambar 2.14. Selama proses *mixing*, dilakukan penambahan air sebanyak 15% dari total berat material dan diaduk sampai material kalis atau tidak lengket.



Gambar 2.14. Mesin *Mixer*

## 3) Pembuatan spesimen *crucible*

Bahan – bahan yang telah dicampur, dimasukan dalam cetakan dan dilakukan proses kompaksi menggunakan dengan gaya sebesar  $40 \text{ kg/cm}^2$ . Proses kompaksi pada penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan spesimen berbentuk silinder dengan dimensi yang ditunjukan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Dimensi Spesimen *Crucible*

Spesimen yang telah dilakukan kompaksi didiamkan pada suhu ruang selama satu minggu sebelum di sintering seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Spesimen *Crucible* setelah Proses Kompaksi

#### 4) Proses sintering

Proses sintering dilakukan pada spesimen *crucible* yang telah didiamkan pada suhu ruang selama satu minggu. Sintering adalah suatu proses pemadatan dari sekumpulan serbuk pada suhu tinggi mendekati titik leburnya hingga terjadi perubahan struktur mikro, pengurangan jumlah dan ukuran pori, pertumbuhan butir, dan peningkatan densitas. Pada penelitian ini proses sintering dilakukan pada suhu 1000°C selama 2 jam didalam *furnace* atau tungku pemanas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Foto produk *crucible* dengan beda durasi pencampuran setelah proses sintering

#### 5) Proses karakterisasi

Penelitian ini menggunakan metode kekerasan Vickers dengan alat Microhardness FM-800.

Proses pengujian kekerasan dilakukan dengan pembebanan sebesar 10 gf selama 10 detik. Pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 2.18 (a). Pengujian struktur makro menggunakan mikroskop yang ada di laboratorium jurusan teknik mesin yang dapat di perbesar 100-1000x. Pengujian struktur makro ditunjukkan pada Gambar 2.18 (b).



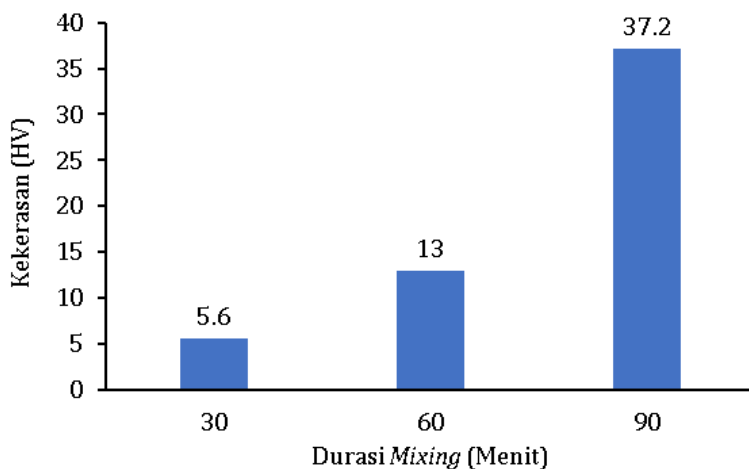
(a)



(b)

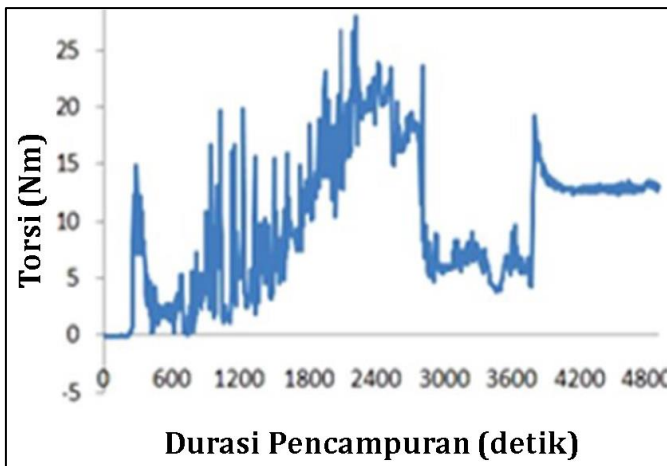
Gambar 2.18. Proses Pengujian (a) Kekerasan dan (b) Struktur Makro

### Peningkatan Kualitas *Crucible* Dengan Proses Pencampuran



Gambar 2.19. Pengaruh Durasi *Mixing* terhadap Kekerasan Spesimen *Crucible*

Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kekerasan pada material *crucible* yang dihasilkan semakin meningkat dengan peningkatan durasi *mixing*. Gambar 2.19 menunjukkan pengaruh durasi *mixing* terhadap kekerasan pada spesimen *crucible* yang dihasilkan pada penelitian ini. Spesimen *crucible* dengan durasi *mixing* yang paling cepat 30 menit menghasilkan nilai kekerasan yang paling kecil yaitu sebesar 5,6 HV. Nilai kekerasan yang paling besar ditemukan pada spesimen *crucible* yang dihasilkan dengan durasi *mixing* yang paling lama selama 90 menit yaitu sebesar 37,2 HV. Peningkatan durasi *mixing* akan meningkatkan kekerasan spesimen *crucible* yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena peningkatan durasi *mixing* mengakibatkan material atau bahan untuk pembuatan spesimen *crucible* tercampur secara homogen.



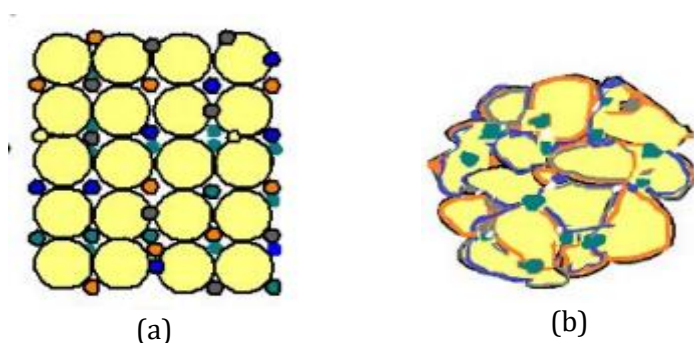
Gambar 2.20. Pengaruh Durasi *Mixing* terhadap Torsi (Arifin & Sulong, 2017)

Fenomena ini ditunjukkan pada Gambar 2.20 menunjukkan torsi yang terjadi selama proses *mixing* pada setiap durasi tertentu. Pada umumnya, proses *mixing* dapat dibagi menjadi tiga tahap. Pada tahap pertama material dimasukkan kedalam *mixing chamber* sehingga nilai torsi yang dihasilkan masih 0. Pada tahap kedua, terjadi fluktuasi nilai torsi yang sangat besar ketika bahan baku (serbuk) ditambahkan air atau perekat. Jumlah dan besarnya *peak* yang menunjukkan nilai torsi selama proses *mixing* tergantung pada *loading process* bahan baku. Tahap ketiga atau *final stage*, bahan baku yang dilakukan *mixing* mencapai tingkat homogenitas yang ditunjukkan dengan nilai torsi yang konstan pada setiap durasi *mixing*. *Initial peaks* pada Gambar 2.20 disebabkan karena proses pengisian material yang di *mixing* pada *mixer chamber*. *Last peak* digunakan sebagai indikator bahan baku yang di *mixing* sudah homogen. Semakin lama durasi *mixing*, bahan atau material semakin homogen (Arifin & Sulong, 2017).

Semakin homogen material yang tercampur selama proses *mixing*, maka kekerasan material yang dihasilkan semakin besar (Kargul *et al.*, 2018; Triyanto *et al.*, 2021). Ketika campuran serbuk memiliki distribusi ukuran partikel yang seragam dengan tingkat homogenitas yang tinggi digunakan sebagai bahan baku pada



pembuatan komposit atau keramik, akan menghasilkan *mechanical strength* yang tinggi dan struktur mikro yang terdistribusi secara homogen (Oh *et al.*, 1998). Semakin lama durasi *mixing*, *particle size* pada bahan baku akan menurun sampai pada poin *lattice defect*. Peningkatan durasi *mixing* mengakibatkan jumlah porositas menurun. Proses *mixing* yang singkat pada bahan baku akan menghasilkan campuran dengan ukuran partikel yang lebih besar. Ketika durasi *mixing* diperpanjang, dihasilkan campuran yang homogen dengan banyak pori yang telah tertutup oleh bahan dengan ukuran partikel yang lebih kecil (Gambar 2.21a). Oleh sebab itu, *sintering* yang dilakukan akan lebih efisien dan menghasilkan porositas yang semakin sedikit (Gambar 2.21b) (Aripin *et al.*, 2014).

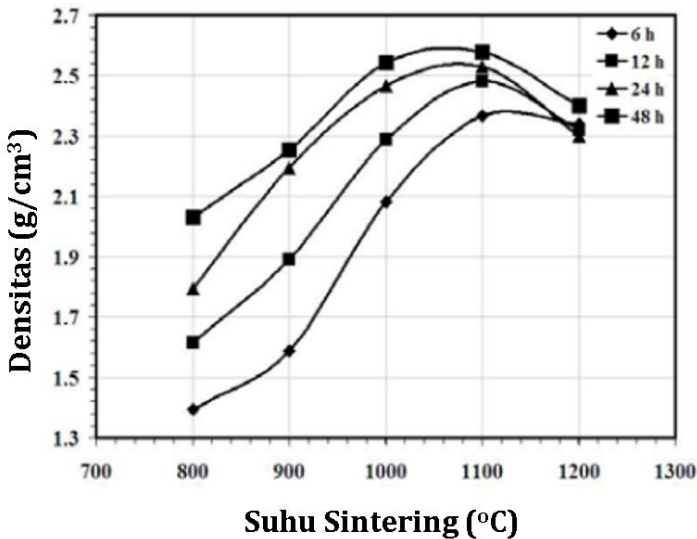


Gambar 2.21. Ilustrasi pada Proses (a) *Mixing* dan Kompaksi (b) Sintering (Singh *et al.*, 2019)

Semakin homogen campuran material yang dihasilkan dari proses *mixing*, maka semakin sedikit jumlah porositas *green body* yang dihasilkan. Dengan proses *sintering*, jumlah porositas semakin menurun. Semakin sedikit porositas, maka *bulk density* yang dihasilkan pada produk akhir atau spesimen *crucible* semakin meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.22 (Aripin *et al.*, 2014). Gambar 2.22 menunjukkan pengaruh suhu *sintering* yang dilakukan pada setiap durasi *milling (mixing)* terhadap nilai *bulk density*. Pada semua variasi durasi *mixing*, nilai *bulk density* akan meningkat dengan peningkatan suhu sintering hingga mencapai



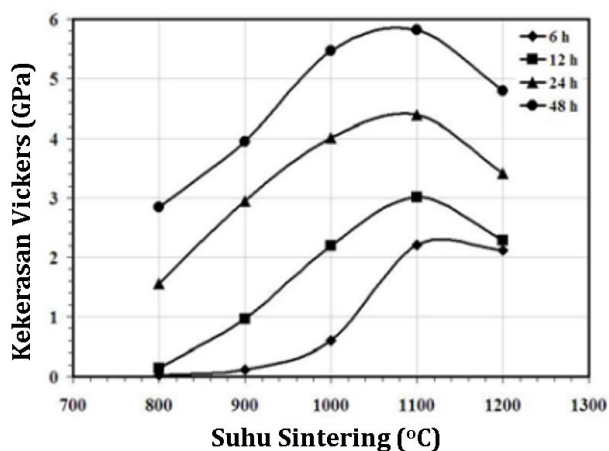
suhu 1100°C. Penurunan *bulk density* pada suhu sintering yang lebih dari 1100°C disebabkan adanya *pore volume expansion*, yang terjadi karena peningkatan tekanan gas yang terjebak di dalam *closed pores*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan, semakin lama durasi *mixing* maka *bulk density* yang dihasilkan akan semakin tinggi pada semua variasi suhu sintering. Hal ini terjadi karena durasi *mixing* yang semakin lama menyebabkan tingkat homogenitas campuran yang semakin baik, sehingga jumlah pori yang dihasilkan semakin menurun dan nilai *bulk density* semakin tinggi (Aripin *et al.*, 2014).



Gambar 2.22. Pengaruh Suhu Sintering terhadap *Bulk Density* yang Dihasilkan pada Setiap Variasi Durasi *Mixing* (Aripin *et al.*, 2014)

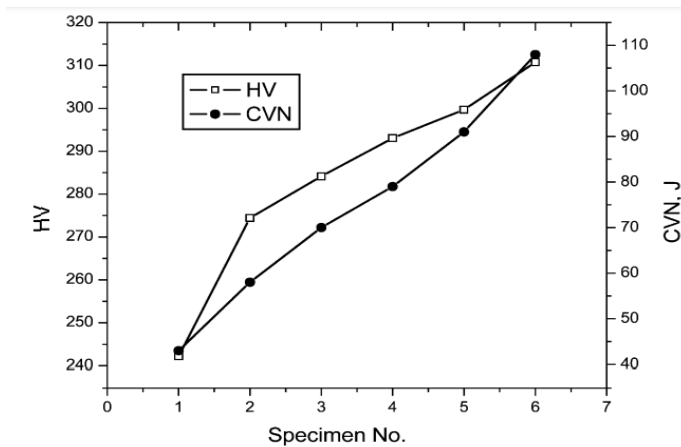
Gambar 2.22 menunjukkan *bulk density* yang paling tinggi, ditemukan pada spesimen dengan durasi *mixing* yang paling lama dengan suhu sintering sebesar 1100°C. Semakin besar *bulk density* yang dihasilkan, maka kekerasan yang dihasilkan pada material juga semakin besar (Aripin *et al.*, 2014; D. F. Fitriyana *et al.*, 2020; Deni Fajar Fitriyana *et al.*, 2021; Gunduz *et al.*, 2009). Gambar 2.23 menunjukkan spesimen yang memiliki nilai kekerasan tertinggi

dihasilkan dengan durasi *mixing* paling lama dan dilakukan sintering pada suhu 1100°C [18].

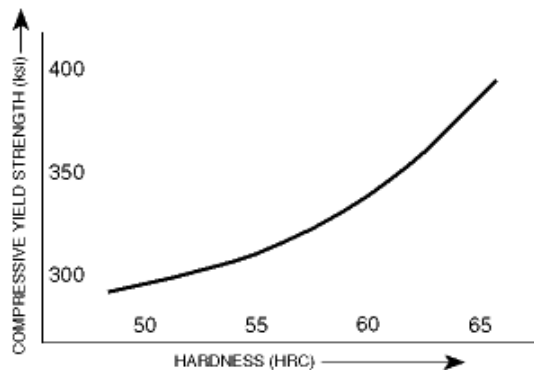


Gambar 2.23. Pengaruh Suhu Sintering terhadap Kekerasan yang Dihasilkan pada Setiap Variasi Durasi *Mixing* (Aripin *et al.*, 2014)

Sesuai dengan penjelasan sebelumnya, nilai kekerasan spesimen *crucible* berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api yang dihasilkan pada penelitian ini akan semakin meningkat dengan durasi *mixing* yang semakin lama. Semakin lama durasi *mixing* 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 spesimen *crucible* semakin besar, sehingga kekerasan yang dihasilkan pada spesimen juga semakin besar (Mania *et al.*, 2020). Pada penelitian ini, spesimen dengan durasi *mixing* selama 90 menit memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi dibandingkan pada spesimen yang lain.



Gambar 2.24. Hubungan *Impact Energy* dan Kekerasan (Wang *et al.*, 2004)

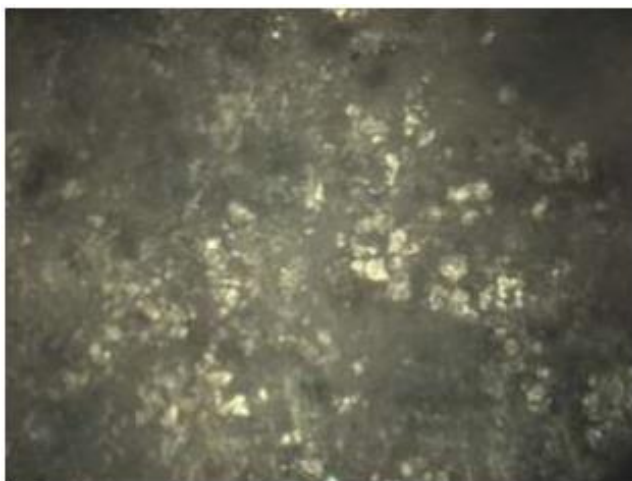


Gambar 2.25. Hubungan *Compressive Strength* dan Kekerasan (Crucible.com, 2021)

Kekerasan adalah kemampuan untuk menahan indentasi / penetrasi/abrasi atau dengan definisi lain adalah ketahanan logam terhadap deformasi plastis. Semakin tinggi nilai kekerasan pada suatu material maka nilai kekuatan *impact* material tersebut juga semakin besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.24. Kekuatan *impact* dinyatakan sebagai kemampuan material untuk menerima beban kejut/tiba- tiba (Wang *et al.*, 2004). Selain itu, nilai kekerasan pada material juga akan berpengaruh terhadap kekuatan *compressive* pada suatu material.

Semakin besar nilai kekerasan pada material mengakibatkan kekuatan *compressive* pada suatu material meningkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.25 (Crucible.com, 2021). *Compressive strength* suatu material adalah kemampuan material itu untuk mempertahankan keutuhannya di bawah tekanan atau kemampuan material untuk menahan tekanan langsung dari gaya tekan yang diterapkan (Marković *et al.*, 2016).

Selain pengujian kekerasan, untuk mengetahui pengaruh durasi *mixing* terhadap kualitas material *crucible* yang dihasilkan dari campuran bahan kaolin, semen tahan api dan *evaporation boats* juga dilakukan pengujian foto makro. Hasil pengujian foto makro pada spesimen *crucible* terhadap durasi *mixing* ditunjukkan pada Gambar 2.26, 2.27, 2.28. Foto struktur makro yang didapatkan pada setiap spesimen *crucible* yang dihasilkan memiliki perbedaan morfologi yang sangat dipengaruhi oleh durasi *mixing*.



Gambar 2.26. Foto Makro pada Permukaan Spesimen dengan Durasi *Mixing* 30 Menit

Foto makro pada permukaan spesimen dengan durasi *mixing* selama 30 menit yang ditunjukkan pada Gambar 2.26 dengan didominasi warna gelap yang menunjukkan material limbah *evaporation boats*. Namun pada spesimen ini material kaolin dan

semen tahan api masih belum tercampur secara homogen. Hal ini dapat dilihat dengan adanya struktur yang berwarna terang dan putih dalam jumlah yang cukup banyak.

Struktur yang berwarna terang dan putih merepresentasikan material kaolin dan semen tahan api yang digunakan masih belum tercampur secara homogen dengan material limbah *evaporation boats*.



Gambar 2.27. Foto Makro pada Permukaan Spesimen dengan Durasi *Mixing* 60 Menit

Foto makro pada permukaan spesimen dengan durasi *mixing* selama 60 menit ditunjukkan pada Gambar 2.27. Foto makro pada spesimen tersebut didominasi warna gelap yang menunjukkan material limbah *evaporation boats*. Pada spesimen ini material kaolin dan semen tahan api masih belum tercampur secara homogen. Namun, jika dibandingkan dengan spesimen yang dihasilkan dengan durasi *mixing* selama 30 menit, spesimen yang dihasilkan dengan durasi *mixing* selama 60 menit memiliki tingkat homogenitas yang lebih baik. Hal ini dapat dilihat dengan jumlah struktur yang berwarna terang dan putih yang lebih sedikit

dibandingkan dengan spesimen yang dihasilkan dengan durasi *mixing* selama 30 menit.



Gambar 2.28. Foto Makro pada Permukaan Spesimen dengan Durasi *Mixing* 90 Menit

Foto makro pada permukaan spesimen dengan durasi *mixing* selama 90 menit yang ditunjukkan pada Gambar 2.28. Foto makro pada spesimen tersebut didominasi warna gelap yang menunjukkan material limbah *evaporation boats*. Jika dibandingkan dengan spesimen yang dihasilkan dengan durasi *mixing* selama 30 menit dan 60 menit, spesimen yang dihasilkan dengan durasi *mixing* selama 90 menit memiliki tingkat homogenitas yang lebih baik. Hal ini dapat dilihat dengan jumlah struktur yang berwarna terang dan putih yang lebih sedikit dibandingkan dengan spesimen yang dihasilkan dengan durasi *mixing* selama 30 menit dan 60 menit. Selain itu, pada spesimen dengan durasi *mixing* selama 90 menit menunjukkan warna terang (kaolin) dan putih (semen tahan api) tersebar secara merata dan tidak terjadi penggumpalan (*agglomerates*). Hasil penelitian ini menunjukkan, semakin lama durasi *mixing*, bahan atau material semakin homogen. Semakin homogen material yang tercampur selama proses *mixing*, maka kekerasan material pada spesimen *crucible* yang dihasilkan juga semakin besar.

## SIMPULAN

Limbah *evaporation boats* memiliki potensi yang besar untuk diaplikasikan sebagai material *crucible*. Kandungan BN dan  $\text{TiB}_2$  pada limbah *evaporation boats* mampu meningkatkan kekuatan *impact* pada material *crucible*.

Spesimen *crucible* yang terbuat dari campuran kaolin, serbuk limbah *evaporation boats* dan semen tahan api dengan komposisi masing-masing sebesar 15%, 70% dan 15% menghasilkan nilai kekerasan yang paling besar pada material yang dilakukan *mixing* selama 90 menit. Semakin lama durasi *mixing*, bahan atau material yang dicampur semakin homogen. Semakin homogen material yang tercampur selama proses *mixing*, maka kekerasan material pada spesimen *crucible* yang dihasilkan juga semakin besar. Hasil foto makro pada semua spesimen menunjukkan adanya campuran kaolin, serbuk limbah *evaporation boats* dan semen tahan api. Pada spesimen dengan durasi *mixing* selama 90 menit menunjukkan warna terang (kaolin) dan putih (semen tahan api) tersebar secara merata dan tidak terjadi penggumpalan (*agglomerates*).

## Daftar Pustaka

- Anam, M.K., 2020. *Rancang Bangun Mesin Mixer Untuk Pengaduk Bahan Crucible Berbahan Limbah Evaporation Boats*. Universitas Negeri Semarang.
- Arifin, A., & Sulong, A.B., 2017. Effect of Mixing Parameters on the Mixing Time and Density of Composite HA/Ti6Al4V Feedstock for Powder Injection Molding. *MATEC Web of Conferences*, 101.
- Aripin, H., Mitsudo, S., Rahmat, B., Tani, S., Sako, K., Fujii, Y., Kikuchi, K., Saito, T., Idehara, T., & Sabchevski, S., 2014. Formation of Porous Clay Ceramic Using Sago Waste Ash as a Prospective Additive Material with Controllable Milling. *Science of Sintering*, 46(1), pp.55–64.
- Bhatt, B., & Agrawal, S.S., 2007. Mixing. *Pharmaceutical Engineering*, pp.1–24.
- Ciftcioglu, M., Akinc, M., & Burkhart, L., 1986. Measurement of Agglomerate Strength Distributions in Agglomerated Powders. *American Ceramic Society Bulletin*, 65(12), pp.1591–1596.

- Conway, B.R., & Ghorl, M.U., 2018. Triboelectrification of Pharmaceutical Powders: A Critical Review. *British Journal of Pharmacy*, 3(1).
- Crucible.com., 2021. *Crucible Tool Steel and Specialty Alloy General Information*. part1.html
- De-Lima-Santana, L.N., Nadal, J.J., Da-Rosa, F.G., Fredel, M.C., & Alarcon, O.E., 2003. Influence of the Mixing Speed and Time of the Mechanical and Physical Properties of Laminated Ceramic Plates. *Materials Science Forum*, 416–418(1), pp.543–548.
- Fajri, N.R., Rusiyanto, R., Widodo, R.D., Sumbodo, W., & Fitriyana, D. F., 2021. Pengaruh Thermal Shock dan Komposisi Evaporation Boats, Semen Tahan Api, dan Pasir Silika terhadap Kekuatan Impact dan Foto Makro Lining Refractory. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(1), pp.11.
- Fashu, S., Lototsky, M., Davids, M. W., Pickering, L., Linkov, V., Tai, S., Renheng, T., Fangming, X., Fursikov, P.V., & Tarasov, B.P., 2020. A Review on Crucibles for Induction Melting of Titanium Alloys. *Materials & Design*, 186, pp.108295.
- Fitriyana, D.F., Caesarendra, W., Nugroho, S., Haryadi, G.D., Herawan, M.A., Rizal, M., & Ismail, R., 2020. The Effect of Compressed Air Pressure and Stand-off Distance on the Twin Wire Arc Spray (TWAS) Coating for Pump Impeller from AISI 304 Stainless Steel. *Springer Proceedings in Physics*, 242, pp.119–130.
- Fitriyana, D.F., Nugroho, S., & Barutama, M.R., 2021. Pengaruh Tekanan Udara Pada Proses Pelapisan 95MXC Dengan Metode Twin Wire Arc Spray Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus Pada Stainless Steel 304. *Rotasi*, 23(1), pp.59–63.
- Gunduz, G., Korkut, S., Aydemir, D., & Bekar, İ., 2009. The Density, Compression Strength and Surface Hardness of Heat Treated Hornbeam (*Carpinus betulus*) Wood. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 11(1), pp.61–70.
- Hendawi, R., Ciftja, A., Stokkan, G., Arnberg, L., & Di Sabatino, M., 2020. The Effect of Preliminary Heat Treatment on the Durability of Reaction Bonded Silicon Nitride Crucibles for Solar Cells Applications. *Journal of Crystal Growth*, 542, pp.125670.
- Hendronursito, Y., Isnugroho, K., & Birawidha, D.C., 2019. Analysis of Crucible Performance for Aluminum Scrap Casting at Small and Medium Enterprises (SMEs) Foundry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 478(1).



- Ilias, P., 2018. *Thermoelectric On-Board Power Generation from Exhaust Heat* (Issue August).
- Kargul, M., Borowiecka-Jamrozek, J., & Konieczny, M., 2018. The Effect of Reinforcement Particle Size on the Properties of Cu-Al 2 O 3 composites. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 461(1), pp.0–6.
- Krolczyk, J.B., 2016. The Effect Of Mixing Time On The Homogeneity Of Multi-Component Granular Systems. *Transactions Of Famena*, 1(2016), pp.45–56.
- Mania, P., Wróblewski, M., Wójciak, A., Roszyk, E., & Moliński, W., 2020. Hardness of Densified Wood in Relation to Changed Chemical Composition. *Forests*, 11(5), pp.1–12.
- Marković, D., Četenović, B., Vuković, A., Jokanović, V., & Marković, T., 2016. Chapter 11 - Nanosynthesized Calcium-Silicate-Based Biomaterials in Endodontic Treatment of Young Permanent Teeth. In A. M. B. T.-N. in D. Grumezescu (Ed.), *Nanobiomaterials in Dentistry*, William Andrew Publishing, pp. 269–307.
- Oh, S.T., Sekino, T., & Niihara, K., 1998. Effect of Particle Size Distribution and Mixing Homogeneity on Microstructure and Strength of Alumina/Copper Composites. *Nanostructured Materials*, 10(2–8), pp.327–332.
- Pattanaik, A., Mohanty, M.K., & Sathpathy, M.P., 2015. Effect of Mixing Time on Mechanical Properties of Epoxy-Fly Ash Composite. *Journal of Materials & Metallurgical Engineering*, 5(2), pp.11–17.
- Przylucki, R., Golak, S., Bulinski, P., Smolka, J., Palacz, M., Siwiec, G., Lipart, J., & Blacha, L., 2018. Analysis of the Impact of Modification of Cold Crucible Design on the Efficiency of the Cold Crucible Induction Furnace. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 355(1).
- Singh, P., Chauhan, N.R.R., & Rajesha, S., 2019. Influence of Cobalt, Iron And Copper on Microstructure and Mechanical Properties of Alumina/SiC Nano-ceramic Composite. *Materials Research Express*, pp.0–12.
- Triyanto, S., Rusiyanto., Widodo, R.D., Anis, S., & Fitriyana, D.F., 2021. Pengaruh Waktu Pencampuran Terhadap Kekerasan Vickers Material Crucible Berbahan Limbah Evaporation Boats, Kaolin Dan Semen Tahan Api. *Rekayasa Mesin, July*, pp.325–330.
- Wang, J.P., Yang, Z.G., Bai, B.Z., & Fang, H.S., 2004. Grain Refinement

and Microstructural Evolution of Grain Boundary Allotriomorphic Ferrite/Granula Bainite Steel after Prior Austenite Deformation. *Materials Science and Engineering A*, 369(1-2), pp.112-118.