PENGARUH WAKTU PENCAMPURAN TERHADAP KEKERASAN *VICKERS* DAN STRUKTUR *MICRO* MATERIAL *CRUCIBLE* BERBAHAN *EVAPORATION BOATS*, KAOLIN, DAN SEMEN TAHAN

Skripsi

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Oleh

Sandy Triyanto

NIM.5201416053

PENDIDIKAN TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	: Sandy Triyanto
NIM	: 5201416053
Program Studi	: Pendidikan Teknik Mesin S1
Judul	: Pengaruh Waktu Pencampuran Terhadap Kekerasan *Vickers* Dan Struktur *Micro* Material *Crucible* Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin, dan Semen Tahan Api

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 6 Oktober 2020

Dosen Pembimbing

Rusiyanto, S.Pd., M.T

NIP. 197403211999031002

i

LEMBAR PENGESAHAN

SkripsiTA dengan judul "Pengaruh Waktu Pencampuran terhadap Kekerasan Vickers dan Struktur Micro Material Crtñe Berbahan Evaporation Boats, Kaolin, dan Semen Tahan Apr telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian SkripsiTA Fakultas Teknñc UNNES pada tanggal 6 Oktober 2020.

Oleh

Nama : Sandy Triyanto
NIM : 5201416053
Program Studi : Pcndidikan Teknik Mesin

Panitia:

Ketua

Rusiyanto, S.Pd., M.T

NIP. 197403211999031002

Sekretaris

Dr. Ir. Basyirun, S.T.,WLT

NIP. 197403211999031002

Penguji I

Dr. Ir. Rahmat Doni W., M.T.

NIP. 197509272006041002

Penguji 2

Samsudin Anis, M.T., P.hD.

NIP. 197601012003121002

Penguji 3/Pembimbing

Rusiyanto, s.Pd., M.T

NIP. 197403211999031002

Mengetahui:
Dekan Fakultas Teknik UNNES

Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

ABSTRAK

Sandy Triyanto, 2020. Pengaruh Waktu Pencampuran terhadap Kekerasan Vickers dan Struktur Micro Material Crucible Berbahan Evaporation Boats, Kaolin, dan Semen Tahan Api.

Pembimbing Rusiyanto, S.Pd., M.T.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pencampuran 30 menit, 60 menit dan 90 menit terhadap spesimen *crucible* serta mengetahui kekerasan dan struktur *micro* spesimen *crucible* yang telah di *mixer*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan menggunakan variasi waktu pencampuran yaitu waktu 30 menit, 60 menit dan 90 menit dan melihat pengaruhnya terhadap sifat fisik dan mekanik dari spesimen *crucible* dengan campuran *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api. Teknik pengumpulan data pada penelitian ini melalui data primer yang dilakukan di laboratorium meliputi kegiatan pembuatan spesimen, proses sintering dan pengujian spesimen yang meliputi kekerasan *vikers* dan struktur *micro*. Data yang diperoleh dimasukkan ke dalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik yang kemudian dideskripsikan menjadi kalimat yang mudah dibaca, dipahami sehingga dapat ditarik kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi waktu pencampuran 30 menit, 60 menit dan 90 menit berpengaruh terhadap perbedaan struktur *micro crucible* dengan bahan limbah *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api. Semakin homogen campuran bahan *crucible* maka semakin solid hasil struktur *micro crucible*. Selain itu, variasi waktu pencampuran memberikan pengaruh terhadap kekerasan *crucible*. Semakin lama waktu pencampuran maka kekerasan *crucible* semakin baik ditunjukkan pada grafik dengan kenaikan antara 7,4 HV – 24,2 HV.

Kata kunci: variasi waktu pencampuran, *crucible*, *evaporation boats*, *vickers*, struktur *micro*.

PRAKATA

Puja dan puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala karunia rahmat, taufiq serta hidayah-Nya, sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW dan keluarga serta seluruh sahabatnya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul "Pengaruh Pengadukan terhadap Kualitas Spesimen *Crucible* Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin, dan Semen Tahan Api dalam Pembuatan *Crucible*".

Skripsi ini disusun dalam rangka menyelesaikan Studi Strata 1 yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Oleh karena itu, penulis hendak menyampaikan terimakasih yang tulus dan ikhlas atas ban

tuan dan dukungan dari berbagai pihak di antaranya :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum. selaku Rektor Universitas Negeri Semarang
2. Dr. Nur Qudus, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang dan dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan serta motivasi dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak, Ibu serta Keluarga yang telah memberikan dukungan berupa doa serta dukungan moril dan materil.
5. Seluruh rekan mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin 2016.

6. Annisa Rizka yang telah membantu penulis secara langsung maupun tidak langsung dalam melakukan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama kuliah dan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semarang, 6 Oktober 2020

Sandy Triyanto

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI ..... **i**

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Identifikasi Masalah 4

1.3 Pembatasan Masalah 5

1.4 Rumusan Masalah 5

1.5 Tujuan Penelitian 6

1.6 Manfaat Penelitian 6

BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka 8

2.2 Landasan Teori 11

2.2.1 *Mixer* 11

2.2.2 *Crucible* 16

2.2.3 *Evaporation Boats* 18

2.2.4 Semen Tahan Api 23

2.2.5 Kaolin 24

2.2.6 Pengujian Kekerasan Vikers 27

2.2.7 Pengujian Struktur Mikro 31

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan 33

3.2 Desain Penelitian 33

3.2.1 Diagram Alir Penelitian 34

3.2.2 Prosedur Penelitian 35

3.3 Alat dan Bahan Penelitian 39

3.3.1 Alat Penelitian 39

3.3.2 Bahan Penelitian 46

3.4 Parameter Penelitian 47

3.4.1 Variabel Bebas atau Variabel Indepedent 47

3.4.2 Variabel Terikat 47

3.4.3 Variabel Kontrol 48
3.5 Teknik Pengumpulan Data 48
3.6 Kalibrasi Instrumen 48
3.6.1 Kalibrasi Timbangan Digital 48
3.6.2 Kalibrasi Sigmat 49
3.6.3 Kalibrasi Tungku 49
3.7 Teknik Analisis Data 50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
4.1 Hasil 51
4.1.1 Deskripsi Data 51
4.1.2 Pengujian Kekerasan Vickers 51
4.1.3 Pengujian Struktur Micro 53
4.2 Pembahasan 57
4.2.1 Pengaruh Variasi Waktu Pencampuran Terhadap Kekerasan Vickers 57
4.2.2 Pengaruh Variasi Waktu Pencampuran Terhadap Struktur Micro ..59
BAB V PENUTUP
5.1 Kesimpulan 60
5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA 62
LAMPIRAN 65

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 *Mixer* Pengaduk *Crucible* 13
Gambar 2.2 Mesin *Planetary Mixer* 14
Gambar 2.3 Mesin *Ribbon Blender* 15
Gambar 2.4 Mesin *Double Cone Blender* 15
Gambar 2.5 Mesin *Vertical Double Rotary Mixer* 16
Gambar 2.6 *Crucible* 17
Gambar 2.7 *Evaporation Boats* 19
Gambar 2.8 *Evaporation Boats Laser Met* 20
Gambar 2.9 *Evaporation Boats DiMet* 21
Gambar 2.10 *Evaporation Boats TriMet* 22
Gambar 2.11 Limbah *Evaporation Boats* 22
Gambar 2.12 Tipe Semen Tahan Api 24
Gambar 2.13 Kaolin 27
Gambar 2.14 Struktur Kaolin 27
Gambar 2.15 Jejak yang Dihasilkan oleh Penekanan Indentor pada Benda Uji .. 28
Gambar 2.16 Skema Luas Permukaan 28
Gambar 2.17 Indentor Intan Berbentuk Piramid 29
Gambar 2.18 Mesin Pengujian Kekerasan *Vickers* 30
Gambar 2.19 Contoh Bentuk Jejak 30
Gambar 2.20 Perubahan Struktur Mikro Setelah Proses *Sintering* 32
Gambar 3.1 Spesimen Uji 37
Gambar 3.2 Cetakan Spesimen 39
Gambar 3.3 Mesin *Crusher* 40
Gambar 3.4 Alat Pengayakan 41
Gambar 3.5 Jangka Sorong 42
Gambar 3.6 Timbangan Digital 42
Gambar 3.7 Plastik Klip 43
Gambar 3.8 *Furnace* 43
Gambar 3.9 Alat Uji Kekerasan *Vickers* 44

Gambar 3.10 *Mixer* Pengaduk *Crucible* 45
Gambar 3.11 Mikroskop 45
Gambar 3.12 Mesin Kompaksi 46
Gambar 4.1 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen *Crucible* 52
Gambar 4.2 Struktur *micro* spesimen pencampuran 30 menit 54
Gambar 4.3 Struktur *micro* spesimen pencampuran 60 menit 55
Gambar 4.4 Struktur *micro* spesimen pencampuran 90 menit 56

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Kaolin 25
Tabel 4.1 Hasil Uji Kekerasan Spesimen 52

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Surat Penetapan Dosen Pembimbing 65
Surat Tugas Dosen Pembimbing Dan Penguji 66
Surat Izin Penelitian 67
Dokumentasi Penelitian 68
1. Pengayakan *Evaporation Boats* 68
2. Hasil Penimbangan Komposisi *Evaporation Boats* 68
3. Hasil Penimbangan Komposisi Semen Tahan Api 69
4. Hasil Penimbangan Komposisi Kaolin 69
5. Proses Pencampuran Bahan *Crucible* 69
6. Proses Kompaksi Bahan *Crucible* 70
7. Spesimen *Crucible* 70
8. Spesimen *Crucible* Setelah *Sintering* 70
9. Proses Menghaluskan Spesimen *Crucible* 71
10. Proses Pengujian Struktur *Micro* 71
11. Proses Pengujian Kekerasan *Vickers* 71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri di Indonesia mengakibatkan banyaknya limbah. Limbah merupakan permasalahan utama yang ada di industri maupun masyarakat. Limbah yang bersumber dari bahan logam memang sulit untuk dimanfaatkan kembali. Limbah aluminium yaitu kaleng bekas atau perabot rumah tangga yang sudah tidak terpakai. Pemanfaatan limbah logam agar menjadi barang yang memiliki nilai jual lebih maka dibutuhkan industri peleburan logam untuk melebur dan membentuk kembali. Limbah mempunyai manfaat atara lain di era revolusi industri yakni kemampuan untuk mendaur ulang logam dengan ramah lingkungan dan berwawasan lingkungan. Pembangunan berwawasan lingkungan yang paling diutamakan untuk pengolahan limbah secara efektif dan efisien. Hampir semua industri di Indonesia didukung oleh sektor industri manufaktur, dimana sektor manufaktur memiliki prospek yang cukup baik untuk dikembangkan di Indonesia. Sumber daya alam Indonesia yang masih melebihi yang dibutuhkan, membuat pengolahan bahan alam pada industri manufaktur tidak terelakkan lagi begitupun dengan limbah yang dihasilkan. Limbah yang didapatkan pada bidang industri manufaktur metalurgi bermacam - macam jenis, salah satunya yakni limbah sisa pengerjaan aplikasi metalisasi dan pelapis vakum modern.

Limbah yang dihasilkan setelah proses pelapisan vakum yakni suatu material *evaporation boats*. *Evaporation boats* merupakan limbah yang mengandung *Boron Nitride* (BN) dan *Titanium Diboride* (TiB_2). Bahan *refraktory*

yang biasa digunakan untuk *Crucible* belum menghasilkan *refraktory* yang bagus dan harganya mahal sehingga perlu penelitian terhadap *Evaporation Boats* untuk pemanfaatan dan keunggulan lebih lanjut. (Miftahul Janah, 2019)

Limbah tersebut tidak diolah kembali dan penanganan pembuangan limbah tersebut masih belum diketahui. *Boron nitrida* adalah senyawa *refraktory boron* dan nitrogen memiliki rumus kimia BN. BN memiliki berbagai macam bentuk kristalin, ada yang berbentuk heksagonal dimana senyawa ini paling stabil dan lembut digunakan sebagai pelumas dan bahan tambahan kosmetik. Bentuk kristalin kubus memiliki karakteristik lebih lembut dari intan, tetapi ketahanan terhadap panas dan bahan kimia lebih tinggi. (Indiarti Nurrohmah, 2019)

Boron nitrida mempunyai sifat ketahanan panas yang sudah teruji dan sudah dimanfaatkan, sangat perlu digunakan untuk bahan industri yang digunakan untuk temperatur suhu tinggi seperti bahan pembuatan *crucible* pengecoran logam. Penggunaan untuk pengecoran logam, untuk melebur material non *ferro* yang tidak mengandung unsur besi (Fe) seperti aluminium, tembaga, timah dapat menggunakan cawan pelebur/ *crucible* dengan panas yang relatif tidak tinggi. *Crucibel* (tungku) digunakan untuk proses peleburan logam non ferrous terutama untuk aluminum. Tungku yang di redesain menjadi *crucibel* peleburan logam non *ferro* dapat mendukung industri pengecoran serta meningkatkan kegiatan penelitian mahasiswa dalam mengenal lebih jauh proses pengecoran logam, tanpa harus belajar, mengamati dan mencari tempat pengecoran logam. Pengecoran logam Ceper, Klaten Jawa Tengah, banyak pekerjaan pengecoran logam yang

menggunakan *crucible* sebagai cawan leburnya. Pembuatan *crucible* pada *home industry* tersebut menggunakan bahan semen tahan api dan serbuk batu bata.

Pembuatan *crucible* secara manual menggunakan tangan dan pengaduk biasa dan tidak adanya waktu pencampuran yang tepat mengakibatkan efek keadonan yang kurang merata mengakibatkan saat pembuatan *crucible* terdapat pecahan (*crack*) ketika adonan *crucibel* mengering. Dari permasalahan alat *mixer* ini tentu saja sangat diperlukan pemikiran tentang teknologi alat *mixer* yang efektif, efisien dan optimal yaitu alat *mixer* dengan desain dapat di pindah-pindah dengan kapasitas yang optimal degan mendesain dan membuat *mixer* dilengkapi dengan handel pemutar dan penuang adonan agar memudahkan pemakai dalam penuangan. *Mixer* otomatis secara elektrik yang bisa dipakai untuk proses pengadukan material *crucible* yang lebih efektif dan efisien. (Sudjianto, A. T. 2007)

Bahan untuk pembuatan *crucible* antara lain *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 ($2H_2OAl_2O_32SiO_2$) dan mineral lainnya. Komposisi mineral yang termasuk kedalam kaolin antara lain *kaolinite*, *nakrit* dan *halloysit* (mineral utama, $Al_2(OH)_4SiO_52H_2O$), 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. (Daud, 2015). Semen Tahan Api memiliki ketahanan terhadap panas 900˚ dan tidak mengalami *failure* serta retakan yang membuat *crucible* retak. Sehingga sangat di butuhkan untuk pembuatan *crucible*. (Rahmadika, 2017).

Setelah itu dilakukan uji kekerasan *vickers* dan uji struktur *micro* untuk mengetahui kerataan atau homogenitas.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka terdapat beberarapa permasalahan pokok yang muncul dalam penelitian ini, masalah-masalah tersebut antara lain :

1. Pemanfaatan limbah *evaporation boats.*
2. Terjadinya retakan saat *crucible* mengering.
3. Bahan *refraktory* yang digunakan untuk *crucible* saat ini hanya *refraktory* asam, basa, dan netral bukan *refraktory* seperti *evaporation boats*.
4. Kurangnya homogenitas adonan saat pencampuran manual.
5. *Boron nitride* murni merupakan bahan *refraktory* yang memiliki banyak keunggulan namun mahal harganya.
6. Karakteristik kekerasan dan struktur *micro* material *crucible* berbahan *evaporation boats*. kaolin dan semen tahan api terhadap variasi waktu pencampuran.
7. Belum adanya penelitian yang membahas lamanya waktu pencampuran.

1.3. Pembatasan Masalah

Dari hasil identifikasi masalah yang diperoleh, untuk menghasilkan penelitian sesuai dengan tujuan dan tidak menyimpang dari tujuan utama maka peneliti membatasi masalah sebagai berikut :

1. Material yang digunakan untuk membuat *crucible* tungku berasal dari limbah adalah *evaporation boats* yang berasal dari PT. 3M Indonesia.
2. Pengadukan yang digunakan hanya di buat dari mesin *mixer* yang telah di rancang sendiri.
3. Komposisi pembuatan material *crucible* terdiri dari *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api.
4. Variasi waktu pengadukan yang digunakan 30 menit, 60 menit dan 90 menit.
5. Penambahan sebanyak 15% air dari total berat spesimen 4 kg dengan perbandingan 2800 g *evaporation boats*, 600 g kaolin dan 600 g semen tahan api.
6. Pengujian *crucible* menggunakan uji kekerasan *vickers* dan struktur *micro*.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan hasil identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh proses pengadukan terhadap bentuk struktur *micro* spesimen *crucible* dengan campuran *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api ?

2. Apakah perbedaan pengadukan variasi waktu 30 menit, 60 menit, 90 menit berpengaruh terhadap kekerasan dan struktur *micro* hasil spesimen *crucible* ?
3. Apakah pengadukan menggunakan mesin *mixer* berpengaruh terhadap homogenitas *crucible* ?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang disebutkan oleh peneliti, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh *mixer* terhadap spesimen *crucible* dengan campuran *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi waktu 30 menit, 60 menit dan 90 menit terhadap spesimen *crucible* yang telah melalui proses pencampuran.
3. Mengetahui kekerasan dan struktur *micro* spesimen *crucible* yang telah di *sintering*.

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari pembuatan skripsi yang berjudul "Pengaruh pengadukan terhadap kualitas spesimen *crucible* berbahan *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api dalam pembuatan *crucible*" ini antara lain :

1. Data hasil penelitian ini dapat disumbangkan terhadap perkembangan ilmu dan pengetahuan khususnya di pengecoran logam.
2. Hasil penelitian ini sangat diharapkan dapat menjadi rekomendasi bagi perusahaan yang membuat *crucible*.

3. Data hasil penelitian ini dapat menjadi referensi awal atau dapat menjadi referensi data pembanding untuk pengembangan penelitian berikutnya.
4. Dapat memberikan wawasan untuk memperkaya kasanah ilmu pengetahuan dan teknologi.
5. Bagi penulis agar penulis dapat menerapkan ilmu yang diperoleh selama kuliah.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Menurut (Rojabni, 2019) yang berjudul "Pengaruh *Thermal Shock* dan Komposisi *Evaporation Boats*, Semen Tahan Api dan Pasir Silika Terhadap Kekuatan *Impact* dan Foto Makro Struktur". Pada penelitian ini, dilakukan proses sintering dengan suhu 1100°C, 1150°C, serta 1200°C oleh karena itu digunakan bahan-bahan yang memiliki sifat tahan terhadap panas yaitu limbah *evaporation boats* yang memiliki titik leleh mencapai 2.700^{o}C, pasir silika memiliki titik lebur 1.715^{o}C, dan semen tahan api castable C-16 memiliki titik lebur mencapai 1.600^{o}C. Penelitian ini relevan karena melakukan proses *sintering* dan menggunakan bahan – bahan yang memiliki sifat tahan terhadap panas.

Menurut (Indiarti, 2019) yang berjudul "Pengaruh *Thermal Shock* dan Komposisi Grafit, Kaolin (*Clay*) terhadap Ketahanan *Impact* dan Struktur Makro Kowi Berbahan Dasar Limbah *Evaporation Boats"*. Pada penelitian ini, komposisi bahan yang digunakan diantaranya limbah *evaporation boats*, grafit serta kaolin dan dinilai cocok digunakan sebagai bahan *refractory* pembuatan kowi (*crucible*) karena mampu mempertahankan bentuk dan kekuatannya pada temperatur yang sangat tinggi. Persyaratan umum bahan *refractory* adalah tahan terhadap suhu tinggi, tahan terhadap suhu yang mendadak, tahan terhadap lelehan terak logam, menghemat panas, dan tidak mencemari bahan yang bersinggungan. Atas dasar

tersebut dipilihlah bahan limbah *evaporation boats*, grafit dan kaolin sebagai komposisi pembuatan kowi. Penelitian ini relevan karena memanfaatkan limbah *evaporations boats* sebagai bahan utama dalam pembuatan *crucible* dan menggunakan bahan refractory yang tahan suhu tinggi.

Menurut (Jannah, 2019) yang berjudul Pengaruh *Temperatur Sintering* Terhadap Densitas, Porositas, Dan Kekerasan Berbahan *Evaporation Boats*, Kaolin Dan Semen *Castable* sebagai material *Crucible*. Penelitian pengujiannya menggunakan timbangan *digital high precision* dan *microhardness* tester M800. Material yang digunakan berupa *evaporation boats*, kaolin, semen *castable*, dan dicampur 15% air dari massa keseluruhan serbuk bahan sebelum dicetak. Variabel bebas penelitian ini adalah temperatur *sintering* dan komposisi material. Variasi temperatur *sintering* yang digunakan adalah 900°C, 1000°C, dan 1100°C. Sementara untuk variasi komposisi yang digunakan adalah komposisi 1 yaitu 70% *evaporation boats*, 15% semen *castable* dan 15% kaolin, variasi komposisi 2 yaitu 50% *evaporation boats*, 25% semen *castable*, dan 25% kaolin, dan variasi komposisi 3 yaitu 40% *evaporation boats*, 30% semen *castable* dan 30% kaolin. Hasil penelitian nilai densitas tertinggi diperoleh pada komposisi 2 dengan perlakuan temperatur *sintering* 1100°C sebesar 2,120 g/cm^3. Nilai porositas terendah diperoleh pada komposisi 2 dengan perlakuan temperatur *sintering* 1100°C yang menghasilkan nilai porositas sebesar 2,2 %. Nilai kekerasan tertinggi juga diperoleh pada komposisi 2 yang dengan perlakuan temperatur *sintering* 1100°C yang memiliki nilai HVN sebesar 0,07 gf/μm^2. Penelitian ini relevan karena

menggunakan suhu yang sama yaitu 1000°C dan menggunakan komposisi yang sama 70% *evaporation boats*, 15% semen *castable* dan 15% kaolin.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Mixer*

Mixer merupakan salah satu alat pencampur dalam sistem emulsi sehingga menghasilkan suatu dispersi yang seragam atau homogen. *Mixer* ada 2 jenis yang berdasarkan jumlah propelernya (turbin), yaitu mixer dengan satu *propeler* dan *mixer* dengan dua propeller. *Mixer* dengan satu *propeller* adalah *mixer* yang biasanya digunakan untuk cairan dengan viskositas rendah. *Mixer* dengan dua propiller umumnya digunakan pada cairan dengan viskositas tinggi. Hal ini karena satu *propeller* tidak mampu mensirkulasikan keseluruhan massa dari bahan pencampur (emulsi), selain itu ketinggian emulsi bervariasi dari waktu ke waktu.

Pencampuran merupakan operasi yang bertujuan mengurangi ketidaksamaan kondisi, suhu, atau sifat lain yang terdapat dalam suatu bahan. Pencampuran dapat terjadi dengan cara menimbulkan gerak di dalam bahan yang dicampur dan menyebabkan bagian-bagian bahan saling bergerak satu terhadap yang lainnya, sehingga proses pengadukan hanyalah salah satu cara untuk operasi pencampuran.

Pencampuran fasa cair merupakan hal yang cukup penting dalam berbagai proses kimia. Pencampuran fasa cair dapat dibagi dalam dua kelompok diantaranya:

a. Pencampuran antara cairan yang saling tercampur (*miscible*).

b. Pencampuran antara cairan yang tidak tercampur atau tercampur sebagian (*immiscible*).

Mixer merupakan proses mencampurkan satu atau lebih bahan dengan menambahkan satu bahan ke bahan lainnya sehingga membuat suatu bentuk yang seragam dari beberapa konstituen baik cair-padat, padat-padat, maupun cair-gas. Komponen yang jumlahnya lebih banyak disebut fasa kontinyu dan yang lebih sedikit adalah fasa dispers.

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 (Fládr, J., dan Bilý, P., 2017).

Menurut (Schiessl, et al., 2007) yang mengamati 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 campuran. Semakin tinggi kecepatan pencampuran dan semakin lama durasi pencampuran maka dapat menurunkan sifat alir dan kekerasan karakteristik campuran (Hiremath, P. N., dan Yaragal, S. C., 2017).

Mesin *mixer* yang dirancang sendiri memiliki kelebihan untuk mengaduk adonan *crucible*. Spesifikasi konstruksi mesin *mixer* pengaduk bahan *crucible* ditentukan berdasarkan pertimbangan berikut:

1. Kapasitas tabung *mixer* adalah 40 kg setiap pengadukan.
2. Menggunakan motor listrik 1400 Rpm sebagai penggerak utamanya.
3. Putaran poros utama adalah 48 Rpm.
4. Spesifikasi mesin yang ergonomis dengan dimensi yang nyaman bagi operator dan mudah disesuaikan dengan ruang kerja mesin berdimensi panjang 850 mm x lebar 725 mm x tinggi 750 mm.

Gambar 2.1 *Mixer* Pengaduk *Crucible*

Berikut macam – macam mesin *mixer* dengan fungsinya sebagai alat pencampuran bahan baku proses pencampuran *mixer*.

1. *Planetary Mixer*

Planetary Mixer merupakan alat pencampuran bahan *viskous*, dibandingkan dengan pencampuran pada bahan cair, proses pencampuran bahan yang *viscous* memerlukan tenaga yang lebih banyak. *Planetary mixer* terdiri dari wadah atau bejan yang bersifat stasioner sedangkan pengaduk yang digunakan mempunyai

gerakan melingkar sehingga ketika berputar, pengaduk secara berulang mendatangi seluruh bagian pada bejana. Pada saat proses pencampuran berlangsung ruang pencampuran berada dalam keadaan tertutup. Hal itu dimaksudkan agar bahan yang sedang bercampur tidak sampai tumpah keluar karena perputaran dari pengaduk.

Gambar 2.2 Mesin *Planetary Mixer*
repository.usu.ac.id

2. *Ribbon Blender*

Ribbon Blender merupakan salah satu alat pencampur dalam sistem emulsi sehingga menghasilkan suatu dispersi/adonan yang seragam atau homogen. Sumber tenaga pada *Ribbon Blender* berfungsi sebagai penggerak dalam proses pengadukan. Tenaga dari motor penggerak untuk pengaduk ditransmisikan secara langsung dengan menggunakan besi. Pengaduk itu sendiri memiliki fungsi untuk mengalirkan bahan dalam alat pengaduk yang bergerak dan wadah yang diam. Pengaduk juga berfungsi untuk mengaduk selama proses penampungan dan untuk menghindari pengendapan. Proses pencampuran adonan dengan *ribbon blender* bertujuan untuk memperoleh adonan yang elastis dan menghasilkan pengembangan gluten yang diinginkan.

Gambar 2.3 Mesin *Ribbon Blender*
repository.usu.ac.id

3. *Double Cone Blender*

Double cone mixer merupakan alat pencampur yang cocok untuk bahan halus dan rapuh. Penggunaan energi dalam pencampurannya kecil. Untuk spesifikasi alat ini adalah kapasitas alat ini dari 2 sampai 100.000 liter dan muatannya bekerja secara otomatis. Keuntungan dari *double cone mixer* ini adalah mudah digunakan untuk pencampuran berbahan halus, higienis dan mudah dibersihkan.

Gambar 2.4 Mesin *Double Cone Blender*
repository.usu.ac.id

4. *Vertical Double Rotary Mixer*

Vertical double rotary mixer digunakan untuk mencampurkan bahan yang padatpadat. *Mixer* ini digunakan untuk kontinyu adalah padat-padat dan padat-cair pencampuran untuk medium untuk produksi besar secara terus menerus. *Mixer* ganda memiliki poros pencampuran disesuaikan dengan dayung dalam *mixer* vertikal tujuan pencampuran dapat diselesaikan di bawah gaya gravitasi dengan dampak diasingkan.

Gambar 2.5 Mesin *Vertical Double Rotary Mixer*
repository.usu.ac.id

2.2.2 *Crucible*

Cawan atau tungku terdapat pada dapur peleburan yang digunakan untuk melebur bahan non logam dan didalam cawan tersebut disebut *Crucible*. Dapur peleburan melebur logam tanpa berhubungan langsung dengan bahan pembakaran (*indirect fuel-fired furnance*). *Crucible* menerima panas dari dinding *crucibel* secara konduksi dengan sumber panas tersebut bisa didapatkan dari pembakaran minyak, gas, kokas atau arang serta pemanasan dari filamen listrik (Akuan, 2010).

Crucible merupakan tempat yang berbentuk menyerupai pot atau mangkuk digunakan untuk peleburan bahan non logam. Nama *crucibel* diambil dari bentuk

kowi/cawan tersebut yang krus (diameter bagian bawah lebih kecil dibanding dengan bagian atas) (Indriati, 2019). *Crucible* terbuat dari berbagai macam bahan diantaranya grafit, kaolin, besi tuang/baja hingga silikon karbida. Bahan *refraktory* untuk pembuatan *Crucible* harus mempunyai karakteristik tahan terhadap temperatur tinggi, tahan terhadap perubahan temperatur yang mendadak, tidak terpengaruh sifat kimia dari lelehan bahan peleburan, tidak mencemari bahan yang bersinggungan serta memiliki koefisien panas yang rendah sehingga dapat menghemat panas (*United Nations Environment Progamme*, 2006).

Crucible bisa dibedakan menjadi 3 tipe yakni yang dapat diangkat, ditukik, dan tetap. *Crucible* jenis tetap (*stationary pot*) tidak dapat diangkat/dipindahkan sehingga untuk memindahkan logam cairnya harus menggunakan ladel (Jannah, 2019).

Gambar 2.6 *Crucible*

Pembuatan *crucible* sama dengan pembuatan keramik, yaitu dengan membentuk adonan sesuai desain, *pressing*, dan dilakukan pengeringan dan *finishing*.

2.2.3 *Evaporation Boats*

Evaporation Boats digunakan sebagai landasan untuk menguapkan aluminium yang bertujuan agar plastik terlapisi aluminium dalam proses pembuatan aluminium *foil*. *Evaporation boats* digunakan sebagai *crucibel* untuk aluminium yang akan diuapkan dalam ruang vakum. Metalisasi ini biasanya digunakan untuk membuat lembaran film dan kertas yang digunakan untuk kapasitor, dekorasi, kemasan makanan dan industri elektronik. *Evaporation boats* terbuat dari dari *Titanium Diboride* (TiB_2), *Boron Nitride* (BN), atau *Aluminium Nitride* (AlN) yang mana cocok untuk kapasitas panas tinggi.

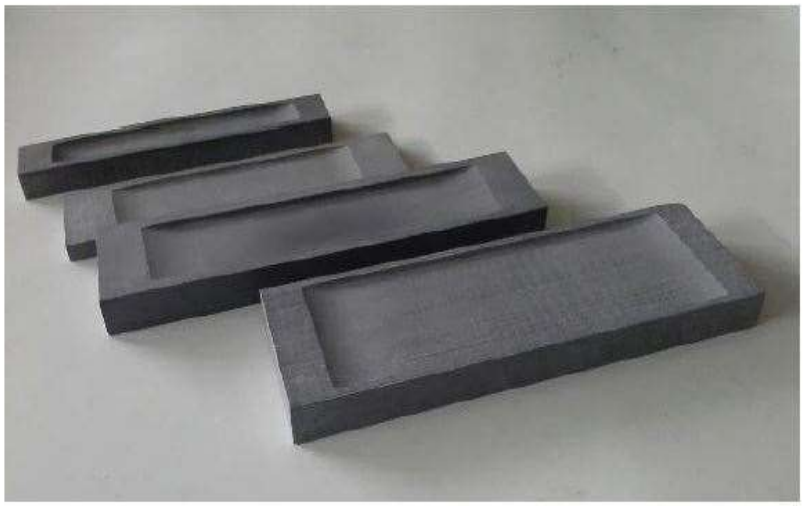
Manfaat dalam produk *evaporation boats* memiliki sifat:

a) Stabilitas jangka panjang.

b) Sifat listrik yang konsisten.

c) Tahanan listrik yang dapat disetel.

d) Tahan guncangan *thermal* yang tinggi.



Gambar 2.7 *Evaporation Boats*

Seperti pada gambar diatas bahwa limbah *evaporation boats* berbentuk persegi panjang, maka dari itu untuk dijadikan serbuk penulis menggunakan mesin *crusher* untuk menghancurkan limbah *evaporation boats* tersebut menjadi serbuk. Menurut PT. 3M limbah *evaporation boats* ini terbuat dari *Titanium Diboride* (TiB_2), *Boron Nitride* (BN), dalam *evaporation boats* memiliki sifat konduktif elektrik dengan resistensi tinggi terhadap bahan kimia dan panas dan memiliki sifat konduktivitas *thermal* yang tinggi dengan titik leleh mencapai 2700°C dan memiliki ketahanan oksidasi mencapai 1000°C. Maka dari itu penulis memilih bahan tersebut untuk pembuatan *lining refractory*, harapannya dapat menghasilkan kualitas *lining* yang baik.

Berdararkan (3M *Advanced Materials Division*, 2015) jenis-jenis evaporation boats antara lain:

1. *Evaporation Boats Laser Met*

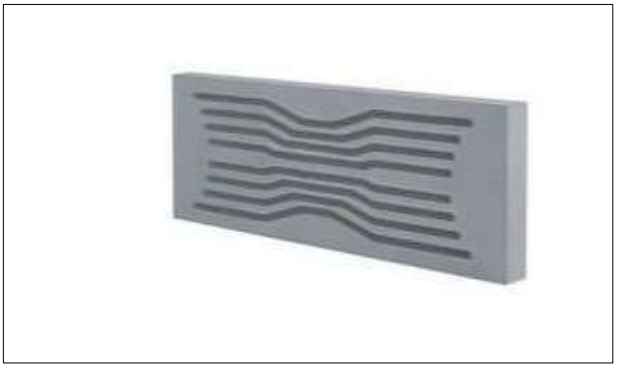
Evaporation boats Laser Met memiliki kecepatan tinggi pada semua pelapis vakum modern, *boats* yang panjang dan boats untuk pelapis ultra tipis. *Evaporation boats* ini awet dan perilaku pembasahannya sangat baik. *Evaporation boats LaserMet* dengan perawatan permukaan las yang dipatenkan meningkatkan pembasahan awal. Aluminium membasahi boats 2-komponen ini di sepanjang permukaan las, yang memiliki konten TiB_2 lebih tinggi.

Keunggulan :

a. Perilaku membasahi awal yang unggul
b. Permukaan kerja lebih besar untuk meningkatkan laju penguapan
c. Siklus pemanasan awal yang lebih pendek

d. Kepadatan optik tinggi

e. Kecepatan penguapan tinggi.



Gambar 2.8 *Evaporation Boats Laser Met*

2. *Evaporation Boats Dimet*

Evaporation boats DiMet adalah *boats* dua komponen *Titanium Diboride* (TiB_2) dan *Boron Nitride* (BN). *Boats Dimet* memberikan tingkat penguapan yang tinggi dalam kombinasi dengan keawetan. *Boats* 2 komponen ini dapat digunakan pada kecepatan penguapan tinggi pada semua ruang hampa udara modern.

Keunggulan :

a. Laju penguapan tinggi setidaknya 0,35 g · min-1 · cm-2.

b. Tahan temperatur tinggi.

c. Kepadatan optik tinggi.

d. Kecepatan penguapan tinggi.

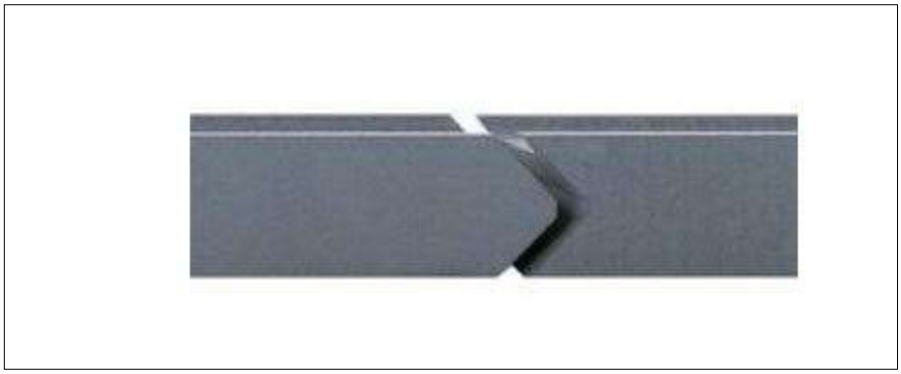
Gambar 2.9 *Evaporation Boats DiMet*

3. *Evaporation Boats Trimet*

Evaporation Boats Trimet terbuat dari 3-komponen bahan. Ini dapat digunakan pada semua jenis pelapis vakum dan sangat mudah ditangani bahkan untuk operator yang tidak berpengalaman.

Keunggulan:

a. Cocok untuk semua generasi alat berat.
b. Laju penguapan 0,25 g · min-1 · cm-2.
c. Kontrol parameter operasi yang mudah.
d. Hanya mungkin untuk boats yang panjangnya lebih dari 200 mm.



Gambar 2.10 *Evaporation Boats TriMet*

Kandungan senyawa *Boron Nitrida* (BN) dan senyawa campuran lainnya pada material *evaporation boats* tidak akan hilang sesudah dilakukan proses metalisasi. Proses metalisasi vakum yang dilakukan pada temperatur tinggi

tentunya akan berpengaruh pada kualitas fisik *evaporation boats*. Cairan aluminium yang akan diuapkan juga dipengaruhi oleh kondisi *evaporation boats* selama beroperasi. Sehingga *evaporation boats* akan mengalami perubahan fisik saja yakni munculnya daerah erosi akibat titik sentuh kawat aluminium, munculnya korosi akibat serangan kimia dan fisik serta potensi timbulnya krak akibat pemanasan terus menerus. *Evaporation boats* yang sudah muncul tanda-tanda korosi, erosi dan timbulnya krak sudah tidak bisa digunakan kembali karena bisa mempengaruhi penguapan kemurnian lapisan aluminium.

Gambar 2.11 Limbah *Evaporation Boats*

Evaporation boats bekas hanya mengalami kerusakan kondisi fisik, adapun kandungan senyawa didalamnya seperti *Boron Nitrida* (BN) masih ada. Oleh karena itu peneliti mencoba memanfaatkan limbah *evaporation boats* menjadi bahan utama pembuatan *crucie* yang nantinya akan dicampur dengan grafit dan kaolin sebagai perekat.

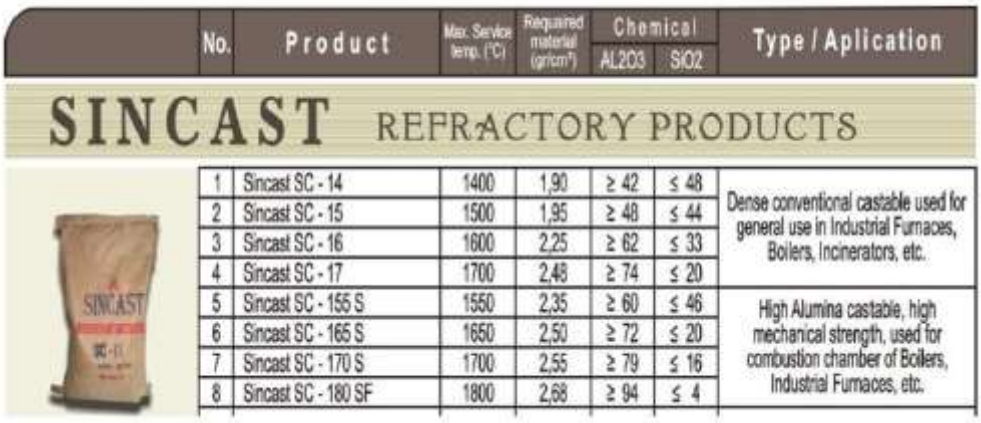
2.2.4 Semen Tahan Api

Semen tahan api sering digunakan sebagai perekat batu tahan api untuk *refractory*. Selain sebagai perekat semen tahan api (*castable*), juga digunakan

untuk *furnace*, tugku peleburan, *incenerator*, *chimney* atau cerobong, *ducting*, *rotary kilns* dan masih banyak lainnya. Jenis-jenis *castable* ada berbagai macam mulai dari *castable*-12, *castable*-14, *castable*-16, *castable*-17, *castable*-18 dan masih banyak tipe *castable* lainnya yang menyesuaikan kegunaannya. Tipe semen tahan api yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu Semen Tahan Api SK- 34 yang memiliki titik lebur 1600°C. Spesifikasi produk (product spesification) Semen Tahan Api SK- 34 :

a. Jenis produk (*type product*) : Semen Tahan Api SK- 34
b. Daya tahan *temperatur* (*max service temperature*) : 1600°C
c. Berat jenis (*bulk density*) : 2,1 – 2,2 ton/m^3
d. Campuran air (*application mix water*) : 12 – 16 %
e. Daya konduksi temperatur (*thermal conductivity*) : Pada 350°C : 0,82 Kcal/Mh, pada 450°C : 0,87 Kcal/Mh
f. Komposisi kimia (*chemical composition*) : Al_2O_3 : > 50 % , SiO_2 : < 36 %

Berikut ini tipe semen tahan api sesuai kegunaannya:



SINCAST REFRACTORY PRODUCTS

No.	Product	Max. Service temp. (°C)	Required material (gr/cm³)	Chemical AL2O3	Chemical SiO2	Type / Aplication
1	Sincast SC - 14	1400	1,90	≥ 42	≤ 48	Dense conventional castable used for general use in Industrial Furnaces, Boilers, Incinerators, etc.
2	Sincast SC - 15	1500	1,95	≥ 48	≤ 44	
3	Sincast SC - 16	1600	2,25	≥ 62	≤ 33	
4	Sincast SC - 17	1700	2,48	≥ 74	≤ 20	
5	Sincast SC - 155 S	1550	2,35	≥ 60	≤ 46	High Alumina castable, high mechanical strength, used for combustion chamber of Boilers, Industrial Furnaces, etc.
6	Sincast SC - 165 S	1650	2,50	≥ 72	≤ 20	
7	Sincast SC - 170 S	1700	2,55	≥ 79	≤ 16	
8	Sincast SC - 180 SF	1800	2,68	≥ 94	≤ 4	

Gambar 2.12 Tipe Semen Tahan Api

2.2.5 Kaolin

Kaolin merupakan campuran partikel-partikel pasir, debu dan bagian-bagian tanah liat yang mempunyai sifat-sifat karakteristik yang berlainan dalam ukuran yang sama. Kaolin adalah material yang memiliki ukuran diameter partikel lebih kecil dari 2 μm dan dapat ditemukan dekat permukaan bumi. Tanah liat atau lempung mempunyai sifat permeabilitas sangat rendah dan bersifat plastis pada kadar air sedang (Indriati, 2019).

Kaolin mempunyai komposisi *hidrous* aluminium silikat ($2H_2OAlO_32SiO_2$), dengan disertai mineral penyerta. Mineral yang termasuk kelompok kaolin adalah kaolinit, nakrit, dikrit dan haloisit dengan kaolinit sebagai mineral utama. Massa jenis kaolin adalah 2,6 g/ mL , kekerasan berkisar antara 2-2,5 (skala *Mohs*) dan titik lebur 1785˚C serta mempunyai densitas 2,65 g/cm^3.

Gambar 2.13 Kaolin

Komposisi kimia kaolin antara lain oksida-oksida anorganik dan ion logam berat yang berada dalam jumlah kecil. Oksida-oksida anorganik yang terdapat dalam jumlah besar adalah SiO_2 dan $AI2O_3$, sedangkan yang terdapat dalam jumlah

kecil antara lain : Fe_2O_3, CaO, MgO, TiO_2, Na_2O, dan lain sebagainya. Komposisi kimia kaolin dapat dilihat pada Tabel dibawah ini (Indriati, 2019).

Komponen	**Kadar (%)**
SiO_2	46,50
AI_2O_3	36,68
CaO	0,38
Fe_2O_3	0,90
K_2O	1,23
MgO	0,25
TiO_2	0,42
Na_2O	0,05

Tabel 2.1. Komposisi Kimia Kaolin

Komposisi kimia kaolin secara struktural kaolin tergolong jenis filosilikat tipe 1:1, masing masing komposisi tersusun dari lapisan tetrahedral silika dan oktahedral alumina. Kristalnya terdiri dari lembar-Iembar oktahedral aliuninium yang tertumpuk di atas lembar tetrahedral silika. Susunan lapisan tetrahedral dan oktahedral pada kaolin dihubungkan oleh atom oksigen pada satu sisi dan hidrogen dari gugus hidroksil pada sisi yang lain, sehingga menghasilkan tumpukan dengan 8 ikatan hidrogen yang kuat.

Menurut (Daud, 2015) kaolin memiliki sifat fisik yaitu :

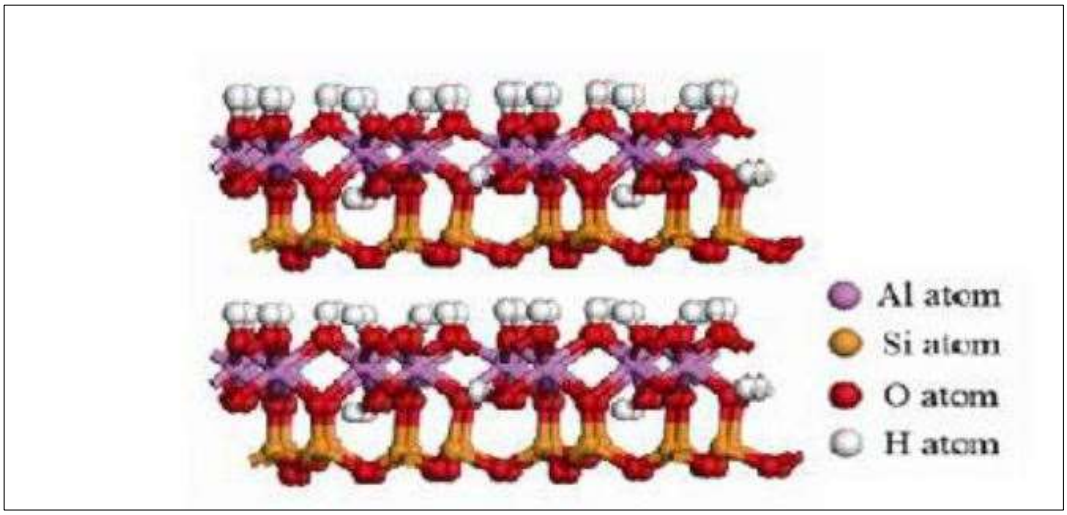
a. Memiliki kekerasan antara 2-2,5 (skala *Mohs*).

b. Memiliki berat jenis 2,60-2,63 g/cm^3.

c. Memiliki daya hantar panas dan listrik rendah.

d. Memiliki kadar asam (pH) yang bervariasi.

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 μm (Sunardi, 2011).

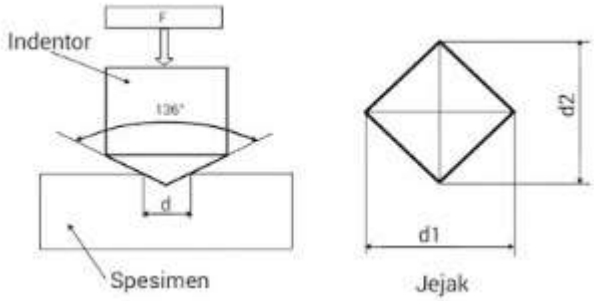


Gambar 2.14 Struktur Kaolin

Kaolin merupakan salah satu bahan *refractory* yang telah banyak dipakai pada industri karena karakteristik kaolin digunakan sebagai bahan baku utama atau penolong di berbagai Industri dan bahan tambahan yang berfungsi sebagai bahan pengisi untuk menambah volume dan meningkatkan kekerasan (kekuatan). Kaolin dijadikan sebagai bahan campuran dalam pembuatan *crucible* ataupun bata tahan api.

2.2.6 Pengujian kekerasan *Vickers*

Kekerasan adalah ukuran ketahanan material terhadap deformasi plastik lokal (lengkungan atau goresan) yang disebabkan indentor. Hasil pengujian yaitu kedalaman atau ukuran lekukan yang dihasilkan diukur dan selanjutnya terkait dengan angka kekerasan (Callister dan Rethwisch, 2011). Uji kekerasan *Vickers* dilakukan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indentor intan yang berbentuk piramida dengan alas segi empat. Besarnya sudut antara permukaan indentor intan dengan benda uji yang berhadapan adalah 136° (Subagyo, 2017). Penekanan oleh indentor akan menghasilkan suatu jejak atau lekukan pada permukaan benda uji.



Gambar 2.15 Jejak yang Dihasilkan oleh Penekanan Indentor pada Benda Uji

Diagonal rata-rata dari jejak harus diukur terlebih dahulu dengan menggunakan mikroskop untuk mengetahui nilai kekerasan benda uji. Angka kekerasan *Vickers* diperoleh dengan membagi besar beban uji (P) yang digunakan dengan luas permukaan jejak (A) (Wijayanto et al., 2014).

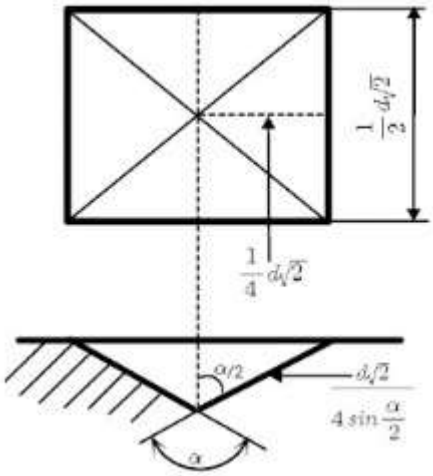
$$HV = \frac{P}{A}$$

Keterangan:

P = Tekanan (N/m^2 atau Pa/Pascal)

A = Luas bidang tekan (m^2)

Jika d merupakan diagonal rata-rata dari jejak, maka luas permukaan jejak dapat ditentukan sebagai berikut,



Gambar 2.16 Skema Luas Permukaan

$$HV = \frac{P}{\frac{d^2}{2 \sin \frac{136^0}{2}}}$$

Keterangan:

HV = Angka kekerasan *vickers*

P = Beban (gf)

D = Diameter Indentor

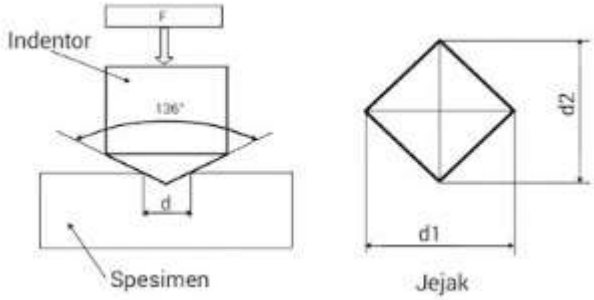
d = Diagonal (mm)

Rentang beban uji yang digunakan pada pengujian kekerasan *vickers* berkisar antara 1 gf sampai 120 gf, dan beban uji yang umum digunakan adalah 5, 10, 30 dan 50 gf. Beban pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah 10 gf.

Gambar 2.17 Indentor Intan Berbentuk Piramid

Gambar 2.18 Mesin Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pada umumnya ada 3 jenis bentuk jejak (lekukan) yang dihasilkan oleh penekanan indentor, yaitu bentuk persegi sempurna, bentuk bantal dan jejak berbentuk tong.



Gambar 2.19 Contoh Bentuk Jejak

Indentor intan berbentuk piramid yang sempurna dapat menghasilkan jejak dengan bentuk persegi. Pada pelaksanaan uji kekerasan material dengan metode *Vickers*, benda yang akan diuji harus memiliki permukaan yang rata, halus dan bersih yang bebas dari cat, kerak, oksida, minyak dan kotoran lainnya. Proses penggerindaan dan pemolesan dilakukan untuk mendapatkan kualitas permukaan spesimen seperti itu. Pengujian kekerasan *Vickers* tidak cocok dilakukan untuk menguji material yang tidak homogen seperti besi tuang.

Pengujian kekerasan Vickers mempunyai beberapa keuntungan dan kekurangan dibandingkan dengan pengujian kekerasan lainnya, seperti berikut :

1. Menggunakan hanya satu jenis indentor untuk menguji material yang lunak hingga yang keras.
2. Pembacaan ukuran jejak dapat dilakukan lebih akurat.
3. Jenis pengujian yang relatif tidak merusak.
4. Metode *Vickers* dapat digunakan pada hampir semua logam.

Metode *Vickers* dapat juga digunakan untuk melakukan uji kekerasan mikro (*Vickers microhardeness test*) selain untuk uji kekerasan makro. Rentang beban uji yang digunakan pada uji kekerasan mikro *Vickers* ini adalah antara 1 gf hingga 1000 gf (1 kgf). Pengujian kekerasan mikro *Vickers* sangat cocok diterapkan pada bahan

yang tipis, lapisan dari benda uji yang permukaannya dikeraskan, keramik, dan komposit.

2.2.7 Pengujian Struktur Mikro

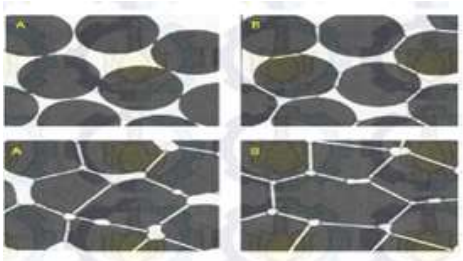
Struktur *mikro* adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan yaitu mikroskop optik dan mikroskop elektron. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksikan dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan (proses ini dinamakan *etching*).

Sifat dari suatu logam dapat diketahui dengan melihat struktur mikronya. Setiap logam dengan jenis berbeda memiliki struktur mikro yang berbeda. Diagram fasa dapat meramalkan struktur mikro dan mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Selain itu, struktur mikro dapat melihat pula :

a. Ukuran dan bentuk butir.
b. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam.
c. Pengotor yang terdapat dalam material.
d. Memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang diinginkan.

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat diamati melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam dapat dilihat dengan menggunakan mikroskrop. Struktur yang dimiliki oleh baja karbon rendah didominasi oleh ferit dan sedikit perlit. Pengujian struktur *micro*

dilakukan dengan menggunakan alat mikroskop optik (Shofi, et al., 2013). Menunjukkan struktur mikro hasil *sintering* tanpa perlakuan pada daerah permukaan dan *cross section friction wedge*. Struktur yang terlihat adalah *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api (Septianto, B. A., dan Setiyorini, Y., 2013). Perbedaan antara beberapa bahan tersebut akan terlihat setelah diberbesar dengan mikroskop 100 – 1000x.



Gambar 2.20 Perubahan Struktur Mikro Setelah Proses *Sintering*

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang pengaruh variasi waktu pencampuran dengan bahan *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api terhadap kekerasan dan struktur *micro crucible* berbahan dasar limbah *evaporation boats* yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Variasi waktu pencampuran 30 menit, 60 menit dan 90 menit berpengaruh terhadap perbedaan kekerasan spesimen dan struktur *micro crucible* dengan bahan limbah *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api.
2. Variasi waktu pencampuran dengan bahan limbah evaporation boats, kaolin dan semen tahan api memberikan pengaruh terhadap kekerasan *crucible*. Semakin lama waktu pencampuran maka kekerasan *crucible* semakin baik ditunjukkan pada grafik dengan kenaikan antara 7,4 HV – 24,2 HV.
3. Bahan 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*.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian tentang pengaruh variasi waktu pencampuran dengan bahan *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api terhadap kekerasan *crucible* dan struktur *micro* berbahan dasar limbah evaporation boats yang telah dilakukan maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat mencari komposisi optimal dan variasi bahan yang digunakan dalam pembuatan *crucible* dengan memanfaatkan limbah *evaporation boats* dan diharapkan akan mempengaruhi kualitas *crucible* yang lebih baik sehingga dapat dipasarkan.
2. Perlu dilakukan pengujian analisa SEM untuk mengetahui kondisi struktur bahan kowi secara detail. Analisa struktur *micro* hanya dapat mengidentifikasi jenis homogenitas bahan saja.
3. Penambahan pengujian spesimen yang lebih variatif.
4. Komposisi limbah *evaporation boats*, kaolin dan semen tahan api seharusnya disinter dengan temperatur sekitar 1260ºC sesuai dengan teori sintering. Lalu dalam pembuatannya harus memperhatikan variabel kontrol yakni tekanan kompaksi, penggunaan cetakan, lama pengeringan, teknik pencampuran serta berat pelarut akuades dengan benar sehingga dapat meningkatkan sifat fisik dan mekanik hasil bahan *crucible*.
5. Pengembangan variasi waktu yang lebih lama untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Akuan. 2010. ***Teknik Pengecorandan Peleburan Logam***.Modul praktikum. Bandung.

Amin, M., dan Irawan, B. 2008. ***Pengaruh tekanan kompaksi terhadap karakterisasi keramik kaolin yang dibuat dengan prosespressureless sintering.***

Callister, W. D., dan David, G. R. 2011. ***Materials science and engineering an introduction.*** 8th Edition, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

Daud.2015. ***Kaolin sebagai bahan pengisi pada pembuatan kompon karet: Pengaruh ukuran dan jumlah terhadap sifat mekanik fisik***.Jurnal Dinamika Industri vol.26.No.1.Palembang.

Fládr, J., dan Bilý, P. 2017. ***Influence of mixing procedure on mechanical properties of high-performance concrete***. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 246(1).

Hiremath, P. N., dan Yaragal, S. C. 2017. ***Influence of mixing method, speed and duration on the fresh and hardened properties of Reactive Powder Concrete***. Construction and Building Materials, 141, 271–288.

Indiarti Nurrohmah. 2019. ***Pengaruh Thermal Shock dan Komposisi Grafit, Kaolin (Clay) terhadap Ketahanan Impact dan Struktur Mikro Kowi Berbahan Dasar Limbah Evaporation Boats.***Skripsi Universitas Negeri Semarang.

Masrukan, dan Mujinem. 2016. ***Pengaruh Proses Sintering Terhadap Perubahan,*** *22*(1), 25–34.

Miftahul Jannah. 2019. ***Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Densitas, Porositas, Dan Kekerasan Berbahan Evaporation Boats, Kaolin Dan Semen Castable Sebagai Material Crucible.*** Skripsi Universitas Negeri Semarang.

Nurrohmah, S. I., Rusiyanto, Widodo, R. D., & Sumbodo, W. 2020. ***Pengaruh Thermal Shock Dan Komposisi Grafit, Kaolin (Clay) Terhadap Struktur Makro Dan Ketahanan Impact Kowi Berbahan Dasar Limbah Evapration Boats***. Artikel Rekayasa Mesin Universitas Negeri Semarang, 15, pp. 287 – 295.

Rahmadika, B., & Apriyanti, Y. 2017. ***Pengaruh Pengurangan Setting Time (Wait on Cement) pada Semen Tahan Api dengan Penambahan Oil Well Cement The Effect of Reducing Setting Time (Wait on Cement) on Fire Mortar***. Jurnal Mineral, Maret 2017, Vol. II (1), 41 – 47.

Rahmah, Jannatika. 2013. ***Pengaruh Variasi Lama Waktu Pengadukan pada Komposit Gelatin-Hidroksiapatit Bergentamisin sebagai Bahan Implan Tulang***. Skripsi Universitas Airlangga**.**

Reza Prakoso Dwi Julianto dan Sri Umi Lestari, A. S. 2017. ***Optimalisasi Produksi Kerajinan Keramik Dengan Alat Mixer Material Keramik Berbasis Elektrik. Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat***, 101–105.

Rojabni. 2019. ***Pengaruh Thermal Shock dan Komposisi Evaporation Boats, Semen Tahan Api dan Pasir Silika Terhadap Kekuatan Impact dan Foto Mikro Lining Refractory.*** Skripsi Universitas Semarang.

Safrijal, Ali, S., & Susanto, H. (2017). ***Pengujian Papan Komposit Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Dengan Menggunakan Alat Uji Impact Charpy***. *Jurnal Mekanova*, *3*(5), 158–167.

Schiessl P., Mazanec O., Lowke K. 2007. ***SCC and UHPC effect of mixing technology on fresh concrete properties***. Advances in construction materials. VI, 513–522.

Septianto, B. A., dan Setiyorini, Y. (2013). ***Pengaruh Media Pendingin pada Heat Treatment Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik***. Jurnal Teknik Pomits, 2(2), 1–6.

Shofi, A., Astuti, W., dan Nurjaman, F. 2013. ***Besi Tuang Putih Paduan Krom Tinggi Hasil Thermal Hardening Untuk Aplikasi Grinding Ball. Majalah Meyalrgi***, (1), 177–184.

Subagyo. 2017. ***Analisis Hasil Kekerasan Metode Vikers Dengan Variasi Gaya Pembebanan Pada Baja***, 6(2).

Sudjianto, A. T. (2007). ***Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif dengan Garam Dapur (NaCl).*** *Teknik Sipil*, *8*(1), 53–63.

Sugiyono. 2010. ***Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, kualitatif, dan R&D***. Bandung: Alfabeta.

Sunardi. 2011. ***Karakterisasi Kaolin Lokal Kalimantan Selatan Hasil Kalsinasi.*** Jurnal Fisika FLUX, Vol. 8 No.1 ,Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru.

United Nations Environment Progamme**.** 2006**.** ***Thermal Energy Equipmnet : Furnances and Refractories. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia.*** www.energyefficiencyasia.org.

Wijayanto, S., Okky, A. P., & Bayuseno. 2014. ***Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickel Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian: Mikrografi dan Kekerasan***. Jurnal Teknik Mesin S1. 2(1): 33-39.

3M Advanced Materials Division. 2015. ***3MTM Evaporation Boats, http://technical-ceramics.3mdeutschland.de/en/materials/3m-boron-nitride.***html. Diakses pada 3 Juli 2020 (14:50)