

**PENGARUH TEMPERATUR TUANG PADA PENGECORAN DAUR  
ULANG ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Dalam Menyelesaikan Studi  
Jenjang Program S1 Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*



**Oleh:**

**SYAUQI ARJUNANDA**

**15067075**

**PROGRAM STUDI S1 PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH TEMPERATUR TUANG PADA PENGECORAN DAUR  
ULANG ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN

Nama : Syauqi Arjunanda  
NIM/BP : 15067075/2015  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Padang, 25 Agustus 2022

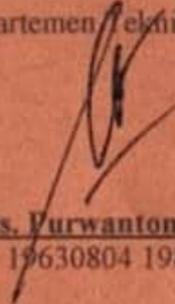
Disetujui Oleh,  
Pembimbing



Zainal Abadi, S.Pd., M.Eng.  
NIP. 19870612 201903 1 006

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin FT-UNP



Drs. Purwantono, M.Pd.  
NIP. 19630804 198603 1 002

## HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Dinyatakan Lulus Setelah Mempertahankan Skripsi di depan Tim Penguji  
Program Studi Pendidikan Teknik Mesin  
Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Padang

Judul :

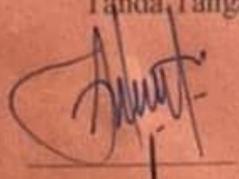
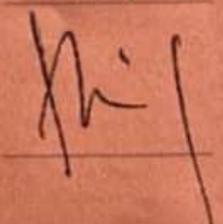
**PENGARUH TEMPERATUR TUANG PADA PENGECORAN DAUR  
ULANG ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN**

Oleh:

Nama : Syauqi Arjunanda  
NIM/BP : 15067075/2015  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Padang, 25 Agustus 2022

Tim Penguji

Nama		Tanda Tangan
1. Ketua	: Zamal Abadi, S.Pd., M.Eng.	1. 
2. Anggota	: Drs. Jasman, M.Kes.	2. 
3. Anggota	: Hendri Nurdin, M.T.	3. 

## SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Syauqi Arjunanda  
NIM/TM : 15067075/2015  
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul:

### **PENGARUH TEMPERATUR TUANG PADA PENGECORAN DAUR ULANG ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali acuan atau kutipan dengan mengikuti penulis yang lazim.

Padang, Agustus 2022

Yang menyatakan,



Syauqi Arjunanda

## ABSTRAK

### **Syauqi Arjunanda (2022) : Pengaruh Temperatur Tuang pada Pengecoran Daur Ulang Aluminium terhadap Nilai Kekerasan**

Limbah dari aluminium sangat banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari yang belum diolah dengan baik. Banyaknya penggunaan aluminium dalam kehidupan sehari-hari itu akan membuat limbah aluminium semakin banyak. Jika hal ini tidak di tangani dengan cepat maka limbah ini akan memberikan dampak yang buruk bagi lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi temperatur tuang pada pengecoran daur ulang aluminium terhadap nilai kekerasan dengan pengecoran menggunakan cetakan pasir. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian kuantitatif Ekperimen yang merupakan penelitian yang dimaksudkan untuk mengetahui ada tidaknya akibat dari sesuatu yang diberikan kepada objek. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini adalah dengan metode dokumentasi, observasi dan eksperimen langsung. Hasil penelitian dianalisis menggunakan ANOVA. Aluminium bekas sepatu kampas rem sepeda motor digunakan sebagai bahan utama dalam penelitian ini. Parameter yang digunakan dalam pengecoran adalah temperatur tuang dengan variasi 670 °C, 720 °C, dan 750 °C. Pengujian kekerasan yang dilakukan menggunakan alat Vickers Hardness Tester. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material. Hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada temperatur 670 °C didapatkan nilai rata-rata 84,70 HVN, lalu pada temperatur 720 °C mengalami kenaikan sampai 95,71 HVN, dan pada temperatur 750 °C didapatkan nilai kekerasan rata-rata 103,56 HVN. Berdasarkan nilai tersebut dapat dilihat bahwa seiring dengan kenaikan temperatur tuang maka nilai kekerasan mengalami kenaikan.

**Kata kunci:** Pengecoran Aluminium, Temperatur Tuang, Uji Kekerasan, Cetakan Pasir, Daur Ulang

## KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah Subhaanahu Wa Ta'ala yang telah senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah beserta karunia sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“PENGARUH TEMPERATUR TUANG PADA PENGECORAN DAUR ULANG ALUMINIUM TERHADAP NILAI KEKERASAN”**. Shalawat dan salam semoga selalu dilimpahkan Allah Subhaanahu Wa'Ta'ala kepada junjungan umat Islam sedunia yakni Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang penuh cahaya ilmu pengetahuan, aqidah dan berakhlak baik.

Skripsi ini bertujuan untuk menjelaskan pengaruh variasi temperatur tuang pada pengecoran daur ulang aluminium terhadap nilai kekerasan. Selama penulisan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan, bimbingan dan perhatian dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis.
2. Kedua orang tua yang selalu mendorong dan mendoakan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Zainal Abadi, S.Pd, M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

4. Bapak Drs. Jasman, M.Kes., selaku Dosen Peninjau I sekaligus Penasehat Akademik.
5. Bapak Hendri Nurdin, M.T., selaku Dosen Peninjau II dan Sekertaris Departemen Teknik Mesin FT UNP.
6. Bapak Drs. Purwantono, M.Pd., selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
7. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Mesin FT UNP yang telah membimbing penulis selama menuntut ilmu.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini banyak terdapat kekurangan mengingat keterbatasan pengetahuan penulis dan hambatan-hambatan yang dialami dalam memperoleh sumber dan bahan. Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun untuk perbaikan dimasa yang akan datang.

Padang, Agustus 2022.

Syauqi Arjunanda  
NIM.15067075

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah .....	3
C. Batasan Masalah .....	4
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Pengecoran Logam .....	6
B. Pengecoran Cetakan Pasir ( <i>Sand Casting</i> ) .....	9
C. Temperatur Tuang .....	11
D. Aluminium.....	12
E. Uji Vickers.....	18
F. Metode <i>Analysis Of Variance</i> (ANOVA).....	19

G. Penelitian Relevan .....	22
-----------------------------	----

### **BAB III METODE PENELITIAN**

A. Jenis Penelitian .....	26
B. Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	26
C. Alat dan Bahan .....	27
D. Diagram Alir penelitian.....	28
E. Prosedur Penelitian.....	29
F. Instrumen Pengumpulan Data .....	33
G. Teknik Analisa Data .....	34

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil Pengecoran .....	35
B. Data Hasil Pengujian .....	35
C. Uji Analisis Anova .....	37
D. Pembahasan Hasil Pengujian.....	40
E. Pembahasan Hasil ANOVA .....	41

### **BAB V PENUTUP**

A. Kesimpulan.....	43
B. Saran .....	44

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Garis besar kelompok pengecoran logam .....	7
Gambar 2. Bagian-bagian Cetakan .....	9
Gambar 3. Mesin Uji Kekerasan Vickers .....	18
Gambar 4. Skema Pengujian <i>Vickers Hardness</i> .....	19
Gambar 5. Rata-rata Kekuatan Impak Terhadap Variasi Permeabilitas dan Temperatur Tuang .....	23
Gambar 6. Hasil Uji Kekerasan Pada Material Al Rongsok.....	25
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian. ....	28
Gambar 8. Jejak Tekan Microvickers .....	32
Gambar 9. Hasil Pengecoran .....	35
Gambar 10. Grafik Hasil Uji Kekerasan .....	37
Gambar 11. Grafik Rata-rata Kekerasan Hasil Pengecoran Aluminium dengan Variasi Temperatur Tuang .....	41

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Sifat-sifat Fisik dan Kimia dari Aluminium .....	14
Tabel 2. Model <i>Microvickers Hardness Tester</i> .....	31
Tabel 3. Pengujian Nilai Kekerasan.....	33
Tabel 4. Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers .....	36
Tabel 5. Uji Normalitas.....	38
Tabel 6. Uji Homogenitas .....	38
Tabel 7. Hasil ANOVA.....	39

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Aluminium merupakan logam *non ferro* yang sangat banyak digunakan dibidang industri. Aluminium adalah logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik, rendah dalam densitas, mudah dibentuk dan memiliki daya konduktivitas yang tinggi, sebagai penghantar panas yang baik maupun pada listrik.

Limbah dari aluminium sangat banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari seperti kaleng minuman, komponen otomotif, pesawat, kereta api, perabot rumah tangga yang belum diolah dengan baik. Banyaknya penggunaan aluminium dalam kehidupan sehari-hari itu akan membuat limbah aluminium semakin banyak. Jika hal ini tidak di tangani dengan cepat maka limbah ini akan memberikan dampak yang buruk bagi lingkungan. Maka perlu dilakukan pemanfaatan dari limbah aluminium menjadi produk yang memiliki nilai jual dengan melakukan *remelting* atau daur ulang aluminium bekas.

Daur ulang aluminium sangatlah menguntungkan dari segi ekonomis, daur ulang aluminium lebih murah karena jika mengekstrak logam ini dari bijih aluminium sangatlah mahal, mencemari lingkungan, mengkonsumsi sejumlah besar energi, dan aluminium daur ulang menjadi bagian dari siklus yang dapat terjadi berulang-ulang tanpa kehilangan sifat-sifatnya (Fasya & Iskandar, 2015).

Penggunaan aluminium bekas dapat menjadi alternatif bahan baku produksi pada industri pengecoran logam, hal ini dapat mendorong perkembangan usaha-usaha penampungan logam bekas dan pertumbuhan komoditas perdagangan. Keuntungan dari pemanfaatan aluminium bekas adalah menekan atau mengurangi biaya produksi, di sisi lain produk yang dihasilkan akan memiliki kualitas yang menurun. Banyaknya penggunaan aluminium di bidang industri tidak lepas dari teknologi pengecoran logam.

Saat ini masih banyak produk dari hasil pengecoran aluminium yang belum dikelola dengan baik, contohnya seperti handle rem sepeda motor yang masih mudah patah, gagang pintu aluminium yang masih mudah patah dan masih banyak lainnya. Maka diperlukan pengolahan dengan baik agar produk memiliki kualitas yang baik pula contohnya dengan memperhitungkan temperatur tuang pada saat melakukan pengecoran.

Pengecoran (*casting*) adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Dimana bahan dalam kondisi cair dituang atau dicetak dengan ditekan dalam sebuah rongga cetakan dengan bentuk tertentu dan dibiarkan sampai berubah menjadi padat atau membeku. Pengecoran sendiri merupakan proses dimana logam dicairkan pada suhu tertentu dan dicetak menggunakan cetakan untuk menghasilkan produk dengan bentuk yang mendekati bentuk produk jadi (Kurniawan, dkk., 2014: 55).

Temperatur tuang adalah salah satu unsur penting yang harus diperhatikan dalam memproduksi produk pengecoran yang berkualitas, karena faktor ini sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil coran meliputi struktur mikro dan sifat mekanis sehingga didapatkan hasil coran yang mempunyai sifat fisik yang baik. Temperatur tuang yaitu variabel yang sangat penting karena jika temperatur tuang terlalu rendah maka rongga cetakan tidak akan terisi penuh dimana logam cair akan membeku terlebih dahulu pada saluran masuk, dan jika temperatur tuang lebih tinggi maka hal ini akan mengakibatkan penyusutan dan kehilangan akan keakuratan dimensi coran (Wijaya, dkk 2017).

Temperatur penuangan pada proses pengecoran merupakan hal yang sangat penting, karena berpengaruh terhadap hasil produk coran. Temperatur tuang yang terlalu tinggi tidak akan memberikan hasil coran yang baik begitu pula temperatur aluminium yang rendah, justru akan meningkatkan resiko cacat coran akibat proses solidifikasi yang cepat sebelum aluminium cair memenuhi rongga cetakan.

Dari permasalahan diatas penulis ingin melakukan kajian tentang pengaruh temperatur tuang pada pengecoran logam dan memanfaatkan limbah dari aluminium menjadi suatu produk yang bernilai ekonomis dan bisa digunakan kembali dalam bentuk dan fungsi yang berbeda. Data hasil pengujian akan di analisis menggunakan ANOVA. Berdasarkan situasi diatas, maka peneliti mengangkat judul **“Pengaruh Temperatur Tuang pada Pengecoran Daur Ulang Aluminium terhadap Nilai Kekerasan”**

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, dapat didefinisikan permasalahan sebagai berikut :

1. Banyaknya penggunaan aluminium menimbulkan banyaknya limbah aluminium yang mencemari lingkungan.
2. Pengolahan aluminium bekas yang belum optimal.

## **C. Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini akan dibatasi pada permasalahan 1 dan 2 :

1. Banyaknya penggunaan aluminium menimbulkan banyaknya limbah aluminium yang mencemari lingkungan.
2. Pengolahan aluminium bekas yang belum optimal.

## **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan pembatasan masalah diatas, masalah dalam penelitian dapat di rumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur tuang pada pengecoran daur ulang aluminium terhadap nilai kekerasan?
2. Bagaimana proses analisis data hasil pengujian nilai kekerasan dalam pengecoran daur ulang aluminium dengan variasi temperatur tuang menggunakan analisis ANOVA?

## **E. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur tuang pada pengecoran daur ulang aluminium terhadap nilai kekerasan.

2. Mengetahui proses analisis data hasil pengujian kekerasan dalam pengecoran daur ulang aluminium dengan variasi temperatur tuang menggunakan analisis ANOVA.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka dapat dirumuskan manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menambah pengetahuan tentang pemanfaatan aluminium bekas.
2. Menambah pengetahuan tentang teknologi pengecoran khususnya logam aluminium.
3. Menambah pengetahuan tentang pengaruh variasi temperatur tuang .
4. Data-data hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan untuk penelitian-penelitian selanjutnya berkenaan dengan masalah hasil pengecoran logam aluminium bekas.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

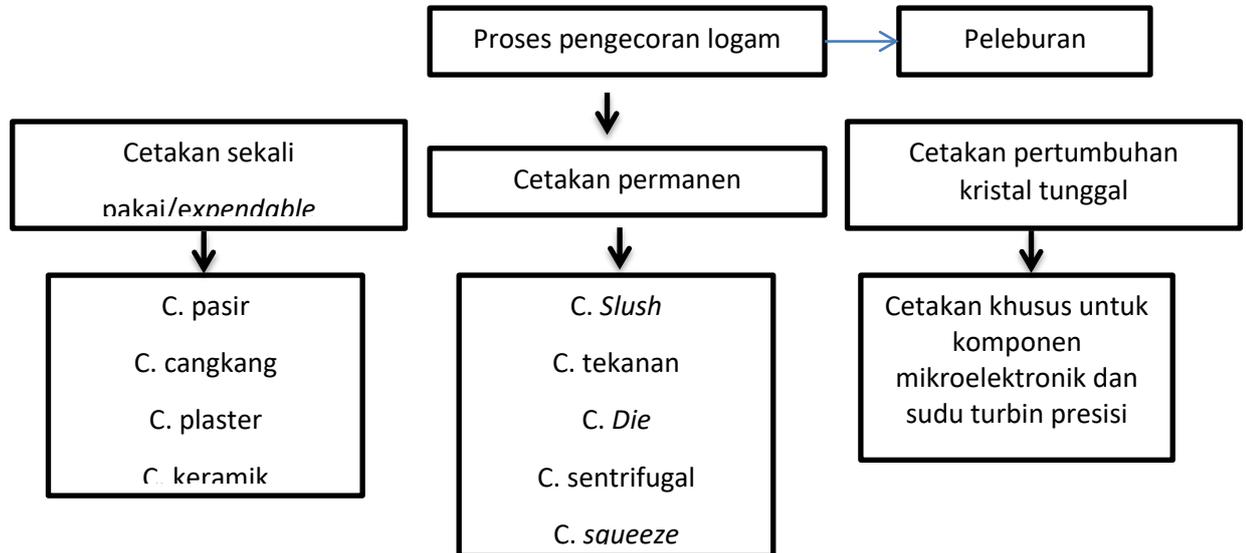
#### **A. Pengecoran Logam**

Pengecoran logam adalah suatu proses pembuatan benda dengan mencairkan logam dan menuangkan cairan logam tersebut kedalam rongga cetakan dimana bentuk dan pola cetakan sudah dibuat sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Kemudian dibiarkan membeku dan membentuk suatu produk sesuai dengan pola cetakan yang dibuat (Kadek Indra, dkk, 2017).

Proses pengecoran logam juga merupakan seni pengolahan logam menjadi bentuk benda kerja yang paling tua dan mungkin sebelum pembentukan dengan panyayatan (*chipping*) dilakukan. Sebagai mana ditemukan dalam artifacts kuno menunjukkan bukti keterampilan yang luar biasa dalam pembentukan benda dari bahan logam dengan menuangkan logam yang telah dicairkan (*molten metals*) kedalam cetakan pasir khusus menjadi bentuk tertentu. Pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir juga merupakan teknologi yang menuangkan larutan cair dari logam secara hati-hati kedalam cetakan pasir yang sudah dipersiapkan dengan hasil yang mendekati sempurna (Sudjana, 2008).

Pada pengecoran logam, dibutuhkan pola yang merupakan tiruan dari benda yang hendak dibuat dengan pengecoran. Pola dapat terbuat dari logam, kayu, stereofom, lilin, dan sebagainya. Pola mempunyai ukuran sedikit lebih besar dari ukuran benda yang akan dibuat dengan maksud untuk mengantisipasi penyusutan selama pendinginan dan pengerjaan finishing.

Gambar dibawah menunjukkan garis besar proses pengecoran

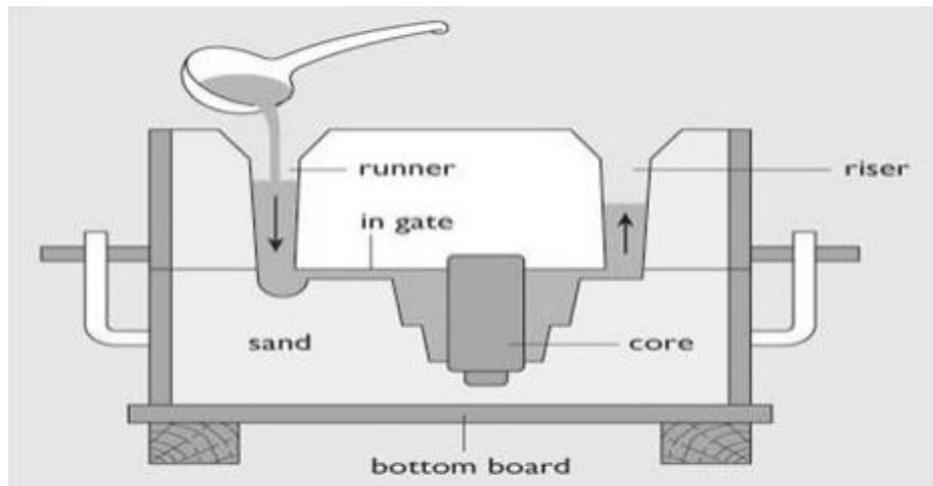


Gambar 1. Garis besar kelompok pengecoran logam  
(Sumber : Eko Marsyahyo, 2009)

Klasifikasi proses pengecoran logam berdasarkan cetakan, ada pengecoran dengan sekali pakai (*expendable Mold*) dan ada pengecoran dengan cetakan permanen (*permanent Mold*). Cetakan pasir termasuk dalam *expendable mold*. Karena hanya bisa digunakan satu kali pengecoran saja, setelah itu cetakan tersebut rusak saat pengambilan benda coran. Dalam pembuatan cetakan, jenis-jenis pasir yang digunakan adalah pasir silika, pasir zircon atau pasir hijau. Sedangkan perekat antar butir-butir pasir dapat digunakan, bentonit, resin, furan atau air gelas.

Secara umum cetakan harus memiliki bagian-bagian utama sebagai berikut:

1. *Cavity* (rongga cetakan), merupakan ruangan tempat logam cair yang dituangkan kedalam cetakan. Bentuk rongga ini sama dengan benda kerja yang akan dicor. Rongga cetakan dibuat dengan menggunakan pola.
2. *Core* (inti), fungsinya adalah membuat rongga pada benda coran. Inti dibuat terpisah dengan cetakan dan dirakit pada saat cetakan akan digunakan.
3. *Gating* sistem (sistem saluran masuk), merupakan saluran masuk kerongga cetakan dari saluran turun.
4. *Sprue* (Saluran turun), merupakan saluran masuk dari luar dengan posisi vertikal. Saluran ini juga dapat lebih dari satu, tergantung kecepatan penuangan yang diinginkan.
5. *Pouring basin*, merupakan lekukan pada cetakan yang fungsi utamanya adalah untuk mengurangi kecepatan logam cair masuk langsung dari *ladle* ke *sprue*. Kecepatan aliran logam yang tinggi dapat terjadi erosi pada *sprue* dan terbawanya kotoran-kotoran logam cair yang berasal dari tungku kerongga cetakan.
6. *Riser* lubang pengeluaran yang disediakan untuk mengalirnya sisa lelehan logam logam cair dari dalam cetakan.



Gambar 2. Bagian-bagian Cetakan

Untuk membuat coran harus melalui proses pembuatan model pencairan logam, penuangan cairan logam ke model, membongkar, membersihkan dan memeriksa coran. Pencairan logam dapat dilakukan dengan bermacam-macam cara, misal dengan tanur induksi (tungku listrik di mana panas diterapkan dengan pemanasan induksi logam), tanur kupola (tanur pelebur dalam pengecoran logam untuk melebur besi tuang kelabu), atau lainnya. Cetakan biasanya dibuat dengan memadatkan pasir yang diperoleh dari alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Cetakan pasir mudah dibuat dan tidak mahal. Cetakan dapat juga terbuat dari logam, biasanya besi dan digunakan untuk mengecor logam-logam yang titik leburnya di bawah titik lebur besi.

### **B. Pengecoran Cetakan Pasir (*Sand Casting*)**

Teknik pengecoran mempunyai beberapa metode dan salah satunya adalah metode cetakan pasir (*sand casting*). Pengecoran dengan metode ini masih banyak dipakai karena memiliki banyak keuntungan salah satunya biaya

yang relatif lebih murah dan dapat memproduksi dengan kapasitas yang banyak.

*Sand casting* adalah proses pengecoran logam untuk membuat suatu benda kerja atau komponen dengan metode penuangan logam cair kedalam cetakan pasir. Proses pembentukan benda kerja dengan metoda penuangan logam cair kedalam cetakan pasir (*sand casting*), secara sederhana cetakan pasir ini dapat diartikan sebagai rongga hasil pembentukan dengan cara mengikir berbagai bentuk benda pada bongkahan dari pasir yang kemudian rongga tersebut diisi dengan logam yang telah dicairkan melalui pemanasan (Sudjana, 2008: 145).

Pengecoran *sand casting* paling banyak digunakan dalam produksi pengecoran dikarenakan metode ini merupakan metode yang paling kuno tetapi mempunyai banyak keunggulan seperti:

1. Dapat mencetak logam dengan titik lebur yang tinggi seperti baja, nikel dan titanium.
2. Dapat memproduksi benda cor dengan dimensi dari yang ukuran kecil hingga ukuran besar serta panjang seperti pengecoran untuk pembuatan baling-baling kapal dan rel kereta api.
3. Dapat memproduksi banyak dengan cetakan yang banyak pula. Pembuatan benda cor dengan metode sand casting harus dilakukan dengan banyak pertimbangan dan perencanaan yang baik untuk menghasilkan produk hasil pengecoran mempunyai kualitas yang baik dengan sedikit terjadi cacat.

Pengecoran dengan cetakan pasir (*sand casting*) merupakan metode yang banyak digunakan pada industri pengecoran aluminium. Selain membutuhkan biaya yang cukup relatif sedikit juga dapat membuat desain yang bentuknya agak rumit. Pengecoran cetakan pasir merupakan proses produksi yang diawali dengan menuangkan logam cair ke dalam sistem saluran dan selanjutnya logam cair akan mengisi seluruh rongga cetakan. Sistem saluran cetakan pasir merupakan bagian yang sangat penting dalam pembuatan produk cetakan pasir. Hal ini dikarenakan sistem saluran merupakan jalan masuk logam cair ke dalam rongga cetak pada cetakan pasir. Sistem saluran pada pengecoran cetakan pasir terdiri dari *pouring basin*, *sprue*, *runner*, *gate*, dan *riser* (Surdia dan Chijiwa, 1976).

Cetakan pasir untuk pembentukan benda tuangan melalui pengecoran harus dibuat dan dikerjakan sedemikian rupa dengan bagian-bagian yang lengkap sesuai dengan bentuk benda kerja sehingga diperoleh bentuk yang sempurna sesuai dengan yang kita kehendaki.

### **C. Temperatur Tuang**

Temperatur tuang adalah salah satu unsur penting yang harus diperhatikan dalam memproduksi produk pengecoran yang berkualitas tinggi, karena faktor ini sangat berpengaruh terhadap kualitas coran yang meliputi mikro struktur dan sifat mekanis sehingga didapatkan hasil coran yang mempunyai sifat fisik yang baik. Temperatur tuang merupakan salah satu variabel dari sekian banyak variabel yang terdapat pada proses pengecoran. Variabel ini penting karena jika temperatur tuang terlalu rendah maka rongga

cetakan tidak akan terisi penuh dimana logam cair akan membeku terlebih dahulu pada saluran masuk, dan jika temperatur tuang terlalu tinggi maka hal ini akan mengakibatkan penyusutan dan kehilangan akan keakuratan dimensi coran (Wijaya, dkk 2017: 220).

#### **D. Aluminium**

Aluminium adalah salah satu logam yang terkenal ringan dan memiliki sifat-sifat yang penting seperti, sifat ringan, dan cenderung memiliki ketahanan korosi, Kekuatan tarik yang cukup tinggi, dan mempunyai sifat penghantar panas yang cukup baik menjadi alasan aluminium dipakai di berbagai industri.

Aluminium merupakan salah satu bahan teknik yang penting dari jenis logam Non-ferro karena secara umum aluminium memiliki sifat yang dapat memenuhi syarat dari berbagai sifat produk komponen atau peralatan teknik, yang sangat spesifik dari sifat aluminium ialah berat jenisnya yang rendah yakni hanya  $2,702 \text{ kg/dm}^3$ , memiliki sifat ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh korosi *atmospheric* serta sifat yang lain dan yang sangat penting dari aluminium ini ialah sifat *thermal* dan *electrical conductivity* yang ditandai dengan lapisan yang mengkilat jika dipoles serta cepatnya perambatan panas pada aluminium ini (Sudjana, 2008).

##### **1. Unsur- unsur Aluminium**

Bauksit dimurnikan melalui proses *Bayer*, yang mengambil manfaat dari fakta bahwa oksida alumina amfoter larut dalam basa kuat tetapi besi (III) oksida tidak. Bauksit mentah dilarutkan dalam natrium hidroksida

$\text{Al}_2\text{O}_3 (\text{s}) + 2 \text{OH} (\text{aq}) + 3 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow 2 \text{Al}(\text{OH})_4 (\text{aq})$ . Dan dipisahkan dari besi oksida terhidrasi serta zat asing tak larut lainnya dengan penyaringan (Oxtoby, 2003).

Aluminium mempunyai berat jenis (2,6-2,7)  $\text{gr/cm}^3$  dengan titik cair sebesar  $659^\circ\text{C}$ . Aluminium adalah logam lunak, dan lebih keras dari pada timah putih, tetapi lebih lunak dari pada seng. Warna dari aluminium adalah putih kebiru-biruan.

Aluminium dapat dihasilkan melalui proses elektrolisis. Proses elektrolisis yang dikembangkan untuk produksi industrial adalah proses elektrolisis *Hall-Heroult*. Proses tersebut merupakan elektrolisis larutan alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) di dalam lelehan kriolit ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) pada temperatur  $960^\circ\text{C}$  sehingga dihasilkan aluminium cair.

## 2. Sifat-sifat Aluminium

Sifat-sifat penting yang dimiliki aluminium sehingga banyak digunakan sebagai material teknik:

- a. Berat jenisnya ringan
- b. Tahan korosi
- c. Penghantar listrik dan panas yang baik
- d. Mudah di fabrikasi/ di bentuk
- e. Kekuatannya rendah, tetapi pemaduan (*alloying*) kekuatannya bisa ditingkatkan.

Sifat fisik suatu logam adalah keadaan logam apabila mengalami peristiwa fisika. Sifat mekanis suatu logam adalah kemampuan bahan

untuk menahan beban, baik beban secara statis maupun dinamis atau berubah-ubah pada berbagai keadaan, baik suhu tinggi maupun dibawah nol derajat. Sifat mekanis logam berupa kekenyalan, kekuatan, keuletan, kekerasan, kegetasan, ketahanan aus, batas penjalaran dan kekuatan tekan. Adapun sifat-sifat fisik dan mekanis dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Sifat-sifat Fisik dan Kimia dari Aluminium

<b>Sifat fisik</b>	
Wujud	Padat
Nomor Atom	13
Nomor Massa	26,9815
Bentuk Kristal (25 °C)	Kubus Pusat Muka
<i>Density</i>	2,699 g/cm <sup>3</sup>
Struktur Atom Terluar	3S23P1
Massa Jenis	2,70 g/cm <sup>3</sup>
Massa Jenis Wujud Cair	2,373 g/cm <sup>3</sup>
Titik Lebur	660,32 °C
Titik Didih	2519 °C
Panas Peleburan	94,6 kal/g
Panas Jenis	0,280 kal/g °C

### 3. Paduan Aluminium

Aluminium murni masih terlalu lunak dan lemah, terutama kekuatan dan kekerasannya yang rendah sehingga belum dapat digunakan di dunia teknik. Adanya paduan diharapkan dapat memperbaiki sifat kekurangan dari aluminium. Meskipun demikian terkadang sifat korosi dan keuletannya yang berkurang. Unsur paduan aluminium adalah tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium. Paduan aluminium (Al) diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Klasifikasi yang terkenal dan sempurna adalah standar *Aluminium Association* di Amerika (AA) yang didasarkan pada standar terdahulu dari *Alcoa (Aluminium Company of America)*.

Aluminium murni relatif lunak dan penambahan unsur paduan dapat meningkatkan sifat mekanisnya. Pengelompokan paduan Al didasarkan pada jenis unsur paduan dengan menggunakan sistem 4 digit dimana digit pertama menunjukkan kelompok aluminium, digit kedua menunjukkan modifikasi dari paduan aslinya atau Batas unsur pengotor dan 2 digit terakhir menunjukkan kemurnian aluminium.

Hal-hal yang mempengaruhi sifat-sifat paduan aluminium antara lain adalah unsur-unsur sebagai berikut :

a. Silikon (Si)

Unsur Si dalam paduan aluminium mempunyai pengaruh positif:

- 1) Mempermudah proses pengecoran

- 2) Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
- 3) Memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran
- 4) Menurunkan penyusutan dalam hasil cor

Pengaruh negatif yang ditimbulkan unsur Si berupa

- 1) Penurunan keuletan bahan terhadap beban kejut
- 2) Hasil cor akan rapuh jika kandungan Si terlalu tinggi

b. Tembaga (Cu)

Pengaruh baik yang ditimbulkan oleh unsur Cu :

- 1) Meningkatkan kekerasan bahan
- 2) Memperbaiki kekuatan tarik
- 3) Mempermudah proses pengerjaan dengan mesin

Pengaruh buruk yang akan ditimbulkan oleh unsur Cu:

- 1) Menurunkan daya tahan terhadap korosi
- 2) Menurangi keuletan bahan
- 3) Menurunkan kemampuan dibentuk dan dirol

c. Magnesium (Mg)

Magnesium memberikan pengaruh baik yaitu:

- 1) Mempermudah proses penuangan
- 2) Meningkatkan kemampuan pengerjaan mesin
- 3) Meningkatkan daya tahan terhadap kororsi
- 4) Meningkatkan kekuatan mekanis
- 5) Menghaluskan butiran kristal secara efektif

6) Meningkatkan ketahanan beban kejut/impak

Pengaruh buruk yang ditimbulkan oleh unsur Mg:

1) Meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada coran

d. Unsur Besi (Fe)

Pengaruh baik yang dapat ditimbulkan oleh unsur Fe adalah:

1) Mencegah terjadinya penempelan logam cair pada cetakan selama proses penuangan.

Pengaruh buruk yang dapat ditimbulkan unsur paduan ini adalah:

- 1) Penurunan sifat mekanis
- 2) Penurunan kekuatan tarik
- 3) Timbulnya bintik keras pada hasil coran
- 4) Peningkatan cacat pororsitas

#### **4. Aluminium Daur Ulang**

Salah satu keuntungan aluminium adalah, dapat di daur ulang yaitu di cor kembali menjadi produk. Mendaur ulang aluminium hanya mengkonsumsi energi sebesar 5% dari yang digunakan dalam memproduksi aluminium dari bahan tambang. Di Eropa, terutama di negara Skandinavia, 95% aluminium yang beredar merupakan bahan hasil daur ulang. Proses awal daur aluminium berawal dari kegiatan meleburkan sampah aluminium. hal ini akan menghasilkan endapan. Endapan ini dapat di ekstraksi ulang untuk mendapatkan aluminium, dan limbah yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal dan beton karena merupakan limbah yang berbahaya bagi alam (Hafizh dkk, 2009).

## E. Uji Vickers

Uji *vickers* ini didasarkan kepada penekanan oleh suatu gaya tekan tertentu oleh sebuah *indentor* berupa *pyramid diamond* terbalik yang memiliki sudut puncak permukaan logam yang diuji kekerasannya, dimana permukaan logam yang diuji ini harus rata dan bersih.

Setelah gaya tekan secara statis ini kemudian ditiadakan dan *pyramid diamond* dikeluarkan dari bekas yang terjadi (permukaan bekas merupakan segi empat karena piramid merupakan piramid sama sisi), maka diagonal segi empat bekas teratas diukur secara teliti untuk kemudian digunakan sebagai kekerasan logam yang diuji.



Gambar 3. Mesin Uji Kekerasan *Vickers*  
(Sumber: Hasil Dokumentasi Penelitian)

Nilai kekerasan yang diperoleh sedemikian itu disebut kekerasan *vickers* yang biasa disingkat dengan Hv atau HVN (*Vicker Hardness Number*).

Untuk memperoleh nilai kekerasan *vickers* maka hasil penekanan yang diperoleh dimasukkan kedalam rumus:

$$HVN = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{d^2} = \frac{1,854 P}{d^2}$$

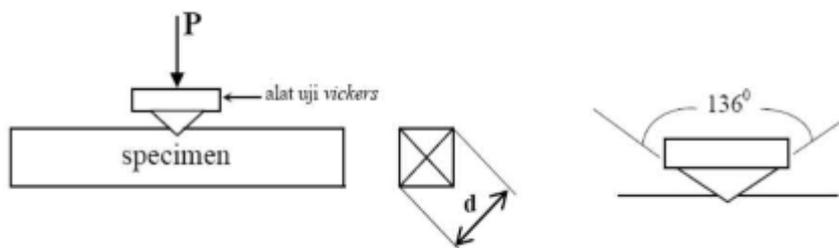
Dengan :

P = beban yang digunakan (kg)

D = panjang diagonal rata- rataa (mm)

$\Theta$  = sudut antara permukaan intan yang berhadapan =  $136^\circ$

Pada penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan mikro *Vickers*. Pengujian mikro *Vickers* adalah metode pengujian kekerasan dengan pembebanan yang relatif kecil yang sulit dideteksi oleh metode pengujian makro *Vickers*. Prinsip pengujian mikro *Vickers* adalah dengan menekankan penetrator pada permukaan benda uji sehingga pembebanan yang dibutuhkan juga relatif kecil yaitu berkisar antara 10-1000 kgf.



Gambar 4. Skema Pengujian *Vickers Hardness*

## F. Metode *Analisis Of Variance* (ANOVA)

ANOVA atau analisis variasi adalah teknik perhitungan yang memungkinkan secara kuantitatif memperkirakan kontribusi dari setiap faktor pada semua pengukuran respon. Analisis varians yang digunakan pada desain parameter berguna untuk mengidentifikasi kontribusi faktor, sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Analisis varians dilakukan dengan perhitungan yang berdasarkan jumlah kuadrat (*sum of square*) pada masing-masing kolom (Soejanto, 2009).

Pada analisis dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data yaitu meliputi pengumpulan data, pengaturan data, perhitungan serta penyajian data dalam suatu *lay out* tertentu yang sesuai dengan desain yang dipilih untuk suatu percobaan yang dipilih. Selain itu dilakukan perhitungan dan penyajian data dengan statistik analisis variansi, tes hipotesa dan penerapan rumus-rumus empiris pada data hasil percobaan. Langkah – langkah analisa data taguchi (Yang & El-haik, 2003):

### 1. Perhitungan Tabel Respon

Nilai respon yang dihasilkan dari rata-rata setiap faktor.

$$A_1 = \frac{\sum \text{rata-rata level 1 pada faktor A}}{n \text{ level}} \dots\dots\dots (2.2)$$

### 2. Perhitungan Jumlah Kuadrat Total atau *Sum of Square* ( $SS_{total}$ )

Jumlah kuadrat untuk regression yang diperoleh dari nilai penjumlahan kuadrat.

$$SS_{total} = \sum y^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

3. Perhitungan *Sum of Square due to Mean* (Jumlah kuadrat terhadap rata-rata atau  $SS_{mean}$ )

Jumlah kuadrat untuk regression yang diperoleh dari nilai penjumlahan kuadrat dari hasil nilai rata-rata.

$$SS_{mean} = n \times (\bar{y})^2 \dots\dots\dots (2.4)$$

4. Perhitungan *Sum of Square due to Factors* (Jumlah Kuadrat Faktor atau  $SS_A$ )

$$SS_A = ((A1)^2 \times n1) + ((A2)^2 \times n2) + ((A3)^2 \times n3) - SS_{mean} \dots\dots\dots (2.5)$$

5. Merumuskan Hipotesis Awal  
6. Membuat Tabel ANOVA nilai Rata – rata

- a. Menentukan Derajat Kebebasan

$$DF_{factor} = (number\ of\ levels - 1) \dots\dots\dots (2.6)$$

- b. Menentukan Derajat Kebebasan Total

$$DF_{total} = (number\ of\ experiment - 1) \dots\dots\dots (2.7)$$

- c. Menghitung *Mean Sum of Square* (Rata – rata Jumlah Kuadrat)

$$MS_{factor} = \frac{SS_A}{DF_A} \dots\dots\dots (2.8)$$

- d. Menghitung Nilai Rasio (F-Ratio)

$$F_{factor} = \frac{MS_A}{MS_e} \dots\dots\dots (2.9)$$

- e. Menghitung *Pure Sum of Square* Pada Masing-Masing Faktor ( $SS'_A$ )

$$SS'_A = SS_A - (DF_A \times MSe) \dots\dots\dots (2.10)$$

- f. Menghitung *Percent Contribution* (Rho%) masing-masing faktor

$$Rho\% A = \frac{SS'_A}{SST} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

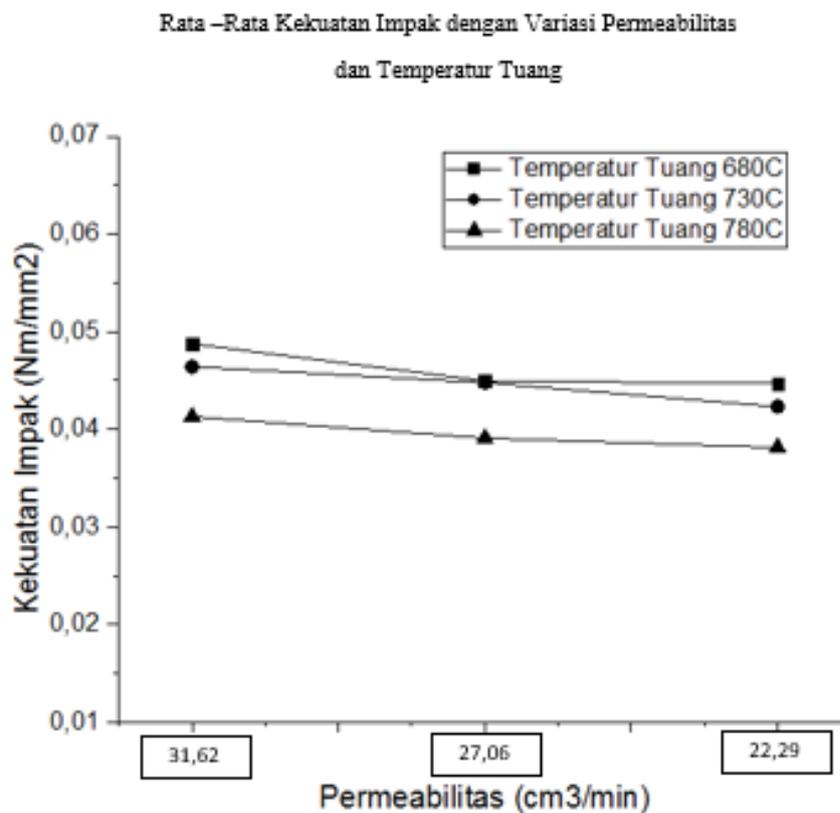
## G. Penelitian Relevan

Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini dan menjadi referensi penulis adalah:

1. Penelitian yang dilakukan Kadek Indra Adhi Y, I Ketut Gede Sugita dan A A I A S Komaladewi. “ **Pengaruh Permeabilitas dan Temperatur Tuang Terhadap Kekuatan Impak dan Struktur Mikro Hasil Coran Aluminium Silikon (Al-7%Si)**”. Hasil penelitian ini untuk memahami pengaruh permeabilitas dan temperatur tuang terhadap sifat impak melalui uji ketangguhan dan struktur mikro pada hasil coran (Al-7%Si) dengan menggunakan metode *sand casting*. Pasir yang digunakan untuk pengecoran spesimen uji adalah pasir silika. Pasir yang digunakan untuk percobaan ini mempunyai ukuran 0,180, 0,250 dan 0,315. Dalam pengecoran menggunakan variasi temperatur tuang 680 °C, 730 °C dan 780 °C.

Berdasarkan hasil uji impak menunjukkan rata-rata kekuatan impak pada benda uji dengan variasi permeabilitas P1 atau dengan nilai permeabilitasnya 31.62 cm<sup>3</sup>/min dan temperatur tuang 680 °C yaitu 0.048736 Nm/mm<sup>2</sup>, dan pada temperatur tuang 730 °C yaitu 0.046423Nm/mm<sup>2</sup>, dan pada temperatur tuang 780 °C yaitu 0.04129 Nm/mm<sup>2</sup>. Jika dilihat dari variasi permeabilitas lainnya pada hasil pengujian didapati hasil bahwa semakin besar angka permeabilitasnya maka semakin besar angka kekuatan impaknya ini dipengaruhi oleh udara atau gas-gas yang terperangkap dalam cetakan bisa lebih mudah dialiri

pada variasi permeabilitas  $31,62 \text{ cm}^3/\text{min}$  sehingga akan mengurangi tingkat kecacatan dan angka kekuatan material. Nilai rata-rata kekuatan dampak terhadap variasi permeabilitas dan temperatur tuang dapat dilihat pada Gambar 6 dibawah:



Gambar 5. Rata-rata Kekuatan Impak Terhadap Variasi Permeabilitas dan Temperatur Tuang

Terlihat Gambar 6 mempunyai kesimpulan bahwa temperatur tuang berpengaruh terhadap penurunan angka kekuatan dampak.

- Penelitian yang dilakukan Wijaya, dkk, menyatakan bahwa penelitian menggunakan variasi temperatur  $660 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $700 \text{ }^\circ\text{C}$  dan  $740 \text{ }^\circ\text{C}$  dengan menggunakan bahan aluminium paduan dan skrap aluminium dengan komposisi kimia. Penelitian ini bahwa dari tiga variasi temperatur tuang

yang dilakukan, berpengaruh terhadap nilai ketangguhan impak dan struktur mikro hasil coran dan semakin tinggi temperatur tuang maka nilai ketangguhan impaknya juga semakin meningkat. Struktur mikro yang terbentuk dari logam paduan aluminium coran secara umum memiliki bentuk struktur mikro berupa struktur dendrite.

3. Penelitian yang dilakukan Taufik Hidayat dan Mastiadi Tamjidillah.”

**Pengaruh Temperatur Tuang dengan Jenis Material Al Paduan (Rongsok Wajan) Terhadap Kekerasan Hasil Pengecoran**

**Evaporative”** Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh

temperatur tuang material Al (scrap) wajan terhadap uji kekerasan hasil

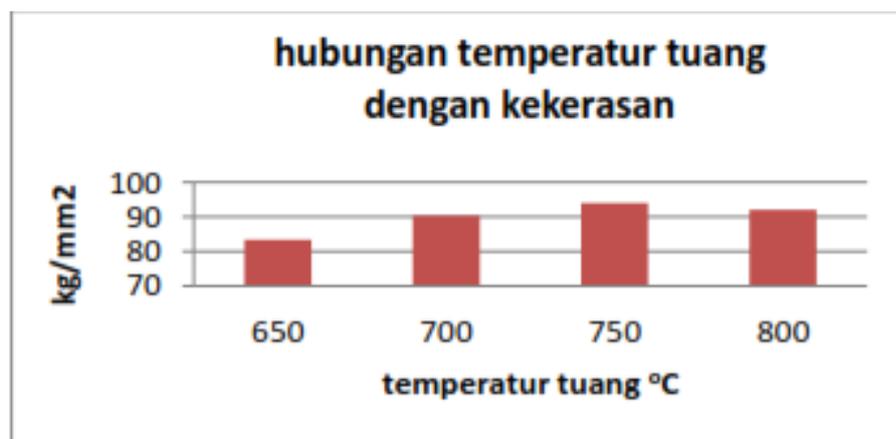
pengecoran evaporative. Material rongsok wajan dilebur dalam tungku

krusibel kemudian dituang dengan temperatur (650, 700, 750, dan 800) °C

dalam cetakan selanjutnya ditunggu dalam pasir cetak dengan waktu

tunggu 20 menit. Hasil pengecoran dibuat spesimen dan diuji

dilaboratorium untuk mengetahui porositas dan kekerasan.



Gambar 6. Hasil Uji Kekerasan Pada Material Al Rongsok

Dari Gambar 7 terlihat kenaikan temperatur berpengaruh terhadap kenaikan tingkat kekerasan dari 650°C – 750°C namun turun kembali pada saat temperatur 800 °C, sehingga dapat ditarik kesimpulan yaitu semakin tinggi temperatur tuang maka semakin tinggi nilai kekerasan namun jika terlalu tinggi temperatur tuang juga akan menurunkan nilai kekerasan.

4. Pada penelitian Wijoyo, dkk. “ **Pengaruh Variasi Temperatur Tuang pada Pengecoran Daur Ulang Al-Si Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan dengan Pola *Lost Foam***”. Bahan aluminium dari velg bekas sepeda motor dengan penambah silicon dan menggunakan tiga variasi temperatur tuang. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan bahwa semakin tinggi temperatur tuang pada pengecoran daur ulang Al-Si, maka semakin mengecil matrik Al-Sinya, semakin turun nilai kekerasan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Hasil pengujian dan analisis data hasil pengujian menggunakan ANOVA yang telah dibahas pada bagian sebelumnya, yaitu pengaruh temperatur tuang pada pengecoran daur ulang aluminium terhadap nilai kekerasan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh Temperatur tuang  $670^{\circ}\text{C}$ ,  $720^{\circ}\text{C}$  dan  $750^{\circ}\text{C}$  pada pengecoran daur ulang aluminium terhadap nilai kekerasan hasil pengecoran yaitu semakin tinggi temperatur tuang pada pengecoran aluminium maka semakin besar nilai kekerasan coran. Sehingga variasi temperatur tuang paling baik untuk diaplikasikan pada pengecoran daur ulang aluminium yaitu temperatur tuang  $750^{\circ}\text{C}$ . Pada kajian ini spesimen dengan temperatur tuang  $750^{\circ}\text{C}$  memiliki kekerasan yang paling baik sehingga temperatur tuang  $750^{\circ}\text{C}$  cocok untuk pengecoran daur ulang aluminium dengan kekerasan yang tinggi.
2. Analisis data hasil pengujian menggunakan ANOVA menunjukkan bahwa nilai signifikansi yaitu  $0,000 < 0,05$ . Jika nilai signifikansi  $<$  dari  $0,05$  yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan antara pengecoran menggunakan temperatur tuang  $670^{\circ}\text{C}$ ,  $720^{\circ}\text{C}$  dan  $750^{\circ}\text{C}$ .

**B. Saran**

1. Saat mengerjakan proses peleburan dan pengecoran logam aluminium sebaiknya menggunakan baju dan peralatan safety untuk menghindari adanya kecelakaan kerja.
2. Proses pengujian spesimen sebaiknya menyiapkan spesimen yang lebih dari jumlah spesimen yang akan di uji, guna menghindari kekurangan spesimen akibat gagal uji.
3. Perlu adanya ketelitian dalam proses persiapan spesimen mulai dari proses pengukuran sampai pada tahap pengujian, karena hal ini dapat berpengaruh terhadap data hasil pengujian.
4. Pemotongan spesimen harus diperhatikan sudut pemotongan, untuk mendapatkan permukaan spesimen uji yang datar agar tidak terlalu lama pada proses pengikiran dan pengamplasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, Zaina, Andre Kurniawan, Andril Arafat, Nur Ichsan Abdillah, and Daffa Raihan. 2021. "Analysis of Riser Variations in Recycled Aluminum Sand Casting on Hardness Values." 21(3):213–20.
- Arafat, Andril. 2019. "Effect of Pouring Temperatures on Porosity and Mechanical Properties of Gravity Die Casting Magnesium Alloy." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 602(1). doi: 10.1088/1757-899X/602/1/012093.
- Fasya, Fahmi, and Norman Iskandar. 2015. "Melt Loss Dan Porositas Pada Aluminium Hasil Daur Ulang." *Jurnal Teknik Mesin* 3(1):44–50.
- Hafizh, Dkk. 2009. *Aluminium Murni Dan Paduannya*. Bogor: IPB.
- Hidayat, Taufiq, and Mastiadi Tamjidillah. 2016. "Pengaruh Temperatur Tuang Dengan Jenis Material Al Paduan (Rongsokan Wajan) Terhadap Kekasaran Hasil Pengecoran Evaporative." *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika* 1(1):47–58.
- Huda, Syaiful, Dwi Widjanarko, Sejarah Artikel, Kata Kunci, Sistem Penerangan, and Hasil Belajar. 2020. "Pengaruh Variasi Putaran Cetakan Pengecoran Sentrifugal Tegak Pada Pengecoran Paduan Aluminium Terhadap Ketangguhan Impak Dan Struktur Mikro Pembuatan Velg Gokart." *Journal of Mechanical Engineering Learning* 9(1):1–7.
- Jalinus, Nizwardi, and Rheda Pratama. 2013. "Analisa Kekerasan Dan Struktur Mikro Paduan Seng (ZN) Biodegradable Untuk Aplikasi Implan Biomedis." *Ranah Research* 1(4):966–74.
- Jasman, Jasman. 2018. "Effect of Strong Welding Flow on the Violence of Low Carbon Steel Results of SMAW Welding with Electrodes 7018." *Teknomekanik* 1(1):24–31. doi: 10.24036/tm.v1i1.972.
- Martono, Nanang. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Jakarta: Raja Grafindo Persada.
- Nurdin, Hendri. 2019. *Metalurgi Logam*. Padang: UNP Press.
- Purwanto, Helmy, and Nur Kholis. 2021. "Pengaruh Variasi Temperatur Tuang Pada Pengecoran Daur Ulang Al-Si Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Dengan Pola Styrofoam." *Jurnal Material Dan Proses Manufaktur* 5(1):43–51. doi: 10.18196/jmpm.v5i1.12441.

- Purwanto, Helmy, and A. E. Kurniawan. 2021. "Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Cetakan Pada Sepatu Kampas Rem Berbahan Paduan Aluminium Silikon (Al-Si) Daur Ulang Dengan Penambahan Unsur Titanium (Ti) 0,059%." *Momentum* 6(2):105–9.
- Purwanto, Helmy, and Sri M. B. Respati. 2013. "Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Tuang Pada Pengecoran SQUEEZE Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Produk Sepatu Kampas REM Dengan Bahan Aluminium (Al) Slikon (Si) Daur Ulang." *Momentum* 9(2):10–15.
- Setiawan, Hera. 2014. "Pengujian Kekerasan Dan Komposisi Kimia Produk Cor Propeler Alumunium." *Prosiding SNST Semarang* 4(6):31–36.
- Sudjana, H. 2008. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Sugiyono. 2015. "Metode Penelitian Dan Pengembangan Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif Dan R&D." *Jurnal Pendidikan* 1(2):407.
- Surdia, T., and K. Chijiwa. 1976. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: PT. Pradnya Paramida.
- Syahri, Budi, Zonny Amanda Putra, and Nofri Helmi. 2017. "Analisis Kekerasan Baja ASSAB 705 Yang Diberi Perlakuan Panas Hardening Dan Media Pendingin." *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi* 17(1):17–26.
- Wijaya, Mohammad Tofa, Zubaidi -, and Wijoyo -. 2017. "Pengaruh Variasi Temperatur Tuang Terhadap Ketangguhan Impak Dan Struktur Mikro Pada Pengecoran Aluminium." *Simetris: Jurnal Teknik Mesin* 8(1):219–24. doi: 10.24176/simet.v8i1.933.
- Y, Kadek Indra Adhi, and I. Ketut Gede Sugita. 2017. "Pengaruh Permeabilitas Dan Temperatur Tuang Terhadap Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Hasil Coran Aluminium Silikon (Al-7%Si)." *Teknik Desain Mekanika* 6(2):180–85.