

**PENGARUH LAJU PENDINGINAN HASIL CORAN PRODUK
HAND PRESS KANCING BUNGKUS TERHADAP KEKERASAN
DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENGECORAN ALUMINIUM
MENGUNAKAN CETAKAN PERMANEN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh :

SAKTI TIRTAYASA

D200150211

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH LAJU PENDINGINAN HASIL CORAN PRODUK *HAND PRESS*
KANCING BUNGKUS TERHADAP KEKERASAN
DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENGECORAN ALUMINIUM
MENGUNAKAN CETAKAN PERMANEN**

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

SAKTI TIRTAYASA

D 200 150 211

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Agus Yulianto, S.T., M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH LAJU PENDINGINAN HASIL CORAN PRODUK *HAND PRESS* KANCING BUNGKUS TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENGECORAN ALUMINIUM MENGUNAKAN CETAKAN PERMANEN

OLEH

SAKTI TIRTAYASA

D200150211

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji

Pada hari Jum'at, 20 Desember 2019

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji :

1. Agus Yulianto, S.T., M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Sunardi Wiyono, M.T.
(Anggota 1 Dewan Penguji)
3. Dr. Ir. Ngafwan, M.T.
(Anggota 2 Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan



Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D., IPM

NIK. 682

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbeneran dalam pernyataan saya diatas, maka akan dipertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 6 Desember 2019

Penulis



SAKTI TIRTAYASA
NIM. D200150211

**PENGARUH LAJU PENDINGINAN HASIL CORAN PRODUK *HAND PRESS*
KANCING BUNGKUS TERHADAP KEKERASAN
DAN STRUKTUR MIKRO PADA PENGECORAN ALUMINIUM
MENGUNAKAN CETAKAN PERMANEN**

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju pendinginan pada pengecoran aluminium dengan menggunakan cetakan permanen yang sebelumnya dilakukan variasi preheat dengan temperatur 100°C, 150°C dan 200°C terhadap kekerasan dan struktur mikro. Penelitian ini menggunakan bahan aluminium yang dilebur menggunakan tungku krusibel. Proses awal pengecoran mempersiapkan cetakan permanen yang di lakukan pemanasan awal (preheat). Setelah aluminium mencair selanjutnya dapat dituangkan kedalam cetakan permanen. Proses selanjutnya adalah membongkar cetakan permanen dan pengambilan produk cor. Kemudian produk cor di ukur penurunan temperaturnya dengan selang waktu dua menit sekali. Dari hasil pengujian komposisi kimia terdapat beberapa unsur yang terdiri dari, Al 86,91%, Si 8,11%, Zn 2,95%, Fe 1,08%. Dilihat dari unsur yang ada pada material ini dapat digolongkan logam aluminium paduan silikon (Al-Si). Dari hasil pengamatan struktur mikro, semakin besar nilai laju pendinginan, butiran pada struktur mikro yang didapatkan terlihat lebih besar. Pada laju pendinginan 3,025°C/menit hasil uji foto mikro butiran terlihat besar. Sedangkan pada laju pendinginan 2,825°C/menit dan 2,5°C/menit hasil uji foto mikro butiran terlihat lebih kecil. Hal ini berpengaruh pada kekerasan produk cor, Semakin rapat dan kecil ukuran butir pada struktur mikro, kekerasan produk cor juga semakin meningkat. Pada laju pendinginan 2,5°C/menit didapatkan nilai kekerasan 78,57 BHN, laju pendinginan 2,825°C/menit nilai kekerasan sebesar 76,53 BHN dan laju pada pendinginan 3,025°C/menit nilai kekerasannya sebesar 75,50 BHN.

Kata Kunci : Aluminium, Cetakan Permanen, Laju Pendinginan, Struktur Mikro, Brinell

Abstract

This study aims to determine the effect of the cooling rate on aluminum casting using permanent molds which were previously subjected to variations in preheat with temperatures of 100°C, 150°C and 200°C on hardness and microstructure. This study uses aluminum which is melted using a crucible furnace. The initial casting process prepares a permanent mold that is preheated. After the aluminum is melted, it can then be poured into a permanent mold. The next process is to disassemble the permanent mold and take cast products. Then the cast product is measured to drop in temperature with an interval of two minutes. From the results of testing the chemical composition there are several elements consisting of, Al 86.91%, Si 8.11%, Zn 2.95%, Fe 1.08%. Judging from the elements present in this material can be classified as aluminum alloy aluminum metal (Al-Si). From the results of observations of the microstructure,

the greater the value of the cooling rate, the granules on the microstructure obtained look larger. At a cooling rate of 3.025 °C/minute the micro-grain test results appear large. Whereas at the cooling rate of 2.825 °C/minute and 2.5 °C/minute the micro grain photo test results appear smaller. This affects the hardness of cast products, the smaller and smaller the grain size of the microstructure, the hardness of cast products is also increasing. At a cooling rate of 2.5 °C/minute the hardness value was 78.57 BHN, the cooling rate was 2.825 °C/minute the hardness value was 76.53 BHN and the rate of cooling was 3.025 °C/minute the hardness value was 75.50 BHN.

Keywords : Aluminum, Permanent Mold, Cooling Rate, Microstructure, Brinell

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium (Al) adalah salah satu logam non-ferro yang memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah memiliki berat jenis yang ringan, ketahanan terhadap korosi, dan mampu bentuk yang baik. Namun ada beberapa unsur yang terkandung di dalamnya seperti silikon (Si), seng (Zn), mangan (Mn) dan sebagainya (surdia dkk, 1985). Dengan keunggulan tersebut, maka pemanfaatan material aluminium pada beberapa sektor industri semakin meningkat, khususnya pada industri pakaian yang membutuhkan alat hand press kancing bungkus.

Hand press kancing bungkus merupakan alat yang sangat dibutuhkan di dunia industri pakaian, alat ini fungsinya untuk melapisi material kancing dengan kain. Metode yang digunakan untuk membuat produk hand press kancing bungkus adalah *reverse engineering* yaitu suatu metode yang memudahkan seseorang untuk mengetahui bentuk produk yang akan dirancang kembali atau meniru produk yang sudah ada. Karena sangat dibutuhkannya alat *hand press* kancing tersebut, maka dalam pembuatan alat *hand press* kancing bungkus yang berbahan aluminium tersebut digunakan proses pengecoran logam.

Proses pengecoran logam sendiri banyak digunakan untuk membuat benda kerja dengan bentuk yang rumit. Pengecoran logam dibagi menjadi dua jenis yaitu pengecoran logam dengan cetakan permanen maupun dengan cetakan sekali pakai. Cetakan permanen sering dipakai karena dapat dipakai berulang kali dan dapat menghasilkan hasil benda kerja dengan ukuran yang lebih presisi. Salah satu proses penting dalam pengecoran logam dengan menggunakan cetakan permanen adalah *preheating* atau pemanasan awal pada cetakan sebelum dilakukan

penuangan logam cair. *Preheating* cetakan berguna untuk memperkecil selisih suhu dari cetakan dan logam cair supaya logam cair dapat membeku secara perlahan. (Suprpto dkk, 2019)

Pembekuan coran dimulai dari bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan kemudian logam bagian dalam hingga mendingin sampai titik beku (Surdia, 2000). Pendinginan pada coran dilakukan setelah coran keluar dari cetakan. Pendinginan produk cor dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa media seperti udara, air dan oli. Pendinginan produk cor menggunakan media udara dapat berpengaruh terhadap karakteristik produk hasil cor. Oleh karena itu perlu dilakukannya penelitian tentang pengamatan laju pendinginan pada produk cor aluminium dengan variasi *preheating* atau pemanasan awal pada cetakan permanen menggunakan media pendinginan udara.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui komposisi kimia aluminium yang terkandung pada hasil pengecoran.
2. Mengetahui pengaruh laju pendinginan dengan media udara bebas terhadap struktur mikro produk cor aluminium pada pengecoran cetakan permanen.
3. Mengetahui pengaruh laju pendinginan dengan media udara bebas terhadap kekerasan produk cor aluminium pada pengecoran cetakan permanen.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembahasan yang disajikan, peneliti perlu membatasi permasalahan agar pembahasan lebih terfokus mengingat kompleksnya permasalahan yang terjadi di dalam proses penelitian. Adapun batasan masalah tersebut meliputi :

1. Material yang digunakan adalah aluminium.
2. Cetakan yang digunakan adalah cetakan permanen berbahan besi cor kelabu.
3. Suhu ruangan, suhu peleburan dan suhu penuangan di anggap konstan.
4. Tinggi penuangan dan kecepatan penuangan di anggap seragam.
5. Pada penelitian ini, perpindahan panas tidak diperhitungkan.
6. Waktu pembongkaran dan pengambilan produk cor dianggap seragam.

7. Pendinginan hasil coran menggunakan udara terbuka.
8. Pengambilan data laju pendinginan hasil coran menggunakan alat *Infra Red Thermometer*.
9. Pengujian struktur mikro hasil coran menggunakan alat uji *Mikroskop Metalografi*.
10. Pengujian kekerasan hasil coran menggunakan alat uji kekerasan *Brinell Hardness Portable* dengan beban acuan maksimal 3000 kg.
11. Pengujian komposisi kimia hasil coran menggunakan alat uji *Emission Spectrometer*.

1.4 Tinjauan Pustaka

Masyrukan (2010) melakukan penelitian tentang analisis sifat fisis dan mekanis aluminium (Al) paduan daur ulang dengan menggunakan cetakan logam dan cetakan pasir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses daur ulang aluminium bekas dengan menggunakan cetakan logam menghasilkan distribusi fasa AlSi dan CuAl₂ yang lebih merata, dengan struktur butiran lebih halus (kecil) dan jarak antar butiran yang rapat. Tingkat kekerasan aluminium paduan yang dicetak menggunakan cetakan logam memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibanding harga kekerasan aluminium paduan dengan menggunakan cetakan pasir.

Errens Lowther, dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh perbedaan laju waktu proses pembekuan hasil cor aluminium 319 dengan cetakan logam terhadap struktur mikro dan sifat mekanis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berdasarkan nilai pengujian kekerasan Brinell, media perlambatan laju proses pembekuan yang menggunakan cetakan logam dengan media pasir basah memiliki nilai kekuatan Brinell yaitu 68 BHN, menggunakan cetakan logam dengan media udara terbuka yaitu 62 BHN, dan menggunakan cetakan logam dengan media pasir kering yaitu 54 BHN. Meningkatnya kekerasan pada logam aluminium alloy 319 berkaitan dengan besar butir yang dihasilkan oleh variasi waktu laju proses pembekuan. Semakin kecil besar butir yang dihasilkan dan persebarannya yang lebih merata, maka nilai kekuatan mekanis yang dihasilkan

semakin besar. Aplikasi pendinginan eksternal pada pengecoran dapat meningkatkan kekerasan material, dibandingkan tanpa pendinginan eksternal. Struktur mikro pada material juga lebih baik setelah dilakukannya pendinginan eksternal. (Wankhede, 2018)

Sri Harmanto, dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur cetakan logam terhadap kekerasan pada bahan aluminium bekas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur cetakan logam kekerasan yang dihasilkan semakin rendah, di mana pada temperatur cetakan logam 100°C kekerasan rata-rata yang terjadi sebesar 41 HRB, pada temperatur 150°C kekerasan rata-rata yang terjadi sebesar 37,7 HRB, pada temperatur 200°C kekerasan rata-rata yang terjadi sebesar 35,3 HRB, pada temperatur 250°C kekerasan yang terjadi sebesar 33,7 HRB, dan pada temperatur cetakan logam 300°C menghasilkan kekerasan rata-rata sebesar 29,7 HRB. Hal ini disebabkan karena gradien temperatur semakin kecil, sehingga laju pendinginan semakin lambat yang menyebabkan kekerasannya turun. Selain itu kenaikan temperatur cetakan akan mengakibatkan proses pembekuan yang lambat.

Sulis Drihandono (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur tuang, temperature cetakan, dan tekanan pada pengecoran bertekanan (High Pressure Die Casting/HPDC) terhadap kekerasan dan struktur mikro aluminium paduan silikon (Al-Si 7,79%). Berdasarkan pengujian yang dilakukan diketahui bahwa Variasi temperatur tuang maupun variasi temperatur dies dan tekanan yang terbentuk menunjukkan semakin tinggi temperatur tuang dan temperatur dies maka semakin kasar struktur silikonnya. Dari hasil ini, pengaruh struktur mikro sangat signifikan pengaruhnya terhadap kekerasan, terlihat struktur silikon semakin besar pada temperatur dies 300°C dan temperatur tuang 800°C mengakibatkan kekerasan semakin rendah. Hal ini disebabkan semakin besar temperatur, maka laju pembekuan akan semakin lambat atau kecil. Pada temperatur 250°C laju pembekuan lebih cepat karena perbedaan suhu yang besar antar permukaan dies dengan material. Suhu penuangan juga memiliki dampak signifikan pada struktur mikro. Dengan meningkatkan suhu penuangan, jarak lengan dendrit meningkat. Bisa dicatat bahwa dengan meningkatkan suhu

penuangan pada suatu konstanta tekanan, dapat mengurangi perpindahan panas. Oleh karena itu, struktur mikro menjadi lebih kasar. (Jahangiri, 2017)

1.5 Dasar Teori

1.5.1 Reverse Engineering

Reverse Engineering yaitu menganalisa suatu sistem melalui identifikasi komponen-komponen dan keterkaitan antar komponen, serta mengekstraksi, membuat abstraksi dan informasi perancangan dari sistem yang dianalisa tersebut. Konsep *reverse engineering* di industri pada dasarnya adalah menganalisa suatu produk yang sudah ada sebagai dasar untuk merancang produk baru yang sejenis, dengan memperkecil kelemahan dan meningkatkan keunggulan produk para kompetitornya. Kegiatan yang dilakukan meliputi lima tahap, yaitu ; pembongkaran produk, *assembling* komponen, kegiatan *bencmarking*, perancangan produk baru serta pembuatan *prototype* produk. (Wibowo, 2006)

1.5.2 Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah proses pembuatan benda dengan mencairkan logam dan menuangkan ke dalam rongga cetakan. Proses ini dapat digunakan untuk membuat benda-benda dengan bentuk rumit. Pengecoran logam dapat dilakukan untuk bermacam macam logam seperti, besi, baja paduan tembaga (perunggu, kuningan, perunggu Alumunium dan lain sebagainya), paduan ringan (paduan Alumunium, paduan magnesium, dan sebagainya), serta paduan lain, semisal paduan seng, monel (paduan nikel dengan sedikit tembaga), hasteloy (paduan yang mengandung molibdenum, krom, dan silikon), dan sebagainya. Menurut jenis cetakan digunakan proses pengecoran dibagi menjadi dua. Pada proses pengecoran dengan cetakan sekali pakai, untuk mengeluarkan produk corannya cetakan harus dihancurkan. Dan selalu membuat cetakan yang baru untuk setiap pengecoran baru, sehingga laju proses pengecoran akan memakan waktu yang lama. Pada proses cetakan permanen, cetakan biasanya dibuat dari bahan logam, sehingga dapat digunakan berulang – ulang. Dengan demikian laju proses pengecoran lebih

cepat dibanding menggunakan cetakan sekali pakai, tetapi logam coran yang digunakan harus mempunyai titik lebur yang lebih rendah dari pada titik lebur logam cetakan. (Surdia, T. Kenji. C. 2000)

1.5.3 Aluminium

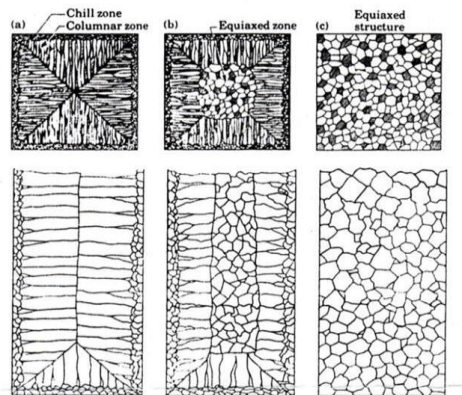
Aluminium adalah unsur logam yang paling melimpah (8,13%) di kerak bumi setelah oksigen dan silikon, ketiga yang paling melimpah dari semua elemen di kerak bumi. Karena afinitasnya yang kuat terhadap oksigen, ia tidak ditemukan dalam keadaan unsur tetapi hanya dalam bentuk gabungan seperti oksida atau silikat. Aluminium termasuk kedalam golongan logam non ferro yang bahan dasarnya dari bauksit dan kreolit, kemurnian aluminium umumnya mencapai 99,85% dengan dielektrolisa kembali dapat dicapai kemurnian 99,996%. aluminium merupakan logam yang ringan dengan berat jenis $2,7 \text{ gram/cm}^3$ setelah magnesium $1,7 \text{ gram/cm}^3$ dan berilium $1,85 \text{ gram/cm}^3$ atau sekitar $1/3$ dari berat jenis besi maupun tembaga.

Dalam kondisi standar aluminium adalah logam yang cukup lembut, kuat, dan ringan. Warnanya abu kepekatan. Aluminium murni adalah unsur yang sangat reaktif dan jarang ditemukan di bumi dalam bentuk bebas. Aluminium bertindak sebagai konduktor listrik dan panas yang sangat baik, tetapi non magnetik. Ketika aluminium terkena udara, lapisan tipis aluminium oksida terbentuk pada permukaan logam. Hal ini mencegah korosi dan berkarat. Karakteristik penting lainnya dari aluminium termasuk kepadatan rendah yang hanya sekitar tiga kali lipat dari air, daktilitas yang memungkinkan untuk ditarik kedalam kawat, dan kelenturan yang mudah dibentuk.

Aluminium dan logam aluminium lainnya adalah suatu mineral yang berasal dari magma asam yang mengalami proses pelapukan dan pengendapan secara residual. Proses pengendapan residual sendiri merupakan suatu proses pengkonsentrasian mineral bahan palian ditempat. Aluminium juga digunakan dalam banyak hal, karena memang banyak

manfaat dan kegunaan aluminium itu sendiri. Kebanyakan yang digunakan dalam kabel bertegangan tinggi, juga secara luas digunakan di bidang industri, *spare part* otomotif seperti pembuatan kepala silinder, torak,udukan stang, pelek, dan lain - lain. Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hambatan listrik yang baik. Material Aluminium dipergunakan didalam bidang yang sangat luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga saja tapi juga di pakai sebagai keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, kontruksi dan sebagainya. Aluminium mempunyai kemurnian mencapai 99,85% berat. Aluminium mempunyai berat jenis 2,7 gram/cm³ dan titik cair aluminium sendiri 660 °c. Tata Surdia dan Shironku Saito (1999:129)

1.5.4 Pembekuan Coran



Gambar 1 Struktur Mikro Pembekuan Logam

(www.strukturkolom.com)

Pembekuan (solidification) selama pengecoran mengalami tiga jenis penyusutan yaitu : *liquid contraction*, *solidification contraction* dan *solid contraction*. *Liquid contraction* adalah penyusutan yang terjadi pada logam cair jika logam cair didinginkan dari temperatur tuang menuju temperatur pembekuan (*solidification temperature*). *Solidification contraction* adalah penyusutan yang terjadi selama logam cair melalui *phasa* pembekuan (perubahan *phasa* cair menjadi *phasa* padat). *Solid contraction* adalah penyusutan yang terjadi selama periode solid metal didinginkan dari

temperatur pembekuan menuju temperatur ruang. *Liquid contraction* dan *solidification contraction* dapat ditangani dengan merancang sistem *riser* yang baik dan tepat. Kekosongan (*void*) yang ditimbulkan oleh dua jenis penyusutan tersebut diisi cairan logam yang disuplai dari *riser*. Sedangkan *solid contraction* dapat diatasi dengan membuat dimensi pola lebih besar dari dimensi produk cor untuk mengkompensasi penyusutan yang terjadi (Tjitro,2001).

Surdia (2000) menyatakan pembekuan coran dimulai dari bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan yaitu ketika panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan mendingin sampai titik beku, dimana kemudian inti-inti kristal tumbuh. Bagian dalam dari coran mendingin lebih lambat daripada bagian luar, sehingga Kristal tersebut berbentuk panjang-panjang seperti kolom, yang disebut struktur kolom.

1.5.5 Komposisi Kimia

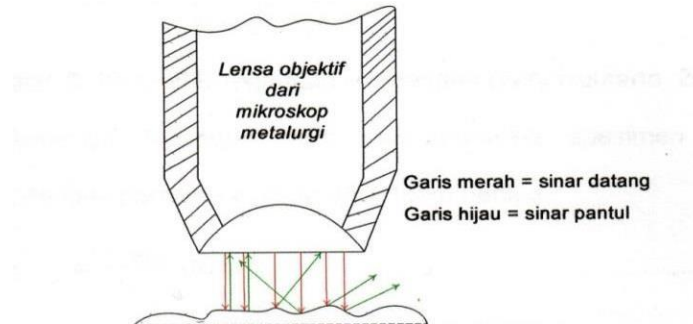
Alat yang digunakan dalam pengujian adalah *spektrometer*. Alat yang digunakan untuk mengetahui jenis dan prosentase unsur-unsur kimia yang terkandung dalam logam dengan spektrum emisi gas argon dan pembacaan komputer. Alat ini bekerja dengan cara menembakkan elektroda pada spesimen dengan bantuan gas argon, selanjutnya sinar pantul yang berasal dari sesimen melalui prisma spektrum dibiasakan pada detektor sehingga tampil beberapa warna dengan intensitas yang berbeda. Tiap warna dan intensitas cahanya menunjukkan jenis unsur dan kandungannya, yang diterjemahkan dalam bahasa program komputer menjadi tulisan.

1.5.6 Struktur Mikro

Struktur mikro dapat diamati dengan menggunakan alat uji *Olympus Metallurgical Microscope* dan untuk pengambilan gambar digunakan *Olympus Photomicrographic System*.

Alat ini berfungsi untuk mengamati dan mengambil gambar struktur mikro permukaan logam yang sebelumnya sudah di etsa dengan perbesaran

tertentu. Spesimen yang telah mengalami pengetesaan akan memantulkan kembali sinar yang datang ke lensa mikroskop elektron dengan warna yang berbeda pada tiap bagian permukaan akibat pengikisan yang terkendali pada permukaan spesimen. Kamera yang tersambung dengan monitor akan menangkap gambar struktur mikro, dan selanjutnya dapat di foto pada bagian yang kita diinginkan.



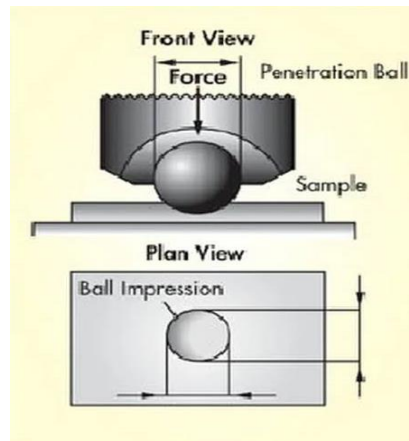
Gambar 2 Proses Pengamatan Pada Struktur Mikro (Arianata, 2017)

1.5.7 Kekerasan *Brinell*

Kekerasan (*hardness*) didefinisikan sebagai daya tahan suatu bahan (permukaan bahan) terhadap penetrasi atau indentasi (penusukan atau pemasukan) bahan lain yang lebih keras, dengan bentuk tertentu dibawah pengaruh daya tertentu. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui harga kekerasan benda uji pada beberapa bagian sehingga akan diketahui distribusi kekerasan dari benda uji tersebut. Pengujian kekerasan dapat menggunakan uji kekerasan *Brinell* (HB), *Vickers* (HVN), dan *knop*.

Pada pengujian ini metode yang dipakai metode *brinell*. Kekerasan *brinell* ditentukan dengan menekan baja keras atau bola karbida dengan diameter tertentu di bawah beban tertentu ke permukaan material untuk jangka waktu tertentu dan mengukur diameter lekukan yang tersisa setelah pengujian. Kekerasan Brinell angka diperoleh dengan membagi beban yang digunakan, dalam kilogram, dengan luas permukaan lekukan yang sebenarnya, dalam satuan milimeter. Beban 500 kilogram diterapkan selama 30 detik untuk coran aluminium. Uji kekerasan juga dilakukan pada setiap

sampel dan nilai rata-rata diambil sebagai ukuran kekerasan spesimen.
(Sarada, Murthy, & Ugrasen, 2015)



Gambar 3 Prinsip Uji Kekerasan *Brinell* (alatuji.com)

Untuk mengetahui besarnya nilai kekerasan *brinell*, maka digunakan rumus berikut :

$$\text{BHN} = \frac{P}{\frac{\pi}{2}D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Dimana :

BHN : Harga kekerasan *Brinell*

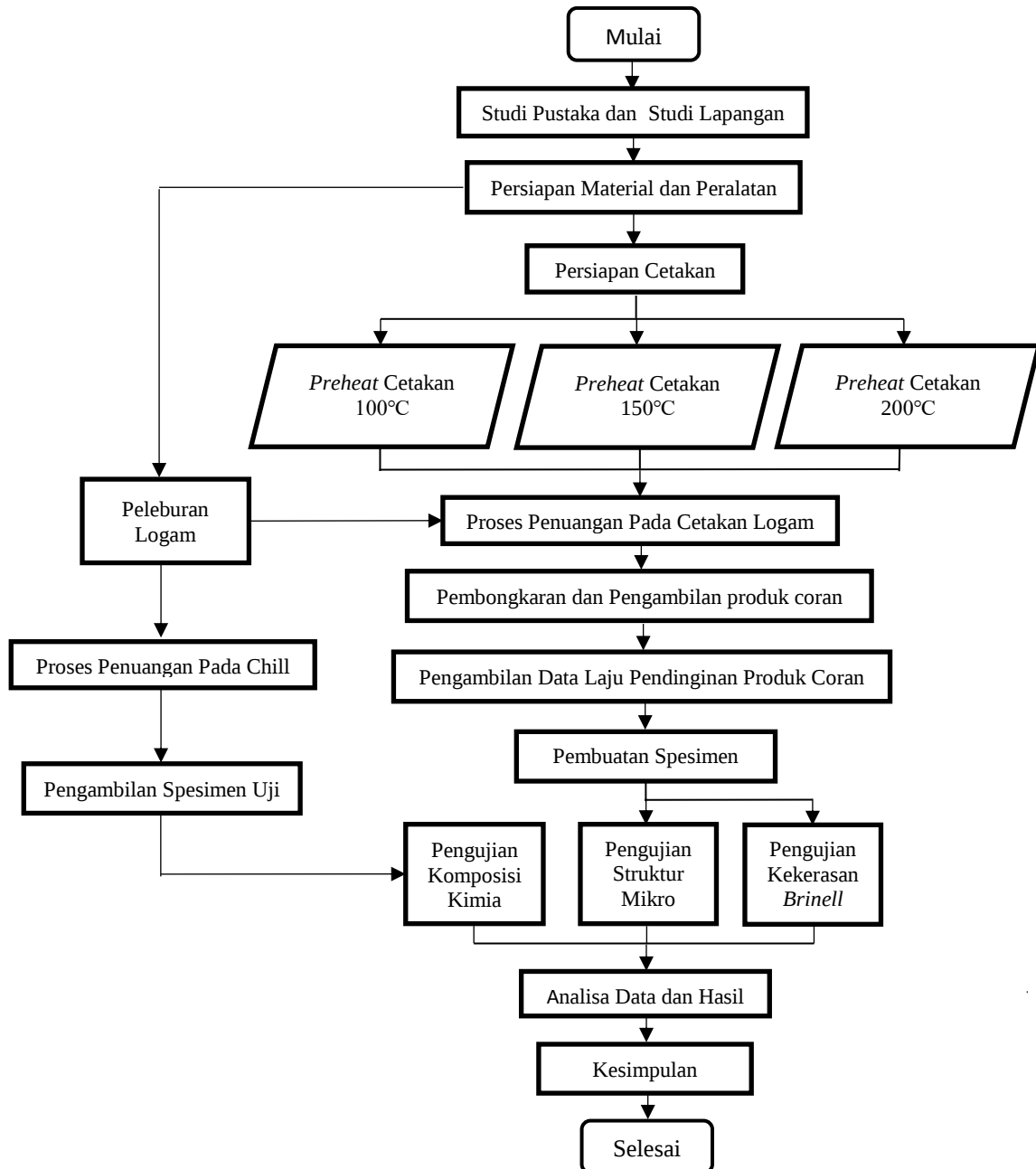
P : Gaya pada penetrator (kgf)

D : Diameter indentor (mm)

d : Diameter bekas injakan (mm)

2. METODE

2.1 Diagram Alir



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

1. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| a. Cetakan Logam | l. RCS dan Tanah Liat |
| b. Tungku Krusibel | m. Palu |
| c. Klem | n. Tang |
| d. Kompresor | o. Pahat |
| e. <i>Infra Red Thermometer</i> | p. Gerinda |
| f. Ladel | q. Amplas |
| g. Pengaduk | r. Kuas |
| h. Penaring Kotoran | s. Alat Poles |
| i. Kompor Pemanas | t. Alat Uji <i>Spectrometer</i> |
| j. Kompor Spiral | u. Alat Uji Struktur Mikro |
| k. Tabung | v. Alat Uji Kekerasan <i>Brinell</i> |

2. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- a. Aluminium
- b. Solar
- c. Gas LPG
- d. Autosol
- e. Bedak (Kalsium Karbonat)

2.3 Langkah Penelitian

2.3.1 Peleburan Logam

- a. Mempersiapkan dapur peleburan
- b. Memasukan aluminium pada tungku peleburan
- c. Tunggu hingga aluminium meleleh

2.3.2 Persiapan Cetakan Logam

- a. Mempersiapkan cetakan logam
- b. Membuka cetakan logam sehingga terlihat bagian dalam cetakan.

- c. Mempersiapkan kompor pemanas
- d. Melakukan pemanasan awal (*preheat*) pada cetakan bagian dalam hingga suhu 100°C.
- e. Melakukan pengolesan bedak pada cetakan logam bagian dalam.
- f. Merakit cetakan logam dan jepit dengan klem.
- g. Lakukan juga *preheat* cetakan pada suhu 150°C dan 200°C.

2.3.3 Penuangan Logam Cair

- a. Memberikan tanah liat dan RCS pada bagian pinggir saluran masuk.
- b. Mengambil aluminium cair di tungku peleburan menggunakan ladle.
- c. Mengukur temperatur aluminium cair pada ladle sebelum di tuangkan.
- d. Menuangkan aluminium cair pada cetakan logam yang sudah dilakukan persiapan cetakan logam seperti di sebutkan diatas.

2.3.4 Pembongkaran dan Pengambilan Produk Cor

Pembongkaran cetakan logam dilakukan setelah aluminium cair berada didalam cetakan logam selama 15 detik. Digunakan pahat dan palu untuk membuka cetakan logam, setelah itu ambil produk coran menggunakan tang.

2.3.5 Pengamatan Laju Pendinginan

Pengambilan data penurunan temperatur setiap dua menit sekali sebanyak lima kali pada produk coran menggunakan *infra red thermometer*.

Untuk menghitung rata-rata penurunan temperatur menggunakan cara yang dipergunakan Andri (2018) dengan persamaan :

$$\frac{[(T1 - T2) + (T2 - T3) + (T3 - T4) + (T4 - T5)]}{Jumlah\ Jarak\ Temperatur}$$

Dan untuk menghitung laju pendinginan digunakan persamaan seperti berikut :

$$\frac{rata - rata\ penurunan\ temperatur}{selang\ waktu\ pengambilan\ data}$$

2.3.6 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji spektrum komposisi kimia universal (*spectrometer*) yang bekerja secara otomatis.

Pengujian dilakukan dengan penembakan terhadap permukaan spesimen (sudah dihaluskan) dengan gas argon.

2.3.7 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari spesimen. Langkah persiapan yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Pemotongan Spesimen
- b. *Polishing*

Setelah proses etsa pada permukaan selesai dapat dilakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 100x – 1000x.

2.3.8 Pengujian Kekerasan *Brinell*

Berikut langkah-langkah pengujian kekerasan brinell :

1. Mempersiapkan alat dan bahan pengujian yaitu :
 - a. Mesin uji kekerasan *Brinell (Brinell Hardness Test)*.
 - b. Indentor bola baja atau penetrator.
 - c. Benda uji yang sudah di gerinda dan di amplas halus.
 - d. Stop watch
 - e. Mikroskop pengukur.
2. Indentor di tekankan ke benda uji/spesimen dengan gaya tertentu beban acuan maksimum 3000 kgf.
3. Tunggu hingga 10 - 30 detik.
4. Bebaskan gaya dan lepaskan indentor dari benda uji.
5. Ukur diameter lekukan bekas indentor menggunakan mikroskop pengukur (ukur beberapa kali di beberapa tempat catat hasilnya buat rata – rata)
6. Konversikan hasil pengukuran kedalam tabel *Brinell Hardness Number*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Analisa Komposisi Kimia Produk Cor Aluminium

Setelah dilakukan proses pengecoran, maka perlu dilakukannya pengujian komposisi kimia untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terkandung dalam produk hasil pengecoran. Dari hasil pengujian diperoleh data komposisi kimia sebagai berikut :

Tabel 1 Data Hasil Pengujian Komposisi Kimia

No.	Unsur	Kandungan (%)
1	Al	86,91
2	Si	8,11
3	Zn	2,95
4	Fe	1,08
5	Cu	0,256
6	Mn	0,248
7	Mg	0,0500
8	Sn	0,0500
9	Pb	0,0300
10	NI	0,0229
11	Zr	0,0212
12	Ti	0,0163
13	Cr	0,0150
14	Ca	0,0026
15	Sr	0,0005
16	Be	0,0002

Dari hasil pengujian komposisi kimia terdapat 16 unsur, tiga unsur terbesar pada aluminium cor yaitu silikon (Si), seng (Zn) dan besi (Fe). Dilihat dari unsur yang paling besar pada aluminium adalah silikon (Si), material ini dapat digolongkan logam aluminium paduan silikon (Al-Si).

Pengaruh kandungan silikon (Si) 8,11% pada aluminium yaitu dapat mempermudah proses pengecoran, memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran, menurunkan penyusutan pada coran dan meningkatkan ketahanan korosi. Pengaruh buruk yang ditimbulkan dalam unsur silikon adalah menurunnya

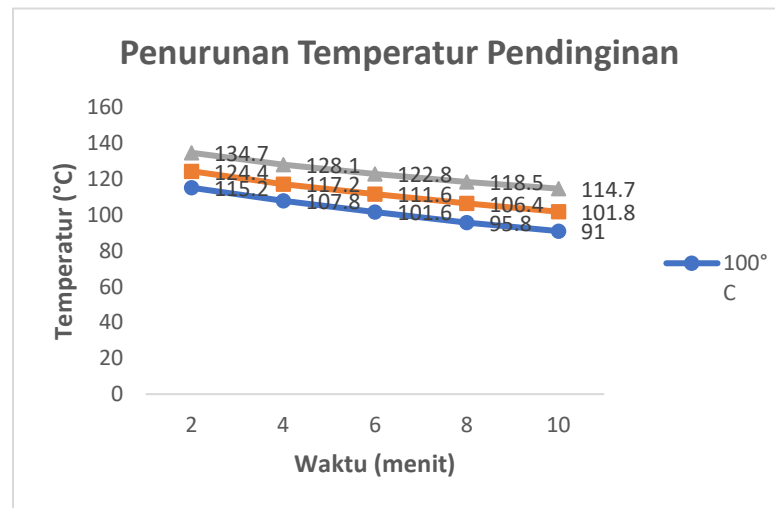
keuletan material terhadap bahan kejut dan coran akan rapuh jika kandungan silikon terlalu tinggi.

3.2 Pengamatan Laju Pendinginan

Pada pengamatan laju pendinginan ini, dilakukan pada produk cor yang sebelumnya dilakukan *preheat* pada cetakan dengan variasi 100°C, 150°C dan 200°C. Pengambilan data dilakukan dengan selang waktu pengambilan data dua menit sebanyak lima kali setelah produk cor keluar dari cetakan.

Tabel 2 Penurunan Temperatur Setiap 2 Menit Sekali

Waktu	Variasi Temperatur Preheat		
	100 (°C)	150 (°C)	200 (°C)
2	115.2	124.4	134.7
4	107.8	117.2	128.1
6	101.6	111.6	122.8
8	95.8	106.4	118.5
10	91	101.8	114.7
Rata-Rata Penurunan Suhu	6.05	5.65	5



Gambar 5 Grafik Penurunan Temperatur Pendinginan

1. Perhitungan laju pendinginan

Perhitungan laju pendinginan produk cor dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Contoh perhitungan (*preheat* cetakan 100°C)

Rata-rata penurunan temperatur :

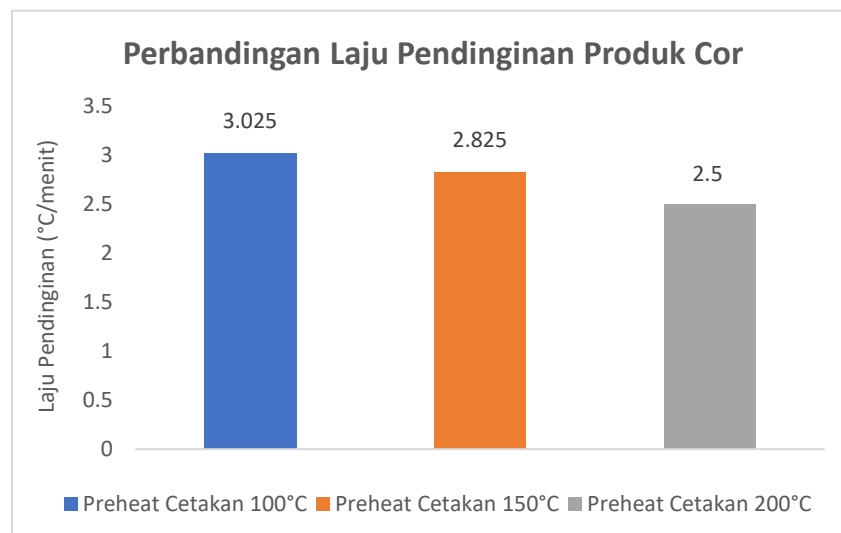
$$\begin{aligned} &= \frac{[(T1 - T2) + (T2 - T3) + (T3 - T4) + (T4 - T5)]}{Jumlah\ Jarak\ Temperatur} \\ &= \frac{[(115,2 - 107,8) + (107,8 - 101,6) + (101,6 - 95,8) + (95,8 - 91)]}{4} \\ &= 6,05^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Laju pendinginan produk cor :

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{rata-rata penurunan temperatur}}{\text{selang waktu pengambilan data}} \\ &= \frac{6,05^{\circ}\text{C}}{2\ \text{menit}} \\ &= 3,025^{\circ}\text{C/menit} \end{aligned}$$

Tabel 3 Hasil Nilai Laju Pendinginan Produk Cor

No	Preheat Cetakan (°C)	Selang waktu Pengambilan Data Temperatur (menit)	Rata-rata Penurunan Temperatur (°C)	Nilai Laju Pendinginan (°C/menit)
1	100	2	6.05	3.025
2	150	2	5.65	2.825
3	200	2	5	2.5



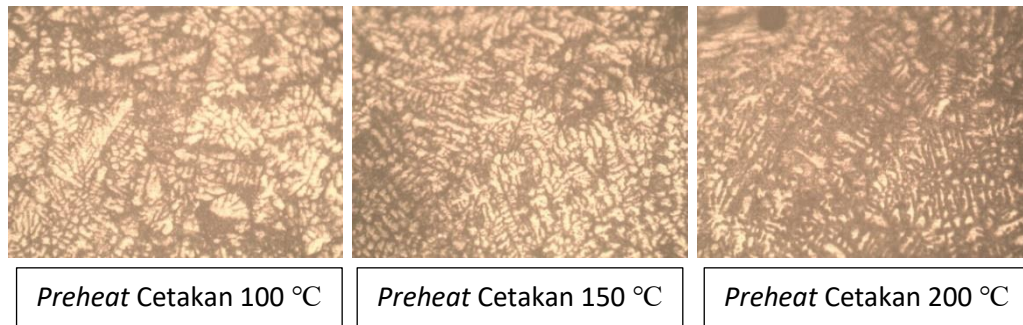
Gambar 6 Histogram Laju Pendinginan Produk Cor

Pada gambar 6 menunjukkan hubungan antara laju pendinginan produk cor dengan *preheat* cetakan. Laju pendinginan produk cor dengan temperatur *preheat* cetakan 100°C sebesar 3,025°C/menit, untuk variasi temperatur *preheat* cetakan 150°C sebesar 2,825°C/menit dan pada variasi temperatur *preheat* cetakan 200°C di dapatkan laju pendinginan produk cor sebesar 2,5°C/menit. Berdasarkan data diatas, variasi temperatur *preheat* cetakan berbanding terbalik terhadap kecepatan laju pendinginan produk cor.

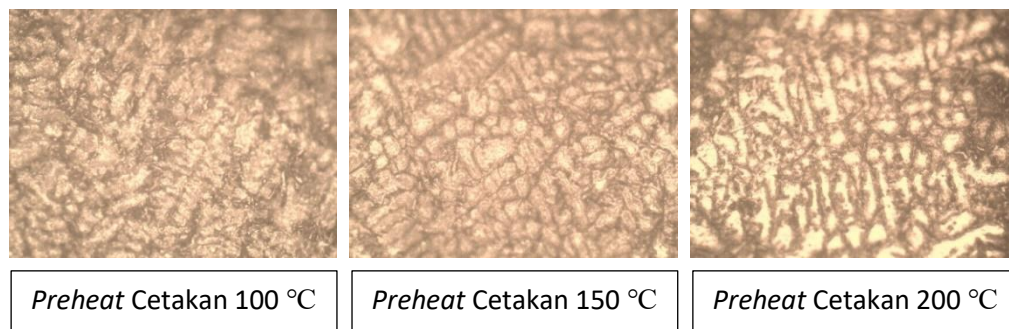
Perbedaan laju pendinginan produk cor tersebut disebabkan oleh besarnya temperatur *preheat* cetakan yang dilakukan, semakin besar temperatur *preheat* cetakan maka semakin, menurun kecepatan laju pendinginan produk cor.

3.3 Pengamatan Struktur Mikro

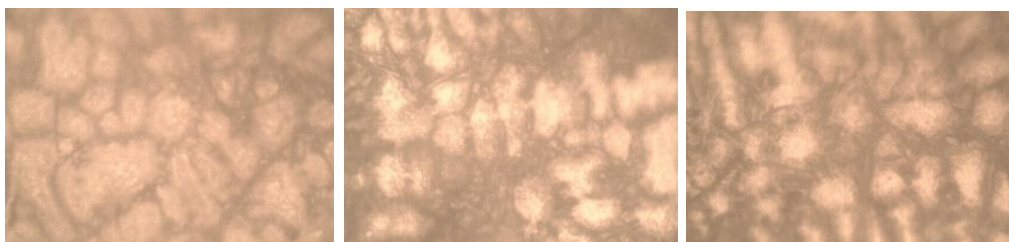
Pengamatan struktur mikro dilakukan menurut pengujian metalografi untuk bahan aluminium dengan pembesaran 100x, 200x, 500x dan 1000x didapatkan gambar seperti yang dilihat pada gambar 7, 8, 9 dan 10.



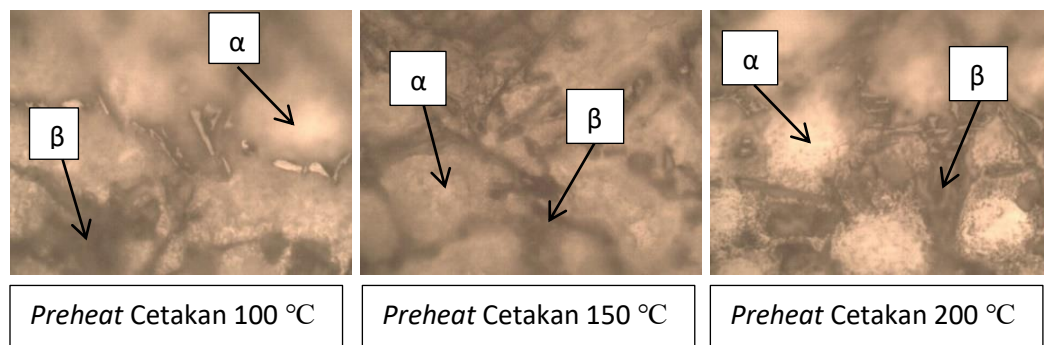
Gambar 7 Perbandingan Foto Mikro Pada Pembesaran 100x



Gambar 8 Perbandingan Foto Mikro Pada Pembesaran 200x



Gambar 9 Pembesaran Foto Mikro Pada Pembesaran 500x



Gambar 10 Pembesaran Foto Mikro Pada Pembesaran 1000x

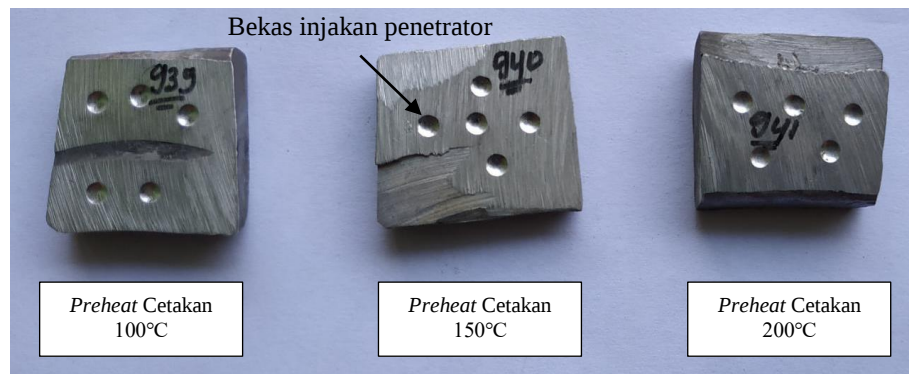
Struktur mikro terdiri dari unsur fasa (α) dan (β). Fasa (α) adalah komposisi terbesar pada material yaitu unsur Al (aluminium) dan (β) adalah semua unsur pada komposisi selain unsur Al (aluminium) dan yang terbesar adalah Si (silikon). Unsur fasa (α) berupa butiran besar yang terlihat terang, sedangkan (β) berupa garis memanjang yang terlihat gelap. Dilihat dari foto mikro, pada variasi *preheat* 200°C fasa (β) terlihat lebih besar dan banyak daripada variasi *preheat* 150°C dan 100°C. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar dan banyak fasa (β) pada material maka dapat meningkatkan kekerasan.

Laju pendinginan produk cor berpengaruh terhadap struktur mikro. Bisa dilihat pada data laju pendinginan produk cor, semakin cepat laju pendinginan produk cor, butiran pada struktur mikro yang didapatkan terlihat lebih besar. Pada laju pendinginan 3,025°C/menit hasil uji foto mikro butiran terlihat besar. Sedangkan pada laju pendinginan 2,825°C/menit hasil uji foto mikro butiran

terlihat sedang dan pada laju pendinginan 2,5°C/menit hasil uji foto mikro butiran terlihat lebih kecil.

3.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan metode uji kekerasan *brinell*. Pengujian kekerasan *brinell* dilakukan di lima titik pada spesimen uji.



Gambar 11 Posisi Titik Uji Kekerasan pada Spesimen

Perhitungan nilai kekerasan menggunakan kekerasan *Brinell* dengan beban tekan maksimal manusia yaitu 6500 N atau 662,81 kgf.

1. Perhitungan Kekerasan *Brinell* Pada Spesimen Variasi *Preheat* Cetakan 100 °C.

$$1. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 360}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.50^2})} = 72,21 \text{ BHN}$$

$$2. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 390}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 81,50 \text{ BHN}$$

$$3. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 380}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 79,41 \text{ BHN}$$

$$4. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 370}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.50^2})} = 74,21 \text{ BHN}$$

$$5. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 350}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.50^2})} = 70,20 \text{ BHN}$$

2. Perhitungan Kekerasan *Brinell* Pada Spesimen Variasi *Preheat* Cetakan 150 °C.

$$1. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 390}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 81,50 \text{ BHN}$$

$$2. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 360}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.50^2})} = 72,21 \text{ BHN}$$

$$3. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 380}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 79,41 \text{ BHN}$$

$$4. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 370}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 77,32 \text{ BHN}$$

$$5. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 360}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.50^2})} = 72,21 \text{ BHN}$$

3. Perhitungan Kekerasan *Brinell* Pada Spesimen Variasi *Preheat* Cetakan 200 °C.

$$1. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 380}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 79,41 \text{ BHN}$$

$$2. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 360}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 75,23 \text{ BHN}$$

$$3. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 370}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 77,32 \text{ BHN}$$

$$4. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 390}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.50^2})} = 81,50 \text{ BHN}$$

$$5. \text{ BHN} = \frac{2 \cdot 380}{\pi \cdot 10 \cdot (10 - \sqrt{10^2 - 2.45^2})} = 79,41 \text{ BHN}$$

Harga kekerasan *Brinell* variasi *preheat* cetakan 100°C, *preheat* cetakan 150°C dan 200°C terhadap hasil produk cor :

T

a b e l 4 H	No.	Variasi Spesimen	Diameter Penetrator (mm)	Diameter Bekas Penetrator (mm)	Beban (kgf)	Nilai Kekerasan (BHN)	Rata-rata (BHN)
	1.	<i>Preheat</i> Cetakan 100°C	10	2,50	360	72,21	75,50
	2.		10	2,45	390	81,50	
	3.		10	2,45	380	79,41	
	4.		10	2,50	370	74,21	
	5.		10	2,50	350	70,20	

arga Kekerasa *Brinell* pada Spesimen *Preheat* Cetakan 100°C

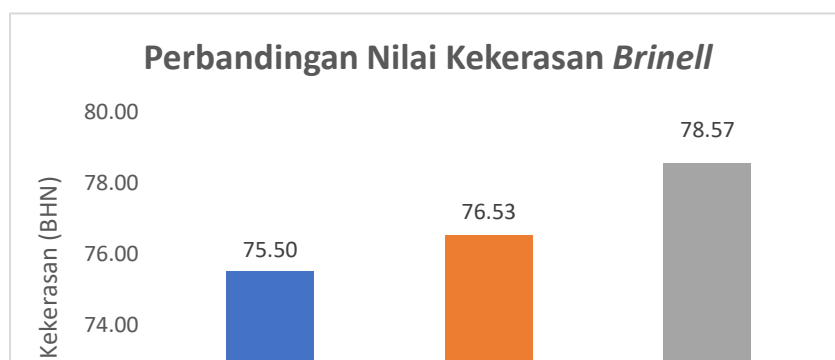
Tabel 5 Harga Kekerasa *Brinell* pada Spesimen *Preheat* Cetakan 150°C

No.	Variasi Spesimen	Diameter Penetrator (mm)	Diameter Bekas Penetrator (mm)	Beban (kgf)	Nilai Kekerasan (BHN)	Rata-rata (BHN)
1.	<i>Preheat</i> Cetakan 150°C	10	2,45	390	81,50	76,53
2.		10	2,50	360	72,21	
3.		10	2,45	380	79,41	
4.		10	2,45	370	77,32	
5.		10	2,50	360	72,21	

Tabel 6 Harga Kekerasa *Brinell* pada Spesimen *Preheat* Cetakan 200°C

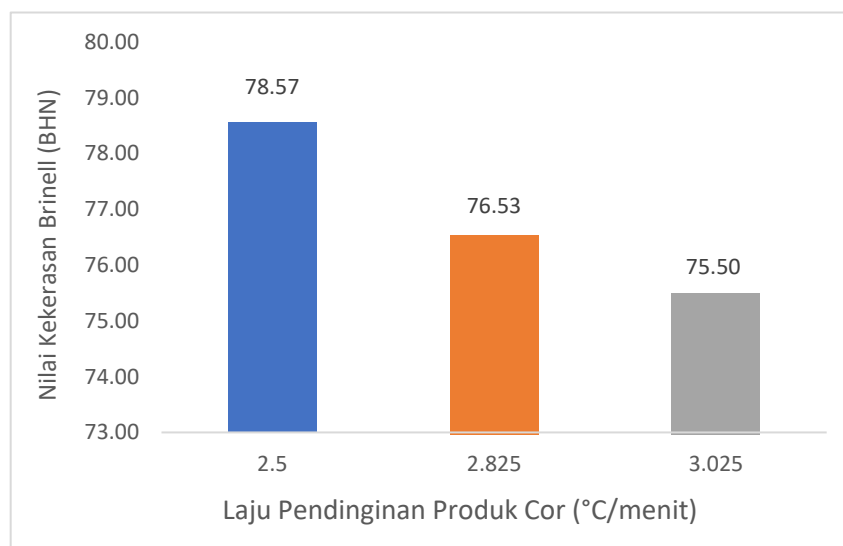
No.	Variasi Spesimen	Diameter Penetrator (mm)	Diameter Bekas Penetrator (mm)	Beban (kgf)	Nilai Kekerasan (BHN)	Rata-rata (BHN)
1.	<i>Preheat</i> Cetakan 200°C	10	2,45	380	79,41	78,57
2.		10	2,45	360	75,23	
3.		10	2,45	370	77,32	
4.		10	2,45	390	81,50	
5.		10	2,45	380	79,41	

Data uji kekerasan di ubah dalam histogram perbandingan dari tiap variasi *preheat* cetakan yang ada pada gambar berikut :



Gambar 12 Histogram Perbandingan Nilai Kekerasan *Brinell* dengan *Preheat* Cetakan

Dari hasil pengujian kekerasan *Brinell* pada spesimen dengan temperatur *preheat* cetakan 100°C didapatkan nilai kekerasan dengan rata-rata 75,50 BHN. Pada spesimen dengan temperatur *preheat* cetakan 150°C didapatkan nilai kekerasan sebesar 76,53 BHN. Dan pada spesimen dengan temperatur *preheat* cetakan 200°C didapatkan nilai kekerasan 78,57 BHN. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar temperatur *preheat* cetakan dapat meningkatkan nilai kekerasan produk cor. Hal ini disebabkan karena konduktifitas panas dari setiap cetakan, semakin besar nilai konduktifitas panas maka semakin cepat pula proses pembekuan produk cor pada suatu cetakan dan begitu juga sebaliknya. Hal ini juga berpengaruh pada laju pendinginan pada produk cor.



Gambar 13 Histogram Korelasi Laju Pendinginan Produk Cor Dan Nilai Kekerasan *Brinell*

Dari gambar histogram korelasi laju pendinginan produk cor dan nilai kekerasan *brinell* diatas, laju pendinginan produk cor berbanding terbalik terhadap nilai kekerasan, dengan meningkatnya kecepatan laju pendinginan produk cor, nilai kekerasan semakin menurun. Pada laju pendinginan $2,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ nilai kekerasan sebesar 78,57 BHN, pada laju pendinginan $2,825^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ nilai kekerasan sebesar 76,53 BHN dan pada laju pendinginan $3,025^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ nilai kekerasannya sebesar 75,50 BHN. Hal ini dapat dibuktikan pada pengamatan struktur mikro, terlihat pada laju pendinginan $2,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ fasa β (yang terbesar silikon) lebih banyak dibandingkan pada laju pendinginan $2,825^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ dan $3,025^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian dan menganalisa data maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil pengujian komposisi kimia terdapat beberapa unsur yang terdiri dari, Al 86,91%, Si 8,11%, Zn 2,95%, Fe 1,08%. Dilihat dari unsur yang ada pada material ini dapat digolongkan logam aluminium paduan silikon (Al-Si).
2. Laju pendinginan produk cor berpengaruh terhadap struktur mikro. Bisa dilihat pada data laju pendinginan produk cor, semakin cepat laju pendinginan produk cor, butiran pada struktur mikro yang didapatkan terlihat lebih besar. Pada laju pendinginan $3,025^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ hasil uji foto mikro butiran terlihat besar. Sedangkan pada laju pendinginan $2,825^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ hasil uji foto mikro butiran terlihat sedang dan pada laju pendinginan $2,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ hasil uji foto mikro butiran terlihat lebih kecil.
3. Dari hasil pengujian kekerasan *brinell*, laju pendinginan produk cor berbanding terbalik terhadap nilai kekerasan, dengan meningkatnya kecepatan laju pendinginan produk cor, nilai kekerasan semakin menurun. Pada laju pendinginan $2,5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$ nilai kekerasan sebesar 78,57 BHN, pada

laju pendinginan 2,825°C/menit nilai kekerasan sebesar 76,53 BHN dan pada laju pendinginan 3,025°C/menit nilai kekerasannya sebesar 75,50 BHN.

4.2 Saran

Dalam penelitian selanjutnya, penulis mempunyai beberapa saran yang mungkin dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian antara lain:

1. Sebelum melakukan proses pengecoran sebaiknya melakukan pembelajaran mengenai dasar teknik pengecoran logam sehingga pada saat proses pengecoran tidak mengalami kesulitan.
2. Melakukan kerjasama antar rekan dalam proses pengecoran sampai pengujian agar mendapatkan data yang maksimal.
3. Sebaiknya pada pengujian kekerasan menggunakan alat *hardness brinell portable* digital sehingga beban yang diberikan dapat diketahui.
4. Melakukan dokumentasi saat persiapan alat sampai proses pengujian selesai untuk memaksimalkan dalam penyusunan laporan.

PERSANTUNAN

Terimakasih kepada Bapak Agus Yulianto, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing naskah publikasi atas bimbingannya dalam penyelesaian naskah publikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arianta, A., 2017. *Pengaruh Variasi Media Pendinginan (Air Sumur, Udara dan Oli Sae 40) Terhadap Hasil Pengecoran Aluminium (Al) Menggunakan Cetakan Pasir CO₂*. Diploma Thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Errens Lowther, dkk. 2016. *Pengaruh Perbedaan Laju Waktu Proses Pembekuan Hasil Cor Aluminium 319 Dengan Cetakan Logam Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis*. Jurnal Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Tarumanagara, Jakarta.

- Jahangiri, A., Marashi, S. P. H., Mohammadaliha, M., & Ashofte, V. (2017). *The effect of pressure and pouring temperature on the porosity, microstructure, hardness and yield stress of AA2024 aluminum alloy during the squeeze casting process. Journal of Materials Processing Technology*, 245, 1–6.
- Masyrukan. 2010. *Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Aluminium (Al) Paduan Daur Ulang Dengan Menggunakan Cetakan Logam Dan Cetakan Pasir*. Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Sarada, B. N., Murthy, P. L. S., & Ugrasen, G. (2015). *Hardness and Wear Characteristics of Hybrid Aluminium Metal Matrix Composites Produced by Stir Casting Technique. Materials Today: Proceedings*, 2(4–5), 2878–2885.
- Sulis Drihandono dan Eko Budiyo. 2016. *Pengaruh Temperatur Tuang, Temperatur Cetakan, dan Tekanan Pada Pengecoran Bertekanan (High Pressure Die Casting/HPDC) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Aluminium Paduan Silikon (Al-Si 7,79 %)*. Jurnal Teknik Mesin, Univ. Muhammadiyah Metro Lampung.
- Sri Harmanto, dkk. 2016. *Pengaruh Temperatur Cetakan Loam Terhadap Kekerasan Pada Bahan Aluminium Bekas*. Jurnal Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang.
- Suprpto, dkk. 2019. *Pengaruh Temperatur Cetakan Terhadap Kekuatan Kejut dan Mikro Struktur Handle Rem Material Daur Ulang Piston Dengan Penambahan Magnesium*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- Surdia, Tata, dkk. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Surdia, T., Chijiwa, K. 2000. *Teknik Pengecoran Logam*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Surdia, T dan Saito, S., 1985. *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT. Pradnya Paramitha. Jakarta
- Tjitro Soejono., 2003. *Analisa Pengaruh Bentuk Riser Terhadap Cacat Porositas*. Jurusan Teknik Mesin. Universitas Kristen Petra.
- Wankhede, D. M., Narkhede, B. E., Mahajan, S. K., & Choudhari, C. M. (2018).

Influence of pouring temperature and external chills on mechanical properties of aluminum silicon alloy castings. Materials Today: Proceedings, 5(9), 17627–17635.

wibowo, B. D. (2006). Memahami Reverse Engineering Melalui Pembongkaran Produk DI Program S-1 Teknik Mesin. *Teknik Mesin, UNDIP*, 4(1), 20–31.