

**PENGARUH *HOLDMELT TIME* TERHADAP KEKERASAN DAN
MIKROSTRUKTUR PADA *RECYCLING* VELG**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Ditujukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:
ILHAM ADIGUNA
NIM. 115060205111002

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH *HOLDMELT TIME* TERHADAP KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR
PADA *RECYCLING VELG***

**SKRIPSI
TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MATERIAL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ILHAM ADIGUNA
NIM. 115060205111002**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 19 Juli 2018

Dosen pembimbing I

Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.
NIP. 19551117 198601 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19750702 200003 2 001

JUDUL SKRIPSI

PENGARUH *HOLDMELT TIME* TERHADAP KEKERASAN DAN MIKROSTRUKTUR
PADA *RECYCLING VELG*

Nama Mahasiswa : Ilham Adiguna
NIM : 115060205111002
Program Studi : Teknik Mesin
Konsentrasi : Material

KOMISI PEMBIMBING

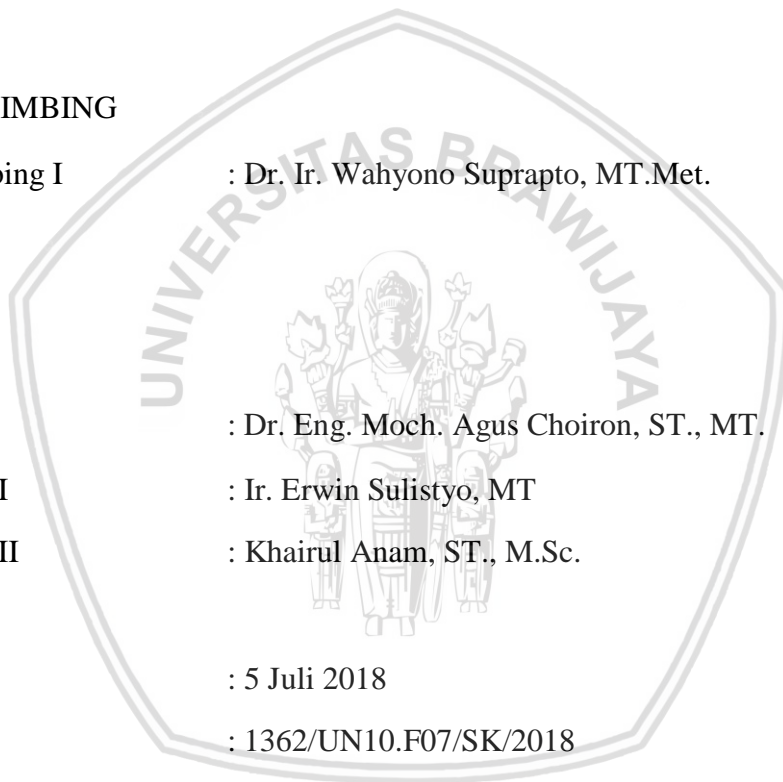
Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.

TIM PENGUJI

Dosen Penguji I : Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.
Dosen Penguji II : Ir. Erwin Sulisty, MT
Dosen Penguji III : Khairul Anam, ST., M.Sc.

Tanggal Ujian : 5 Juli 2018

SK Penguji : 1362/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau di terbitan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi saya dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 16 Juni 2018
Mahasiswa,

Ilham Adiguna
NIM.115060205111002





*Teriring Ucapan Trimakasih Untuk,
Babe, Mami, Dan Adik-Adik Terkasih.
Allah SWT Selalu Menyertai.*

Teriring Ucapan Trimakasih Untuk,

Bpk. Dr. Ir. Wahyono Suprpto, M.T.Met.



*Teriring Ucapan Trimakasih Untuk,
SKJ, The Siguraq, Primagama Gandul, dan Penghuni
Omah Kayu.*



*Teriring Ucapan Trimakasih Untuk,
Seluruh Dosen dan Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya.*



*Teriring Ucapan Trimakasih Untuk,
Seluruh Insan dan Semesta Alam.*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengaruh *Holdmelt Time* Terhadap Kekerasan Dan Mikrostruktur Pada *Recycling Velg*”** dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah SAW.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat adanya bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak dalam proses penyelesaian skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini:

1. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu, motivasi, bimbingan, dan arahan kepada penulis agar skripsi ini berjalan dengan lancar.
2. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
5. Kedua orang tua tercinta dan tersayang Babe Imam Muchlis dan Mami Eny Nurhajati yang tiada henti mendoakan, memberikan motivasi, dukungan kepada penulis.
6. Adik-adik perempuan yang tiada henti mendoakan, memberikan motivasi, dukungan kepada penulis.
7. Seluruh Dosen Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan selama penulis menyelesaikan studi yang sangat mendukung penyusunan skripsi ini.
8. Seluruh Staff Administrasi Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
9. Seluruh teman-teman asisten Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah membantu memberikan motivasi dan menyediakan tempat untuk menyelesaikan skripsi ini.

10. Seluruh teman dari grup “SKJ”, “The Siguraz”, “Primagama Gandul”, “Penghuni Omah Kayu” yang telah memberikan motivasi kepada penulis agar skripsi ini berjalan dengan lancar.
11. Semua pihak yang telah membantu selesainya skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat digunakan sebagai perbaikan karena penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut demi kemajuan kita bersama.

Malang, Juni 2018

Penulis



DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|-------------|
| KATA PENGANTAR..... | i |
| DAFTAR ISI..... | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | vi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | viii |
| RINGKASAN | ix |
| SUMMARY..... | x |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya..... | 5 |
| 2.2 Aluminium | 5 |
| 2.2.1 Sifat Aluminium..... | 6 |
| 2.2.2 Unsur Paduan Alumunium-Silikon..... | 7 |
| 2.2.3 Golongan Paduan Aluminium..... | 8 |
| 2.3 Pengecoran Logam..... | 9 |
| 2.3.1 Macam-macam Proses dan Tahapan Pengecoran..... | 10 |
| 2.4 Peleburan Logam | 11 |
| 2.4.1 Peleburan Aluminium dan Silikon..... | 12 |
| 2.4.2 <i>Velg</i> sebagai Bahan <i>Recycling</i> Aluminium..... | 13 |
| 2.4.3 Kelarutan Gas pada Cairan Aluminium dan Paduan | 14 |
| 2.4.4 <i> Holding </i> | 15 |
| 2.5 Difusi..... | 16 |

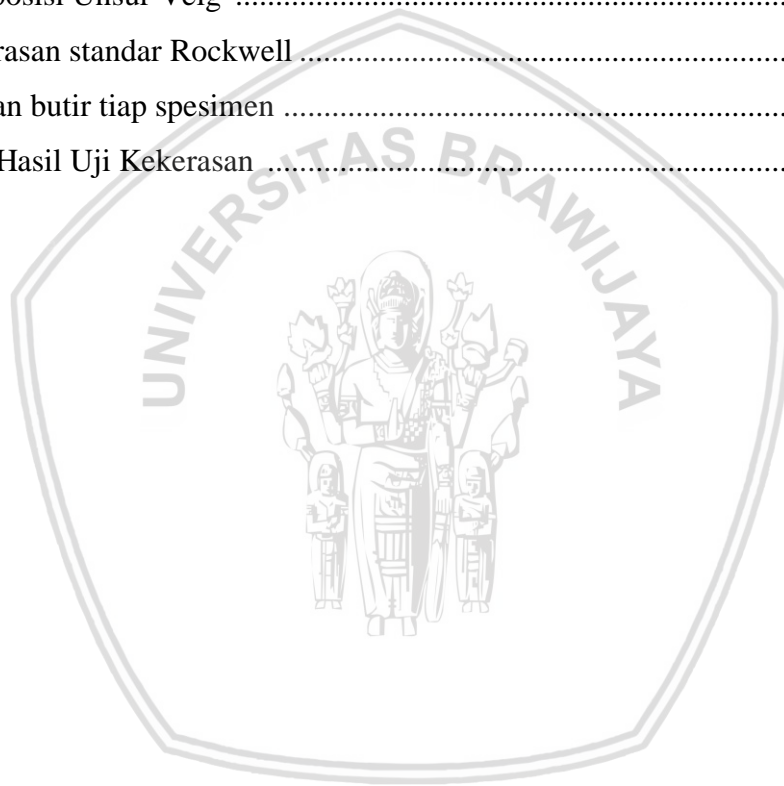


| | | |
|--|------------------------------------|-----------|
| 2.6 | Penuangan Logam Cair | 17 |
| 2.7 | Fluiditas | 18 |
| 2.8 | Solidification (Pembekuan)..... | 18 |
| 2.9 | Mikrostruktur Paduan Al-Si | 20 |
| 2.10 | Mekanisme Penguatan..... | 21 |
| 2.11 | Kekerasan | 21 |
| 2.12 | Hipotesa..... | 25 |
| BAB III METODE PENELITIAN | | 27 |
| 3.1 | Metode Penelitian | 27 |
| 3.2 | Tempat dan Waktu Pelaksanaan | 27 |
| 3.3 | Variabel Penelitian..... | 27 |
| 3.3.1 | Variabel Bebas | 27 |
| 3.3.2 | Variabel Terikat | 27 |
| 3.3.3 | Variabel Terkontrol..... | 27 |
| 3.4 | Persiapan Penelitian..... | 28 |
| 3.4.1 | Alat..... | 28 |
| 3.4.2 | Bahan | 33 |
| 3.5 | Prosedur Penelitian | 33 |
| 3.6 | Skema Penelitian..... | 35 |
| 3.7 | Diagram Alir Penelitian | 36 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 37 |
| 4.1 | Data Hasil Penelitian..... | 37 |
| 4.1.1 | Hasil Foto Mikrostruktur | 37 |
| 4.1.2 | Hasil Pengujian Kekerasan | 40 |
| 4.2 | Pembahasan..... | 41 |
| BAB V PENUTUP..... | | 45 |
| 5.1 | Kesimpulan | 45 |
| 5.2 | Saran | 45 |
| DAFTAR PUSTAKA | | |
| LAMPIRAN | | |



DAFTAR TABEL

| No. | Judul | Halaman |
|-----------|--|---------|
| Tabel 2.1 | Sifat Fisik Aluminium Murni | 5 |
| Tabel 2.2 | Sifat Mekanik Aluminium Murni | 6 |
| Tabel 2.3 | Sistem Penamaan Aluminium Tuang | 8 |
| Tabel 2.4 | Titik Cair dan Temperatur Paduan Aluminium | 12 |
| Tabel 2.5 | Komposisi Unsur Velg | 13 |
| Tabel 2.6 | Kekerasan standar Rockwell | 24 |
| Tabel 4.1 | Ukuran butir tiap spesimen | 38 |
| Tabel 4.2 | Data Hasil Uji Kekerasan | 39 |



DAFTAR GAMBAR

| No. | Judul | Halaman |
|-------------|---|---------|
| Gambar 2.1 | Diagram Fasa Al-Si | 8 |
| Gambar 2.2 | Macam bentuk cetakan, (a) cetakan terbuka, (b) cetakan tertutup | 10 |
| Gambar 2.3 | Velg | 14 |
| Gambar 2.4 | Pengaruh temperatur terhadap kelarutan hidrogen dalam aluminium..... | 15 |
| Gambar 2.5 | Proses difusi..... | 17 |
| Gambar 2.6 | Struktur Logam Tuang Murni..... | 19 |
| Gambar 2.7 | Struktur Logam Tuang Paduan..... | 19 |
| Gambar 2.8 | Mikrostruktur paduan Al-Si..... | 20 |
| Gambar 2.9 | Batas butir sebagai barrier untuk gerakan dislokasi (searah slip plane).. | 21 |
| Gambar 2.10 | Proses terjadinya indentasi brinell..... | 22 |
| Gambar 2.11 | Prinsip dalam pengujian Rockwell..... | 24 |
| Gambar 3.1 | Timbangan Elektrik..... | 28 |
| Gambar 3.2 | Tungku peleburan..... | 28 |
| Gambar 3.3 | Cetakan logam dengan satuan milimeter (mm)..... | 29 |
| Gambar 3.4 | Thermogun..... | 29 |
| Gambar 3.5 | Wadah Pengecoran | 30 |
| Gambar 3.6 | Pengaduk Baja | 30 |
| Gambar 3.7 | Penjepit Baja..... | 31 |
| Gambar 3.8 | Sarung Tangan..... | 31 |
| Gambar 3.9 | Rockwell Hardness Test | 32 |
| Gambar 3.10 | Mikroskop Logam | 32 |
| Gambar 3.11 | Velg | 33 |
| Gambar 3.12 | Tampak atas spesimen pengujian kekerasan | 34 |



| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 3.13 | Skema Penelitian | 35 |
| Gambar 3.14 | Diagram Alir Penelitian..... | 36 |
| Gambar 4.1 | Hasil dari Foto Mikrostruktur..... | 37 |
| Gambar 4.2 | Foto mikrostruktur specimen C..... | 38 |
| Gambar 4.3 | Contoh perhitungan butir pada spesimen C..... | 39 |
| Gambar 4.4 | Grafik Grain Size (Ukuran Butir Mikrostruktur) | 41 |
| Gambar 4.5 | Grafik Pengaruh Holdmelt Time Terhadap Kekerasan | 43 |



DAFTAR LAMPIRAN

| No. | Judul | Halaman |
|------------|--|---------|
| Lampiran 1 | Hasil Uji Komposisi | |
| Lampiran 2 | Tabel Grain Size Relationship Computed for Uniform Randomly Oriented, Equiaxed Grains dan Tabel Relationship Between Magnificient Used and Jeffries Multiplier | |
| Lampiran 3 | Hasil Uji Kekerasan Spesimen | |



RINGKASAN

Ilham Adiguna, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2017, *Pengaruh Holdmelt Time Terhadap Kekerasan dan Mikrostruktur Pada Recycling Velg*, Dosen Pembimbing: Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.

Pada era saat ini sektor bidang industri manufaktur di Indonesia berkembang dengan cepat, menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia pertumbuhan indeks produksi industry pada tahun 2010 hingga 2016 mengalami peningkatan sebesar 29,19% sehingga sektor bidang industri manufaktur bergantung pada persediaan bahan baku. Sekitar 64% dari total industri di Indonesia masih mengandalkan bahan baku import untuk mendukung proses produksi (Kementerian Perindustrian, 2014). Aluminium adalah material yang paling sering digunakan dalam proses manufaktur seperti pengecoran, permesinan, dan pembentukan. Aluminium dipilih karena mempunyai titik lebur yang relatif rendah yaitu pada suhu 660°C, lebih rendah jika dibandingkan dengan besi atau baja. Proses memproduksi aluminium bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara mengkonversi bauksit dan proses *recycling* (daur ulang). *Recycling* merupakan proses dimana bahan baku yang terbuat dari bahan-bahan bekas dilebur kembali menjadi *ingot* untuk proses produksi selanjutnya. Untuk meningkatkan hasil peleburan yang bagus adalah dengan salah satu parameter yaitu holdmelt time.

Holdmelt time adalah penahanan waktu pada suhu tertentu pada saat logam cair. Dalam penelitian ini hal yang diamati adalah pengaruh holdmelt time terhadap kekerasan dan mikrostruktur pada recycling velg. Dengan waktu holdmelt selama 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit. Bahan yang digunakan adalah velg mobil.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin lamanya waktu *holding* maka menyebabkan ukuran butir yang terbentuk semakin kecil. Nilai kekerasan pada paduan Al-Si daur ulang velg akan semakin meningkat dengan seiringnya penambahan waktu *holding* yang dilakukan pada saat peleburan. Terjadi penurunan nilai kekerasan dan ukuran butir karena adanya gas hidrogen yang terlarut pada saat peleburan logam.

Kata Kunci: *Aluminium, Holdmelt, Kekerasan, Mikrostruktur*

SUMMARY

Ilham Adiguna, Mechanical Engineering, The Faculty Of Engineering At Brawijaya University, November 2017, *The Influence of Hold-melt Time on Hardness and Microstructure of Recycled Wheel*, Advisor: Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met.

Recently, there has been rapid growth in the number of business from manufacturing industrial sector in Indonesia. According to Badan Pusat Statistik Indonesia (BPS) in 2010 to 2016 period, there has been an increasing number of growth with the percentage of 29,19%, and as a result, there is a notably large amount of demand on raw materials from the sector. Around 64% of total industry in Indonesia are dependent on imported raw materials to support productions (Kementrian Perindustrian, 2014). Aluminum is the most frequently used material in many manufacturing processes, such as casting, machining and forming. Aluminum is opted based on its relatively low melting point at 660°C, lower compared to iron or steel. The process of producing aluminum could be done in two ways, which are through conversing bauxite and recycling. Recycling is a process where raw materials made of used materials are melted into ingots to be processed further. Yielding good quality melt product can be achieved through a parameter namely hold-melt time.

Hold-melt time is the holding of time at certain temperature at the time of metal molten. In this study, the researcher observed the influence of hold-melt time on the hardness and microstructure of recycling wheels on 20, 30, 40, 50 and 60 given minutes. The material used is used car wheel.

The result of this study shows that, the longer the holding time the smaller the grain size of the Aluminum. The hardness value of Al-Si in recycled wheel also indicating an increase as a result of the extension of holding time during the melting process. There is also a decreasing number in hardness value and grain size as a consequence of the existence of dissolved Hydrogen during the metal molten process.

Keywords: *Aluminium, Holdmelt, Hardness, Microstructure*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era saat ini sektor bidang industri manufaktur di Indonesia berkembang dengan cepat, menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia pertumbuhan indeks produksi industry pada tahun 2010 hingga 2016 mengalami peningkatan sebesar 29,19% sehingga sektor bidang industri manufaktur bergantung pada persediaan bahan baku. Sekitar 64% dari total industri di Indonesia masih mengandalkan bahan baku import untuk mendukung proses produksi (Kementerian Perindustrian, 2014), salah satu bahan yang banyak dibutuhkan adalah aluminium. Pada tahun 2017 produksi aluminium di Indonesia hanya 200.000-250.000 ton per tahun, sedangkan pada tahun 2017 kebutuhan aluminium di Indonesia sebanyak 750.000-800.000 ton per tahun.

Aluminium adalah material yang paling sering digunakan dalam proses manufaktur seperti pengecoran, permesinan, dan pembentukan. Aluminium dipilih karena mempunyai titik lebur yang relatif rendah yaitu pada suhu 660°C , lebih rendah jika dibandingkan dengan besi atau baja. Proses memproduksi aluminium bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara mengkonversi bauksit dan proses recycling (daur ulang). Bauksit adalah sumber utama bijih aluminium. Bauksit diubah menjadi aluminium oksida (Al_2O_3) dengan menggunakan proses bayer. Untuk mengubah alumina menjadi aluminium dapat digunakan metode Hell-Heroult Process. Proses tersebut menggunakan cara elektrolisis larutan alumina cair (950 dan 980°C) yang dicampur dengan cryolite (Na_3AlF_6) dengan calcium flouride. Setelah itu aluminium metal akan tenggelam dibawah larutan dan dikeluarkan, biasanya dicor dengan bentuk blok besar yang biasa disebut dengan aluminium billets untuk diproses selanjutnya. Hell-Heroult Process menghasilkan aluminium dengan kadar kemurnian diatas 99%. Untuk pemurnian lebih lanjut digunakan proses Hoopess. Dalam proses ini melibatkan elektrolisis aluminium cair dengan sodium, barium, dan aluminium floride electrolyte. Maka dapat menghasilkan aluminium dengan kemurnian 99,99%. Aluminium yang didapatkan dari bijih bauksit biasa disebut sebagai primary aluminium. Kekurangan dari metode Hell-Heroult Process adalah

penggunaan energi listrik yang tinggi, yaitu sekitar 15,7 kWh per kilogram aluminium. Cara mengatasi permasalahan energi tersebut ialah dengan proses recycling, proses ini hanya membutuhkan scrap sekitar 5% dari energi yang digunakan untuk memproduksi aluminium dari bauksit. Aluminium yang diproduksi dari proses recycling bisa juga disebut aluminium sekunder. Recycling merupakan proses dimana bahan baku yang terbuat dari bahan-bahan bekas dilebur kembali menjadi ingot untuk proses produksi selanjutnya.

Seperti pada bahan yang lain aluminium juga memiliki kekurangan pada sifat mekanik, yaitu kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan besi dan baja. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut ialah dengan menambahkan unsur paduan seperti silikon. Selain dipengaruhi oleh penambahan unsur paduan, sifat mekanik juga bisa dipengaruhi oleh panjang difusi dari unsur paduan tersebut. Panjang difusi memiliki rumus: $L = \sqrt{4Dt}$, dengan, L adalah panjang difusi, D adalah koefisien difusi, dan t adalah waktu difusi. Dari rumus tersebut bisa diketahui bahwa panjang difusi sangat dipengaruhi oleh waktu. Selain itu peningkatan waktu holding juga dapat meningkatkan kekuatan ikatan antara aluminium dan unsur paduannya seperti silikon (Muttharasan, 2014).

Ada bermacam metode proses manufaktur yang dilakukan untuk mendapatkan hasil produk industri yang berkualitas. Salah satu proses manufaktur yang sering digunakan dalam bidang industri manufaktur adalah proses pengecoran (casting). Proses Pengecoran (casting) adalah salah satu teknik pembuatan produk dimana logam dicairkan dalam tungku peleburan kemudian dituang ke dalam rongga cetakan sehingga menghasilkan suatu produk cor (coran). Coran dibuat dari logam yang dicairkan, dituang ke dalam cetakan, kemudian dibiarkan mendingin dan membeku (Surdia dan Chijiwa, 1985).

Pengecoran logam merupakan proses manufaktur yang bisa digunakan mendaur ulang logam bekas dengan cara melebur logam setelah itu mencetak kembali dengan bentuk yang baru atau yang sesuai dengan yang diinginkan. Aluminium bisa menghasilkan produk daur ulang yang sama tanpa mengalami degradasi yang signifikan (Mbuya et al, 2010).

Dalam proses pengecoran paduan aluminium sangat memungkinkan terjadinya cacat coran, tetapi cacat coran ini harus di buat sekecil mungkin dalam produk cor (coran). Faktor yang biasanya mempengaruhi hasil coran adalah holdmelt time, sehingga akan mempengaruhi sifat mekanis pada hasil coran.

Rasyid, (2015) meneliti tentang “Pengaruh Variasi Holding Time Terhadap Kekerasan Aluminium Silicon Daur Ulang Pada Semiautomatic Pouring System”. Dari

penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu holding menyebabkan ukuran butir yang terbentuk semakin kecil. Nilai kekerasan pada paduan Al-Si daur ulang akan semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu holding yang dilakukan pada saat peleburan.

Dari latar belakang di atas diketahui bahwa salah satu parameter untuk menghasilkan kualitas pengecoran yang bagus adalah waktu penahanan pada suhu logam cair (holdmelt time). Dengan melakukan daur ulang material bekas pakai seperti velg kendaraan diharapkan dapat mengurangi limbah komponen seperti velg kendaraan dan memanfaatkan kembali velg untuk memenuhi bahan baku industri yang berkualitas. Oleh sebab itu tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh holdmelt time terhadap nilai kekerasan yang terjadi pada proses recycling velg bekas yang dilakukan melalui pengecoran dengan menggunakan tungku listrik. Penelitian ini diharapkan bisa menambah referensi pada bidang pengecoran logam agar mendapatkan hasil produk yang berkualitas tinggi, terutama penggunaan material bekas pakai.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh holdmelt time peleburan terhadap struktur mikro dan kekerasan pada recycling velg.

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi banyaknya permasalahan yang mungkin terjadi, permasalahan harus dibatasi. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian berupa skrap dari velg aluminium bekas dengan variasi holdmelt time
2. Pengujian yang akan dilakukan adalah
 - a. Pengujian komposisi
 - b. Pengujian kekerasan
 - c. Foto mikrostruktur

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruh holdmelt time peleburan terhadap struktur mikro dan kekerasan pada recycling velg.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah meningkatkan kualitas produk yang telah ada sebelumnya serta memperbaiki sifat mekanik hasil coran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Rasyid, (2015) meneliti tentang “Pengaruh Variasi *Holding Time* Terhadap Kekerasan *Aluminium Silicon* Daur Ulang Pada *Semiautomatic Pouring System* ”. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu *holding* menyebabkan ukuran butir yang terbentuk semakin kecil. Nilai kekerasan pada paduan Al-Si daur ulang akan semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu *holding* yang dilakukan pada saat peleburan.

Muttharasan, dkk (2014) meneliti tentang pengaruh temperatur proses dan waktu *holding* pada komposit Al/SiC. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah kekuatan ikatan antara aluminium dan silikon semakin meningkat dengan waktu *holding* yang semakin lama. Selain itu peningkatan waktu *holding* juga dapat meningkatkan jarak difusi dari silikon.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mbuya *et al.* (2010) menjelaskan bahwa *aluminium recycling* (aluminium daur ulang) dapat di gunakan kembali untuk menghasilkan produk yang sama tanpa mengalami degradasi yang signifikan. Hal ini dikarenakan produk hasil *recycling* dari skrap yang telah disortir memiliki komposisi kimia yang hampir sama. Sedangkan pada skrap yang tidak disortir memiliki komposisi kimia yang tidak konsisten.

2.2 Aluminium

Aluminium merupakan logam kedua yang paling banyak di bumi. Perkembangan industri manufaktur saat ini menginginkan karakteristik sebuah material yang mampu memberikan kualitas yang unik dan bagus. Dalam aspek kehidupan, aluminium dapat diolah menjadi berbagai macam produk. Aluminium memiliki nilai kekuatan tinggi sehingga dapat diaplikasikan dalam bidang otomotif. Dalam bidang konstruksi, aluminium dapat digunakan untuk pembuatan kusen atau pintu. Dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi dapat digunakan untuk peralatan memasak.

Fleksibilitas dari aluminium membuat logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Aluminium berasal dari bauksit mineral. Bauksit diubah menjadi aluminium oksida (alumina) melalui Proses Bayer. Alumina tersebut kemudian diubah menjadi logam aluminium dengan menggunakan sel-sel elektrolit dengan Proses Hall-Heroult.

Aluminium merupakan material logam *non ferrous* yang ringan dengan densitas 2.7 gram/cm³ setelah Magnesium (1.7 gram/cm³) dan Berilium (1.85 gram/cm³) atau sekitar 1/3 dari berat jenis besi (7.83 gram/cm³), tembaga (8,93 gram/cm³) atau kuningan (8.53 gram/cm³). Dan aluminium memiliki titik cair yaitu 660°C.

2.2.1 Sifat Aluminium

Aluminium merupakan material reaktif yang mudah teroksidasi dengan oksigen, bila teroksidasi dengan oksigen selanjutnya akan terbentuk lapisan aluminium oksida / alumina (Al₂O₃) yang dapat membuatnya bertahan terhadap korosi. Apabila kita menambahkan Fe, Cu dan Ni maka akan membuat sifat ketahanan korosinya menurun. Karena kadar alumina akan mengalami penurunan. Berbeda dengan apabila kita menambahkan Mg dan Mn misalnya, maka tidak akan mempengaruhi sifat ketahanan korosinya.

Aluminium memiliki konduktivitas termal sangat baik, dengan nilai prosentase sekitar 50% sampai 60%. Karena aluminium memiliki konduktivitas termal sangat baik dan menguntungkan dalam hal penukaran panas, evaporator, peralatan listrik untuk pemanas dan otomotif (ASM Handbook vol. 2, 2004 : 18). Aluminium memiliki sifat ulet, mampu bentuk dan mampu mesin yang mudah. Sifat-sifat fisik dan mekanik aluminium murni secara umum dijelaskan pada tabel 2.1 dan table 2.2.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium Murni

| Sifat – Sifat | Kemurnian Al (%) | |
|--|--------------------------|-------------------------|
| | | |
| | 99,996 | >99,0 |
| Massa Jenis (20 °C) | 2,6989 | 2,71 |
| Titik Cair (°C) | 660,2 | 653 – 657 |
| Panas Jenis (cal/g°C) (100 °C) | 0,2226 | 0,2297 |
| Hantaran Listrik | 64,94 | 59 (dianil) |
| Tahanan Listrik Koefisien Temperatur (°C) | 0,00429 | 0,0115 |
| Koefisien Pemuaian (20–100 °C) | 23,86 X 10 ⁻⁶ | 23,5 X 10 ⁻⁶ |
| Jenis Kristal, konstanta kisi | FCC, a = 4,013 kX | FCC, a = 4,04 kX |

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium Murni

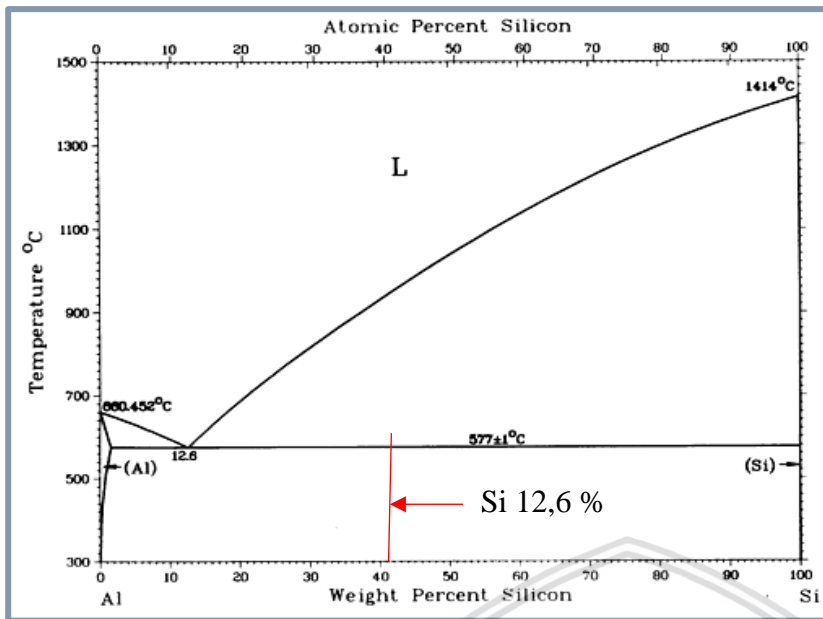
| Sifat – Sifat | Kemurnian Al (%) | | | |
|--|------------------|------------------|--------|------|
| | 99,996 | | >99,0 | |
| | Dianil | 75% dirol dingin | Dianil | H18 |
| Kekuatan Tarik (kg/mm²) | 4.9 | 11.6 | 9.3 | 16.9 |
| Kekuatan mulur (0.2%) (kg/mm²) | 1.3 | 11.0 | 3.5 | 14.8 |
| Perpanjangan (%) | 48.8 | 5.5 | 35 | 5 |
| Kekerasan Brinell | 17 | 27 | 23 | 44 |

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975

Untuk mendapatkan sifat mekanik aluminium seperti apa yang kita inginkan, maka sifat mekanik juga dapat dipengaruhi oleh komposisi kimianya dan jenis perlakuan apa saja yang dapat dilakukan (*heat treatment*). Supaya mengetahui jenis perlakuan yang diberikan maka ditambahkan huruf dibelakang angka kode paduannya. Huruf yang biasa digunakan adalah F untuk *as fabricated*, H untuk *strain hardened*, O untuk *annealed, recrystallized*, T untuk *thermally treated*, dan W untuk *solution heat treated*.

2.2.2 Unsur Paduan Aluminium - Silikon

Aluminium digunakan sebagai paduan berbagai macam logam murni, dikarenakan tidak kehilangan sifat ringan, sifat-sifat mekanisnya, sifat mampu cornya yang dapat diperbaiki dengan cara menambahkan unsur-unsur paduan lain. Unsur-unsur paduan itu adalah tembaga, silicon, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya yang bisa merubah sifat paduan aluminium. Penambahan unsur Si pada aluminium dapat menurunkan *spesific gravity*, pada saat *spesific gravity* turun, maka densitasnya turun dan membuat fluiditas dari paduan Al-Si meningkat, sehingga dapat dikatakan bahwa paduan Al-Si memiliki sifat mampu cor yang baik. Diagram fasa dari Al-Si ditunjukkan pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Al-Si
Sumber : ASM International, 2004

Gambar dapat digunakan sebagai landasan untuk menganalisis perubahan fasa dari proses pengecoran paduan Al-Si. Kandungan silikon pada diagram fasa Al-Si ini terbagi dari 3 macam, yaitu:

- Hipoeutectic*, merupakan kondisi dimana kandungan silikon kurang dari 12,6% (banyak aluminium) dengan struktur akhir yang terbentuk ialah struktur ferrite.
- Eutectic*, merupakan kondisi dimana kandungan silikon didalam paduan Al-Si sekitar 12,6%.
- Hypereutectic*, merupakan kondisi dimana kandungan silikon lebih dari 12,6% (banyak silikon). Karakteristik dari kondisi ini adalah ketahanan aus meningkat, ekspansi termal rendah, dan ketahanan retak panas yang baik.

2.2.3 Golongan Paduan Aluminium

Aluminium dapat digolongkan berdasarkan komposisi kimianya atau dari jenis unsur paduannya. Penggolongan dari jenis paduan ini menggunakan angka yang sesuai dengan *American Standart Testing Materials* (ASTM). Berikut adalah cara penggolongan aluminium berdasarkan paduannya:

- Aluminium murni (kandungan aluminium sebesar 99%) 1xxx
- Copper 2xxx
- Manganase 3xxx
- Silicon 4xxx
- Magnesium 5xxx

6. Magnesium dan silicon 6xxx
7. Zincum 7xxx
8. Elemen – elemen yang lain 8xxx

Dari pengkodean diatas, angka pertama menunjukkan unsur paduan yang ada pada aluminium. Angka kedua menunjukkan sifat khusus yang menandakan perlu perhatian khusus atau tidak. Untuk dua angka terakhir menunjukkan modifikasi dari paduan. Contoh pembacaan dari kode tersebut misalnya ASTM 5056, yang artinya adalah paduan Aluminium – Magnesium tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi pada paduannya.

Adapun pengkodean yang digunakan untuk aluminium tuang berdasarkan *Aluminium Association of America* (AA). Pengkodean tersebut dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Sistem Penamaan Aluminium Tuang

| No. Seri | Komposisi Paduan |
|----------|--|
| 1xx.x | Aluminium murni |
| 2xx.x | Paduan aluminium – tembaga |
| 3xx.x | Paduan aluminium – silicon – magnesium |
| 4xx.x | Paduan aluminium – silicon |
| 5xx.x | Paduan aluminium – magnesium |
| 7xx.x | Paduan aluminium – seng |
| 8xx.x | Paduan aluminium – timah |

Sumber : (DeGarmo, 2008 : 181)

Digit pertama mengidentifikasi grup paduan, digit kedua dan ketiga mengidentifikasi paduan aluminium atau kemurnian dari aluminium tersebut. Digit terakhir dipisahkan oleh titik desimal, menunjukkan bentuk produk (pengecoran atau ingot).

2.3 Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah salah satu metode langsung pembuatan geometri komponen yang diinginkan. Prinsip pembuatan pengecoran melibatkan pembuatan rongga di dalam cetakan pasir dan kemudian menuangkan logam cair langsung ke rongga cetakan dan membiarkan logam membeku (solidifikasi) dalam cetakan tersebut. (Suprpto, 2017)

Proses pengecoran logam memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pembentukan yang lain. Kelebihannya antara lain (Heine, 1990 : 1) :

1. Dapat digunakan untuk produksi massal
2. Dengan proses ini kita dapat memperoleh sifat-sifat yang diinginkan
3. Untuk berbagai macam logam

4. Konstruksi dapat lebih sederhana
5. Ukuran bervariasi, baik besar maupun kecil

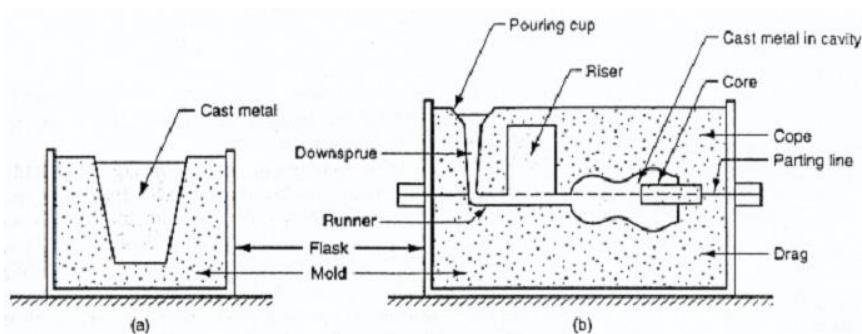
2.3.1 Macam-macam Proses dan Tahapan Pengecoran

Proses pengecoran banyak digunakan dalam dunia industri, ini disebabkan oleh banyaknya keunggulan yang bisa didapat dari proses ini, diantaranya adalah mampu mendapatkan bentuk benda kerja yang rumit, dapat digunakan pula untuk menggabungkan dua atau lebih logam dengan tujuan menipiskan kulit benda hasil coran, serta dapat digunakan untuk produksi massal dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Proses pengecoran juga bermacam-macam, diantaranya:

1. Pengecoran dengan cetakan pasir (*Sand-Mold Casting*).
2. *Shell-Mold Casting*.
3. Pengecoran dengan cetakan semen (*Cement-Mold Casting*).
4. Pengecoran dengan pengaruh gaya sentrifugal (*Centrifugal Casting*)
5. Pengecoran dengan Tekanan Tinggi (*High-Pressure Die Casting*).
6. Pengecoran dengan Tekanan Rendah (*Low-Pressure Die Casting*)
7. Pengecoran dengan cara pola cetakan lilin (*Investment Casting*).

Proses pengecoran logam memiliki tahapan sebagai berikut :

- (1) Membuat cetakan;
- (2) Persiapan dan peleburan logam;
- (3) Menuangkan logam cair ke dalam cetakan :
 - a) untuk cetakan terbuka (*permanent-mold*) (lihat gambar 2.2.a) logam cair dituang sampai memenuhi rongga yang terbuka
 - b) untuk cetakan tertutup (*expendable-mold*) (lihat gambar 2.2.b) logam cair dituang sampai memenuhi sistem saluran masuk



Gambar 2.2 Macam bentuk cetakan, (a) cetakan terbuka, (b) cetakan tertutup

Sumber: M. P. Groover, 2002

- (4) Setelah dingin benda cor dilepaskan dari cetakannya;

(5) Beberapa metode pengecoran diperlukan proses pengerjaan lebih lanjut :

- memotong logam yang lebih,
- pembersihan permukaan logam,
- pemeriksaan produk cor,
- memperbaiki sifat mekanik melalui perlakuan panas (*heat treatment*),
- menyamakan ukuran dengan proses pemesinan.

Ada macam jenis cetakan dalam proses pengecoran logam yaitu :

1. Cetakan non-permanen (*expendable mold*); hanya bisa digunakan satu kali pemakaian. Contoh : cetakan pasir (*sand casting*), cetakan kulit (*shell mold casting*), cetakan presisi (*precision casting*).
2. Cetakan permanen (*permanent mold*); bisa digunakan berulang kali (biasanya terbuat dari logam). Contoh : *gravity permanent mold casting*, *pressure die casting*, *centrifugal die casting*.

Saat mengecor logam harus dipanaskan hingga mencapai temperatur tertentu di atas titik leburnya dan kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan biarkan membeku. Logam dipanaskan dalam tungku peleburan sampai mencapai temperatur lebur yang cukup untuk penuangan.

2.4 Peleburan Logam

Peleburan logam adalah proses dicairkannya logam yang memiliki fasa awal padat menjadi fasa cair. Menurut DeGarmo (2008:264) “proses peleburan harus mampu menyediakan bahan cair pada suhu yang tepat, dalam jumlah yang diinginkan dengan hasil yang berkualitas dan biaya yang masuk akal.”

Untuk menghemat waktu peleburan dan mengurangi kehilangan karena oksidasi lebih baik logam dipotong kecil-kecil kemudian dipanaskan, jika logam sudah mulai mencair, *fluks* harus ditaburkan untuk mengurangi oksidasi dan absorpsi gas (*fluxing*) dan dilakukan pengambilan gas yang berada dalam larutan logam (*degassing*). Selama pencairan, permukaan harus ditutup fluks dan cairan diaduk pada jangka waktu tertentu untuk mencegah segregasi (Surdia dan Chijiwa, 1991:171).

Proses *covering flux* ini dilakukan dengan memberikan campuran dari garam NaCl dan KCl. Penggunaan fluks kering 1 % sampai 3 % dapat mengurangi gas dan mencegah gelembung udara serta lubang jarum, disamping itu juga memperbaiki sifat-sifat mekaniknya (Surdia dan Chijiwa, 1991 : 171). Setelah mencapai titik temperatur yang diinginkan, paduan

aluminium cair diambil dari dalam tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam cetakan.

2.4.1 Peleburan Aluminium dan Silicon

Pada saat proses peleburan guna mendapatkan logam cair pasti akan dimulai dengan menggunakan suatu tungku peleburan di mana bahan baku dan jenis tungku yang digunakan harus disesuaikan dengan material yang akan dilebur. Jenis tungku peleburan ada berbagai macam, anantara lain diklarifikasikan dari jenis energinya atau kapasitasnya.

Paduan aluminium dan paduan ringan lainnya biasanya dilebur dengan menggunakan tungku peleburan jenis krusibel dan tungku listrik. Tungku krusibel mempunyai konstruksi paling sederhana, fleksibel dan serba guna untuk untuk peleburan skala kecil dan sedang. Bahan bakar tungku krusibel dapat berupa minyak, induksi listrik frekuensi rendah, dan juga dapat dioperasikan menggunakan bahan bakar gas. Sehingga besar kecilnya energy yang dibutuhkan saat proses peleburan sangat diperhatikan.

Namun aspek yang paling penting dalam peleburan aluminium dan paduannya adalah penentuan temperatur peleburan serta waktu peleburan itu sendiri. Karena temperatur dan waktu peleburan sangat mempengaruhi kualitas produk hasil peleburan, khususnya untuk paduan Al-Si dimana keduanya memiliki titik lebur yang jauh berbeda yaitu Al 660 °C dan Si 1414 °C. Berikut ini adalah contoh dari beberapa titik cair dan temperatur dari paduan aluminium seperti tabel 2.4 berikut ini:

Tabel 2.4 Titik Cair dan Temperatur Paduan Aluminium

| Paduan dan Komposisi | Suhu Mulai Cair (°C) | Suhu Akhir Cair (°C) | Suhu Penuangan (°C) |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Al – 4.5 Cu | 521 | 644 | 700 - 780 |
| Al-4Cu-3Si | 521 | 627 | 700 - 780 |
| Al-4.5Cu-5Si | 521 | 613 | 700 - 780 |
| Al-12Si | 574 | 582 | 670 - 740 |
| Al-9.5Si-0.5Mg | 557 | 596 | 670 - 740 |
| Al-3.5Cu-8.5Si | 538 | 593 | 700 - 780 |
| Al-7Si-0.3Mg | 557 | 613 | 700 - 780 |
| Al-4Cu-1.5Mg-2Ni | 532 | 635 | 700 - 760 |

| | | | |
|---------------------------|-----|-----|-----------|
| Al-3.8Mg | 599 | 641 | 700 - 760 |
| Al-10Mg | 499 | 604 | 700 - 760 |
| Al-12Si-0.8Cu-1.7Mg-2.5Ni | 538 | 566 | 670 - 740 |
| Al-9Si-3.5Cu-0.8Mg-0.8Ni | 520 | 582 | 670 - 740 |
| Al-9Si-3.5Cu-0.8Mg-0.8Ni | 520 | 582 | 670 - 740 |

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975

2.4.2 *Velg* sebagai Bahan *Recycling* Aluminium

Velg atau rim adalah lingkaran luar logam yang sudah didesain dengan bentuk sesuai standar (ISO 5751 dan ISO 4249-3), dan sebagai tempat terpasangnya ban pada kendaraan seperti motor. *Velg* merupakan komponen yang mengalami pembebanan dinamis pada saat sepeda motor dijalankan.

Pembebanan tersebut dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Konsentrasi tegangan yang terjadi dalam siklus waktu tertentu dapat menyebabkan terjadinya keretakan.

Perambatan retak akan terjadi apabila *velg* mengalami pembebanan secara terus menerus walaupun dalam kondisi beban normal sehingga dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada *velg*.

Material aluminium merupakan salah satu material yang dipakai sebagai bahan dasar pembuatan *velg*. Aluminium dipilih karena memiliki berbagai macam kelebihan. Sifatnya yang ringan merupakan salah satu keunggulannya. Selain itu aluminium juga tahan terhadap korosi. Pembuatan *velg* dengan material aluminium juga menghemat biaya karena sisa dari hasil produksi aluminium dapat dilebur dan digunakan untuk mencetak produk yang lainnya.



Gambar 2.3 Velg

Sumber : Dokumentasi pribadi

Tabel 2.5 Komposisi Unsur Velg

| Unsur | Komposisi (% wt) | Unsur | Komposisi (%wt) |
|-------|---------------------|-------|--------------------|
| Al | 92,89 | Sn | 0,025 |
| Si | 6,23 | Ti | 0,177 |
| Fe | 0,178 | Pb | 0,0012 |
| Cu | 0,0017 | Be | 0,0000 |
| Mn | 0,015 | Ca | 0,0017 |
| Mg | 0,411 | Sr | 0,0360 |
| Cr | 0,0041 | V | 0,0207 |
| Ni | 0,0078 | Zr | 0,0132 |
| Zn | 0,0000 | | |

Sumber : ASM International, 2004

2.4.3 Kelarutan Gas pada Cairan Aluminium dan Paduan

Menurut Wahyono dkk (2010) mengatakan bahwa “pada kondisi cair aluminium termasuk logam yang mudah menyerap gas hidrogen dari sekelilingnya (udara lembab, *grease* dan *oil*, kandungan air tungku, dan lain-lain).”

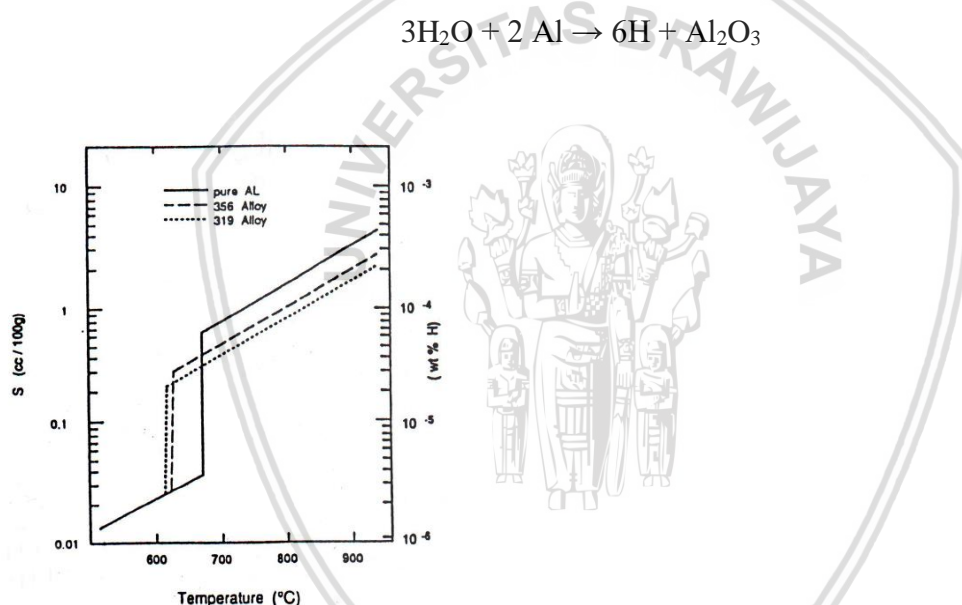
Gas-gas hidrogen, oksigen, dan nitrogen sering terlarut dalam pengecoran aluminium dan paduannya karena mengalami fenomena difusi. Variasi kelarutan gas-gas tersebut secara langsung dipengaruhi oleh temperatur dan akar kuadrat tekanan dalam *liquidus* dan *solidus*. Cacat aluminium bertambah dengan meningkatnya kelarutan gas dalam *liquidus* dari peleburan sampai solidifikasi. Kontrol dalam kondisi lebur dan perlakuan lebur dapat mengurangi tingkat kelarutan gas (Wahyono, 2012)

Hidrogen adalah satu-satunya gas yang bisa muncul pada saat penuangan aluminium dan paduannya. Dibandingkan ketika padat, kelarutan hidrogen meningkat secara signifikan

ketika dalam kondisi aluminium cair. Berikut mengenai beberapa sumber potensial timbulnya hidrogen pada aluminium antara lain:

- Timbulnya asap hasil pembakaran pada saat proses peleburan.
- Reaksi antara aluminium cair dengan cetakan
- Udara dalam tungku (*furnace*) menggunakan bahan bakar terkadang menimbulkan gas hidrogen yang disebabkan oleh reaksi pembakaran bahan bakar yang kurang sempurna.

Gas hidrogen menyebabkan munculnya porositas dalam benda cetak paduan aluminium dan memberikan dampak buruk pada kekuatan dan kesempurnaan dari benda coran tersebut. Saat peleburan aluminium, hanya sedikit hidrogen yang terserap dari atmosfer. Sumber utama hidrogen didalam Al berasal dari uap air, uap panas, atau hasil dari reaksi kimia sebagai berikut :



Gambar 2.4 Pengaruh temperatur terhadap kelarutan hidrogen dalam aluminium
Sumber: Budiyo, 2010

Beberapa unsur paduan dalam logam Aluminium yang mampu menurunkan kelarutan gas Hidrogen yaitu Si, Zn, Cu, dan Mn. Sedangkan unsur paduan lainnya yang mampu menaikkan kelarutan gas Hidrogen yaitu Mg, Fe, Ni, dan Li.

2.4 Holding

Holdmelt time merupakan waktu penahanan temperatur pada kondisi cair. Proses penahanan atau holding dilakukan untuk memberi kesempatan inklusi untuk mengapung ke permukaan dan gas-gas terlepas ke udara bebas (Zakwan, 2009).

Holdmelt time digunakan untuk menghaluskan butir yang terbentuk. Penghalusan butir merupakan salah satu metode dalam mekanisme penguatan suatu material. Semakin kecil ukuran butir maka jumlah batas butir per unit volume juga akan meningkat, sehingga material lebih sulit untuk berdeformasi. Selain itu, *holdmelt time* juga berfungsi untuk memastikan bahwa logam yang dilebur sudah mencair secara keseluruhan, sehingga ketika penuangan logam cair kedalam cetakan tidak ada endapan yang dapat menyumbat cetakan sehingga logam cair dapat mengisi seluruh rongga cetakan (Rasyid, 2016).

Xu-liang (2010) pada penelitiannya yang berjudul “Effect of Al5Ti1B Master Alloy on Microstructures and properties of AZ61 Alloys” menyatakan bahwa pada variasi waktu holding 5, 10, 20, dan 30, ukuran butir dari paduan tersebut terlihat pada foto mikrostruktur semakin mengecil. Dari hasil tersebut terlihat bahwa waktu penahanan dapat mengurangi ukuran butir pada paduan AZ61 dengan penambahan paduan 0,5% Al5Ti1B setelah solution treatment.

2.5 Difusi

Difusi adalah peristiwa dimana mengalirnya suatu zat yang memiliki konsentrasi zat tinggi menuju zat konsentrasi rendah. Proses difusi ini terus terjadi hingga seluruh zat tercampur secara merata. Faktor yang memengaruhi kecepatan difusi adalah:

- Ukuran partikel, semakin kecil ukuran partikel maka semakin cepat pergerakan partikelnya sehingga kecepatan difusi tinggi
- Waktu, waktu berbanding lurus dengan tingkat kerataan, semakin lama waktu pengadukan partikel-partikel akan semakin tercampur merata.
- Suhu, suhu juga berbanding lurus dengan energi partikel, semakin tinggi suhu partikel akan mendapatkan energy untuk bergerak dengan lebih cepat

Hubungan antara waktu *holdmelt time* dengan difusi adalah semakin lama waktu *holdmelt time* maka hidrogen yang terdifusi akan semakin menyatu sesuai dengan rumus :

$$L = \sqrt{4Dt} \quad (2-1) \quad (\text{Muttharasan, M, 2014})$$

Dimana :

L = panjang difusi

D = Coefisien difusi

t = Waktu

Jumlah atom yang dapat berdifusi dalam satuan waktu mulai dari satu satuan luas penampang sepanjang satu satuan gradient konsentrasi disebut juga difusifitas atau koefisien difusi. Koefisien difusi dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Arrhenius* :

$$D = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (2-2) \quad (\text{Callister, W.D, 2001})$$

Dengan :

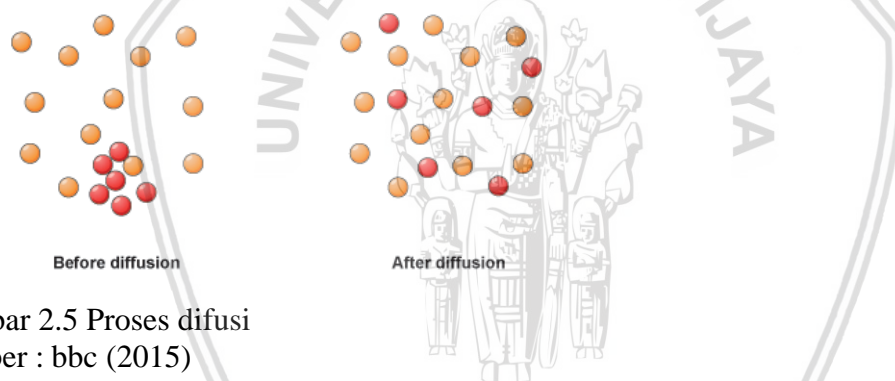
D : koefisien difusi (m²/s)

D₀.exp: Koefisien difusi pada keadaan standar (m²/s)

Q : energy aktivasi (J/mol)

R : konstanta gas (8,314 J/(mol K) atau 1,987 kal/(mol K))

T : temperature absolut (K)



Gambar 2.5 Proses difusi
Sumber : bbc (2015)

2.6 Penuangan Logam Cair

Penuangan logam cair adalah proses dimana logam yang sudah dilebur dari tungku peleburan lalu dituang ke dalam rongga cetakan. Dalam penuangan harus dilakukan dengan cepat, waktu penuangan yang cocok perlu ditentukan dengan mempertimbangkan berat, tebal coran, dan sifat cetakan (Soleh, 2008). Teknik penuangan juga harus dilakukan dengan tepat. Jika ketentuan tersebut dihiraukan, maka dapat mengakibatkan kegagalan dalam proses pengecoran, maka hasil pengecoran mengalami cacat (*defect*), kecelakaan kerja, serta merugikan dalam aspek ekonomi maupun energi. Proses penuangan berhasil jika cairan logam mengalir ke dalam seluruh bagian rongga cetakan sebelum membeku.

2.7 Fluiditas

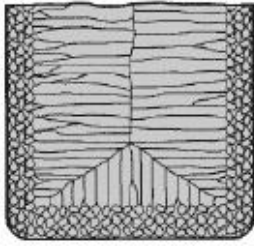
Sifat mampu alir (*fluidity*) logam cair untuk memprediksi kemampuan logam cair mengisi rongga cetakan sehingga didapat ketepatan bentuk dan dimensi, dan cacat dapat diminimalis. Fluiditas didefinisikan kemampuan alir logam cair dalam cetakan sampai berhenti karena solidifikasi, terutama untuk bagian yang tipis sehingga seluruh logam cair mengikuti bentuk cetakan. Sifat ini berhubungan dengan viskositas zat cair, bila semakin tinggi nilai viskositas maka sifat mampu alirnya menurun. Ada beberapa faktor yang memengaruhi fluiditas logam cair yaitu suhu penuangan dan komposisi unsur.

Suhu penuangan secara teori harus sama atau diatas garis *liquidus*, bila suhunya lebih rendah kemungkinan besar akan terjadi pepadatan logam cair terlebih dahulu sehingga mengakibatkan logam cair tidak menempati rongga cetakan yang seharusnya. Apabila saat suhu penuangan terlalu tinggi maka pasir pada dinding cetakan mudah lepas saat logam cair mengalir melalui dinding cetakan membuat permukaan coran menjadi kasar.

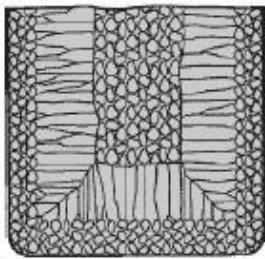
2.8 Solidification (Pembekuan)

Solidification (pembekuan) adalah proses perubahan bentuk cair logam kembali ke bentuk padat. Proses pembekuan memiliki perbedaan antara jenis logam murni (*pure metal*) dengan logam paduan (*alloy*). Logam murni memiliki temperatur pembekuan yang konstan. Sedangkan temperatur pembekuan logam paduan tidak konstan atau berupa taksiran. Taksiran temperatur pembekuan logam paduan ini bergantung pada sistem paduan dan komposisi paduan. Ini disebabkan karena setiap unsur logam memiliki sifat yang berbeda-beda. Tahapan yang dilalui dari temperatur penuangan sampai mencapai temperatur ruang yaitu, pendinginan cairan logam atau *liquid cooling* (*liquid*), pembekuan atau *freezing* (*liquid* + *solid*), serta pendinginan logam padat atau *solid cooling* (*solid*). Pembekuan dan pendinginan logam terjadi karena aksi pendinginan dinding cetakan, sehingga cairan logam membentuk cangkang padat.

Laju pembekuan dan pendinginan logam ini berawal dari luar logam menuju tengah logam. Maka dari itu, semakin tebal suatu coran maka membutuhkan waktu yang lebih lama supaya coran tersebut padat dan dingin. Sifat termal dari logam coran guna untuk memindahkan panas ke dalam cetakan juga memengaruhi kecepatan pendinginan suatu coran. Pembentukan struktur butir maupun serat (*grain structure*) terjadi ketika saat proses pembekuan.



Gambar 2.6 Struktur Logam Tuang Murni
Sumber : Mikell P.Groover,2002



Gambar 2.7 Struktur Logam Tuang Paduan
Sumber : Mikell P.Groover,2002

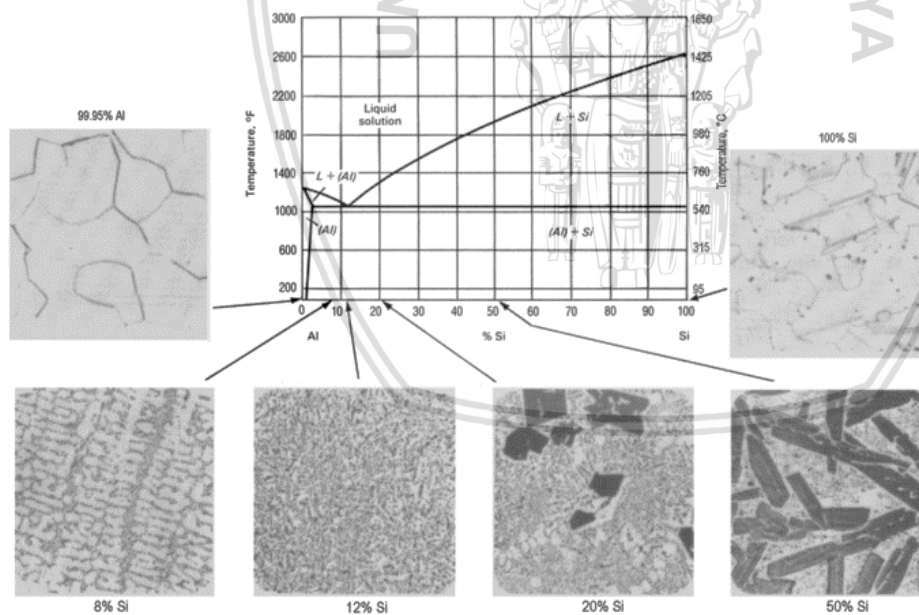
Gambar 2.6 dan 2.7 diatas menunjukkan *grain structure* dari logam murni dan logam paduan. Struktur dari logam hasil penuangan memiliki kulit atau cangkang yang terbentuk karena pendinginan cepat. Hal ini disebabkan dinding cetakan berada pada temperatur ruang atau lebih dingin daripada temperatur logam cair. Pendinginan yang cepat pada kulit coran ini memberikan hasil struktur yang halus dan terlihat acak. Proses pendinginan berlanjut dan membentuk serat (*grain*) yang berkembang menuju kebagian tengah dari coran. Arah pembentukan serat ini berlawanan dengan arah perpindahan panas. Arah perpindahan panas (*heat transfer*) dari dalam menuju luar cetakan, sedangkan arah pembentukan serat dari sisi paling tepi coran menuju ke dalam coran. Pembentukan *grain* ke dalam terlihat seperti duri atau tulang dari logam padat. Struktur yang terdapat pada logam murni (gambar 2.6) membentuk cabang pada tengah-tengah logam dan disebut *columnar grains*.

Berbeda dengan *grain structure* pada logam paduan (gambar 2.7) terbentuk secara terpisah. Kejadian ini dapat terjadi karena komposisi logam paduan yang timpang. Komposisi yang timpang tersebut dinyatakan dalam hasil akhir pengecoran berupa pemisahan (*segregation*) elemen. Pemisahan yang terjadi pada logam paduan dapat disebut sebagai *ingot segregation*.

2.9 Mikrostruktur Paduan Al-Si

Untuk mengetahui mikrostruktur dari suatu logam memerlukan alat bantu seperti lope dan mikroskop optik. Sebelum struktur mikro dari benda uji tersebut dilihat menggunakan mikroskop, permukaannya perlu diperhalus terlebih dahulu dengan cara dikikir, digerenda, diasah ataupun di amplas. Fungsi dari pengamatan struktur mikro adalah untuk mengetahui struktur kristal suatu material, sehingga dapat mengetahui sifat fisis dari benda coran tersebut.

Siswanto (2011) meneliti pengaruh temperatur dan waktu peleburan pengecoran tuang terhadap struktur mikro paduan Al-21% MG. Didalam penelitiannya menyatakan bahwa pengasahan dan pemolesan harus berarah saling tegak lurus dengan bahan poles oksida chrom. Bila permukaan sudah mengkilap cermin disापukan bahan etsa yang dapat melarutkan dengan cepat bagian-bagian tertentu dari bahan benda uji atau akan memberi warna tertentu. Sebagai bahan etsa dapat dipergunakan antara lain : baja ($\text{HNO}_3 = 15 \text{ cc}$, alkohol = 100 cc), Cu ($\text{CrO}_3 = 50 \text{ cc}$, $\text{HCl} = 2 \text{ tetes}$), Al ($\text{HF} = 10 \text{ cc}$, $\text{HCl} = 15 \text{ cc}$, Air = 90 cc), paduan Al (NaOH). Dar pernyataan tersebut, dapat dikatakan bahwa pengamatan struktur mikro dari paduan Al-Si menggunakan NaOH sebagai bahan etsa.



Gambar 2.8 Mikrostruktur paduan Al-Si
Sumber : ASM International, 2004

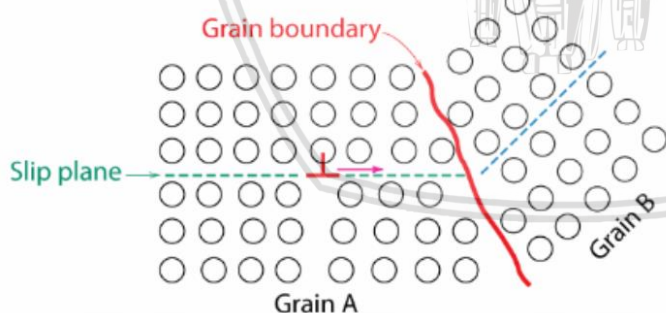
Pada gambar 2.8 diatas dapat dilihat struktur mikro pada komposisi hipoeutektoid ($<12\% \text{ Si}$), hipereutektoud ($>12\% \text{ Si}$), dan satu yang mendekati komposisi eutektik pada 12% . Dari gambar tersebut yang berwarna putih adalah aluminium, sedangkan yang berwarna gelap adalah *silicon*. Semakin sedikit kadar Si pada paduan tersebut maka gambar

dari mikrostrukturnya akan didominasi oleh warna putih, begitu juga sebaliknya apabila Si semakin banyak, maka warna hitam pada foto mikrostrukturnya akan semakin banyak.

2.10 Mekanisme Penguatan

Mekanisme penguatan pada material logam adalah hubungan antara pergerakan dislokasi dan sifat mekanik dari logam. Dengan mengurangi pergerakan dislokasi, maka kekuatan mekanik dapat ditingkatkan, yang disebabkan oleh energi mekanik yang dibutuhkan guna membuat deformasi plastis semakin besar. Sebaliknya, jika pergerakan dislokasi tidak ada yang menahan, logam akan lebih mudah untuk terdeformasi. Secara umum mekanisme penguatan yang digunakan pada material logam adalah dengan cara pengerasan regangan (*strain hardening*), penguatan larutan padat, penguatan presipitasi, serta penguatan batas butir.

Penghalusan butir adalah salah satu cara yang efektif bagi penguatan yang dihasilkan dengan menghalangi pergerakan dislokasi disekitar batas butir. Dengan mengecilnya ukuran dari setiap butir maka meningkatkan batas butir per unit volume dan mengurangi garis edar bebas dari slip yang berkelanjutan. Pergerakan selanjutnya membutuhkan tegangan yang tinggi untuk membuka atau menghasilkan suatu dislokasi baru pada butir berikutnya. Gambar 2.9 menunjukkan pengaruh dari batas butir terhadap pergerakan dislokasi.



Gambar 2.9 Batas butir sebagai *barrier* untuk gerakan dislokasi (searah *slip plane*)
Sumber: Norman, 2010

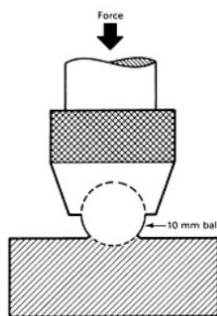
2.11 Kekerasan

Kekerasan material diartikan sebagai ketahanan material pada indentasi permanen atau deformasi saat ditekan dengan indentor yang diberi beban. Berdasarkan bentuk

indentornya, pengujian kekerasan dibagi menjadi tiga, yaitu indentor berbentuk bola (brinell test), piramida (vicker test), dan kerucut (rockwell test). Pada pengujian kekerasan brinell dan vicker, nilai kekerasan ditentukan dari beban yang diberikan pada satuan luas dari indentor, dengan satuan kilogram per milimeter persegi (Kgf/mm²). Sedangkan pada pengujian rockwell, kedalaman indentasi pada beban tertentu kemudian dikonversi ke nomor kekerasan (tanpa satuan pengukuran), dimana berbanding terbalik dengan kedalaman.

Pengujian kekerasan digolongkan menurut kriteria-kriteria tertentu, termasuk dari tipe pengukuran, besar beban indentasi, dan sifat pengujiannya. Dari tipe pengukurannya, pengujian kekerasan dapat digolongkan menjadi 2, yaitu yang mengukur dimensi dari indentasi (brinell dan vicker) dan mengukur dari kedalaman indentasi (Rockwell dan nano indentasi). Berdasarkan besar beban indentasi yang diberikan, pengujian kekerasan dapat dibagi menjadi 3, yaitu macrohardness ($\geq 1\text{kgf}$), microhardness (1gf sampai 1kgf), dan yang terbaru adalah nanohardness (sekitar 0,1mN). Menurut sifat pengujiannya, pengujian kekerasan diklasifikasikan menjadi 3, yaitu statis, dinamis, dan goresan. Pengujian kekerasan statis sama seperti brinell, vicker, atau Rockwell. Pada pengukuran dinamis, indentor dipantulkan pada permukaan benda kerja, dan tinggi pantulan indentor digunakan sebagai pengukuran kekerasannya. Pada pengujian dengan goresan material yang telah diketahui nilai kekerasannya digunakan sebagai indentor yang digoreskan pada permukaan material yang diuji untuk menentukan bahwa material yang diuji tersebut lebih keras atau tidak dibandingkan indentor yang digunakan.

Brinell hardness test adalah pengujian indentasi yang simpel untuk menentukan nilai kekerasan dari variasi luas pada material. Pengujian dilakukan dengan menggunakan beban konstan, biasanya antara 500 sampai 3000 kgf dengan waktu indentasi 10 hingga 30 detik dan diameter indentor (tungsten carbide ball) 5 sampai 10 mm.



Gambar 2.10 proses terjadinya indentasi *brinell*
Sumber : ASM International, 2004

Nilai kekerasan ditentukan dari diameter inti pada indentasi dan menghitung angka kekerasan brinell dari pembagian antara beban yang digunakan dengan luas permukaan indentasi yang mengacu pada rumus dibawah ini :

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

(2-4) (ASM International, 2004)

dengan :

P : beban (kgf)

D : Diameter bola (mm)

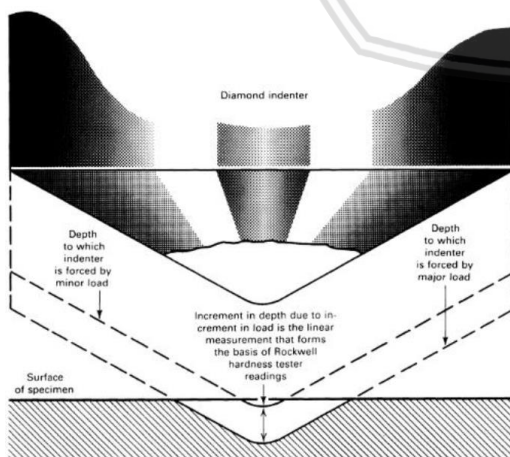
d : Diameter indentansi (mm)

Uji kekerasan rockwell berbeda dengan pengujian brinell, dalam hal ini nilai hasil kekerasan rockwell berdasarkan pada kedalaman indentor dari dua beban yang digunakan Gambar 2.11. Awalnya menggunakan beban minor, setelah indentor menempel pada spesimen kemudian indikator dinolkan. Lalu beban mayor diaplikasikan untuk waktu yang ditentukan, karena adanya penambahan kedalaman penetrasi melebihi nilai nol yang sebelumnya sudah ditetapkan dari beban minor. Setelah waktu indentasi untuk beban mayor sudah ditentukan, maka indentor dikeluarkan dari spesimen dengan tetap menjaga beban minor tetap bekerja. Hasil dari nilai kekerasan Rockwell menunjukkan perbedaan di kedalaman dari posisi titik nol sebagai hasil dari aplikasi dalam beban mayor. Dari keseluruhan proses pengujian hanya membutuhkan waktu 5-10 detik. Untuk bentuk dan beban indentor pada pengujian rockwell bervariasi sesuai dengan bahan spesimen yang diuji. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Kekerasan standar rockwell

| Scale symbol | Indenter | Major load, kgf | Typical applications |
|--------------|--|-----------------|---|
| A | Diamond (two scales—carbide and steel) | 60 | Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel |
| B | $\frac{1}{16}$ in. (1.588 mm) ball | 100 | Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron |
| C | Diamond | 150 | Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case-hardened steel, and other materials harder than 100 HRB |
| D | Diamond | 100 | Thin steel and medium case-hardened steel and pearlitic malleable iron |
| E | $\frac{1}{8}$ in. (3.175 mm) ball | 100 | Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals |
| F | $\frac{1}{16}$ in. (1.588 mm) ball | 60 | Annealed copper alloys, thin soft sheet metals |
| G | $\frac{1}{16}$ in. (1.588 mm) ball | 150 | Phosphor bronze, beryllium copper, malleable irons. Upper limit 92 HRG to avoid possible flattening of ball |
| H | $\frac{1}{8}$ in. (3.175 mm) ball | 60 | Aluminum, zinc, lead |
| K | $\frac{1}{8}$ in. (3.175 mm) ball | 150 | Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| L | $\frac{1}{4}$ in. (6.350 mm) ball | 60 | Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| M | $\frac{1}{4}$ in. (6.350 mm) ball | 100 | Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| P | $\frac{1}{4}$ in. (6.350 mm) ball | 150 | Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| R | $\frac{1}{2}$ in. (12.70 mm) ball | 60 | Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| S | $\frac{1}{2}$ in. (12.70 mm) ball | 100 | Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |
| V | $\frac{1}{2}$ in. (12.70 mm) ball | 150 | Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that do not produce anvil effect. |

Sumber : ASM International, 2004



Gambar 2.11 Prinsip dalam pengujian rockwell

Sumber : ASM International, 2004

2.12 Hipotesis

Menurut tinjauan pustaka maka dapat membuat hipotesa bahwa pengaruh waktu *hold melt time* pada proses *recycling* velg pada tungku induksi memiliki hubungan semakin tinggi *hold melt time* akan menghasilkan kekerasan yang semakin tinggi hal ini dikarenakan pada holdmelt time yang rendah akan menghasilkan struktur butiran yang lebih sedikit dan ukuran struktur butiran yang lebih besar sehingga menyebabkan ikatan antar butiran menjadi renggang atau lemah, sebaliknya jika semakin tinggi *hold melt time*, maka akan menghasilkan struktur butiran yang lebih banyak dan ukuran struktur butirnya lebih kecil.





BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental sebenarnya dimana dengan secara langsung mengetahui sejauh mana pengaruh *holding time* terhadap kekerasan paduan Al-Si pada proses pengecoran *recycling velg* dengan tujuan untuk memperbaiki hasil coran paduan Al-Si daur ulang pada proses pengecoran *recycling velg*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan desember 2017 serta dilakukan di Laboratorium α β γ dan Laboratorium Pengujian Bahan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

3.3 Variabel Penelitian

Terdapat tiga variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas, variabel terikat, variabel terkontrol.

3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah waktu penahanan pada kondisi cair paduan Al-Si (velg) yaitu: 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, dan 60 menit.

3.3.2 Variabel terikat

Variabel terikat dari penelitian ini adalah nilai kekerasan dan mikrostruktur dari hasil daur ulang Al-Si (velg).

3.3.3 Variabel terkontrol

Variabel yang dikontrol dalam penelitian ini adalah bahan recycling yaitu velg mobil, temperatur peleburan yang digunakan yaitu 700°C. Selain itu temperatur cetakan juga dikontrol dengan suhu 200°C, dan yang terakhir adalah volume cetakan sebesar 134,63 cc.

3.4 Persiapan Penelitian

3.4.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Timbangan elektrik



Gambar 3.1 Timbangan Elektrik
Sumber : Laboratorium aβy Malang

- Kapasitas 0 – 10000 g

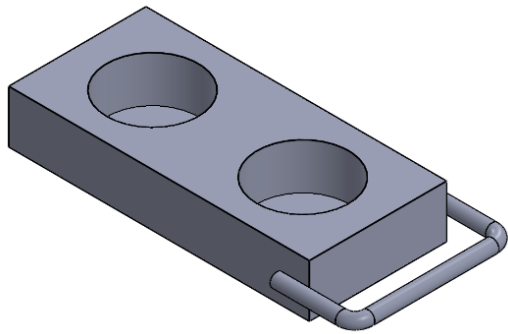
2. Tungku peleburan



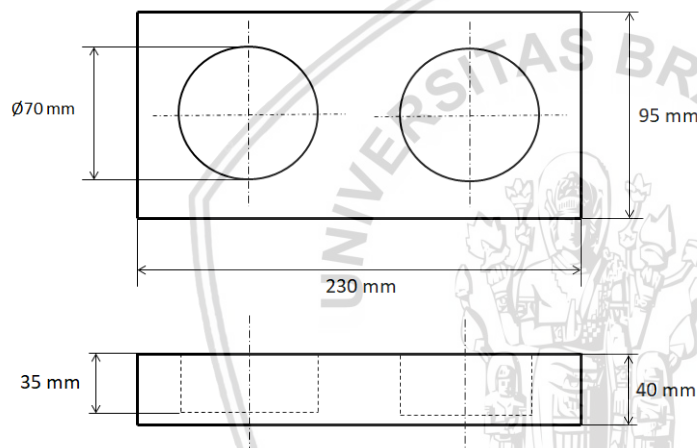
Gambar 3.2 Tungku peleburan
Sumber : Laboratorium aβy Malang

- Sumber panas : arus listrik
- Daya : 2468,4 W
- Arus : 12 A
- Tegangan : 220 V
- Kapasitas : \pm 2 liter

3. Cetakan Logam (Baja)



1. Dimensi cetakan logam



Gambar 3.3 Cetakan logam dengan satuan milimeter (mm)

4. Thermogun



Gambar 3.4 Thermogun
Sumber : Laboratorium aβy Malang

5. Wadah Pengecoran



Gambar 3.5 Wadah Pengecoran
Sumber : Laboratorium aβy Malang

6. Pengaduk baja



Gambar 3.6 Pengaduk Baja
Sumber : Laboratorium aβy Malang

7. Penjepit baja



Gambar 3.7 Penjepit Baja

Sumber : Laboratorium aβy Malang

8. Sarung tangan



Gambar 3.8 Sarung Tangan

Sumber : Laboratorium aβy Malang

9. Rockwell Hardness Test



Gambar 3.9 Rockwell Hardness Test

Sumber : Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

10. Mikroskop Logam



Gambar 3.10 Mikroskop Logam

Sumber : Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

3.4.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah paduan Al-Si (*Velg*)



Gambar 3.11 Velg
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Komposisi unsur kimia pada velg aluminium

| Unsur Kimia | Persentase |
|-------------|------------|
| Al | 92% |
| Si | 7% |
| Mg | 0.3% |
| Fe | 0.2% |
| Zn | 0.1% |
| Cu | 0.25% |

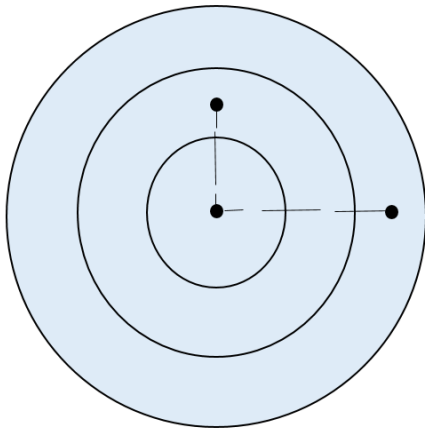
Sifat Mekanik Aluminium Paduan A356

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Tensile Stress (N/mm ²) | 230 |
| Elongation (%) | 2 |
| Brinell Hardness (BHN) | 75 |
| Endurance Limit (Mpa) | 56 |

| | |
|-----------------------------|-----|
| Modulus of Elasticity (Gpa) | 71 |
| Shear strenght (Mpa) | 120 |

3.5 Prosedur Penelitian

Paduan Al-Si (velg) disiapkan beserta alat-alat lain yang diperlukan pada proses pengecoran spesimen. Lalu memasukkan paduan Al-Si (velg) yang telah dipotong-potong menjadi bagian kecil pada tungku peleburan dan meleburnya dengan temperatur 700°C. Setelah semua logam menjadi cair kemudian temperatur diturunkan menjadi 650°C. Lalu dilakukan waktu penahanan (*holding*) pada suhu tersebut, untuk spesimen A dilakukan *holding* selama 0 menit, untuk spesimen B dilakukan *holding* selama 20 menit, untuk spesimen C dilakukan *holding* selama 30 menit, untuk spesimen D dilakukan *holding* selama 40 menit, untuk spesimen E dilakukan *holding* selama 50 menit, dan untuk spesimen F dilakukan *holding* selama 60 menit. Setelah dilebur sesuai dengan waktu yang telah ditentukan, kemudian menuangkan cairan kedalam cetakan yang sudah disiapkan (sebelum dilakukan penuangan pada cetakan, cetakan tersebut dipanaskan sampai suhu 200°C). setelah mendapatkan spesimen yang diinginkan maka selanjutnya dilakukan proses pembubutan guna mendapatkan permukaan spesimen yang rata, proses berikutnya adalah proses pengamplasan (amplas nomor 1-1000, kemudian digosok dengan autosol dan kain flanel) hingga mendapatkan permukaan spesimen yang rata dan halus. Setelah itu dilakukan pengetsaan agar permukaan yang akan difoto terlihat lebih jelas pada tampilan layar. Alat yang digunakan untuk melakukan foto mikrostruktur adalah Mikroskop Logam. Kemudian dilakukan foto mikrostruktur pada hasil peleburan Al-Si daur ulang (ingot). Terakhir dilakukan uji kekerasan pada hasil coran paduan Al-Si daur ulang (ingot) dengan mengambil sampel sebanyak 3 titik yaitu pada bagian inti, tengah, dan luar atau tepi secara acak.



Gambar 3.12 Tampak atas spesimen pengujian kekerasan

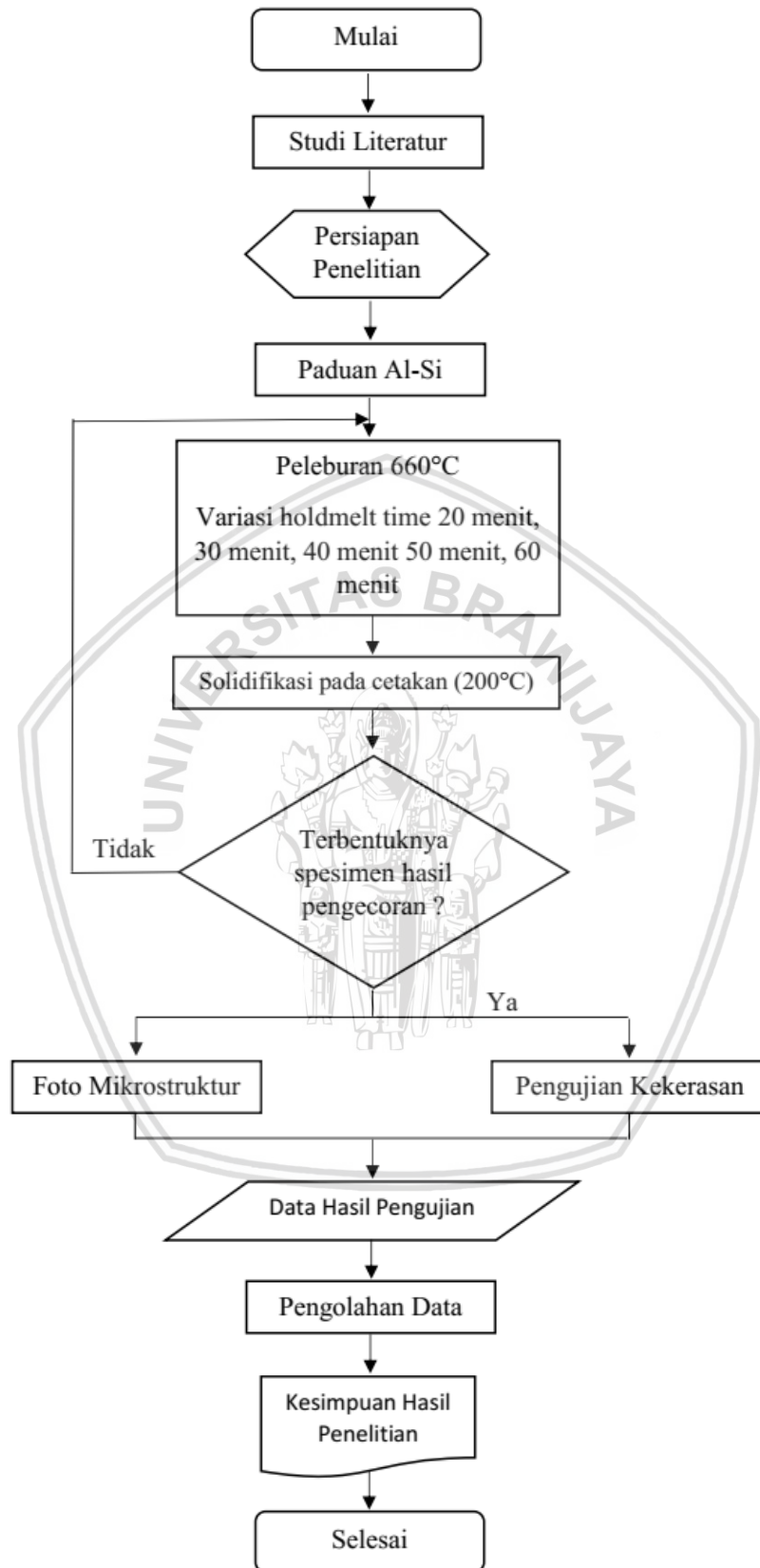
3.6 Skema Penelitian



Gambar 3.13 Skema Penelitian

3.7 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian

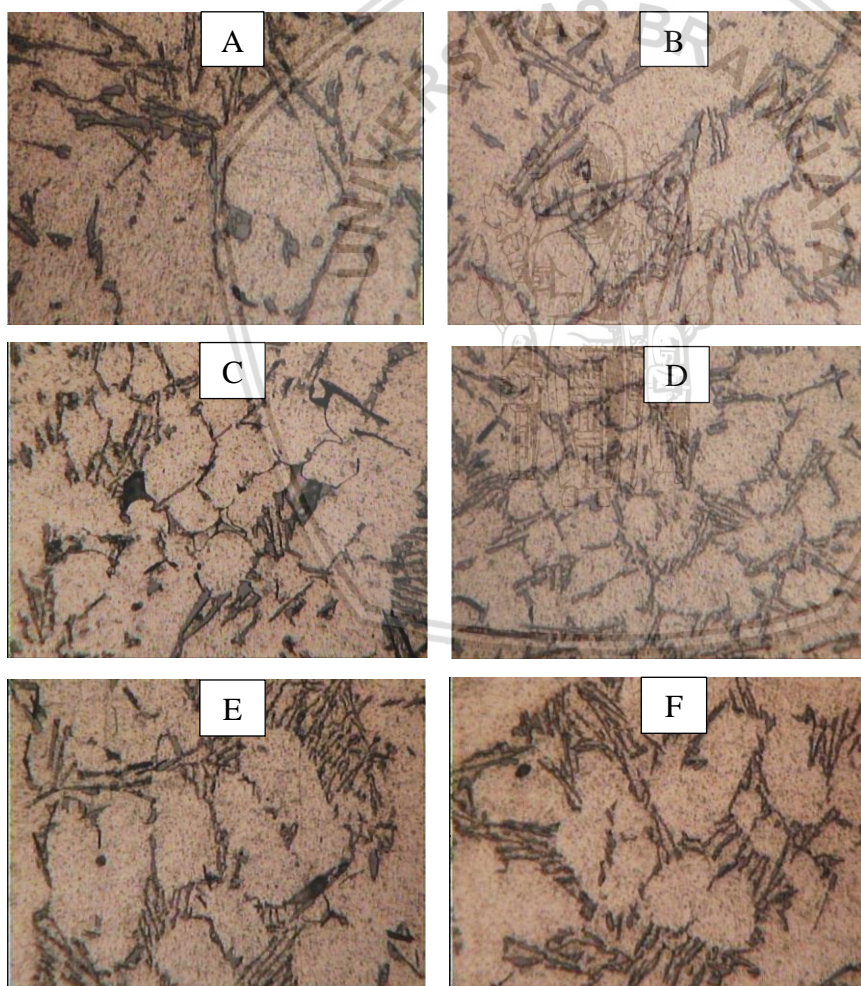
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Foto Mikrostruktur

Hasil foto mikrostruktur pada setiap spesimen *aluminium silicon* daur ulang ini dilakukan dengan menggunakan alat Mikroskop Logam dengan perbesaran 400x. Sebelum dilakukan foto mikrostruktur spesimen diampas dan dietsa terlebih dahulu. Foto dari mikrostruktur dari *aluminium silicon* daur ulang dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil dari Foto Mikrostruktur dengan pembesaran 400x dengan waktu *holdmelt* A (0 menit), B (20 menit), C (30 menit), D (40 menit), E (50 menit), dan F (60 menit)

Untuk dapat mengetahui ukuran butir dari setiap spesimen dapat dilakukan perhitungan dengan metode planimetri. Perhitungan dengan menggunakan metode planimetri diperlukan input foto mikrostruktur dan lingkaran dengan luas 5000 mm². Rumus matematis dari perhitungan ukuran butir adalah sebagai berikut:

$$N_A = f(N_{inside} + N_{intercepted}) \quad (4-1)$$

Dengan:

N_A : jumlah butir dalam area (butir/mm²)

N_{inside} : jumlah butir area dalam lingkaran

$N_{intercept}$: jumlah butir yang bersinggungan dengan lingkaran

F : faktor pengali Jeffries (Pengali *Jeffries* ASTM E 112-96 2004)

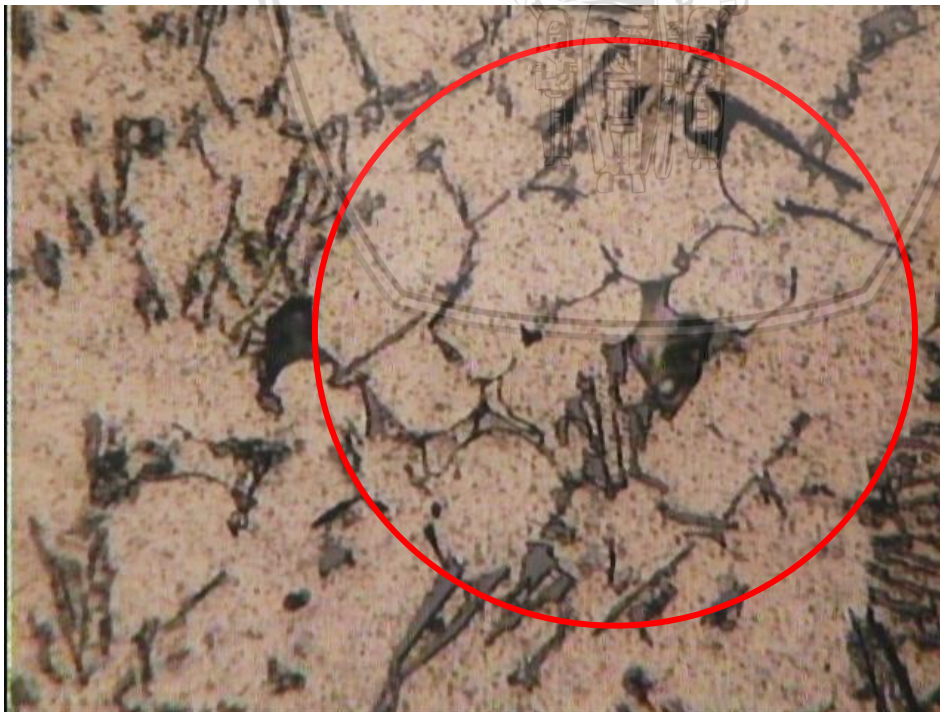
$$G = \{3.322 (\log N_A) - 2.954\}$$

(4-2)

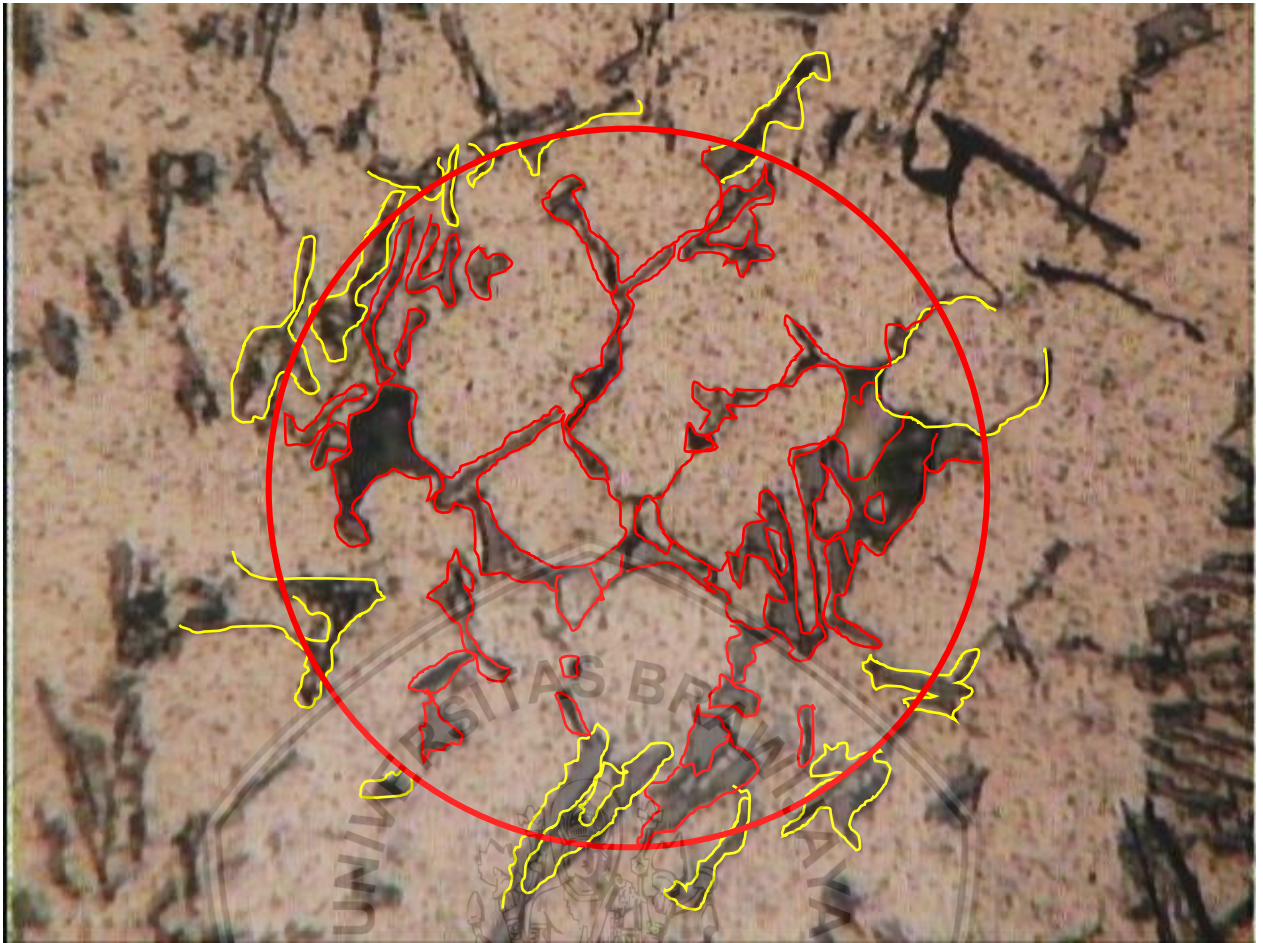
Dengan :

G : ASTM *grain size number*

Contoh perhitungan diameter butir



Gambar 4.2 foto mikrostruktur specimen C pembesaran 400x sebelum dihitung dengan metode planimetri



Gambar 4.3 contoh perhitungan butir pada spesimen C perbesaran 400x dengan garis merah sebagai N_{inside} dan garis kuning sebagai $N_{intercept}$

$$N_{intercept} = 31$$

$$N_{inside} = 61$$

$$N_A = f \left(N_{inside} + \frac{1}{2} N_{intercepted} \right)$$

$$N_A = 34 \left(61 + \frac{1}{2} 31 \right)$$

$$N_A = 34 (61 + 15,5)$$

$$N_A = 2601$$

$$G = 3.322 \log N_A - 2.954$$

$$G = 3.322 \log 2601 - 2.954$$

$$G = 8,69$$

Setelah melakukan perhitungan seperti contoh diatas maka didapatkan ukuran butir dari setiap spesimen yang tercantum dalam tabel ASTM E112 (terlampir).

Tabel 4.1 Ukuran butir tiap spesimen

| Spesimen | Grain size no. (G) | Diameter (μm) |
|----------|--------------------|----------------------------|
| A | 8,13 | 21,564 |
| B | 8,22 | 20,916 |
| C | 8,69 | 17,76 |
| D | 8,73 | 15,9 |
| E | 8,92 | 16,38 |
| F | 8,72 | 17,58 |

4.1.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada spesimen aluminium silicon daur ulang dilakukan dengan menggunakan alat Rockwell Hardness Tester, dengan indentor bola dengan berat 100 kgf yang cocok dengan spesimen yang merupakan aluminium paduan. Pengujian dilakukan di tiga titik yang berbeda pada setiap specimen, setelah itu nilai kekerasan dirata-rata kemudian dibandingkan nilai kekerasannya antara spesimen A sampai F. Untuk data pengujian kekerasan dapat dilihat pada tabel 4.2 di bawah.

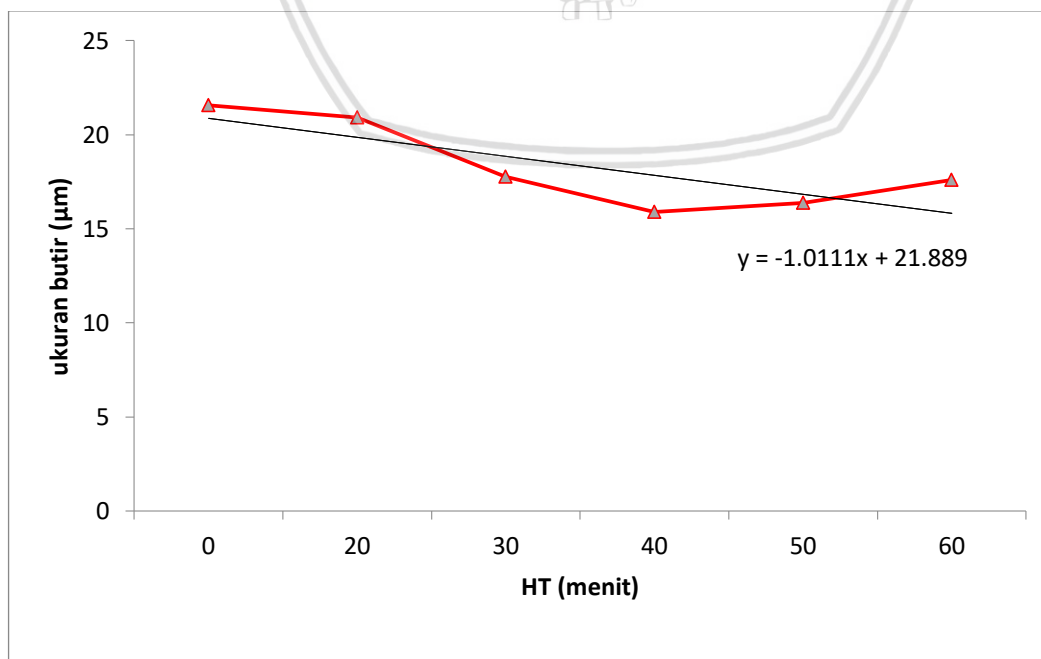
Tabel 4.2 Data Hasil Uji Kekerasan

| No. | Spesimen (Holdmelt) | Titik (HRB) | | | Rata-rata (HRB) | Rata-rata (BHN) |
|-----|-----------------------------|-------------|------|------|-----------------|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | Velg | - | - | - | - | 75 |
| 2 | A (0 menit/tanpa perlakuan) | 64.8 | 61.3 | 64.7 | 64.19 | 104.4 |
| 3 | A (0 menit/tanpa perlakuan) | 62.8 | 64.4 | 63.4 | | |
| 4 | A (0 menit/tanpa perlakuan) | 64.6 | 66.5 | 65.2 | | |
| 5 | B (20 menit) | 66.9 | 66.3 | 66.3 | 64.69 | 104.63 |
| 6 | B (20 menit) | 64.5 | 61.3 | 67.4 | | |
| 7 | B (20 menit) | 63.7 | 60.9 | 64.9 | | |
| 8 | C (30 menit) | 66.5 | 64.7 | 67.6 | 65.99 | 106.17 |
| 9 | C (30 menit) | 63.9 | 66.8 | 64.6 | | |
| 10 | C (30 menit) | 67.1 | 65.2 | 67.5 | | |
| 11 | D (40 menit) | 65.5 | 66.4 | 68.2 | 66.20 | |

| | | | | | | |
|----|--------------|------|------|------|-------|--------|
| 12 | D (40 menit) | 64.9 | 67.0 | 67.4 | | 106.42 |
| 13 | D (40 menit) | 64.4 | 66.1 | 65.9 | | |
| 14 | E (50 menit) | 63.5 | 67.5 | 62.7 | | |
| 15 | E (50 menit) | 65.5 | 66.1 | 67.3 | 65.51 | 105.6 |
| 16 | E (50 menit) | 66.7 | 62.1 | 68.2 | | |
| 17 | F (60 menit) | 64.7 | 66.2 | 64.3 | | |
| 18 | F (60 menit) | 64.8 | 65.2 | 65.6 | 65.44 | 105.52 |
| 19 | F (60 menit) | 63.6 | 67.8 | 67.7 | | |

4.2 Pembahasan

Dari foto mikrostruktur (Gambar 4.1) dan nilai kekerasan spesimen pada Tabel 4.2 terdapat spesimen A hingga spesimen F. Spesimen A ialah ingot hasil daur ulang velg dengan waktu *holdmelt* 0 menit (tanpa perlakuan), spesimen B dengan waktu *holdmelt* 20 menit, spesimen C dengan waktu *holdmelt* 30 menit, spesimen D dengan waktu *holdmelt* 40 menit, spesimen E dengan waktu *holdmelt* 50 menit, dan spesimen F dengan waktu *holdmelt* 60 menit. Dari foto mikrostruktur (Gambar 4.1) terlihat bahwa perbedaan waktu *holdmelt* memengaruhi ukuran butir dari paduan Al-Si daur ulang.



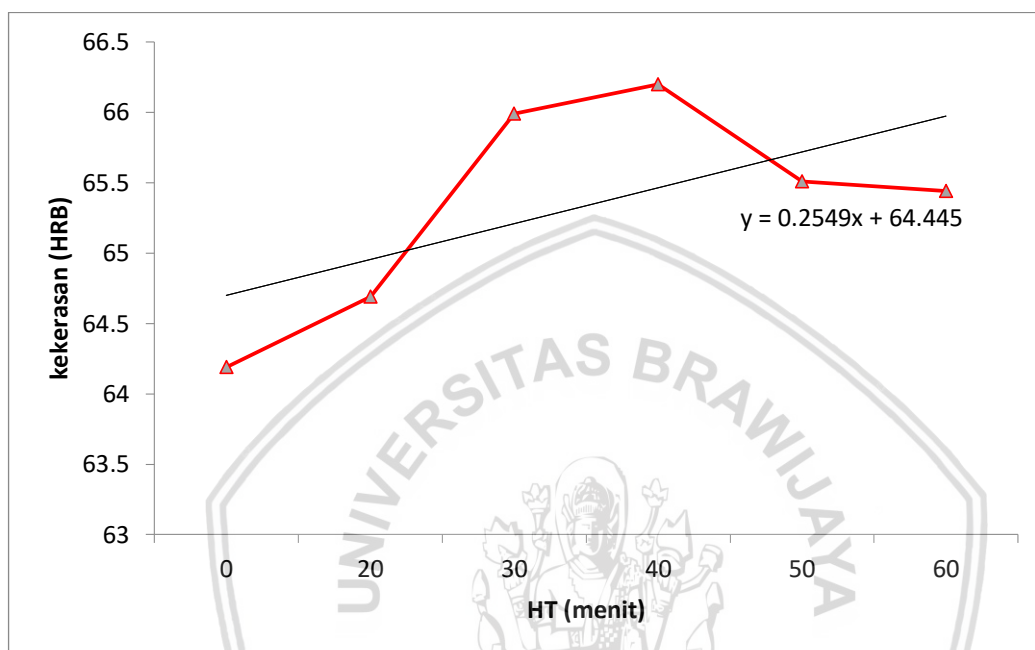
Gambar 4.4 Grafik Grain Size (Ukuran Butir Mikrostruktur)

Dari grafik di atas terlihat ukuran butir setiap spesimen. Spesimen A dengan waktu *holdmelt* selama 0 menit (tanpa perlakuan) dengan ukuran butir sebesar $21,564\mu\text{m}$, spesimen B dengan waktu *holdmelt* 20 menit dengan ukuran butir sebesar $20,916\mu\text{m}$, spesimen C dengan waktu *holdmelt* 30 menit dengan ukuran butir sebesar $17,76\mu\text{m}$, spesimen D dengan waktu *holdmelt* 40 menit dengan ukuran butir sebesar $15,9\mu\text{m}$, spesimen E dengan waktu *holdmelt* 50 menit dengan ukuran butir sebesar $16,38\mu\text{m}$, kemudian spesimen F dengan waktu *holdmelt* 60 menit dengan ukuran butir sebesar $17,58\mu\text{m}$. Spesimen B dengan waktu *holdmelt* 20 menit cenderung memiliki ukuran butir yang besar dengan ukuran sebesar $20,916\mu\text{m}$, sedangkan spesimen dengan waktu *holdmelt* selama 40 menit (Spesimen D) cenderung memiliki ukuran butir yang lebih kecil dengan ukuran sebesar $15,9\mu\text{m}$. Hal ini dikarenakan dengan semakin lama waktu *holdmelt* dapat memberikan waktu yang lebih lama pada silikon untuk berdifusi lebih jauh. Pernyataan tersebut telah sesuai dengan rumus panjang difusi: $L = \sqrt{4Dt}$, dengan, L ialah panjang difusi, D ialah difusifitas atau koefisien difusi, dan t ialah waktu difusi. Dari rumus tersebut bisa diketahui bahwa panjang difusi sangat dipengaruhi oleh waktu. Selain itu peningkatan waktu holding juga dapat meningkatkan kekuatan ikatan antara aluminium dan unsur paduannya seperti silikon (Muttharasin, 2014). Semakin jauh dan banyaknya silikon yang berdifusi, maka persebaran butir silikon akan menjadi semakin rata. Dengan semakin meratanya persebaran silikon pada aluminium, maka menghasilkan struktur kristal atau butir yang berukuran kecil. Bentuk butir juga bergantung pada pertumbuhan butir selama proses solidifikasi. Meski ukuran besar butir dinyatakan dalam ukuran diameter, jarang sekali butiran logam yang berbentuk bulat. Bentuk butir lainnya ialah bentuk pipih, kolumnar dan dendritik (Vlack, 1983).

Pada grafik diatas juga menunjukkan adanya penyimpangan. Itu terlihat pada ukuran butir pada spesimen E dengan waktu *holdmelt* selama 50 menit dengan ukuran butir sebesar $16,38\mu\text{m}$ dan spesimen F dengan waktu *holdmelt* selama 60 menit dengan ukuran butir sebesar $17,58\mu\text{m}$ mengalami perbesaran ukuran butir. Kedua hal tersebut bisa terjadi karena adanya gas hidrogen yang terlarut. Dengan semakin banyaknya gas hidrogen yang terlarut pada saat logam cair dapat mengakibatkan proses solidifikasi pada logam mengalami peningkatan kecepatan sehingga dengan semakin cepatnya proses solidifikasi maka ukuran butir yang terbentuk semakin besar dan akan memengaruhi nilai kekerasannya.

Setelah itu data dari hasil uji kekerasan (Tabel 4.2) terlihat bahwa perbedaan waktu *holdmelt* memengaruhi kekerasan dari paduan Al-Si daur ulang. Spesimen A dengan waktu *holdmelt* 0 menit (tanpa perlakuan) memiliki nilai kekerasan sebesar $64.19 \text{ HRB} \approx 104.4 \text{ BHN}$, spesimen B dengan waktu *holdmelt* 20 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 64.69

HRB \approx 104.63 BHN, spesimen C dengan waktu holdmelt 30 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 65.99 HRB \approx 106.17 BHN, spesimen D dengan waktu holdmelt 40 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 66.2 HRB \approx 106.42 BHN, spesimen E dengan waktu holdmelt 50 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 65.6 HRB \approx 105.6 BHN, dan spesimen F dengan waktu holdmelt 60 menit memiliki nilai kekerasan sebesar 65.44 HRB \approx 105.52 BHN.



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Holdmelt Time Terhadap Kekerasan

Dari grafik diatas terlihat spesimen dengan waktu *holdmelt* selama 20 menit (spesimen B) memiliki nilai kekerasan paling rendah dengan nilai kekerasan sebesar sebesar 64.69 HRB \approx 104.63 BHN, sedangkan spesimen dengan waktu *holdmelt* selama 40 menit (spesimen D) memiliki nilai kekerasan paling tinggi dengan nilai kekerasan sebesar 66.2 HRB \approx 106.42 BHN. Nilai kekerasan tersebut dipengaruhi oleh ukuran butir pada masing-masing spesimen di mana semakin kecil ukuran butir maka ikatan antar butir akan semakin rapat maka nilai kekerasan akan meningkat. Hasil tersebut didukung dengan penelitian dari Rasyid, (2015) meneliti tentang “Pengaruh Variasi *Holding Time Terhadap Kekerasan Aluminium Silicon Daur Ulang Pada Semiautomatic Pouring System*”. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa semakin lama waktu holding menyebabkan ukuran butir yang terbentuk semakin kecil. Nilai kekerasan pada paduan Al-Si daur ulang akan semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu holding yang dilakukan pada saat peleburan.

Pada grafik diatas juga menunjukkan adanya penyimpangan. Itu terlihat pada nilai kekerasan pada spesimen E dengan waktu *holdmelt* selama 50 menit dengan nilai kekerasan sebesar 65.6 HRB \approx 105.6 dan spesimen F dengan waktu *holdmelt* selama 60 menit dengan

nilai kekerasan sebesar $65.44 \text{ HRB} \approx 105.52 \text{ BHN}$ mengalami penurunan nilai kekerasan. Kedua hal tersebut bisa terjadi karena ukuran butirnya semakin membesar. Ukuran butir yang membesar terjadi karena semakin banyaknya gas hidrogen yang terlarut pada saat peleburan logam. Dengan banyaknya gas hidrogen yang terlarut maka dapat mengakibatkan proses solidifikasi pada logam mengalami peningkatan kecepatan sehingga dengan semakin cepatnya proses solidifikasi maka ukuran butir yang terbentuk semakin besar dan akan memengaruhi nilai kekerasannya.

Salah satu kelemahan aluminium adalah kekerasannya yang lebih rendah dibandingkan dengan besi dan baja. Untuk memperbaiki kekerasannya dapat digunakan mekanisme penguatan. Terdapat 4 macam mekanisme penguatan pada aluminium, yaitu dengan cara pengerasan regangan, penambahan unsur paduan, *aging*, dan penguatan batas butir. Mekanisme penguatan yang digunakan untuk memengaruhi nilai kekerasan pada gambar 4.3 ialah penguatan batas butir. Maksud dari penguatan batas butir ialah dengan memperkecil ukuran butir yang terbentuk sehingga bisa menghasilkan batas butir yang lebih banyak dan ikatan antar butir semakin kuat. Sifat mekanik dari suatu material juga sangat dipengaruhi oleh ukuran butir. Penghalusan butir merupakan cara yang efektif bagi penguatan dengan menghalangi pergerakan dislokasi disekitar batas butir. Butir yang berukuran kecil akan mengurangi terjadinya deformasi akibat pemberian beban indentasi pada uji kekerasan, sehingga bekas indentasi akibat indenter tidak terlalu dalam dan tidak terlalu terlihat. Maka dari itu, apabila ukuran butir dari spesimen itu kecil-kecil maka nilai kekerasannya akan semakin tinggi.

Selain itu dari tabel 4.2 terlihat bahwa nilai kekerasan dari velg lebih kecil jika dibandingkan dengan ingot hasil daur ulang velg. Nilai kekerasan velg ialah 75 BHN, sedangkan nilai kekerasan pada ingot hasil daur ulang velg ialah $64.19 - 65.44 \text{ HRB} \approx 104.4 - 105.52 \text{ BHN}$. Hal ini dapat dikarenakan oleh menguapnya unsur-unsur lain yang terkandung pada velg yang memiliki titik lebur yang lebih rendah seperti timbal dan magnesium, maka unsur-unsur lain yang memiliki titik lebur yang lebih tinggi seperti tembaga, titanium, besi, dan silikon dapat lebih dominan atau persentasenya meningkat. Dengan semakin dominannya atau meningkatnya persentase dari unsur yang memiliki titik lebur lebih tinggi tersebut, membuat kekerasan suatu material meningkat.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Semakin lamanya waktu *holding* maka menyebabkan ukuran butir yang terbentuk semakin kecil.
2. Nilai kekerasan pada paduan Al-Si daur ulang velg akan semakin meningkat dengan seiringnya penambahan waktu *holding* yang dilakukan pada saat peleburan.
3. Terjadi penurunan nilai kekerasan dan ukuran butir karena adanya gas hidrogen yang terlarut pada saat peleburan logam.

5.2 Saran

1. Peneliti selanjutnya harus membersihkan kotoran-kotoran (terak) yang tertinggal pada wadah di dalam tungku peleburan setiap selesai melakukan proses penuangan dari tungku ke dalam cetakan.



DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, vol. 2, *In Properties and Selection: Nonferrous alloy and special purpose materials*. ASM, 2004
- ASM Handbook, vol. 3, *Alloy Phase Diagrams*. ASM, 2004
- ASM Handbook, vol. 4, *Heat Treating*. ASM, 2004
- ASM Handbook, vol. 8, *Mechanical Testing and Evaluation*. ASM, 2004
- ASM Handbook, vol. 9, *Metallography and Microstructures*. ASM, 2004
- ASM Handbook, vol. 15, *Casting*. ASM, 2004
- ASTM E 140-02.2004
- Aris Budiyo, Widi Widayat dan Rusiyanto. 2010. *Peningkatan Sifat Mekanis Aluminium Daur Ulang Dengan Rotary Degasser (Treatment Of Aluminum Alloy Melts)*. (Fakultas Teknik UNNES)
- Callister, W.D. 2001. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, edisi kelima. United States of America. ISBN 0-471-39551-X
- De Garmo, E. P. 2008. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc
- Groover, P. M. 2002. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Process and Systems*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc
- Heine, R. W. 1990. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw -Hill, M.P.
- Muttharasan, M, dkk. 2014. *Effect of Processing Temperature and Holding Time on Al/Sic Composites: An Experimental Study*. Jurnal : ISSN 2250-3234
- Norman, A. 2010. *Pengendalian struktur austenite terhadap nukleasi ferit pada proses canai panas baja C-Mn*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Rasyid, 2015 meneliti tentang “Pengaruh Variasi *Holding Time Terhadap Kekerasan Aluminium Silicon Daur Ulang Pada Semiautomatic Pouring System*”
- Suprpto, W. 2017. *Teknologi Pengecoran Logam*
- Suprpto, W. 2012. *The Fluidity Characteristics of Liquid Duralumin by Piece Test Methode on Permanent Mold in Low Pressure*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol.3, No. 1 Tahun 2012 : 268-275 ISSN 0216-468X
- Surdia, Tata. & Chijiiwa Kenji. 1975. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

T. O. Mbuya, dkk. 2010. *Effective Recycling of Cast Aluminium Alloys for Small Foundries*.
Kenya : *Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Nairobi*. JAGST Vol. 12(2)

Vlack, V. 1970, "Material Science for Engineers", Massachusetts: Addison Wesley.

Xu-liang, M, dkk. 2010. *Effect of Al5Ti1B Master Alloy on Microstructures and Properties of AZ61 Alloys*. Jurnal : *Trans.Nonferrous Met.Soc. China* 20 (2010) s397-s401

Zakwan, Helmi. 2009. *Studi Pengaruh Waktu Penahanan Terhadap Jumlah Partikel Aluminium Cair Siap Cetak Pada Proses Perlakuan Logam Aluminium Cair Di Dapur Penampung PT. Indonesia Asahan Aluminium*.

http://www.bbc.co.uk/bitesize/ks3/science/chemical_matter_behaviour_behaviour_of_matter/revision/4/ diakses tanggal 23 november 2017

