

**PENGARUH FRAKSI VELG DAN PISTON PROSES *RECYCLING*  
TERHADAP KONSUMSI ENERGI PELEBURAN**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ARIANDI BOSFER PANJAITAN**

**NIM. 145060201111040**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH FRAKSI VELG DAN PISTON PROSES *RECYCLING***  
**TERHADAP KONSUMSI ENERGI PELEBURAN**

**SKRIPSI**  
**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK MANUFAKTUR**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
 memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ARIANDI BOSFER PANJAITAN**  
**NIM. 145060201111040**

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

**Dosen Pembimbing I**

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

**Dosen Pembimbing II**

**Khairul Anam, ST., M.Sc.**  
**NIK. 201310 861127 1 001**



Mengetahui,  
**Ketua Program Studi S1**  
  
**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
**NIP. 19740930 200012 1 001**

## JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Fraksi Velg dan Piston Proses Recycling Terhadap Konsumsi Energi Peleburan

Nama Mahasiswa : Ariandi Bosfer Panjaitan  
NIM : 145060201111040  
Program Studi : Teknik Mesin  
Konsentrasi : Teknik Manufaktur

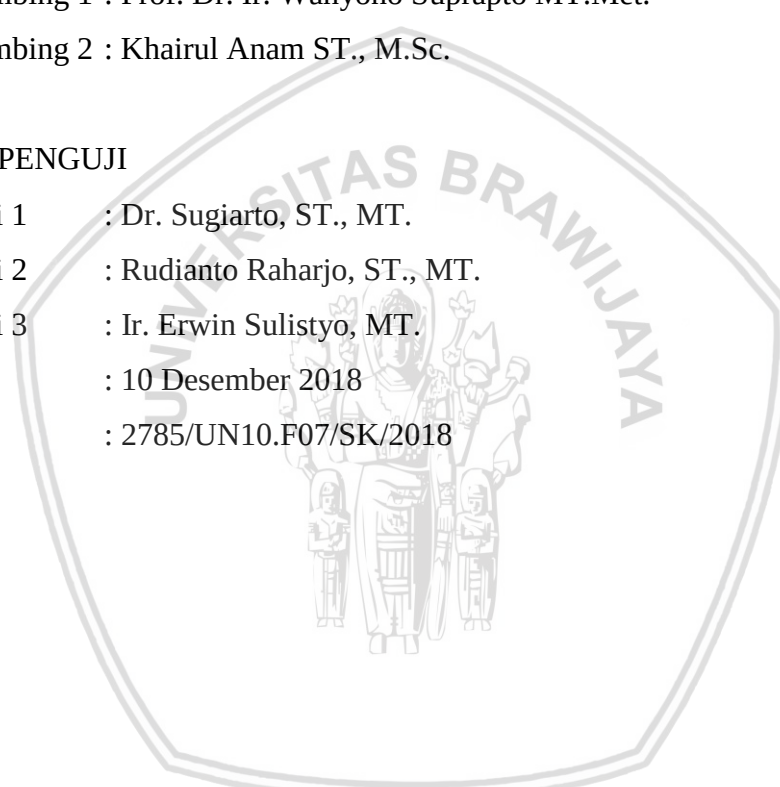
## KOMISI PEMBIMBING

Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Wahyono Suprpto MT.Met.

Dosen Pembimbing 2 : Khairul Anam ST., M.Sc.

## TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Sugiarto, ST., MT.  
Dosen Penguji 2 : Rudianto Raharjo, ST., MT.  
Dosen Penguji 3 : Ir. Erwin Sulistyono, MT.  
Tanggal Ujian : 10 Desember 2018  
SK Penguji : 2785/UN10.F07/SK/2018





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM SARJANA**



**SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : 152/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**ARIANDI BOSFER PANJAITAN**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH FRAKSI VELG DAN PISTON PROSES RECYCLING TERHADAP KONSUMSI  
ENERGI PELEBURAN**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **18 DEC 2018**

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin



**Indrajit B. Darmadi, MT., Ph.D**

NIP. 19670518 199412 1 001

**Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT**

NIP. 19740930 200012 1 001



## 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 di 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 ditulis atau diterbitkan 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 dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 18 Desember 2018

Mahasiswa



Ariandi Bosfer Panjaitan

NIM. 145060201111040

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## KATA PENGANTAR

Pertama-tama puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **Pengaruh Fraksi Velg dan Piston Proses *Recycling* terhadap Konsumsi Energi Peleburan**, yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST.) di Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Pada kesempatan ini, selain kepada Tuhan Yang Maha Esa, penulis juga ingin mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu:

1. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT. Ph.D., selaku Ketua Jurusan Mesin dan Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang telah memfasilitasi penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc.CSE., selaku Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Teknik Produksi yang telah memfasilitasi penulis dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met., selaku Dosen Pembimbing I dan Ketua Kelompok Dosen Konsentrasi Teknik Material yang telah memberikan bimbingan, ilmu, pengarahan, dan saran kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Khairul Anam, ST., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II yang juga telah memberikan bimbingan, ilmu, pengarahan, dan saran kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Sugiarto, ST., MT., selaku Dosen Penguji Skripsi.
6. Bapak Rudianto Raharjo ST., MT., selaku Dosen Penguji Skripsi.
7. Bapak Ir. Erwin Sulisty, MT., selaku Dosen Penguji Skripsi dan Dosen Pengamat Seminar Proposal yang juga telah memberikan ilmu, bimbingan, dan saran kepada penulis untuk menyempurnakan tugas akhir ini.
8. Rony Satria P, Pradifta Satya P, dan M. Nuzul Fahri Husaini selaku sahabat sekaligus teman sekelompok penulis dalam penyusunan tugas akhir, yang telah membantu, bertukar ilmu, memberikan semangat, dan segelintir jasa-jasa yang tak bisa saya sebutkan.
9. Mas Andi dan Mas Tian selaku instruktur Laboratorium  $\alpha\beta\gamma$  Landungsari yang telah membantu dan mengajarkan penulis dalam melakukan penelitian.

10. Ke Mama ku Tersayang, yang selalu menanyakan perkembangan skripsi penulis dan yang selalu emberikan semangat kepada penulis untuk pembuatan laporan skripsi.
11. Teman-Teman ANGKATAN 2014 selaku keluarga kedua penulis di malang yang selalu berhasil memberikan support dan memberikan tawa maupun duka bagi penulis selama di malang.

Malang, Desember 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

|                                                |             |
|------------------------------------------------|-------------|
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                    | <b>i</b>    |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                        | <b>iii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                      | <b>v</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                     | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                   | <b>vii</b>  |
| <b>RINGKASAN.....</b>                          | <b>viii</b> |
| <b>SUMMARY .....</b>                           | <b>ix</b>   |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                 | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                       | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                      | 2           |
| 1.3 Batasan Masalah .....                      | 2           |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                     | 2           |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                    | 2           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>           | <b>3</b>    |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya .....                | 3           |
| 2.2 Velg .....                                 | 4           |
| 2.3 Piston .....                               | 5           |
| 2.4 Aluminium .....                            | 6           |
| 2.5 Paduan Aluminium.....                      | 6           |
| 2.5.1 Aluminium Murni .....                    | 6           |
| 2.5.2 Aluminium Paduan .....                   | 7           |
| 2.6 Kelarutan Gas dalam Aluminium Paduan ..... | 10          |
| 2.7 Pengertian Pengecoran .....                | 11          |
| 2.8 <i>Permanent Mold Casting</i> .....        | 12          |
| 2.9 Solidifikasi .....                         | 17          |
| 2.10 Tungku Induksi .....                      | 18          |
| 2.11 Ingot .....                               | 19          |
| 2.12 Energi Pengecoran Logam .....             | 20          |
| 2.13 Kalor.....                                | 21          |
| 2.13.1 Kalor Sensibel .....                    | 21          |
| 2.13.2 Kalor Laten.....                        | 22          |
| 2.14 Mekanisme Perpindahan Panas.....          | 23          |



|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.14.1 Konduksi .....                                                              | 24        |
| 2.14.2 Konveksi.....                                                               | 25        |
| 2.14.3 Radiasi.....                                                                | 26        |
| 2.15 Hipotesis.....                                                                | 27        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>                                             | <b>29</b> |
| 3.1 Metode Penelitian .....                                                        | 29        |
| 3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....                                              | 29        |
| 3.3 Variabel Penelitian .....                                                      | 29        |
| 3.4 Alat dan Bahan yang Digunakan .....                                            | 30        |
| 3.4.1 Bahan yang Digunakan.....                                                    | 30        |
| 3.4.2 Alat yang Digunakan .....                                                    | 30        |
| 3.5 Skema Instalasi Penelitian .....                                               | 33        |
| 3.6 Prosedur Pengecoran .....                                                      | 34        |
| 3.7 Diagram Alir Penelitian .....                                                  | 35        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                                           | <b>37</b> |
| 4.1 Data Hasil Pengujian .....                                                     | 37        |
| 4.1.1 Data Hasil Uji Komposisi .....                                               | 37        |
| 4.1.2 Data Perhitungan Energi Kalor.....                                           | 38        |
| 4.1.3 Data Perhitungan Energi Listrik .....                                        | 39        |
| 4.2 Grafik Hubungan Komposisi <i>Raw Material</i> Terhadap Energi Peleburan.....   | 40        |
| 4.2.1 Grafik Hubungan Konsumsi <i>Raw Material</i> Terhadap Energi Peleburan ..... | 40        |
| 4.2.2 Grafik Hubungan Konsumsi Energi Listrik Terhadap Energi Peleburan .....      | 41        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>                                                         | <b>43</b> |
| 5.1 Kesimpulan.....                                                                | 43        |
| 5.2 Saran.....                                                                     | 43        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                                                              |           |
| <b>LAMPIRAN</b>                                                                    |           |

## DAFTAR TABEL

|           |                                                       |    |
|-----------|-------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 | Sifat Fisik Aluminium .....                           | 7  |
| Tabel 2.2 | Sifat-Sifat Mekanik Aluminium .....                   | 7  |
| Tabel 2.3 | Perbandingan Cetakan Permanen dan Cetakan Pasir ..... | 13 |
| Tabel 2.4 | Macam-macam Tungku dan Efisiensinya .....             | 18 |
| Tabel 2.5 | <i>Japanese Aluminium Standard</i> .....              | 18 |
| Tabel 2.6 | <i>Power Factor of the Main Receivers</i> .....       | 21 |
| Tabel 2.7 | Kalor Jenis Spesifik Zat.....                         | 22 |
| Tabel 2.8 | <i>Latent Heat Material</i> .....                     | 23 |
| Tabel 4.1 | Data Hasil Uji Komposisi Material .....               | 37 |
| Tabel 4.2 | Data Energi Kalor Peleburan .....                     | 38 |



## DAFTAR GAMBAR

|             |                                                                              |    |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1  | Velg.....                                                                    | 5  |
| Gambar 2.2  | Piston .....                                                                 | 5  |
| Gambar 2.3  | Diagram fasa Al-Si .....                                                     | 8  |
| Gambar 2.4  | Diagram fasa Al-Cu .....                                                     | 9  |
| Gambar 2.5  | Kelarutan hidrogen dalam aluminium .....                                     | 11 |
| Gambar 2.6  | (a) <i>Hot chamber</i> (b) Cold chamber .....                                | 13 |
| Gambar 2.7  | Proses pengecoran <i>true centrifugal</i> .....                              | 15 |
| Gambar 2.8  | Proses pengecoran <i>semicentrifugal</i> .....                               | 15 |
| Gambar 2.9  | Proses pengecoran <i>centrifuging</i> .....                                  | 16 |
| Gambar 2.10 | <i>Squeeze casting</i> .....                                                 | 16 |
| Gambar 2.11 | Pembentukan butir .....                                                      | 17 |
| Gambar 2.12 | Proses pembentukan butir pada cetakan .....                                  | 17 |
| Gambar 2.13 | Tungku induksi (a) Dengan saluran (b) Tanpa inti .....                       | 19 |
| Gambar 2.14 | Biaya energi proses peleburan .....                                          | 20 |
| Gambar 2.15 | Perpindahan panas konduksi melalui kaleng minuman .....                      | 24 |
| Gambar 2.16 | Perpindahan panas dari plat panas .....                                      | 25 |
| Gambar 2.17 | Perpindahan panas secara radiasi .....                                       | 26 |
| Gambar 3.1  | Bahan baku (a) Potongan velg bekas (b) Piston bekas .....                    | 30 |
| Gambar 3.2  | Dapur pengecoran .....                                                       | 30 |
| Gambar 3.3  | Cetakan ingot .....                                                          | 31 |
| Gambar 3.4  | Desain cetakan ingot .....                                                   | 31 |
| Gambar 3.5  | <i>Thermo gun</i> .....                                                      | 31 |
| Gambar 3.6  | <i>Multimeter digital</i> .....                                              | 32 |
| Gambar 3.7  | Timbangan elektrik .....                                                     | 32 |
| Gambar 3.8  | Sarung tangan .....                                                          | 33 |
| Gambar 3.9  | Skema instalasi penelitian.....                                              | 33 |
| Gambar 3.10 | Diagram alir penelitian .....                                                | 35 |
| Gambar 4.1  | Grafik hubungan komposisi <i>raw material</i> terhadap energi peleburan..... | 40 |
| Gambar 4.2  | Grafik hubungan komposisi energi listrik terhadap energi peleburan.....      | 41 |

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1    Data Uji Komposisi Unsur



## RINGKASAN

**Ariandi Bosfer Panjaitan**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2018, Pengaruh Fraksi Velg dan Piston Proses *Recycling* Velg Terhadap Konsumsi Energi Peleburan, Dosen Pembimbing: Wahyono Suprpto dan Khairul Anam.

Pengecoran adalah salah satu industri metalurgi intensif menggunakan energi. Sampai sekarang efisiensi energi peleburan masih rendah. Efisiensi pengecoran adalah banyaknya panas yang diberikan dengan panas keluar. Energi peleburan rendah memberikan peluang meningkatkan efisiensi energi dan produktifitas melalui upgrade teknologi dan perubahan proses. Di Indonesia permintaan aluminium untuk industri domestik sekitar 800-900 ribu ton per tahun, sementara kapasitas produksi aluminium PT.Inalum hanya mencapai 250 ribu ton per tahun, sisanya masih di impor dari Australia untuk memenuhi kebutuhan aluminium dalam negeri.

Salah satu cara untuk mengurangi jumlah impor aluminium adalah dengan melakukan proses daur ulang scrap aluminium melalui proses pengecoran. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh fraksi daur ulang velg dan piston terhadap konsumsi energi peleburan ingot. Dengan variasi fraksinya 40% piston dan 60% velg, 50% piston dan 50% velg, 60% piston dan 40% velg untuk pengecoran ingot menggunakan tungku induksi. Pengambilan data komposisi kimia menggunakan uji spectrometer pada masing-masing bahan baku dan ketiga variasi spesimen. Menghitung proses energi peleburan berdasarkan persentase komposisi kimia tiap variasi. Pengecoran dilakukan dengan menggunakan waktu peleburan yang sama.

Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa energi peleburan pada fraksi 40% piston dan 60% velg sebesar 2961708,556 J, fraksi 50% piston dan 50% velg sebesar 2983639,207 J, fraksi 60% piston dan 40% velg sebesar 3001351,837 J. Dan untuk konsumsi energi listrik sama, karena lama waktu peleburannya disamakan untuk semua variasi yaitu sebesar 3,366 KWatt.jam. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan energi peleburan terbesar ada pada fraksi 60% piston dan 40% velg dan untuk penggunaan energi peleburan paling rendah ada pada fraksi 40% piston dan 60% velg.

**Kata kunci:** *recycling*, pengecoran, *melting energy*, material velg, material piston



## SUMMARY

**Ariandi Bosfer Panjaitan**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, December 2018. *The Effect of Velg Fraction and Piston Process Recycling on Melting Energy*. Academic Supervisor: Wahyono Suprpto and Khairul Anam.

Casting is one of the intensive metallurgical industries using energy. Until now, the melting energy efficiency is still low. Casting efficiency is the amount of heat given by heat coming out. Low melting energy provides an opportunity to increase energy efficiency and productivity through technology upgrades and process changes. In Indonesia, the demand for aluminum for the domestic industry is around 800-900 thousand tons per year, while PT Inalum's aluminum production capacity only reaches 250 thousand tons per year, the rest is still imported from Australia to meet domestic aluminum needs.

One way to reduce the amount of aluminum imports is by recycling aluminum scrap through the casting process. The purpose of this study was to determine the effect of alloy wheels and piston cycle fractions on ingot smelting energy consumption. With a 40% variation of the piston and 60% velg, 50% piston and 50% velg, 60% piston and 40% velg for ingot casting using induction furnaces. Retrieval of chemical composition data using a spectrometer test on each raw material and three specimen variations. Calculate the process of melting energy based on the percentage of the chemical composition of each variation. Casting is done using the same melting time.

The results of this study found that the melting energy in the 40% fraction of piston and 60% velg was 2961708,556 J, 50% fraction of piston and 50% velg of 2983639,207 J, 60% fraction of piston and 40% velg of 3001351,837 J And for electricity consumption, it's the same, because the time for the smelting is equated for all variations, which is 3,366 KWatts. It can be concluded that the greatest use of melting energy is in the 60% fraction of the piston and 40% of the alloy velg and for the lowest use of melting energy is the fraction of 40% piston and 60% velg.

**Keywords:** recycling, casting, melting energy, velg material, piston material

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Aluminium adalah logam non ferro yang paling banyak dipakai didunia, dengan laporan pemakaian per tahunnya hingga saat ini mencapai 24 juta ton. Hampir 75% dari total penggunaan aluminium ini atau sebesar 18 juta ton adalah aluminium primer (aluminum yang diekstrak dari bijih). Sedangkan di Indonesia permintaan aluminium untuk industri domestik sekitar 800-900 ribu ton per tahun, sementara kapasitas produksi aluminium PT.Inalum hanya mencapai 250 ribu ton per tahun, sisanya masih di impor dari Australia untuk memenuhi kebutuhan aluminium dalam negeri. Salah satu cara untuk mengurangi jumlah impor aluminium adalah dengan melakukan proses daur ulang *scrap* aluminium melalui proses pengecoran.

Industri Pengecoran (*Foundry*) adalah salah satu industri metalurgi paling intensif menggunakan energi. Sampai sekarang efisiensi energi peleburan sekitar 55% (rendah) dari total penggunaan energi pengecoran. Efisiensi pada pengecoran logam maksudnya adalah banyaknya panas yang diberikan dengan panas yang keluar. Energi peleburan rendah memberikan peluang meningkatkan efisiensi energi dan produktivitas melalui *upgrade* teknologi dan perubahan proses. Disisi lain seluruh dunia takut perubahan iklim dan pemanasan global karena generasi CO<sub>2</sub> pembakaran bahan bakar sebagai sumber energi atau untuk memproduksi listrik. Skenario ini sangat penting bagi foundrymen untuk menurunkan konsumsi energi peleburan yang signifikan dengan pengoperasian optimal dan efisien, (Wahyono, 2017).

Pengecoran logam sangat berkaitan dengan menghasilkan produk atau komponen yang berkualitas sesuai dengan cetakan.. Kualitas aluminium setelah dipadukan dapat meningkatkan sifat mekanis nya, seperti paduan Al-Si meningkatkan *castability* nya, Al-Mg meningkatkan kekuatannya dan mudah untuk ditempa, paduan Al-Mn memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi, paduan Al-Mg-Si mempunyai mampu bentuk yang baik pada ekstrusi dan tahan korosi. Material velg dan material piston merupakan salah satu material aluminium paduan, yang dimana unsur paduan utama nya adalah Si. Paduan Al-Si meningkatkan *castability* nya, yang dimana semakin tinggi kandungan Si mempengaruhi konsumsi energi peleburannya.

*Permanent mold casting* menggunakan cetakan terbuat dari logam, logam cair (paduan *aluminium*) dituang kedalam cetakan terbuka pada tekanan atmosfer. Cetakan dapat dipakai ratusan kali sebelum rusak, karena *thermal fatigue* atau *creep*. Maksud dari penggunaan cetakan ini adalah untuk mengurangi biaya produksi. Karena waktu produksinya singkat dan hasil permukaan produk cor akan halus. Namun proses pembuatan cetakan terbilang sulit dan hanya bisa digunakan untuk satu bentuk produk cetakan. Sesuai penjelasan diatas maka peneliti ingin melakukan penelitian tentang Pengaruh fraksi *velg* dan *piston* proses *recycling* terhadap konsumsi energi peleburan. (Wahyono, 2017).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas rumusan masalah dari penelitian ini adalah: Bagaimana pengaruh *recycling velg* dan *piston* terhadap energi peleburannya?

## 1.3 Batasan masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Konsumsi energi yang diteliti pada saat peleburan logam berdasarkan uji komposisi unsur tiap material dan konsumsi energi listriknya
- b. Pengecoran yang dipilih menggunakan cetakan permanen berbentuk ingot.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk menurunkan konsumsi energi peleburan secara signifikan dengan pengoperasian optimal dan efisien, sehingga dapat mengurangi pemanasan global akibat generasi CO<sub>2</sub> yang ditimbulkan, serta menghasilkan ingot yang berkualitas.

## 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini akan menambah pengetahuan tentang Pengaruh *recycling velg* dan *piston* terhadap energi coran ingot pada *permanent mold*.
2. Dengan hasil penelitian ini, diharapkan limbah logam yang ada di dunia dapat berkurang dan dapat dimanfaatkan kembali.
3. Dengan hasil penelitian ini, diharapkan para pelaku industri pengecoran logam tidak lagi mengkonsumsi energi yang berlebih untuk pengecoran.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Suyanto dkk, 2016, dalam penelitiannya ADC3 yaitu aluminium paduan Al-Si-Mg dengan unsur pepadu Si 8%-10% dan Mg 0,17%-0,3% yang dibuat dengan peleburan ulang aluminium bekas sebagai bahan propeller kapal kayu. Proses pengecoran ulang aluminium bekas kampas rem dan aluminium siku dengan cetakan pasir menghasilkan produk dengan tingkat porositas 3,3% sampai 5,9%. Penggunaan cetakan pasir ikut berperan dalam timbulnya porositas. Penambahan TiB sebanyak 0,5% ke ADC 3 hasil pengecoran aluminium bekas berpengaruh pada penurunan ukuran butir hingga 50%, peningkatan kekerasan hingga 23%, peningkatan kekuatan tarik hingga 11%, serta penurunan keuletan hingga 20%. Nilai kekerasan dan kekuatan ADC 3 hasil pengecoran masih dibawah harga kekerasan dan kekuatan ADC 3 standar. Hal tersebut disebabkan oleh adanya porositas dan kecilnya kandungan unsur Mg, Fe, Cu, dan Zn sebagai unsur penguat. Struktur mikro yang terbentuk dari hasil pengecoran ADC 3 adalah  $\alpha$  Al dan Si eutektik yang merupakan struktur yang bisasa terbentuk pada paduan AlSi hipoeutektik dengan kadar Si kurang dari 12,5%.

Aris dkk, 2012, dalam penelitiannya peningkatan sifat mekanis aluminium bekas yang didaur ulang melalui inokulasi unsur tembaga. Bahan yang digunakan adalah scrap aluminium terpilih dari bahas piston bekas sedang unsur tembaga (Cu) berasal dari kawat tembaga. Inokulasi menggunakan unsur Cu divariaskan 2%, 4,5% dan 6%. Kesimpulannya Inokulasi unsur Cu menunjukkan adanya peningkatan pada sifat mekanis piston bekas yang dicor ulang, hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya nilai kekerasan *Brinell* dan nilai ketangguhan *impact*. Hasil uji kekerasan *raw material* sebesar 106,07 BHN, setelah dilakukan penambahan unsur Cu sebesar 2% nilai kekerasannya meningkat menjadi 129,52 BHN, sedang pada penambahan unsur Cu sebesar 4,5% dan 6% Cu mengalami peningkatan nilai kekerasan masing-masing sebesar 149,71 BHN dan 134 BHN. Nilai ketangguhan untuk spesimen *raw material* diketahui sebesar 0,045 J/mm<sup>2</sup>, untuk spesimen Al dengan penambahan unsur 2% Cu sebesar 0,0392 J/mm<sup>2</sup> atau mengalami penurunan sebesar 0,0058 atau 12,89% dari nilai ketangguhan spesimen *raw material* sedang pada penambahan unsur Cu sebesar 4,5% nilai ketangguhannya sebesar 0,0542 J/mm<sup>2</sup> dan penambahan unsur Cu 6% sebesar 0,0518 J/mm<sup>2</sup> dengan peningkatan nilai ketangguhan

masing-masing sebesar 16,97% dan 13,13% dari spesimen *raw material*. Penurunan nilai ketangguhan pada spesimen Al+2% Cu terhadap *raw material* disebabkan tingginya temperatur *eutektik* dari fasa Al dan Cu yang mengakibatkan banyaknya unsur Si yang hilang, sehingga menimbulkan munculnya porositas dan *void* atau kekosongan ruang pada matrik alumunium. Peningkatan nilai kekerasan dan ketangguhan dari Al+4,5% Cu terjadi dikarenakan pada saat proses *presipitasi* dari fasa padat  $\alpha$  ke fasa padat  $\alpha+\beta$  atom-atom sel satuan bergerak secara merata sehingga memudahkan terbentuknya dendrit dan butiran partikel yang halus.

Nukman dkk, 2015, melakukan penelitian tentang “peleburan skrap aluminium pada tungku krusibel berbahan bakar batubara dengan proses aglomerasi air-minyak sawit”. Dari penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan disimpulkan bahwa energi yang diserap oleh krusibel untuk SATc dan SBtc bernilai negatif. Hal ini karena temperatur briket SATc = 973K dan SBtc = 878K, dan keduanya ini lebih rendah dari temperatur sekrap aluminium = 1023K. Dengan demikian energi yang diberikan oleh briket hanya banyak diserap bagian-bagian dari tungku tanpa mampu melebur sekrap aluminium di dalam krusibel. Kedua jenis briket ini bukan briket hasil pencucian ( $t_c$  = tanpa cuci). Efisiensi tungku menunjukkan kemampuan tungku melebur sekrap aluminium berdasarkan perbandingan antara banyaknya energi yang diperlukan untuk melebur sekrap aluminium dengan energi yang disuplai briket, dengan menghitung efisiensi tungku. Efisiensi tertinggi dicapai B60P20C15, begitu juga dengan berat briket yang dimasukkan ke dalam ruang bakar sebesar 6,47 Kg relatif lebih sedikit dengan jenis briket lainnya. Sedangkan terkecil tungku krusibel dengan batubara tanpa cuci jenis bituminus. Hal ini menunjukkan bahwa proses pencucian untuk batubara bituminus telah menaikkan efisiensi tungku, namun begitu juga dengan jenis batubara lainnya. Dengan temperatur penyalaan yang tertinggi yaitu 1160K dapat dikatakan bahwa temperatur mempunyai faktor yang berpengaruh, juga demikian halnya bilamana dibandingkan dengan nilai kalorinya. Dalam hal ini dapat dipahami bahwa peningkatan temperatur hasil pencucian telah dapat meningkatkan efisiensi tungku. Membandingkan tungku krusibel ini dengan tungku lainnya, maka dapat dilihat bahwa berdasarkan, maka untuk *batch type* 813K s.d 1253K dengan efisiensi termal berkisar antara 10 s.d. 30%, sehingga tungku krusibel ini mempunyai efisiensi yang cukup baik.

## 2.2 Velg

*Velg* atau rim adalah lingkaran luar desain logam yang tepi bagian dalam dari ban sudah terpasang pada kendaraan seperti mobil. Sebagai contoh, pada roda



sepeda di tepi lingkaran yang besar menempel pada ujung luar dari jari-jari roda yang memegang ban dan tabung. Dalam proses pembuatan *velg* mobil yang menggunakan bahan metal aluminium alloy yang terdiri campuran aluminium (Al), silikon (Si), besi (Fe), tembaga (Cu), *magnesium* (Mg), krom (Cr), seng (Zn), titanium (Ti), timbal (Pb) hingga zirkonium (Zr). Nah, komposisi ini dimainkan untuk *grade* kualitasnya, ada seri 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000 dan 8000. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat gambar velg vossen R16.



Gambar 2.1 Velg vossen R16  
Sumber: Ana Sayfa (2017)

### 2.3 Piston

Piston dalam bahasa Indonesia juga dikenal dengan istilah torak adalah komponen dari motor bakar yang berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang bakar silinder liner. Komponen ini dipegang oleh stang *piston* yang mendapatkan gerakan turun-naik dari gerakan berputar *crankshaft*. Piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup. Komponen ini mengalami peningkatan temperatur dan tekanan tinggi sehingga mutlak harus memiliki daya tahan tinggi terhadap temperatur, tahan terhadap gesekan dan mempunyai bobot yang ringan. Oleh karena itu, pabrikan kini lebih memilih paduan aluminium (Al-Si). Pada Gambar 2.2 dapat dilihat gambar piston Kawasaki boss.



Gambar 2.2 Piston kawasaki boss  
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2018)



## 2.4 Aluminium

Pada tahun 1808 aluminium ditemukan oleh *Sir Humphrey Davy* sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi sebagai suatu logam oleh *Paul Herolt* di Prancis dan *C.M. Hall* di Amerika secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses *heroult hall* masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Aluminium adalah logam non ferro yang paling banyak dipakai didunia, dengan laporan pemakaian per tahunnya hingga saat ini mencapai 24 juta ton. Hampir 75% dari total penggunaan aluminium ini atau sebesar 18 juta ton adalah “aluminium primer” (aluminium yang diekstrak dari bijih) (*Totten & MacKenzie*, 2003).

Aluminium adalah logam putih keperakan bersinar dan memiliki konduktivitas listrik tinggi. Hal ini ditandai dengan struktur FCC yang mengarah keuletan yang baik. Secara kimiawi, aluminium menunjukkan karakteristik dari logam dasar reaktif yang tinggi dengan kelarutan tinggi terhadap hidrogen dalam fase cair dan kecenderungan kuat untuk membentuk senyawa aluminium oksida. Hal ini menyebabkan logam ini tahan terhadap lingkungan karena ada lapisan permukaan yang menutup logam terhadap serangan kimia. Logam ini memiliki Kepadatan 2,7 g/cm<sup>3</sup>, titik leleh 991K dan titik didih 2.603K, (*Schmitz*, 2007).

## 2.5 Paduan Aluminium

Aluminium dibagi menjadi 2 (dua) golongan, yaitu aluminium murni dan aluminium paduan

### 2.5.1 Aluminium Murni

Adapun sifat dasar dari aluminium murni adalah memiliki sifat mampu cor tetapi sifat mekanik yang kurang baik. Oleh karena itu, aluminium murni perlu diperbaiki sifat-sifat mekaniknya, salah satu caranya yaitu menambahkan unsur-unsur lain. Aluminium didapat dalam keadaan cair dengan elektrolisa, umumnya mencapai kemurnian dengan 99,85% berat. Dengan mengelektrolisa kembali dapat dicapai kemurnian 99,99%. Sifat fisik aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan sifat mekanik aluminium pada Tabel 2.2.

Tabel 2.1  
Sifat Fisik Aluminium

| Sifat-Sifat                            | Kemurnian Al (%) |             |
|----------------------------------------|------------------|-------------|
|                                        | 99,996           | >99,0       |
| Massa Jenis (g/cm <sup>3</sup> )(20oC) | 26,989           | 2,71        |
| Titik Cair (oC)                        | 660,2            | 653 s/d 657 |
| Panas Jenis (cal/goC)(100oC)           | 0,2226           | 0,2297      |
| Hantaran Listrik (%)                   | 64,94            | 56 (dianil) |

Sumber: Surdia (1999)

Tabel 2.2  
Sifat-sifat Mekanik Aluminium

| Sifat                                 | Aluminium (%) |                      |         |      |
|---------------------------------------|---------------|----------------------|---------|------|
|                                       | 99,996        |                      | >99,000 |      |
|                                       | Dianil        | 75 %<br>Dirol Dingin | Dianil  | H18  |
| Kekuatan tarik (Kg/mm <sup>2</sup> )  | 4,9           | 11,6                 | 9,3     | 16,9 |
| Kekuatan ,mulur (Kg/mm <sup>2</sup> ) | 1,3           | 11,0                 | 3,5     | 14,8 |
| Perpanjangan (%)                      | 48,8          | 5,5                  | 35      | 5    |
| Kekerasan Brinell                     | 17            | 27                   | 23      | 44   |

Sumber: Surdia (1999:134)

### 2.5.2 Aluminium Paduan

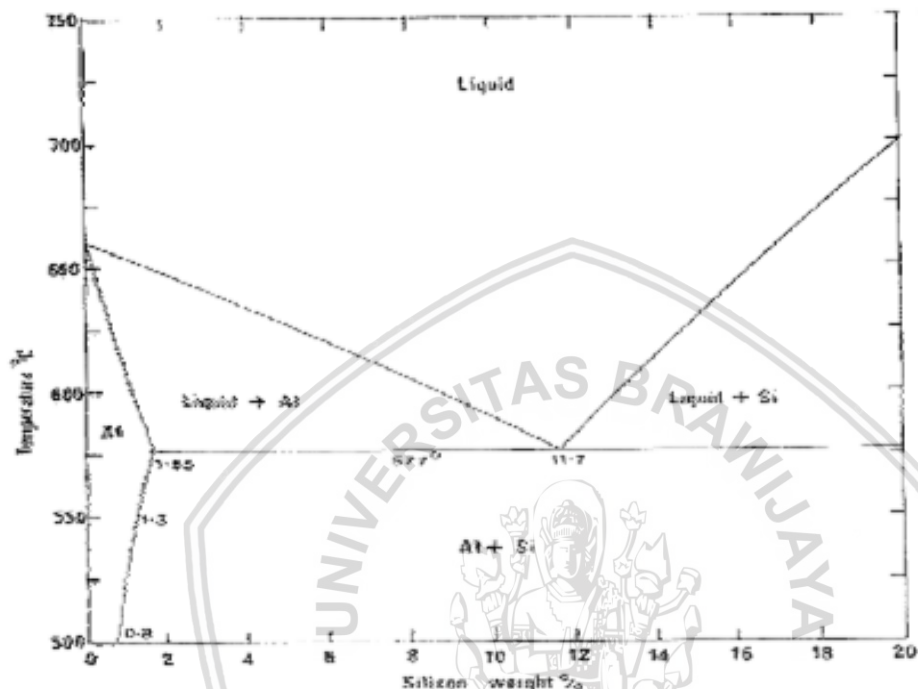
Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara didunia. Saat ini klasifikasi yang sangat terkenal dan sempurna adalah standar *Aluminium Association Amerika* (AA) yang didasarkan atas standar terdahulu dari *Alcoa (Aluminium Company of America)*. Paduan tempa dinyatakan dengan satu atau dua angka “S”, sedangkan paduan coran dinyatakan dengan 3 angka. Standar AA menggunakan penandaan dengan 4 angka sebagai berikut: Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur yang ditambahkan yaitu: 1. Al murni, 2: Al-Cu, 3: Al-Mn, 4: Al-Si, 5: Al-Mg, 6: Al-Mg-Si, 7: AlZn, (Surdia, 1999).

Aluminium dapat ditambah dengan paduan berbagai logam murni, sebab logam ini tidak kehilangan sifat-sifat mekanisnya, sifat ringan, sifat mampu cornya yang dapat diperbaiki dengan menambah berbagai unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan itu adalah silikon, tembaga, magnesium, nikel, mangan, dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium. Macam-macam Unsur paduan aluminium dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

#### 1. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. paduan Al-Si yang telah diperlakukan panas dinamakan Silumin. Sifat – sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Paduan Al-Si umumnya dipakai dengan 0,15% – 0,4%Mn dan 0,5% Mg. Paduan ini baik dalam kecairannya

dan mempunyai permukaan yang bagus sekali, tanpa kegetasan panas, dan sangat baik untuk paduan coran. Sebagai tambahan Al-Si juga mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik sangat ringan, koefisien pemuai yang kecil, dan penghantar yang baik untuk listrik dan panas. Karena kelebihan yang menyolok maka paduan ini sangat banyak dipakai. Pada Gambar 2.3 dapat dilihat diagram fasa Al-Si (Surdia, 1999).



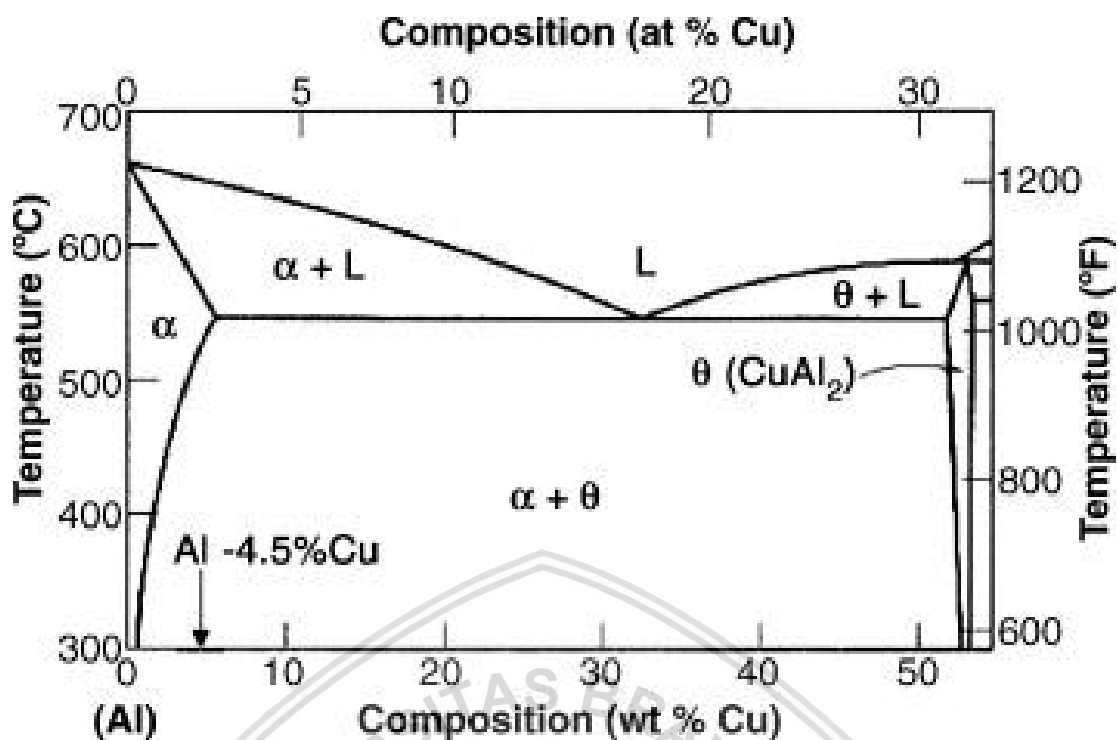
Gambar 2.3 Diagram fasa Al-Si  
Sumber: Campbell (2003)

## 2. Paduan Al-Mg

Paduan dengan 2% – 3% Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi, paduan Al 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan Al 5052 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Paduan Al 5083 yang dianil adalah paduan antara (4,5% Mg) kuat dan mudah dilas oleh karena itu sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG (Surdia, 1999).

## 3. Paduan Al-Cu

Unsur tembaga mempunyai kelarutan sekitar 5.65% pada temperatur 550°C. Pada paduan aluminium, penambahan unsur tembaga dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, baik dalam kondisi *as cast* atau *heat treatment* membentuk CuAl<sub>2</sub> serta dapat mengurangi ketahanan terhadap retak panas (*hot tear*). Namun, efek sampingnya adalah mengurangi *castability* karena menurunkan fluiditas dan menurunkan ketangguhan. Pada Gambar 2.4 dapat dilihat diagram fasa Al-Cu.



Gambar 2.4 Diagram fasa Al-Cu  
Sumber: Campbell (2003)

4. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg

Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg serta dapat mengeras dalam beberapa hari oleh penuaan, dalam temperatur biasa atau natural aging setelah *solution heat treatment* dan *quenching*. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg dipakai sebagai bahan dalam industri pesawat terbang (Surdia, 1999).

5. Paduan Al-Mn

Mangan (Mn) adalah unsur yang memperkuat Aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan terhadap korosi tanpa perlakuan panas (Surdia, 1999).

6. Paduan Al-Mg-Zn

Di Jepang pada permulaan tahun 1940 Iragashi dan kawan-kawan mengadakan studi dan berhasil dalam pengembangan suatu paduan dengan penambahan kira – kira 0,3% Mn atau Cr dimana butir kristal padat diperhalus dan mengubah bentuk presipitasi serta retakan korosi tegangan tidak terjadi. Pada saat itu paduan tersebut dinamakan ESD atau duralumin super ekstra. Selama perang dunia ke dua di Amerika Serikat dengan maksud yang hampir sama telah dikembangkan pula suatu paduan yaitu suatu paduan yang terdiri dari: 90% Al, 5,5% Zn, 2,5% Mn, 1,5% Cu, 0,3% Cr, 0,2% Mn sekarang dinamakan paduan Al-7075. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi

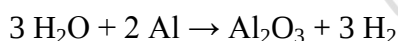
diantara paduan-paduan lainnya. Penggunaan paduan ini paling besar dalam bidang konstruksi (Surdia, 1999).

#### 7. Paduan Al-Mg-Si

Sebagai paduan Al-Mg-Si dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi, dan sangat baik untuk mampu bentuk yang tinggi pada temperatur biasa. Mempunyai mampu bentuk yang baik pada ekstrusi dan tahan korosi, dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka-rangka konstruksi, karena paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang cukup baik tanpa mengurangi hantaran listrik, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi juga digunakan untuk kabel tenaga (Surdia, 1999).

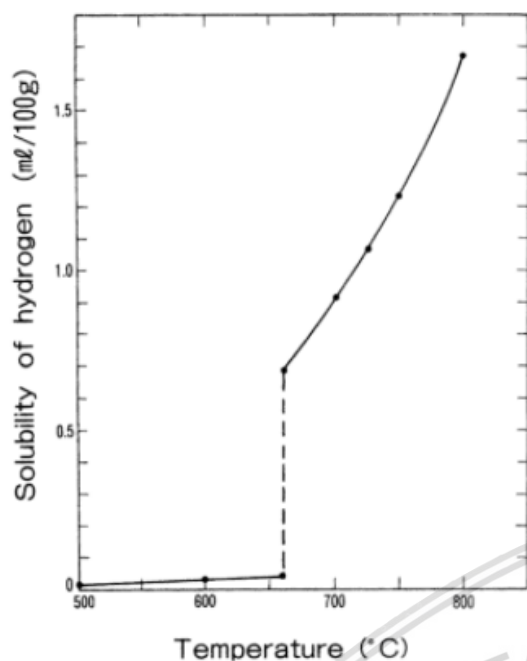
### 2.6 Kelarutan Gas dalam Aluminium Paduan

Kelarutan gas dalam logam cair merupakan salah satu penyebab utama terjadinya porositas dalam pengecoran. Pada umumnya, gas yang sering terlarut dalam paduan aluminium cair adalah gas hidrogen ( $H_2$ ). Terlarutnya gas dalam logam cair disebabkan karena nilai kelarutan hidrogen dalam aluminium cair lebih tinggi daripada aluminium padat. Sehingga selama solidifikasi banyak gas hidrogen yang masuk ke dalam logam cair dan terjebak membentuk gelembung-gelembung yang disebut porositas. Gas hidrogen dalam aluminium cair ditemukan akibat terjadinya reaksi antara uap air yang didapatkan dari kelembaban atmosfer dan aluminium cair, sebagai berikut.



Kelarutan hidrogen dalam aluminium cair juga dipengaruhi oleh tekanan parsial pada hidrogen itu sendiri, hal ini sesuai dengan Hukum Sievert's tentang kelarutan gas. Selain itu, kelarutan hidrogen juga dipengaruhi oleh temperatur dari logam cair itu sendiri. Semakin tinggi temperatur dari logam cair, maka nilai kelarutan hidrogen dalam logam cair juga semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.





Gambar 2.5 Kelarutan hidrogen dalam aluminium  
Sumber: *Handbook of Aluminum Vol. 1* (2003:645)

## 2.7 Pengertian Pengecoran

Prinsip dasar pengecoran logam adalah memanaskan logam dari 50°C - 100°C diatas titik lebur hingga mencair kemudian memasukkannya ke dalam cetakan. Cairan logam tersebut akan mengisi rongga cetakan sehingga didapatkan bentuk sesuai dengan cetakan setelah logam membeku. Salah satu cara untuk membentuk material logam adalah dengan melakukan proses *casting* atau yang dikenal dengan istilah “pengecoran logam”. Yaitu membentuk suatu komponen dengan cara mencairkan logam dan menuangkan ke rongga cetak yang berbentuk sesuai komponen yang diinginkan. Dalam sistem industri, proses manufaktur logam dapat dikelompokkan atas delapan kategori, yaitu:

1. Proses pengecoran (*casting*), dapat dilakukan pada material cair atau cair padat. Bila kondisi material:
  - 100% cairan logam, plastik atau *glass* dituang kedalam cetakan dan dibiarkan membeku dalam bentuknya dihasilkan mikro struktur dendrit.
  - Cair-padat (*slurry*) dituang ke dalam rongga cetakan dihasilkan mikro struktur yang globular proses semacam ini disebut *rheocasting*.
  - Padat-cair dimasukkan kedalam cetakan dan di *pressing* dihasilkan struktur *flow line* proses semacam ini disebut *thixo forming*.
2. Proses deformasi, material umumnya logam dalam bentuk plastik dideformasi (*hot, warm, cold*) untuk memperbaiki sifat dan perubahan bentuk. Proses deformasi antara

lain; *forging, rolling, extrusion wire drawing*. *Sheet-metal forming* merupakan kategori khusus deformasi dalam kondisi tegangan dua dimensi.

3. Proses menghilangkan material atau pemotongan (*cutting*), material dihilangkan dari benda kerja dengan pahat dengan berbagai cara seperti: *turning, milling, grinding, shaving, polishing, lapping*.
4. Pengolahan polimer, sifat-sifat khusus pada polimer telah membawa proses seperti *injection moulding* dan *thermoforming* yang selama ini lebih berorientasi untuk pengerjaan logam.
5. Pengolahan partikel, yaitu proses penggumpalan partikel-partikel logam, keramik, polimer dengan penekanan dan sintering, kompaksi panas atau deformasi plastis pengolahan bahan partikel saat ini berkembang pesat.
6. Penanganan sambungan, termasuk jenis sambungan semua kategori *welding* (logam induk dan *filler* mencair bersamaan), *brazing* (logam induk memijar dan *filler* mencair), *soldering* (logam induk dingin dan *filler* mencair), *diffusion bonding, riveting, bolting*, dan *adhesive bonding*.
7. Perlakuan panas dan permukaan, merupakan proses perbaikan sifat mekanik dengan proses perlakuan panas termasuk perbaikan sifat-sifat permukaan oleh proses difusi seperti: *carburizing, nitriding*, atau proses alternatif lain seperti *sprayed, hot deep coating, painting*, dan *plating*. *Plating* merupakan proses ionisasi, dimana logam terionisasi dalam sel elektrolit selanjutnya ion positif terbentuk oleh kutub katoda dan ion positif terdeposit pada kutub negatif (elektroda).
8. Proses penyusunan (*assembly*) merupakan proses akhir yang mana beberapa komponen secara bersama disatukan atau dikombinasikan sebagai produk jadi (Wahyono, 2017).

## 2.8 Permanent Mold Casting

Seperti yang dijelaskan pada subbab sebelumnya, *permanent mold casting* atau juga disebut *hard mold casting* adalah teknik pengecoran logam dengan cetakan yang dapat dipakai berulang-ulang. Sistem saluran untuk cetakan ini dibuat menyatu dengan cetakan. Sementara itu, untuk desain produk yang memiliki rongga dalam produk coran, dapat ditambahkan inti yang terbuat dari logam atau pasir agregat dan di tempatkan di dalam cetakan sebelum dilakukan pengecoran. Biasanya, bahan yang digunakan untuk inti adalah besi kelabu (*gray iron*).

Sebelum melakukan penuangan logam cair, permukaan cetakan permanen harus dilapisi oleh cairan tahan panas seperti oli, sodium silikat, atau tanah liat yang dicampur dengan grafit terlebih dahulu dengan tujuan untuk memperpanjang usia pemakaian dari cetakan itu sendiri. Setelah itu, cetakan dipasang dan dipanasi pada temperatur 150 – 200 °C untuk mempermudah aliran logam cair dan mengurangi cacat termal pada cetakan (Avner, 1997). Untuk perbandingan dari cetakan permanen dan cetakan pasir dapat dilihat di Tabel 2.3.

Tabel 2.3

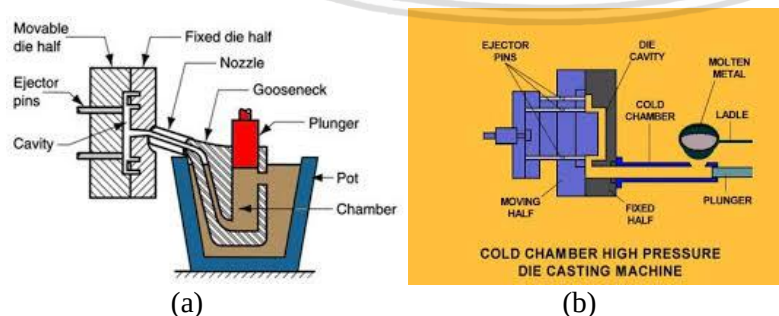
Perbandingan Cetakan Permanen dan Cetakan Pasir

| Cetakan Permanen                                                       | Cetakan Pasir                                              |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Cetakan dapat digunakan berulang kali                                  | Cetakan hanya dapat digunakan satu kali                    |
| Produk coran yang dihasilkan lebih akurat dan presisi                  | Produk coran yang dihasilkan kurang akurat dan presisi     |
| Dapat digunakan untuk produksi massal                                  | Kurang cocok untuk digunakan dalam produksi massal         |
| Memerlukan biaya produksi yang lebih mahal                             | Biaya produksi yang dikeluarkan lebih rendah               |
| Produk coran memiliki kekasaran permukaan yang lebih baik              | Produk coran memiliki kekasaran permukaan yang kurang baik |
| Hanya dapat digunakan untuk benda coran yang memiliki bentuk sederhana | Dapat digunakan untuk benda coran yang lebih rumit         |
| Tidak cocok untuk bahan baku logam dengan titik lebur tinggi           | Cocok untuk semua jenis logam                              |
| Proses <i>finishing</i> yang diperlukan tidak terlalu banyak           | Memerlukan banyak proses <i>finishing</i>                  |

Sumber: Kalpakjian (1989:333-334)

Cetakan permanen memiliki beberapa keuntungan di antaranya dapat digunakan pada skala produksi massal sehingga biaya produksi dapat diminimalisir dan cetakan permanen memiliki keuntungan toleransi dimensi yang baik, yang termasuk dalam *multiple mold casting* yaitu:

### 1. Die casting (Cetak Tekan)



Gambar 2.6 Jenis Die casting (a) Hot chamber (b) Cold chamber

Sumber: Groover (2007:230)

Merupakan proses pengecoran cetakan permanen dengan cara menginjeksikan logam cair kedalam rongga cetakan dengan tekanan tinggi (1-30 MPa). Tekanan tetap dipertahankan selama proses pembekuan. Ada dua jenis cetak tekan, yaitu:

a. Mesin cetak tekan ruang panas (*Hot chamber*)

Pada mesin cetak ruang panas, tungku peleburan terdapat pada mesin dan silinder injeksi terendam dalam logam cair seperti yang terlihat pada gambar 2.6 (a). Tekanan injeksi berkisar antara 7-35 MPa. Mesin ini digunakan untuk logam cor dengan titik lebur rendah seperti Sn, Pb, dan Zn. Kontainer logam cair menjadi satu dengan mesin cetak. Laju produksi cepat, bisa mencapai 900 produk/jam.

Kelebihan:

- Produksi masal cepat
- Tekanan yang diberikan rendah
- Kemungkinan cacat lebih kecil dibanding *cold chamber*

Kekurangan:

- Perencanaan sulit, dikarenakan harus mempertimbangkan tekanan di suhu yang tinggi
- Material harus menyesuaikan dengan logam cair

b. Mesin cetak ruang dingin (*Cold chamber*)

Pada mesin cetak ruang dingin, tungku peleburannya terpisah dan silinder injeksi diisi logam cair secara manual atau mekanis seperti yang terlihat pada gambar 2.6 (b). Tekanan injeksinya berkisar antara 14-140 MPa digunakan untuk logam cor dengan titik lebur lebih tinggi dan biasanya digunakan untuk pengecoran logam *nonferrous*. Laju produksi lebih lambat dibanding *hot chamber*.

Kelebihan:

- Tingkat resiko kecelakaan kecil
- Produksi masal cepat

Kekurangan:

- Karena fasa solid solution daya yang dibutuhkan besar

2. Pengecoran Sentrifugal

Dalam pengecoran ini logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang berputar untuk menghasilkan benda cor. Logam cair dituang saat cetakan berputar, kecepatan putar yang sangat tinggi menghasilkan gaya sentrifugal sehingga logam terbentuk sesuai dengan bentuk dinding cetakan. Terdapat tiga jenis *centrifugal casting*, antara lain:

a. *True Centrifugal Casting*

*True centrifugal casting* merupakan salah satu proses pengecoran yang menghasilkan produk cor berbentuk tabular, cairan logam dituang ke cetakan yang berputar, sumbu putaran biasanya horizontal tapi bisa juga vertikal untuk

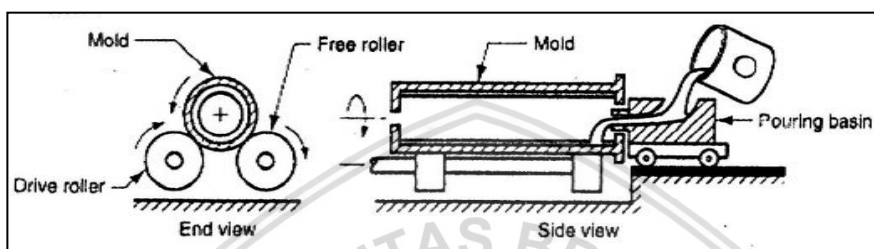
benda kerja pendek seperti yang terlihat pada Gambar 2.7. Cetakannya terbuat dari besi, baja atau grafit dan bisa dilapisi dengan lapisan tahan panas untuk memperpanjang umur cetakan.

Kelebihan:

- Tingkat resiko kecelakaan kecil
- Produksi memerlukan waktu yang cukup cepat

Kekurangan:

- Hanya dapat membentuk tabular saja dan tidak cocok untuk produksi masal.



Gambar 2.7 Proses pengecoran *true centrifugal*

Sumber: Kalpakjian (1989:327)

b. *Semi centrifugal casting*

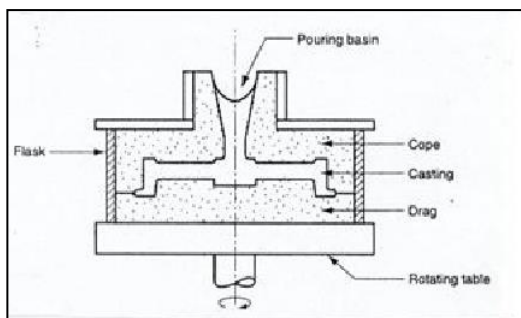
Dalam *semicentrifugal casting*, gaya sentrifugal digunakan untuk menghasilkan hasil coran *solid*, daripada bentuk tabular. Kecepatan rotasi biasanya lebih pelan dari *true centrifugal casting*, densitas logam pada hasil akhir lebih besar pada bagian luar daripada bagian tengah rotasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.8. Contoh hasil coran *semi centrifugal casting* adalah *pulley*.

Kelebihan:

- Produksi memerlukan waktu yang cukup cepat
- Benda coran memiliki densitas yang tinggi

Kekurangan:

- Tidak cocok untuk produksi masal
- Kemungkinan logam cair keluar dari pouring basin cukup tinggi



Gambar 2.8 Proses pengecoran *semi centrifugal*

Sumber: Kalpakjian (1989:328)



### c. *Centrifuging*

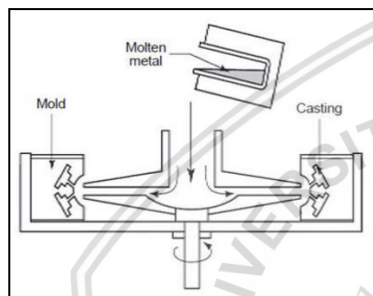
Dalam pengecoran *centrifuging*, rongga cetakan ditempatkan pada jarak tertentu dari sumbu putaran. Cairan logam dituang dari pusat cetakan dan didorong ke cetakan oleh gaya sentrifugal seperti yang terlihat pada Gambar 2.9. Sifat-sifat hasil coran bisa berbeda berdasarkan jarak dari sumbu putaran.

Kelebihan:

- Produksi memerlukan waktu yang cukup cepat
- Sangat cocok untuk produksi massal

Kekurangan:

- Kemungkinan rongga cetakan tidak terisi logam cair sangat besar



Gambar 2.9 Proses pengecoran *centrifuging*  
Sumber: Kalpakjian (1989:328)

### 3. *Squeeze Casting*

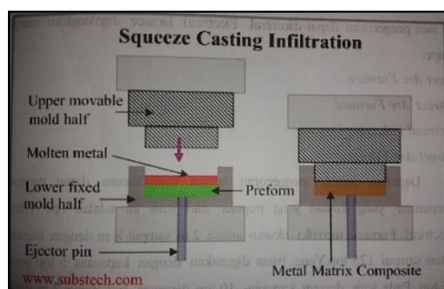
Merupakan proses dimana logam cair membeku dibawah tekanan dalam keadaan tetap antara plat hidrolis seperti yang terlihat pada Gambar 2.10.

Kelebihan:

- Kekuatan lebih tinggi dan arah orientasi butir seragam
- Proses pengerjaan cukup cepat

Kekurangan:

- Hanya dapat membuat satu bentuk dan bentuk tidak bisa rumit
- Daya yang dibutuhkan besar
- Tidak cocok untuk produksi massal

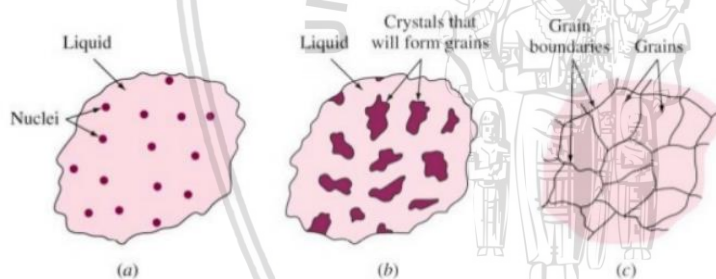


Gambar 2.10 *Squeeze casting*  
Sumber: Kalpakjian (2009:329)

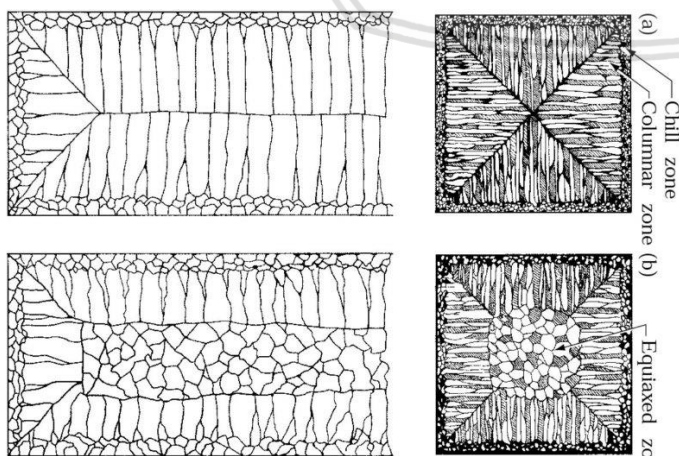
## 2.9 Solidifikasi

Solidifikasi merupakan proses pembekuan logam cair menjadi padat setelah dituang ke dalam rongga cetakan. Hasil dari proses ini mempengaruhi ukuran, bentuk, dan homogenitas dari butiran pada produk coran. Hal-hal lain yang mempengaruhi solidifikasi adalah jenis logam cair, properti termal dari logam cair dan logam cetakan, toleransi penyusutan, dan bentuk dari cetakan (Kalpakjian, 1991).

Pada logam paduan, solidifikasi terjadi ketika temperatur menurun di bawah garis *liquidus* dan berakhir ketika mencapai garis *solidus*. Proses pembekuan berawal dari logam cair yang bersinggungan langsung dengan cetakan baru ke logam cair yang berada di dalam. Pada mulanya, cetakan menyerap kalor yang dimiliki oleh logam cair yang bersinggungan langsung hingga mencapai titik bekunya. Kemudian, saat proses pembekuan tersebut berlangsung terbentuk pula inti-inti, yang kemudian membentuk kristal-kristal dan tumbuh mengarah ke arah dalam coran. Kristal-kristal tersebut lalu membentuk butir-butir yang berbentuk panjang dan disebut sebagai dendrit. Pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.12 dapat dilihat gambar pembentukan butir dan proses pembentukan butir.



Gambar 2.11 Pembentukan butir  
Sumber: Beeley (1972:833)



Gambar 2.12 Proses pembentukan butir pada cetakan  
Sumber: Kalpakjian (1989:279)

## 2.10 Tungku Induksi

Tungku peleburan adalah suatu alat yang dapat mengontrol panas dan dipakai langsung untuk meleburkan logam. Ada banyak macam tungku peleburan dan memiliki keunggulan masing-masing. Jika dilihat pada Tabel 2.4 salah satu tungku yang paling baik adalah tungku induksi.

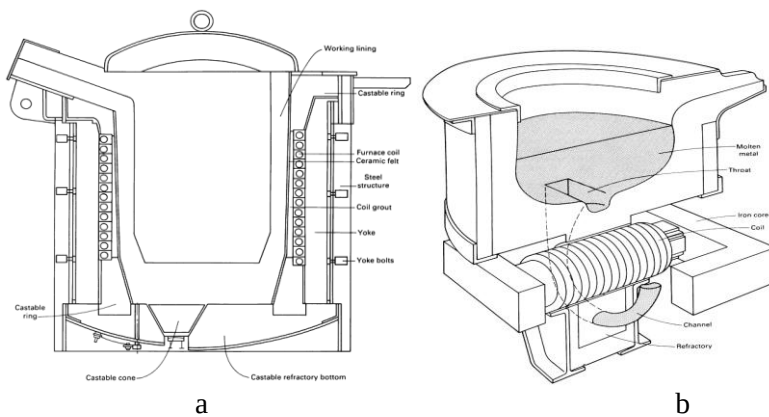
Tabel 2.4  
Macam-Macam Tungku dan Efisiensinya

| Jenis Tungku   | Sumber Energi |          | Logam Hilang | Efisiensi |                |
|----------------|---------------|----------|--------------|-----------|----------------|
|                | Gas           | Elektrik |              | Panas     | Laju Panas     |
| Crucible (gas) | X             |          | 4-6%         | 7-19      | Poor           |
| Cupola         | X             |          | 3-12%        | 40-50%    | Good           |
| Reverberatory  | X             |          | 3-7%         | 30-45%    | Fair to Good   |
| Rotary         | X             |          |              | 35%       | Fair           |
| Stack Melter   | X             |          | 1-2%         | 40-45%    | Good           |
| Direct Arc     |               | X        | 5-8%         | 35-45%    | Fair to good   |
| Induction      |               | X        | 0,75(Al)-3%  | 50-76%    | Good Excellent |
| Reverberatory  |               | X        | 1-3%         | 59-76%    | Excellent      |

Sumber: <http://www.mntap.umn.edu> (2017)

Tungku induksi adalah tungku peleburan yang menggunakan arus bolak-balik dan arus eddy dalam material magnetik. Arus bolak balik yang melewati kumparan menghasilkan medan magnet sehingga arus induksi listrik mengakibatkan pemanasan secara cepat dan logam meleleh.

Tungku induksi dikelompokkan menjadi dua, yaitu dengan saluran dan tanpa inti. Walaupun kedua tungku ini menggunakan prinsip kelistrikan, namun memiliki sedikit perbedaan. Tungku induksi tanpa inti digunakan untuk meleburkan dan *superheating* sedangkan tungku induksi saluran digunakan untuk *holding* dan lebih cocok dibuat *superheating*. Perbedaan bentuk tungku ini terlihat pada Gambar 2.13



Gambar 2.13 Tungku induksi (a) dengan saluran (b) tanpa inti  
Sumber: ASM Handbook Vol. 15 (2002:802)

## 2.11 Ingot

Tabel 2.5

Japanese Aluminium Ingot Standard

| JIS  | ALCOA | COMPOSITION IN PERCENT % |         |         |      |      |         |         |       |    |           |
|------|-------|--------------------------|---------|---------|------|------|---------|---------|-------|----|-----------|
|      |       | Si                       | Cu      | Mg      | Zn   | Fe   | Mn      | Ni      | Ti    | Sn | Al        |
| AC1A | 195   | 1.2↓                     | 4.0/5.0 | 0.3↓    | 0.3↓ | 0.5↓ | 0.3↓    | -       | 0.25↓ | -  | Remainder |
| AC2A | 108   | 4.0/6.0                  | 3.5/4.5 | 0.2↓    | 0.5↓ | 0.8↓ | 0.5↓    | -       | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC2B | 319   | 5.0/7.0                  | 2.0/4.0 | 0.5↓    | 1.0↓ | 1.0↓ | 0.5↓    | 0.3↓    | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC3A | 13    | 10/13                    | 0.2↓    | 0.1↓    | 0.3↓ | 0.8↓ | 0.3↓    | -       | -     | -  | Remainder |
| AC4A | -     | 8.0/10                   | 0.2↓    | 0.4/0.8 | 0.2↓ | 0.5↓ | 0.3/0.8 | -       | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC4B | 380   | 7.0/10                   | 2.0/4.0 | 0.5↓    | 1.0↓ | 1.0↓ | 0.5↓    | 0.3↓    | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC4C | 356   | 6.5/7.5                  | 0.2↓    | 0.2/0.4 | 0.3↓ | 0.5↓ | 0.3↓    | -       | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC4D | 355   | 4.5/5.5                  | 1.0/1.5 | 0.4/0.6 | 0.3↓ | 0.6↓ | 0.5↓    | -       | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC5A | 142   | 0.6↓                     | 3.4/4.5 | 1.2/1.8 | 0.1↓ | 0.8↓ | 0.3↓    | 1.7/2.3 | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC7A | 214   | 0.3↓                     | 0.1↓    | 3.5/5.5 | 0.1↓ | 0.4↓ | 0.6↓    | -       | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC7B | 220   | 0.3↓                     | 0.1↓    | 9.5/11  | 0.1↓ | 0.4↓ | 0.1↓    | -       | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC8A | A132  | 11/13                    | 0.8/1.3 | 0.7/1.3 | 0.1↓ | 0.8↓ | 0.1↓    | 1.0/2.5 | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC8B | -     | 8.5/10.5                 | 2.0/4.0 | 0.5/1.5 | 0.5↓ | 1.0↓ | 0.5↓    | 0.5/1.5 | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC8C | F 132 | 8.5/10.5                 | 2.0/4.0 | 0.5/1.5 | 0.5↓ | 1.0↓ | 0.5↓    | -       | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC9A | -     | 22/24                    | 0.5/1.5 | 0.5/1.5 | 0.2↓ | 0.8↓ | 0.5↓    | 0.5/1.5 | 0.2↓  | -  | Remainder |
| AC9B | -     | 18/20                    | 0.5/1.5 | 0.5/1.5 | 0.2↓ | 0.8↓ | 0.5↓    | 0.5/1.5 | 0.2↓  | -  | Remainder |

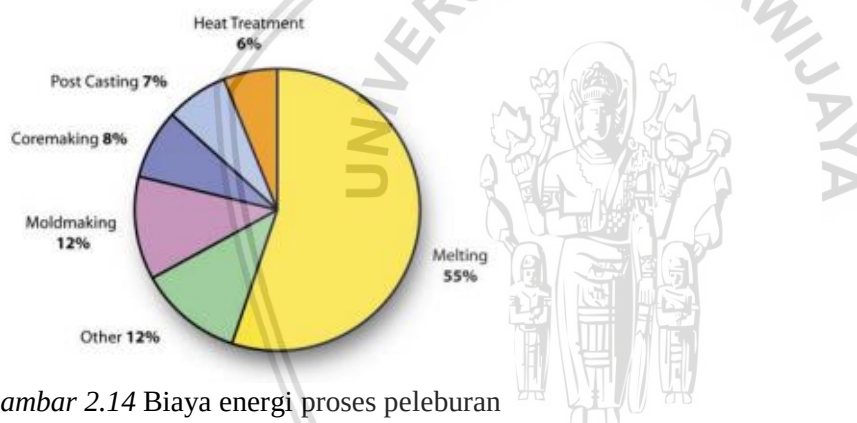
Sumber: Prasertsook (2010)

Ingot adalah potongan material murni, biasanya logam yang digunakan sebagai bahan baku pada proses pengecoran logam. Ingot merupakan produk setengah jadi atau dapat dikatakan produk mentah yang membutuhkan proses lebih lanjut lagi, seperti *cutting*, *milling*, *casting* dll. Dalam proses pengecoran ingot sangat mempengaruhi hasil produk coran. Semakin murni komposisi material penyusun ingot dan zat pengotornya semakin

sedikit maka kualitas ingot semakin tinggi juga. Pada Tabel 2.5 dijelaskan standar kualitas ingot untuk *casting* sesuai JIS (*Japan Industrial Standard*).

## 2.12 Energi Pengecoran Logam

Sampai sekarang, efisiensi energi peleburan sekitar 55% (rendah) dari total penggunaan energi pengecoran (Gb. 2.14). Energi peleburan rendah memberikan peluang meningkatkan efisiensi energi dan produktivitas melalui upgrade teknologi dan perubahan proses. Sering dijumpai pemborosan energi pada industri pengecoran, dan meningkatkan efisiensi. Jumlah terbesar mengkonsumsi energi adalah operasi peleburan 65-70% dari total energy foundry. Energi konsumsi untuk meleburkan sebuah logam menurut *Canadian foundries* rata-rata 1290 Kwh/ton. Cara paling efisien adalah menggunakan gas buang panas untuk pemanasan awal. Suhu gas buang turun ketika digunakan memanaskan raw material.



Gambar 2.14 Biaya energi proses peleburan  
Sumber: Report Source: 2004 Metal Casting Annual

Pemanfaatan biaya energi terbesar ada pada proses peleburan, pada proses peleburan itu, energinya dipakai untuk menaikkan suhu sampai diatas titik leleh material yang akan dilebur, pada proses peleburan sampai meleleh menghilangkan fase padat yang tidak diinginkan (biasanya oksida). Rumus untuk mengetahui energi listrik yang digunakan:

$$W = V \cdot I \cdot \cos \phi \cdot t \quad (2-1)$$

Sumber: <https://bfl-defenisi.blogspot.com> (2017)

Dimana:

W = Energi listrik (KWatt Jam)

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus Listrik (A)

t = Waktu (Jam)

$\cos \phi$  = Faktor daya



Tabel 2.6

*Power Factors of the Main Receivers*

| <b>Receiver</b>                                 |      | <b>Cos <math>\phi</math></b> | <b>TG <math>\phi</math></b> |
|-------------------------------------------------|------|------------------------------|-----------------------------|
| <i>Ordinary asynchronous motors loaded at</i>   | 0%   | 0,17                         | 5,80                        |
|                                                 | 25%  | 0,55                         | 1,52                        |
|                                                 | 50%  | 0,73                         | 0,94                        |
|                                                 | 75%  | 0,80                         | 0,75                        |
|                                                 | 100% | 0,85                         | 0,62                        |
| <i>Incandescent lamps</i>                       |      | <i>approx. 1</i>             | <i>approx. 0</i>            |
| <i>Fluorescent lamps</i>                        |      | <i>approx. 0,5</i>           | <i>approx. 1,73</i>         |
| <i>Discharge lamps</i>                          |      | 0,4 to 0,6                   | <i>approx. 2,29 to 1,33</i> |
| <i>Resistance furnaces</i>                      |      | <i>approx. 1</i>             | <i>approx. 0</i>            |
| <i>Compensated induction furnaces</i>           |      | <i>approx. 0,85</i>          | <i>approx. 0,62</i>         |
| <i>Dielectric heating furnaces</i>              |      | <i>approx. 0,85</i>          | <i>approx. 0,62</i>         |
| <i>Resistance welding machines</i>              |      | 0,8 to 0,9                   | 0,75 to 0,48                |
| <i>Single phase static arc welding stations</i> |      | <i>approx. 0,5</i>           | <i>approx. 1,73</i>         |
| <i>Arc welding transformers rectifiers</i>      |      | 0,7 to 0,9                   | 1,02 to 0,48                |
| <i>Arc furnaces</i>                             |      | 0,8                          | 0,75                        |
| <i>Thyristor power rectifiers</i>               |      | 0,4 to 0,8                   | 2,25 to 0,75                |

Sumber: *Alpes Technology*

Faktor daya listrik adalah perbandingan antara daya aktif dan daya buta, dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\cos \phi = P / S$$

(2-2)

Sumber: <https://bfl-defenisi.blogspot.com> (2017)

Dimana:

P = Daya aktif (Kwatt)

S = Daya buta (KVA)

Daya aktif adalah daya yang ditimbulkan oleh aliran listrik melalui hambatan seperti lampu pijar, atau alat-alat pemanas. Daya ini bias dibidang benar-benar digunakan untuk melakukan kerja sesuai dengan kebutuhan tenaga listrik. Daya buta adalah hasil perkalian antara arus dan tegangan listrik pada suatu beban.

**2.13 Kalor**

Kalor adalah salah satu bentuk energi. Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, maka ada dua kemungkinan yang akan terjadi. Yang pertama adalah terjadinya perubahan temperatur dari zat tersebut, kalor yang seperti ini disebut dengan kalor sensibel (*sensible heat*). Dan yang kedua adalah terjadi perubahan fase zat, kalor jenis ini disebut dengan kalor laten (*latent heat*).

### 2.13.1 Kalor Sensibel (*Sensible Heat*)

Apabila suatu zat menerima kalor sensibel maka akan mengalami peningkatan temperatur, namun jika zat tersebut melepaskan kalor sensibel maka akan mengalami penurunan temperatur. Pada Tabel 2.6 dapat dilihat kalor jenis spesifik. Persamaan kalor sensibel adalah sebagai berikut.

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2-3)$$

Sumber: Fisika, Kane & Sterheim (1991)

Dimana:

$Q$  = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

$C_p$  = Kalor jenis zat (J/Kg.K)

$\Delta T$  = Perubahan temperatur yang terjadi (K)

$m$  = Berat zat yang mengalami perubahan temperatur (Kg)

Tabel 2.6

Kalor Jenis Spesifik Zat

| No | Jenis Zat   | Kalor Jenis Zat (Joule/Kg°C) |
|----|-------------|------------------------------|
| 1  | Air         | 4200                         |
| 2  | Alkohol     | 2300                         |
| 3  | Aluminium   | 910                          |
| 4  | Baja        | 450                          |
| 5  | Besi        | 460                          |
| 6  | Emas        | 130                          |
| 7  | Es          | 2100                         |
| 8  | Gliserin    | 2400                         |
| 9  | Kaca        | 670                          |
| 10 | Kayu        | 1700                         |
| 11 | Kuningan    | 370                          |
| 12 | Marmer      | 860                          |
| 13 | Magnesium   | 1050                         |
| 14 | Perak       | 234                          |
| 15 | Raksa       | 140                          |
| 16 | Seng        | 390                          |
| 17 | Silikon     | 710                          |
| 18 | Tembaga     | 390                          |
| 19 | Timah Hitam | 130                          |
| 20 | Timbal      | 130                          |

Sumber: Fisika, Kane & Sterheim (1991)

### 2.13.2 Kalor laten (*Latent Heat*)

Jika suatu zat menerima atau melepaskan kalor, pada awalnya akan terjadi perubahan temperatur, namun demikian hal tersebut suatu saat akan mencapai keadaan jenuhnya dan menyebabkan perubahan fase. Kalor yang demikian itu disebut sebagai kalor laten. Kalor laten suatu zat biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlukan energi

yang besar untuk merubah fase suatu zat. Pada Tabel 2.7 dapat dilihat *latent heat material* tiap unsur.

Kalor laten yang digunakan untuk mengubah fase suatu zat dirumuskan dengan:

$$Q = m \cdot L_f \quad (2-4)$$

Sumber: Fisika, Kane & Sterheim (1991)

Dimana:

$Q$  = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

$m$  = Berat zat (Kg)

$L_f$  = Kalor laten (KJ/Kg)

Tabel 2.7

*Latent Heat Material*

| Metal      | <i>Latent Heat of Fussion</i> |         |
|------------|-------------------------------|---------|
|            | KJ/Kg                         | kcal/Kg |
| Aluminium  | 397                           | 95      |
| Antimony   | 161                           | 38,5    |
| Beryllium  | 1356                          | 324     |
| Bismuth    | 51,9                          | 12,4    |
| Chromium   | 331                           | 79      |
| Copper     | 205                           | 49      |
| Cuprum     | 206                           | 49      |
| Gold       | 63                            | 15      |
| Iridium    | 138                           | 33      |
| Iron       | 272                           | 65      |
| Magnesium  | 368                           | 88      |
| Manganese  | 268                           | 64      |
| Mercury    | 11,3                          | 2,7     |
| Molybdenum | 289                           | 69      |
| Nickel     | 297                           | 71      |
| Silicon    | 1790                          | 420     |
| Titanium   | 419                           | 100     |
| Uranium    | 50                            | 12      |
| Vanadium   | 410                           | 98      |
| Zinc       | 113                           | 27      |

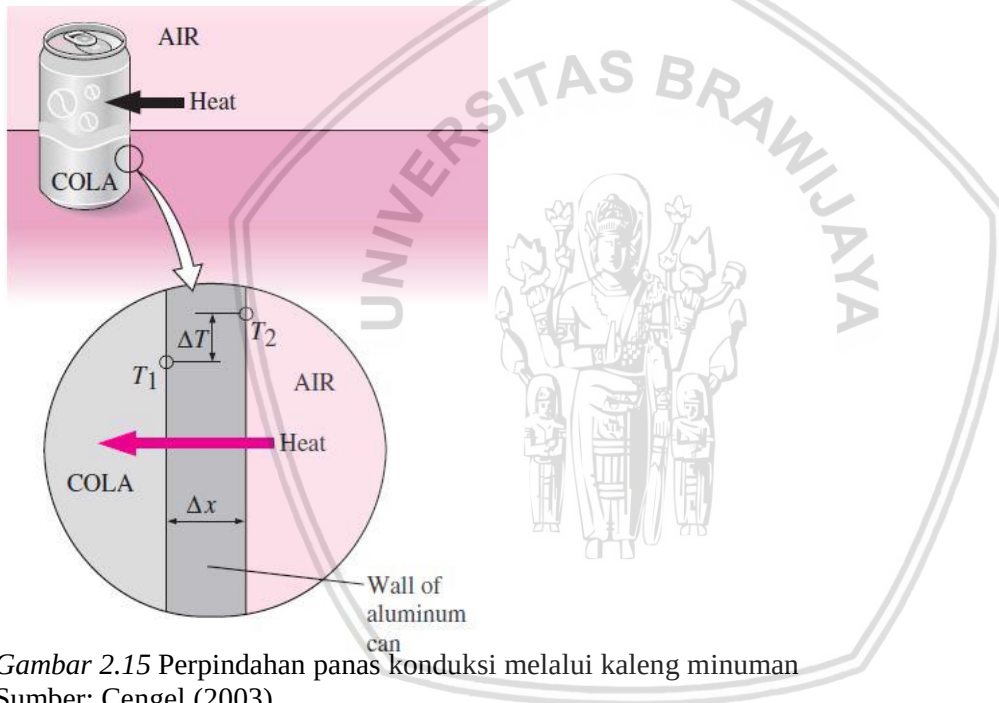
Sumber: Fisika, Kane & Sterheim (1991)

## 2.14 Mekanisme Perpindahan Panas

Energi panas dapat ditransfer dari suatu sistem ke sistem yang lain, sebagai hasil dari perbedaan temperatur. Sedangkan analisis termodinamika hanya mengangkat hasil dari perpindahan panas. Sebagai sistem yang mengalami proses dari satu keadaan setimbang yang lain. Jadi ilmu yang berhubungan dengan penentuan tingkat perpindahan energi adalah perpindahan panas. Transfer energi panas selalu terjadi dari medium suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah, dan perpindahan panas berhenti ketika dua medium mencapai suhu yang sama. Proses perpindahan panas dapat berpindah dengan 3 cara yaitu:

### 2.14.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi dari partikel yang lebih energik dari suatu zat dengan yang kurang energik yang berdekatan sebagai akibat dari interaksi antara partikel. Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair, dan gas. Pada gas dan cair, konduksi ini disebabkan oleh tabrakan dan pembauran dari gerakan molekul selama gerakan acak mereka. Pada benda padat, gerakan ini disebabkan akibat kombinasi getaran dari molekul di dalam kisi dan berpindahnya energi yang disebabkan oleh electron bebas. Laju konduksi panas melalui media tergantung pada geometri dari medium, ketebalan, dan bahan dari medium, serta beda suhu di medium tersebut. Pada penjelasan berikut, dapat dilihat proses perpindahan panas melalui kaleng minuman yang tebalnya  $\Delta x = L$ , seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Perpindahan panas konduksi melalui kaleng minuman

Sumber: Cengel (2003)

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2-5)$$

Sumber: Cengel (2003)

Dimana:

$q$  = Laju perpindahan kalor (W)

$\Delta T/\Delta x$  = Gradien suhu perpindahan kalor

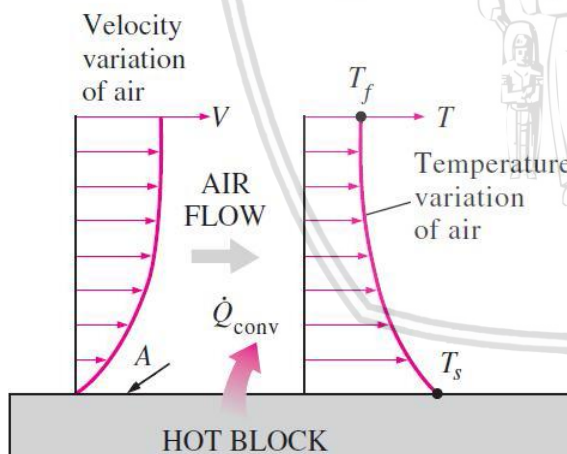
$k$  = Konduktivitas thermal bahan (W.m/K)

$A$  = Luas bidang perpindahan kalor ( $m^2$ )

### 2.14.2 Konveksi

Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat dan cairan atau gas. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida sekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida ini. Kemudian partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu rendah didalam fluida di mana mereka akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya. Dalam hal ini alirannya adalah aliran fluida ataupun energi.

Mekanisme ini untuk operasinya tidak tergantung hanya pada beda suhu dan oleh karena itu tidak secara tepat memenuhi definisi perpindahan panas. Tetapi hasil bersihnya adalah angkutan energi, dan karena terjadinya dalam arah gradient suhu, maka juga digolongkan dalam suatu cara perpindahan panas dan ditunjuk dengan sebutan aliran panas dengan cara konveksi.



Gambar 2.16 Perpindahan panas dari plat panas  
Sumber: Cengel (2003)

Dari Gambar 2.16 diatas dapat dilihat bahwa kecepatan fluida yang mengalir di permukaan plat panas mempengaruhi temperatur disekitar permukaan plat tersebut. Laju perpindahan kalor secara konveksi dapat dinyatakan:

$$q = h \cdot A_s (T_s - T_\infty) \quad (2-6)$$

Sumber: Cengel (2003)



Dimana:

$q$  = Laju perpindahan panas dengan cara konveksi (W)

$A_s$  = Luas perpindahan panas ( $m^2$ )

$T_s$  = Temperatur permukaan benda padat (K)

$T_\infty$  = Temperatur fluida mengalir (K)

$H$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot K$ )  $T_s^4$

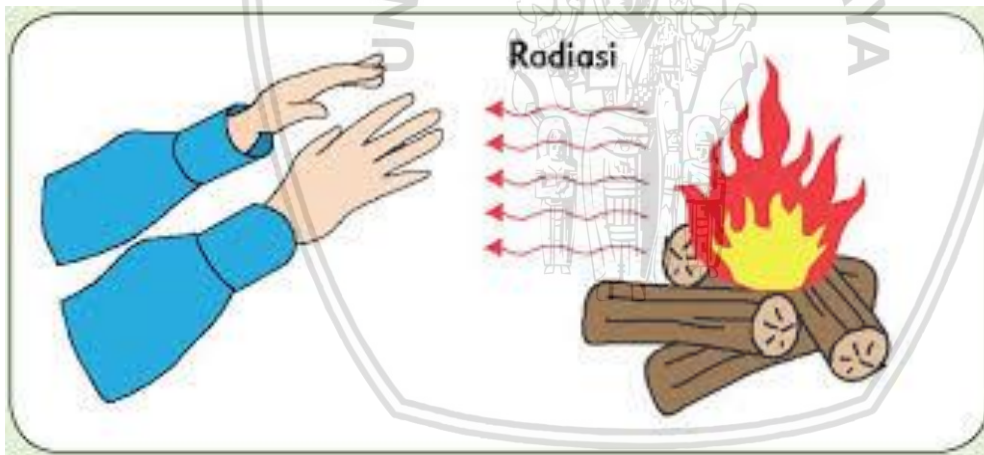
### 2.14.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan oleh materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik sebagai akibat dari perubahan konfigurasi elektronik dari atom atau molekul. Pada Gambar 2.17 dapat dilihat gambar perpindahan panas secara radiasi. Tingkat maksimum radiasi yang dapat dipancarkan permukaan pada suhu  $T_s$  mutlak diberikan oleh hukum Stefann-Boltzmann yaitu:

$$Q_{\text{radiasi max}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (2-7)$$

Sumber: Cengel (2003)

Dimana  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2$  merupakan konstanta Stefann-Boltzmann.



Gambar 2.17 Perpindahan Panas secara Radiasi

Sumber: Cengel (2003)

Permukaan ideal yang memancarkan radiasi pada tingkat maksimum ini disebut benda hitam, dan radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam disebut radiasi benda hitam. Radiasi yang dipancarkan oleh semua permukaan nyata lebih kecil dari radiasi yang dipancarkan oleh benda hitam pada suhu yang sama dan dinyatakan sebagai:

$$Q_{\text{radiasi}} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (2-8)$$

Sumber: Cengel (2003)

Dimana  $\epsilon$  adalah emisivitas permukaan yang besarnya adalah diantara  $0 \leq \epsilon \leq 1$ .  $A_s$  adalah luas permukaan dan  $T_s$  adalah temperatur absolut.

### 2.15 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas, maka dapat diambil hipotesis, bahwa dengan komposisi variasi material penyusun antara material bekas velg dan material bekas piston yang berbeda akan menghasilkan persentase unsur Si yang berbeda-beda sehingga akan menghasilkan konsumsi energi peleburan yang berbeda-beda.





## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan yaitu metode penelitian eksperimental (*experimental research*). Metode ini dilakukan dengan mengamati secara langsung terhadap objek yang diteliti agar mendapatkan data penelitian. Kemudian data hasil penelitian tersebut dibandingkan dan diambil kesimpulannya.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 20 April sampai pada tanggal 20 Mei 2018, dilakukan di Laboratorium  $\alpha \beta \gamma$  Landungsari, Malang untuk pembuatan spesimen dan meneliti pengaruh energi yang digunakan pada proses peleburan.

### 3.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan 3 macam variabel, yaitu:

#### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya telah ditentukan dan tidak dipengaruhi variabel lain. Dalam penelitian ini, variabel bebasnya yaitu:

Material *velg* dan *piston* bekas yang dicampurkan, dengan variasi,

- *Piston* 40% dan *Velg* 60%
- *Piston* 50% dan *Velg* 50%
- *Piston* 60% dan *Velg* 40%

#### 2. Variabel terikat

Dalam penelitian ini, variabel terikatnya yaitu energi peleburan yang digunakan tiap variasi.

#### 3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya sudah ditentukan sebelum penelitian berlangsung dan sifatnya konstan. Variabel terkontrolnya yaitu:

- Suhu peleburan sebesar 700°C
- Waktu peleburan 1 jam 30 menit
- Cetakan yang digunakan berpola ingot dengan bahan baja
- Temperatur *preheating* cetakan cor bagian alas : 250 °C

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.4.1 Bahan yang Digunakan

1. Bahan baku pengecoran

Pada Gambar 3.1 (a) dan (b) dapat dilihat gambar bahan baku potongan *velg* dan piston.



Gambar 3.1 Bahan baku (a) Potongan velg bekas (b) Piston bekas

#### 3.4.2 Alat yang Digunakan

1. Dapur pengecoran

Tungku ini digunakan untuk meleburkan logam aluminium *alloy* hingga temperatur  $700^{\circ}\text{C}$ . Pada Gambar 3.2 dapat dilihat gambar dapur pengecoran.

Spesifikasi : Nama alat : Tungku Peleburan I 703

Kapasitas : + 2 kg

Tegangan : 220 V

Dimensi : Panjang = 50, Lebar = 50, Tinggi = 75 (cm)

Kuat Arus : 12 A





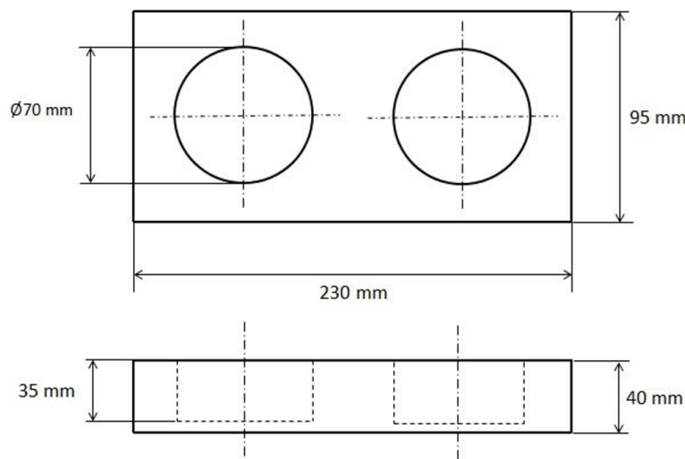
Gambar 3.2 Dapur pengecoran

## 2. Cetakan Permanen

Cetakan digunakan untuk membuat cetakan ingot aluminium dengan memvariasikan penyisipan material pada bagian alas cetakan. Pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 dapat dilihat gambar cetakan permanen.



Gambar 3.3 Cetakan ingot



Gambar 3.4 Desain cetakan ingot

### 3. Alat Ukur

#### a. *Thermo gun*

Digunakan untuk mengetahui temperatur penuangan logam cair dan temperatur *preheating* cetakan coran pada bagian alas. Pada Gambar 3.5 dapat dilihat gambar *thermo gun*. Dengan spesifikasi sebagai berikut.

- Dimensi : 203 x 197 x 47 mm
- *Power Supply* : Baterai DC 1.5 V
- *Temperature Range* : Tipe K (-50°C– 1300°C)



Gambar 3.5 *Thermo gun*

#### b. *Multimeter digital*

- Tipe : Sanwa CD 800A
- *Weight* : 0,34 Kg
- Dimensi : 176 x 104 x 46 mm
- *Power Supply* : Baterry R6PX2

Pada Gambar 3.6 dapat dilihat gambar *multimeter digital*.



Gambar 3.6 Multimeter digital

c. Timbangan elektrik

Spesifikasi:

- Merk : Mettler
- Tipe : PJ 3000
- Range : 0 – 3,1 kg

Pada Gambar 3.7 dapat dilihat gambar timbangan elektrik.



Gambar 3.7 Timbangan elektrik

#### 4. Sarung Tangan

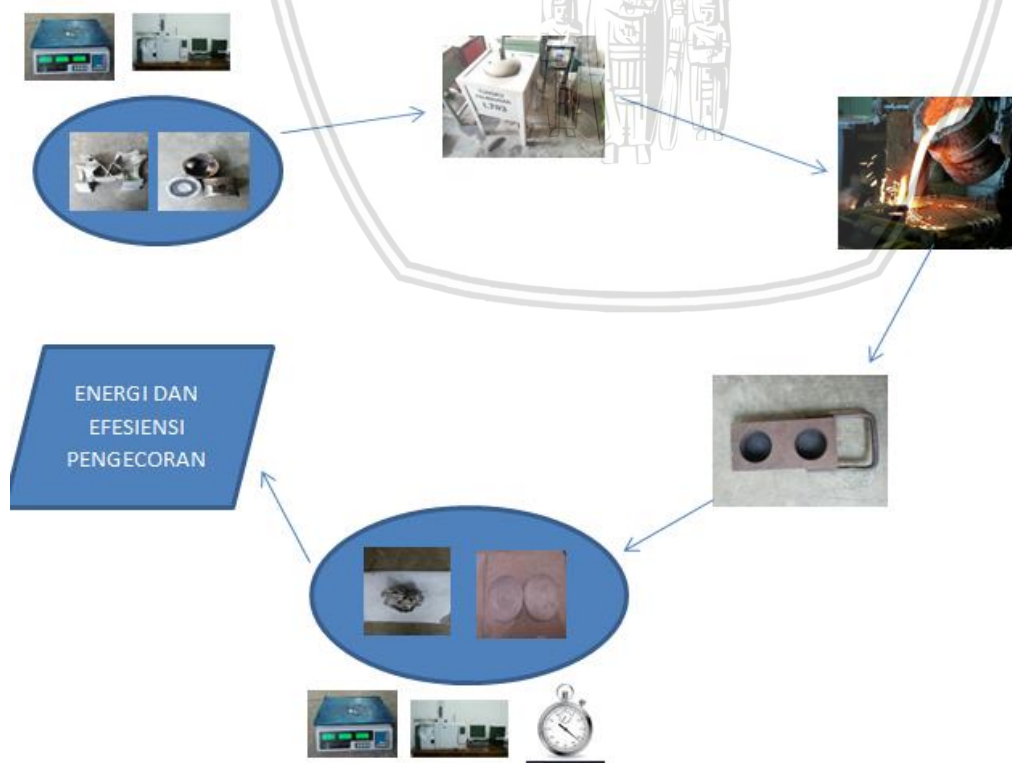
Sarung tangan digunakan untuk proses penuangan logam cair dan melepaskan hasil coran aluminium dari cetakan coran. Dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Sarung tangan

### 3.5 Skema Instalasi Penelitian

Untuk mengetahui skema penelitian, dapat dilihat pada Gambar 3.9.

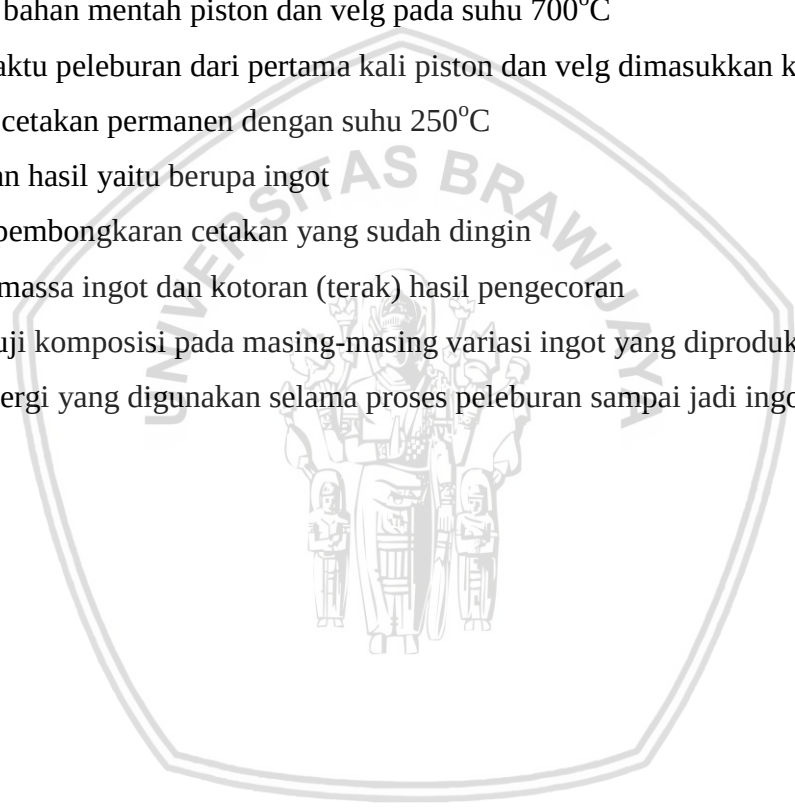


Gambar 3.9 Skema instalasi penelitian



### 3.6 Prosedur Pengecoran

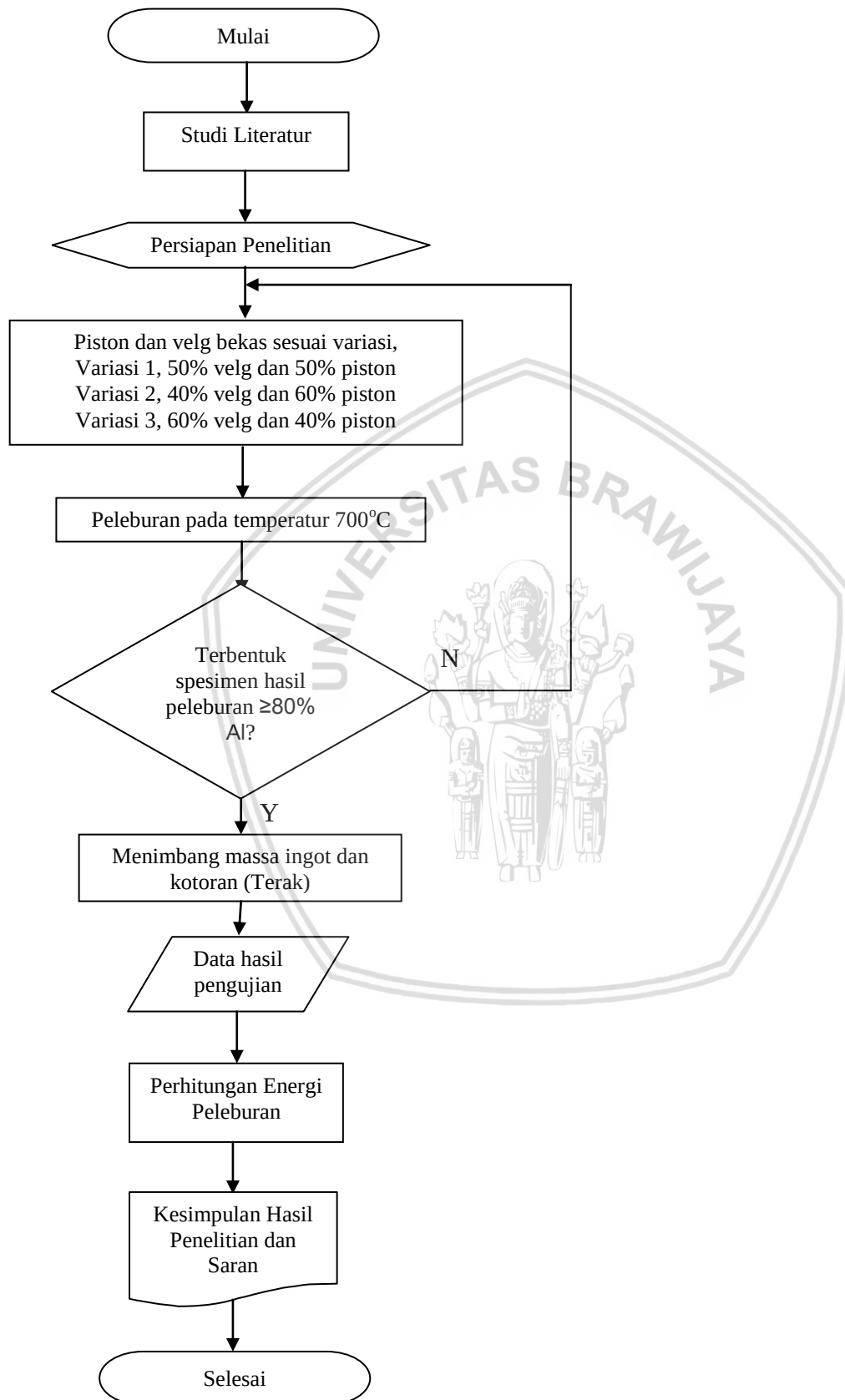
1. Menyiapkan piston bekas, velg bekas dan cetakan ingot yang sudah di uji komposisi.
2. Nyalakan tungku (naikkan temperatur sampai pada temperatur peleburan) dan siapkan piston serta velg bekas dengan variasi yang sudah ditentukan untuk dileburkan, dimana berat total masing-masing variasi sama yaitu 2,6 kg.
  - a. Variasi 1, piston 40% : velg 60%
  - b. Variasi 2, piston 50% : velg 50%
  - c. Variasi 3, piston 60% : velg 40%
3. Pecahkan piston dan velg menjadi bagian-bagian yang lebih kecil.
4. Leburkan bahan mentah piston dan velg pada suhu  $700^{\circ}\text{C}$
5. Hitung waktu peleburan dari pertama kali piston dan velg dimasukkan kedalam tungku
6. Panaskan cetakan permanen dengan suhu  $250^{\circ}\text{C}$
7. Didapatkan hasil yaitu berupa ingot
8. Lakukan pembongkaran cetakan yang sudah dingin
9. Timbang massa ingot dan kotoran (terak) hasil pengecoran
10. Lakukan uji komposisi pada masing-masing variasi ingot yang diproduksi.
11. Hitung energi yang digunakan selama proses peleburan sampai jadi ingot.





### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Diagram alir penelitian

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Data Hasil Pengujian

#### 4.1.1 Data Hasil Uji Komposisi

Dalam menentukan titik lebur tiap variasi hasil pengecoran maka dilakukan uji komposisi pada tiap variasi hasil pengecoran. Data komposisi bahan baku piston, bahan baku velg dan spesimen tiap variasi yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1

Data Hasil Uji Komposisi Material Al seri 4032

| Nama Unsur        | Material Logam (Bahan Baku) |            |                          |                          |                          |
|-------------------|-----------------------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                   | Velg (%)                    | Piston (%) | 40% Piston +<br>60% Velg | 50% Piston +<br>50% Velg | 60% Piston +<br>40% Velg |
| Silikon (Si)      | 10.06                       | 16.30      | 11.56                    | 12.56                    | 12.57                    |
| Besi (Fe)         | 0.330                       | 0.781      | 0.437                    | 0.459                    | 0.406                    |
| Magnesium<br>(Mg) | 0.345                       | 0.723      | 0.516                    | 0.637                    | 0.553                    |
| Seng (Zn)         | 0.0085                      | 0.0676     | 0.0924                   | 0.126                    | 0.0763                   |
| Natrium (Na)      | 0.00069                     | 0.00032    | 0.00008                  | <0.00005                 | <0.00005                 |
| Nikel (Ni)        | 0.0039                      | 1.40       | 0.497                    | 0.610                    | 0.285                    |
| Fosfor (P)        | <0.00050                    | 0.00063    | <0.00050                 | <0.00050                 | <0.00050                 |
| Antimon (Sb)      | 0.0018                      | 0.0485     | 0.0028                   | 0.0062                   | 0.0025                   |
| Berilium (Be)     | 0.00005                     | 0.00005    | 0.00007                  | 0.00008                  | 0.00007                  |
| Bismut (Bi)       | <0.00030                    | 0.0095     | <0.00030                 | <0.00030                 | <0.00030                 |
| Tembaga (Cu)      | 0.0061                      | 2.27       | 0.705                    | 1.05                     | 0.639                    |
| Mangan (Mn)       | 0.0175                      | 0.0125     | 0.0627                   | 0.0857                   | 0.0644                   |
| Kromium (Cr)      | 0.0026                      | 0.0095     | 0.0144                   | 0.0187                   | 0.0118                   |
| Titanium (Ti)     | 0.0903                      | 0.0635     | 0.0923                   | 0.0827                   | 0.0887                   |
| Kalsium (Ca)      | 0.0021                      | 0.00038    | 0.0010                   | 0.00036                  | 0.00075                  |
| Timbal (Pb)       | 0.0014                      | 0.0052     | 0.0026                   | 0.0179                   | 0.0192                   |
| Timah (Sn)        | 0.00051                     | 0.0272     | 0.0050                   | 0.0049                   | 0.0033                   |
| Stronsium<br>(Sr) | 0.0027                      | 0.0016     | 0.00016                  | <0.00010                 | 0.00026                  |
| Zirkonium<br>(Zr) | 0.0021                      | 0.0571     | 0.0059                   | 0.0066                   | 0.0030                   |
| Kadmium<br>(Cd)   | 0.00089                     | 0.0012     | 0.0011                   | 0.0011                   | 0.0011                   |
| Aluminium<br>(Al) | 89,1                        | 78.2       | 86                       | 84.3                     | 85.3                     |

#### 4.1.2 Data Perhitungan Energi Kalor

Energi kalor didapatkan dari pengujian komposisi material tiap variasi. Data energi kalor dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2

Tabel Data Energi Kalor

| Jenis Paduan             | Q. Laten (J) | Q. Sensibel (J) | Q. Lebur (J) |
|--------------------------|--------------|-----------------|--------------|
| 40% Piston +<br>60% Velg | 1434407      | 1527301         | 2961708,556  |
| 50% Piston +<br>50% Velg | 1466406      | 1517233,207     | 2983639,207  |
| 60% Piston +<br>40% Velg | 1472792      | 1528559,837     | 3001351,837  |

Energi kalor didapat dari pengujian komposisi material tiap variasi dengan melakukan perhitungan nilai kalor sesuai dengan persamaan pada Sub.bab 2.8

Contoh Perhitungan dengan komposisi 60% piston dan 40% velg:

$$Q. \text{ Lebur} = Q_L + Q_S \quad (4-1)$$

Dimana:

$Q_L$  = Kalor Laten (J)

$Q_S$  = Kalor Sensibel (J)

$$Q_L = m. \sum L_f \quad (2-3)$$

Dimana:

$m$  = Berat zat (Kg)

$L_f$  = Kalor Laten (KJ/Kg)

$$\begin{aligned}
 Q_L &= m. \sum L_f \\
 &= m. (\sum (\%Al. LfAl) + (\%Si. LfSi) + (\%Cu. LfCu) + (\%Mg. LfMg)) \\
 &= 2,6 \text{ Kg. } (0,853. 3,97 \times 10^5) + (0,1257. 17,9 \times 10^5) + (0,00639. 2,06 \times 10^5) + \\
 &\quad (0,00553. 3,68 \times 10^5) \text{ J/Kg} \\
 &= 2,6 \text{ Kg} . 566458,4 \text{ J/Kg} \\
 &= 1472792 \text{ J}
 \end{aligned}$$

$$Q = m. C_p. \Delta T$$

Dimana:

$Q$  = Energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (J)

$C_p$  = Kalor jenis zat (J/Kg.K)

$\Delta T$  = Perubahan temperatur yang terjadi (K)

$m$  = Berat zat yang mengalami perubahan temperatur (Kg)

$$\begin{aligned}
 Q_S &= m. \sum C_p. \Delta T \\
 &= m. (\sum (\%Al. C_pAl) + (\%Si. C_pSi) + (\%Cu. C_pCu) + (\%Mg. C_pMg)). \Delta T
 \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\begin{aligned}
&= 2,6 \text{ Kg. } \Sigma(0,853. 9,1 \times 10^2) + (0,1257. 7,1 \times 10^2) + (0,00639. 3,9 \times 10^2) + \\
&(0,00553. 1,05 \times 10^3) \text{ J/Kg.K. } 673 \text{ K} \\
&= 2,6 \text{ Kg. } 873,5626 \text{ J/Kg/K. } 673 \text{ K} \\
&= 1528559,837 \text{ J}
\end{aligned}$$

Setelah kalor laten dan kalor sensibel didapat, data tersebut dijumlahkan untuk mendapat jumlah kalor keseluruhan untuk meleburkan untuk melebur *raw material* mulai dari padat hingga melebur. Dimana *raw material* menerima kalor sensibel (QS) untuk menaikkan suhu hingga termperatur peleburan dan menerima kalor laten (QL) untuk mengubah fasa *raw material* menjadi fasa liquid dengan temperature yang sama.

$$\begin{aligned}
Q &= QL + QS \\
&= 1472792 \text{ J} + 1528559,837 \text{ J} \\
&= 3001351,837 \text{ J} = 0,834 \text{ Kwatt.Jam}
\end{aligned}$$

#### 4.1.3 Data Perhitungan Energi Listrik

Perhitungan energi listrik dilakukan bertujuan untuk mengetahui berapa banyak konsumsi energi listrik secara faktualnya, yang dimana selama pengecoran menggunakan lama pengecoran yang sama pada tiap variasi fraksi *raw material*. Untuk mengetahui factor daya yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Contoh Perhitungan energi listrik:

$$W = V. I \text{ Cos } \varphi. t \quad (2-1)$$

Dimana:

W = Energi listrik (KWatt Jam)

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Arus Listrik (A)

t = Waktu (Jam)

Cos  $\varphi$  = Faktor daya

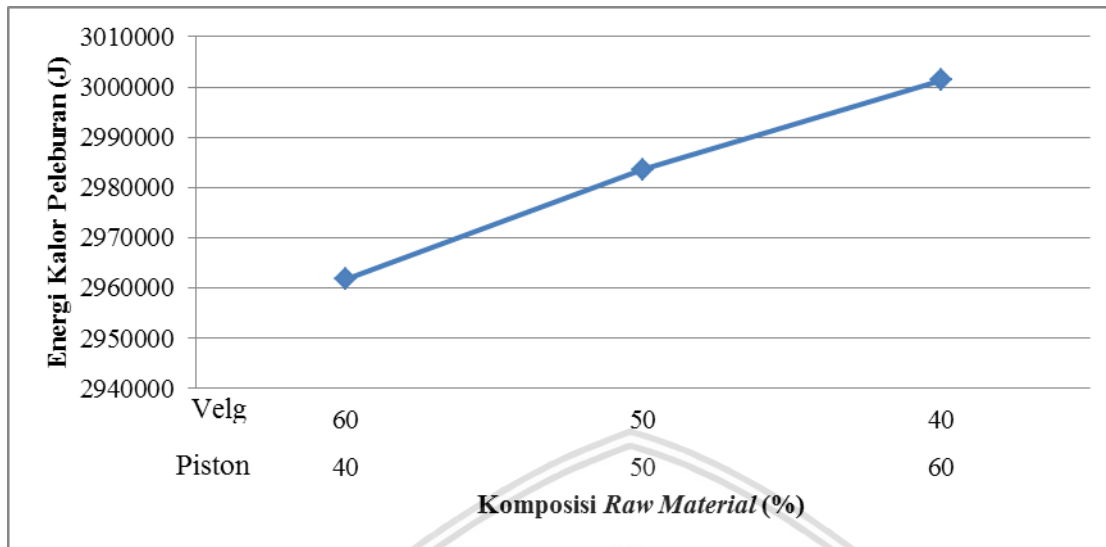
$$W = V. I \text{ Cos } \varphi. T$$

$$W = 220 \text{ V. } 12 \text{ A. } 0,85. 1,5 \text{ jam}$$

$$W = 3366 \text{ Watt.Jam} = 3,366 \text{ KWatt.Jam}$$

## 4.2 Analisis dan Pembahasan

### 4.2.1 Grafik Hubungan Komposisi *Raw Material* Terhadap Energi Peleburan



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Komposisi *Raw Material* Terhadap Energi Peleburan

Pada Gambar 4.1 merupakan hubungan komposisi *raw material* terhadap energi peleburan. Dapat dilihat pada gambar grafik diatas, semakin tinggi komposisi piston dan semakin rendah komposisi velg mempengaruhi energi peleburannya, yaitu komposisi energi peleburannya cenderung meningkat. Spesimen dengan komposisi piston 40% dan velg 60% merupakan spesimen yang membutuhkan energi peleburan paling kecil, sedangkan spesimen dengan komposisi piston 60% dan velg 40% merupakan spesimen yang membutuhkan energi peleburan paling besar.

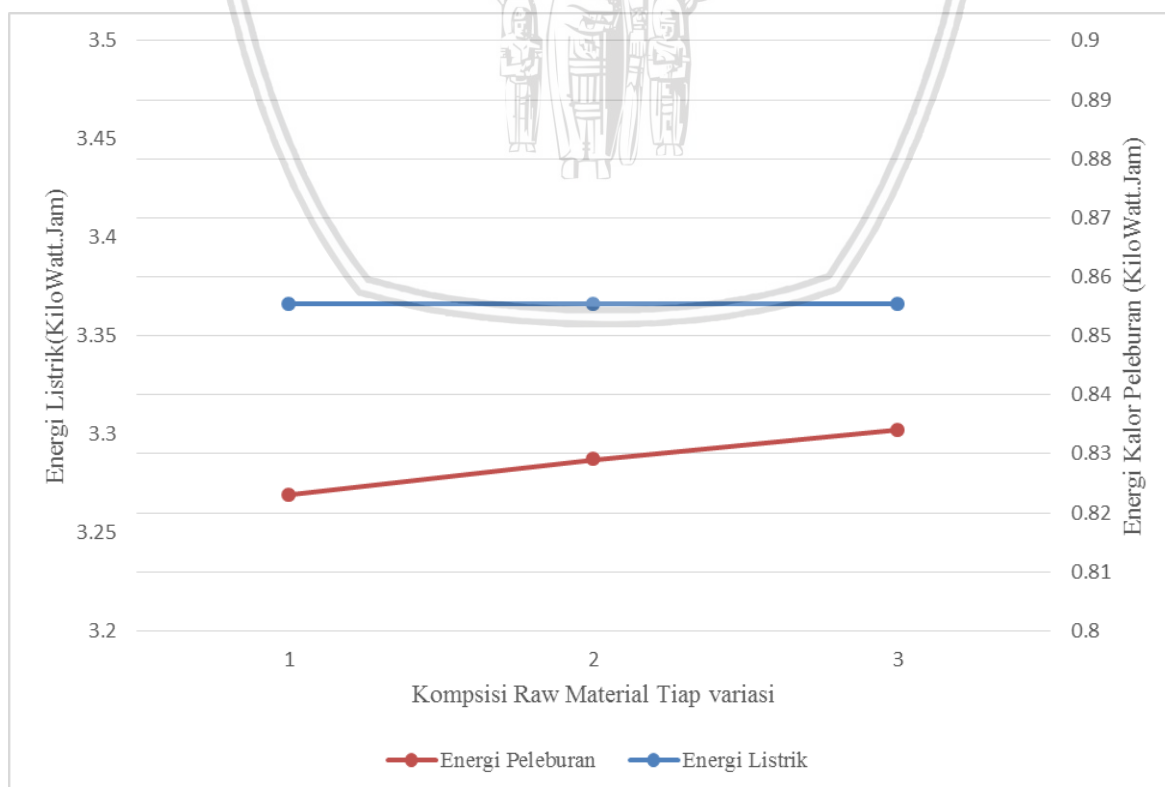
Perbedaan energi peleburan yang terjadi ini disebabkan oleh beberapa hal, yaitu persentase unsur penyusun tiap spesimen, kalor jenis komposisi material penyusun tiap spesimen dan panas laten komposisi material penyusun tiap spesimen. Titik lebur adalah temperatur dimana zat padat berubah wujud menjadi zat cair dimana untuk meleburkan suatu zat, zat tersebut menerima kalor sensibel dan kalor laten. Kalor sensibel adalah panas yang menyebabkan terjadinya kenaikan/penurunan temperatur, tetapi fasa (wujud) tidak berubah dan kalor laten adalah panas yang diperlukan untuk merubah fasa (wujud) benda, tetapi temperaturnya tetap. Perbedaan titik lebur senyawa-senyawa dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya perbedaan kuatnya ikatan yang dibentuk antar unsur dalam senyawa tersebut. Semakin kuat ikatan yang dibentuk, semakin besar energi yang digunakan untuk memutuskananya.

Pada grafik diatas sesuai dengan dasar teori, dibuktikan dari kalor sensibel dan kalor laten yang diterima tiap spesimen komposisi materialnya. Perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 4.1, yaitu pada variasi 1 dengan fraksi 40% piston dan 60% velg memiliki



kandungan Al 86%, Si 11,56%, Cu 0.705%, dan Mg 0.516% dimana kalau dibandingkan dengan variasi 3 dengan fraksi 60% piston dan 40% velg dengan kandungan Al 85,3%, Si 12,57%, Cu 0,639% dan Mg 0,553. Kalau dilihat secara persentase unsur, variasi 1 memiliki persentase yang lebih besar pada unsur Al, Cu dan memiliki persentase yang lebih kecil pada unsur Si dan Mg. Kalau dilihat dari Kalor laten yang diterima tiap variasi berdasarkan Panas latennya( $L_f$ ), yaitu  $L_{fAl}$  397000 J/Kg,  $L_{fSi}$  1790000 J/Kg,  $L_{fCu}$  206000 J/Kg, dan  $L_{fMg}$  368000 J/Kg, jelas terlihat bahwa Variasi 1 menerima panas laten yang lebih kecil dari variasi 3 yaitu sebesar 551695 J/Kg dibandingkan variasi 3 sebesar 566458 J/Kg, begitu pula dengan variasi kedua yang menerima kalor Laten sebesar 564002 J/Kg. Kalau dilihat dari kalor sensibel yang diterima tiap variasi berdasarkan kalor jenisnya ( $C_p$ ), yaitu  $C_{pAl}$  910 J/Kg.K,  $C_{pSi}$  710 J/Kg.K,  $C_{pCu}$  390 J/Kg.K, dan  $C_{pMg}$  1050 J/Kg.K, jelas terlihat bahwa variasi 1 memiliki kalor jenis yang lebih kecil dari variasi 3 yaitu sebesar 872,8435 J/Kg.K dibandingkan dengan variasi 3 sebesar 873,5626 J/Kg.K. Berarti dapat disimpulkan bahwa persentase unsur penyusun tiap spesimen, kalor jenis komposisi material penyusun tiap spesimen dan panas laten komposisi material penyusun tiap spesimen mempengaruhi tinggi rendahnya energi peleburan.

#### 4.2.2 Grafik Hubungan Konsumsi Energi Listrik Terhadap Energi Peleburan



Gambar 4.2 Grafik hubungan konsumsi energi listrik terhadap energi peleburan

Pada Gambar 4.2 diatas merupakan hubungan konsumsi energi listrik secara aktual terhadap energi peleburan yang merupakan energi listrik secara teoritis setelah Joule dikonversi ke KiloWatt.Jam. Dikatakan konsumsi energi listrik secara aktual karna datanya didapatkan secara langsung pada saat proses peleburan, sedangkan dikatakan secara teoritis karena datanya didapat dari persentase komposisi material, bukan secara langsung saat pengecoran. Dapat dilihat konsumsi energi listrik secara aktual lebih besar dari pada konsumsi energi listrik secara teoritis.

Perbedaan konsumsi energi listrik secara aktual dan teoritis ini disebabkan oleh kehilangan panas pada saat proses peleburan. Hal yang menyebabkan panas hilang yaitu titik lebur tiap unsur dan persentase kandungan unsur yang berbeda-beda. Apabila ada titik lebur unsur lebih tinggi dari temperatur peleburan, maka semakin banyak kandungan persentase dari unsur tersebut semakin tinggi juga energi yang terbuang sia-sia. Perbedaan titik lebur senyawa-senyawa dipengaruhi oleh beberapa hal, diantaranya perbedaan kuatnya ikatan yang dibentuk antar unsur dalam senyawa tersebut. Semakin kuat ikatan yang dibentuk, semakin besar energi yang digunakan untuk memutuskannya. Kehilangan dari pembakaran tidak sempurna, panas hilang jika pembakaran berlangsung tidak sempurna sebab bahan bakar atau partikel yang tidak terbakar menyerap panas, akan tetapi tidak disimpan untuk digunakan. Kehilangan panas melalui pembukaan dalam tungku, kehilangan radiasi terjadi bilamana terdapat bukaan dalam penutup tungku dan kehilangan tersebut dapat menjadi cukup berarti terutama untuk tungku yang beroperasi pada suhu diatas  $540^{\circ}\text{C}$  dan kehilangan panas juga dapat terjadi melalui penyusupan udara sebab cerobong menyebabkan tekanan negatif didalam tungku menarik udara melalui kebocoran atau retakan atau ketika pintu tungku terbuka.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

1. Semakin tinggi komposisi piston dan semakin rendah komposisi velg mempengaruhi energi peleburannya, yaitu komposisi energi peleburannya cenderung meningkat. Spesimen dengan komposisi piston 40% dan velg 60% merupakan spesimen yang membutuhkan energi peleburan paling kecil yaitu sebesar 2961708,556 J atau 0,823 Kwatt.Jam, diikuti spesimen dengan komposisi piston 50% dan velg 50% sebesar 2983639,207 J atau 0,829 Kwatt.Jam, dan spesimen dengan komposisi piston 60% dan velg 40% merupakan spesimen yang membutuhkan energi peleburan paling besar yaitu sebesar 3001351,837 J atau 0,834 Kwatt.Jam. Perbedaan besar atau kecilnya energi peleburan yang terjadi ini disebabkan oleh beberapa hal, yaitu persentase unsur penyusun tiap spesimen, kalor jenis komposisi material penyusun tiap spesimen dan panas laten komposisi material penyusun tiap spesimen.
2. Konsumsi energi listrik secara aktual yaitu sebesar 3,366 Kwatt.Jam lebih besar dibandingkan dengan teoritis secara berurutan dengan fraksi 40% piston dan 60% velg 0,823 Kwatt.Jam, fraksi 50% piston dan 50% velg 0,829 Kwatt.Jam, fraksi 60% piston dan 40% velg 0,834 Kwatt.Jam. Perbedaan konsumsi energi listrik secara aktual dan teoritis disebabkan oleh kehilangan panas. Kehilangan panas saat peleburan disebabkan beberapa hal, yaitu titik lebur tiap unsur dan persentase kandungan unsur yang berbeda-beda.

### **5.2 Saran**

1. Pada proses pengecoran, sebaiknya variasi temperatur peleburan ditambah berdasarkan material yang akan dicor, dicari yang paling efisien.
2. Pada proses pengecoran, sebaiknya bahan baku dipotong lebih kecil-kecil lagi agar mengurangi konsumsi energi saat peleburannya.
3. Pada proses pengecoran, sebaiknya lama waktu peleburan ditentukan berdasarkan massa material yang akan di cor, dicari yang paling efisien.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2003. *Metalcasting Industry Roadmap, Pathway for 2002 and Beyond*, Cast Metal Coalition.
- Bhakti, Y., B. 2012. *Suhu dan Kalor*, Semarang: Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
- Budiyono, Aris 2012. *Peningkatan Sifat Mekanis Aluminium Bekas yang Didaur Ulang Melalui Inokulasi Unsur Tembaga*. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Cengel, Yunus A. 1998. *Heat Transfer, A Practical Approach*. Mcb: Mc.Graw-Hill.
- Dieter, George. 1961. *Mechanical Metallurgy*, Philadelphia: Institute of Technology Philadelphia.
- Eppich, E., Robert. 1992. *Energy use in Selected Metalcasting Facilities*, US: us Department of Energy.
- Groover, Mikell, P. 1995. *Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems*, New Jersey: Prentice Hall.
- Kalpakjian, S. 1991. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts: Adison-Wesley Publish Company.
- Kuyucak, S. 2007. *Clean Steel Casting Production Evaluation of Laboratory Casting*. CANMET-MTL: Canadian Foundries.
- Nukman dkk. 1991. *Peleburan Skrap Aluminium pada Tungku Krusibel berbahan Bakar Batubara Hasil Proses Aglomerasi Air-Minyak Sawit*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Rathod, Kamlesh, Sonakshi, G., Ashok, S., Sharad, P. 2016. *Energy Efficient Melting Technologies in Foundry Industry*. Jaipur: Malaviya National Institute of Technology.
- Robert, Naranjo. 2005. *Advanced Melting Technologies; Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry*. BCS: Incorporated.
- Schmitz, Christopher. 2017. *Teknologi Pengecoran Logam*. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Surdia, Tata., Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Bandung: Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB.
- Suyanto. 2016. *ADC3 yang Dibuat Dengan Peleburan Ulang Aluminium Bekas Sebagai Bahan Propeller Kapal Kayu*. Semarang: Universitas Wahid Hasyim.
- Totten, E., George., Mackenzie, Scott, D. 2003. *Physical Metallurgy and Processes*. Portland: Portland State University.