

**PENGARUH DIMENSI SCRAP Cu TERHADAP POROSITAS DAN
EFISIENSI PENGECORAN PADA INGOT HASIL CORAN
DURALUMIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

SATRIYO WICAKSONO
NIM. 0810623073-62

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2012**

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH DIMENSI SCRAP Cu TERHADAP POROSITAS DAN EFISIENSI PENGECORAN PADA INGOT HASIL CORAN DURALUMIN

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

SATRIYO WICAKSONO
NIM. 0810623073-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



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



Femiana Gapsari MF, ST., MT.
NIP. 19820704 200812 2 002



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH DIMENSI SCRAP Cu TERHADAP POROSITAS DAN EFISIENSI
PENGECORAN PADA INGOT HASIL CORAN DURALUMIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

SATRIYO WICAKSONO
NIM. 0810623073-62

Skripsi ini telah diuji dan
dinyatakan lulus pada tanggal 6 Agustus 2012

Dosen Penguji :

Skripsi I

Skripsi II

Purnami, ST., MT.
NIP. 19770707 200812 1 005

Ir. Suharto, MT.
NIP. 19531030 198212 1 001

Komprehensif

Sugiarto, ST., MT.
NIP. 19690417 199512 1 001

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat dan karunia yang telah diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, petunjuk, dan bimbingan dari berbagai pihak yang telah banyak membantu proses penyelesaian skripsi ini, oleh karena itu tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

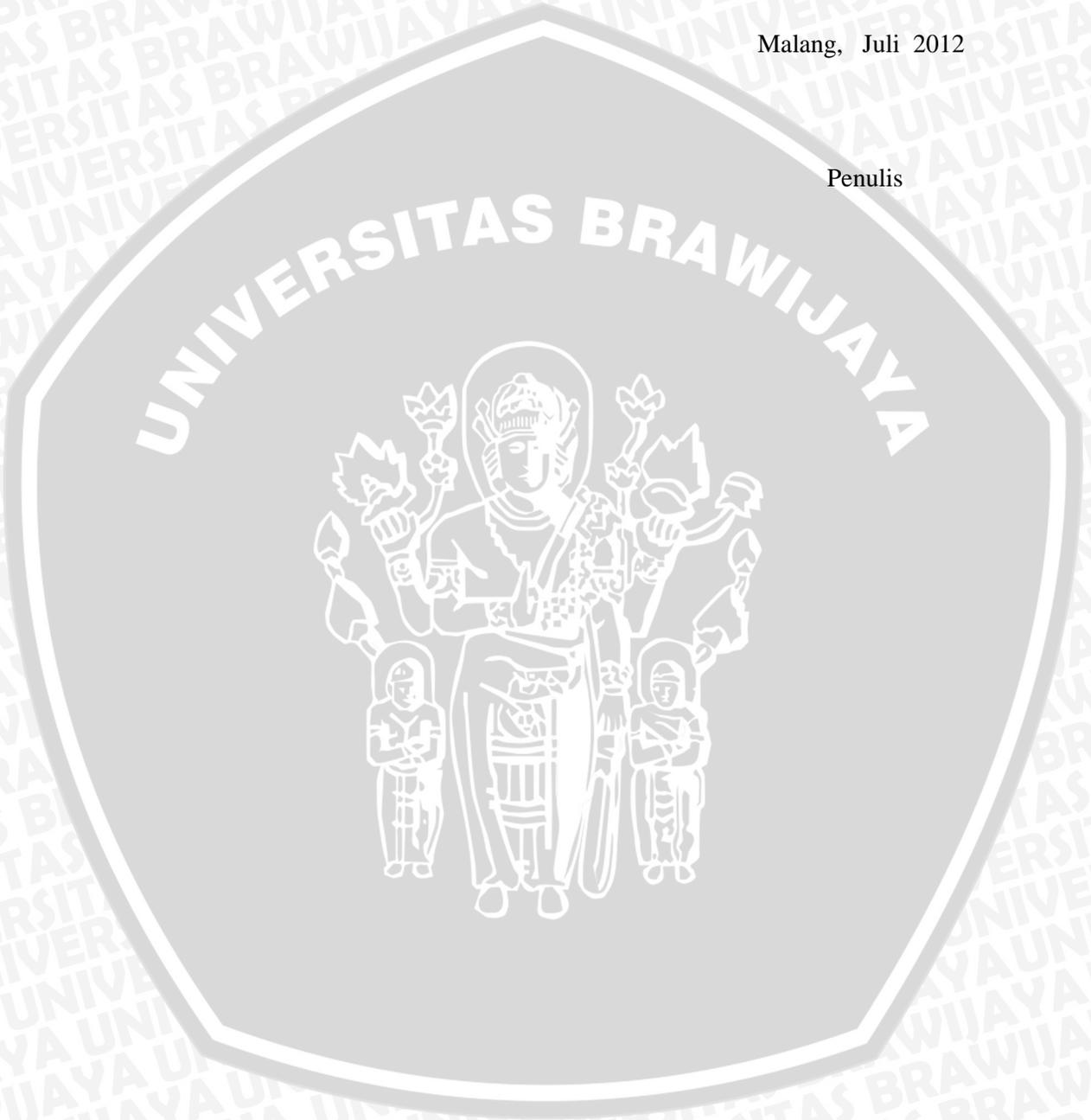
1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito P, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin dan dosen wali.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc., CSE selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin.
4. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT, Met. selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberi masukan dan pengetahuan selama penyusunan skripsi ini.
5. Ibu Femiana Gapsari, ST., MT. Selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan dan arahan untuk kesempurnaan penulisan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen pengajar dan Staff Jurusan Teknik Mesin.
7. Bapakku (Bambang Sumarsono) dan Ibuku (Sri Sundari) yang tercinta dan kakakku (Sarah Riandita Sumarsono dan Dipo Andrianto Sumarsono) yang saya banggakan, serta Cintya Mega January yang selalu kusayangi.
8. Saudaraku "EMPEROR" M'08 baik yang sudah maupun yang sedang berjuang menyelesaikan skripsi tetap semangat dan semoga selalu diberi kemudahan.
9. Saudara-saudara Divisi Otomotif: Simuk, Samid, Gendut, Denis, Rasif, Auf, Ivan, Dani, dan Iko, serta adekku M'09 dan M'10.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis selama ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis telah berusaha sebaik mungkin untuk menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya dan penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik lagi.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca umumnya sekaligus dapat menjadi bahan acuan untuk penelitian lebih lanjut.

Malang, Juli 2012

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Penelitian Sebelumnya	4
2.2. Teori Dasar Pengecoran Logam.....	5
2.2.1 Pengertian Pengecoran Logam	5
2.2.2 Klasifikasi Pengecoran Logam	5
2.2.3 Pengecoran Duralumin	10
2.3. Alumunium	11
2.3.1. Pengolahan Aluminium.....	11
2.3.2. Pengaruh Unsur Paduan	12
2.3.3. Klasifikasi Paduan Aluminium	13
2.3.4. Sifat Umum Dari Berbagai Jenis Paduan Aluminium	15
2.4. Tembaga	16
2.5. Difusi	16
2.5.1. Mekanisme Difusi Substitusi	18
2.5.2. Mekanisme Difusi <i>Interstitial</i>	19
2.6. Pembekuan Logam	20
2.7. Homogenitas	23
2.8. Porositas	24
2.8.1. Porositas Pada Pengecoran Logam.....	24

2.8.2.	Jenis-jenis Porositas pada Pengecoran Logam	25
2.8.3.	Perhitungan Porositas	25
2.9.	Densitas	25
2.9.1.	Macam – macam Densitas.....	26
2.9.2.	Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri.....	26
2.10.	Efisiensi Pengecoran	27
2.10.1.	Pengertian Efisiensi Pengecoran	27
2.10.2.	Perhitungan Efisiensi Pengecoran	28
2.11.	Hipotesis	28
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2.	Variabel Penelitian	29
3.3.	Peralatan dan Bahan yang Digunakan	30
3.3.1.	Peralatan yang Digunakan	30
3.3.2.	Bahan yang Digunakan	33
3.4.	Cara Pengoperasian Tungku <i>Reverberatory</i>	28
3.5.	Prosedur Penelitian.....	28
3.5.1.	Prosedur Percobaan	28
3.5.2.	Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data	34
3.6.	Sumber Data	35
3.6.1.	Data Primer	35
3.6.2.	Data Skunder	36
3.7.	Diagram Alir Penelitian	37
BAB IV HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Data dan Perhitungan Hasil Pengujian	38
4.1.1.	Data dan Perhitungan Persentase Porositas	38
4.1.1.1.	Perhitungan <i>True Density</i>	38
4.1.1.2.	Perhitungan <i>Apparent Density</i>	38
4.1.1.3.	Persentase Porositas	40
4.1.2.	Data dan Perhitungan Efisiensi Pengecoran	40
4.2.	Pembahasan	41
4.2.1.	Pembahasan Grafik Persentase Porositas	41
4.2.2.	Pembahasan Grafik Efisiensi Pengecoran	43

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan 45
5.2. Saran 45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

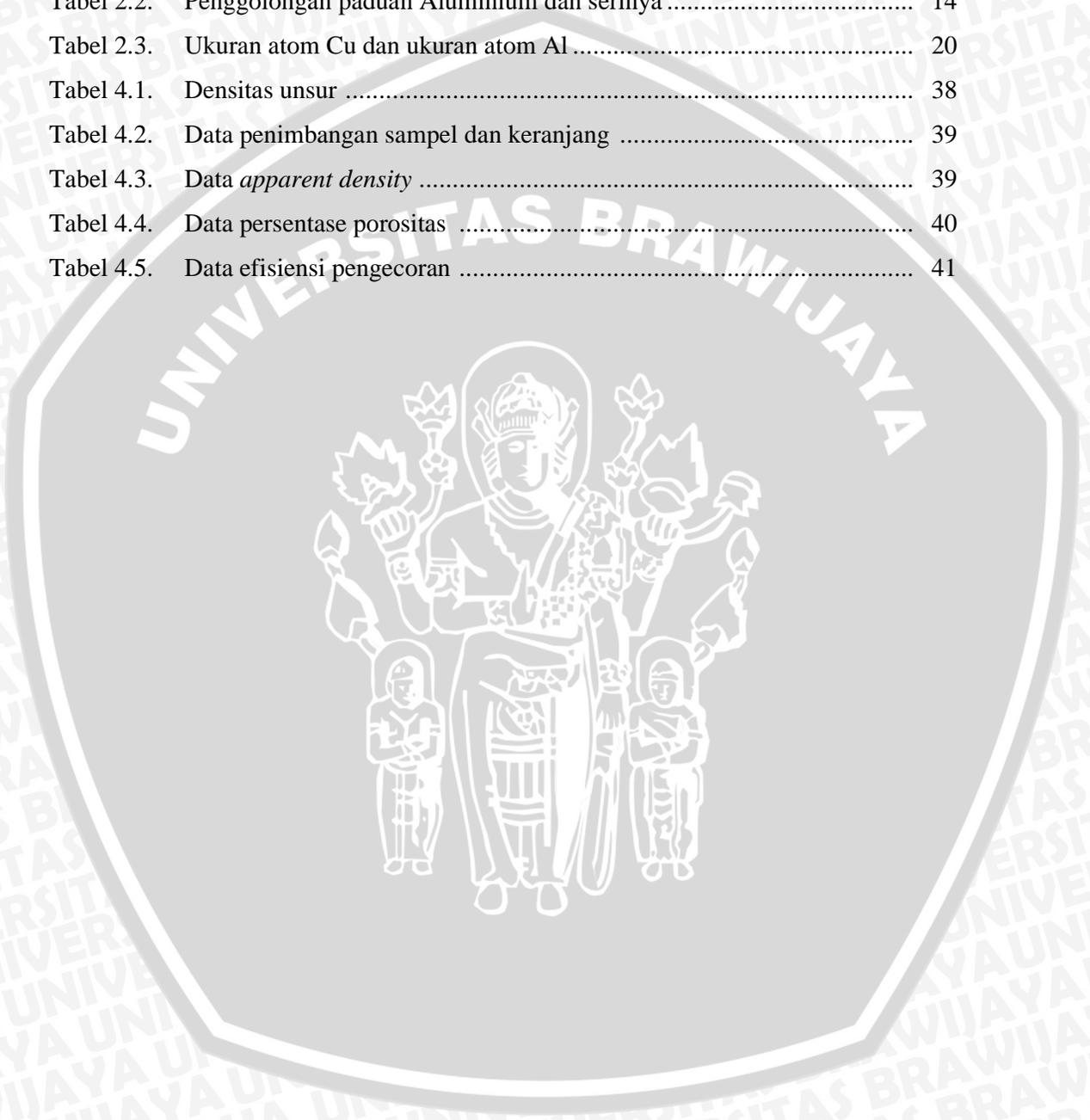


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Cetakan pasir.....	6
Gambar 2.2.	Aliran proses pada pembuatan coran.....	6
Gambar 2.3.	Tahapan pengecoran dengan cetakan permanen.....	8
Gambar 2.4.	bagian tebal yang dapat mengakibatkan rongga penyusutan.....	9
Gambar 2.5.	Perubahan desain untuk menghindari pemakaian inti.....	10
Gambar 2.6.	Diagram fase Al-Cu, temperature vs persentase paduan.....	15
Gambar 2.7.	Difusi <i>substitutional</i>	18
Gambar 2.8.	Difusi <i>interstitial</i>	18
Gambar 2.9.	Difusi atom pada batas butir.....	19
Gambar 2.10.	Ilustrasi skematis dari pembekuan logam.....	21
Gambar 2.11.	Diagram perbandingan waktu dan temperatur pada proses pendinginan	21
Gambar 2.12.	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang terlarut penuh....	22
Gambar 2.13.	Struktur <i>chill</i> , <i>columnar</i> , dan <i>equaxed zone</i>	23
Gambar 2.14.	Skema piknometri.....	27
Gambar 3.1.	Tungku <i>reverberatory</i>	30
Gambar 3.2.	Cetakan permanen.....	30
Gambar 3.3.	Piknometri.....	30
Gambar 3.4.	kowi.....	31
Gambar 3.5.	Timbangan Elektrik.....	31
Gambar 3.6.	<i>Infrared thermometer</i>	31
Gambar 3.7.	Pengaduk baja.....	32
Gambar 3.8.	Penjepit baja.....	32
Gambar 3.9.	Sarung tanga.....	32
Gambar 3.10.	Ingot aluminium.....	33
Gambar 3.11.	<i>Scrap</i> tembaga.....	33
Gambar 3.12.	Instalasi tungku <i>reverberatory</i>	34
Gambar 3.13.	Diagram alir penelitian.....	37
Gambar 4.1.	Grafik Dimensi scrap Cu vs persentase peositas duralumin.....	42
Gambar 4.2.	Grafik Dimensi scrap Cu vs efisiensi pengecoran.....	43

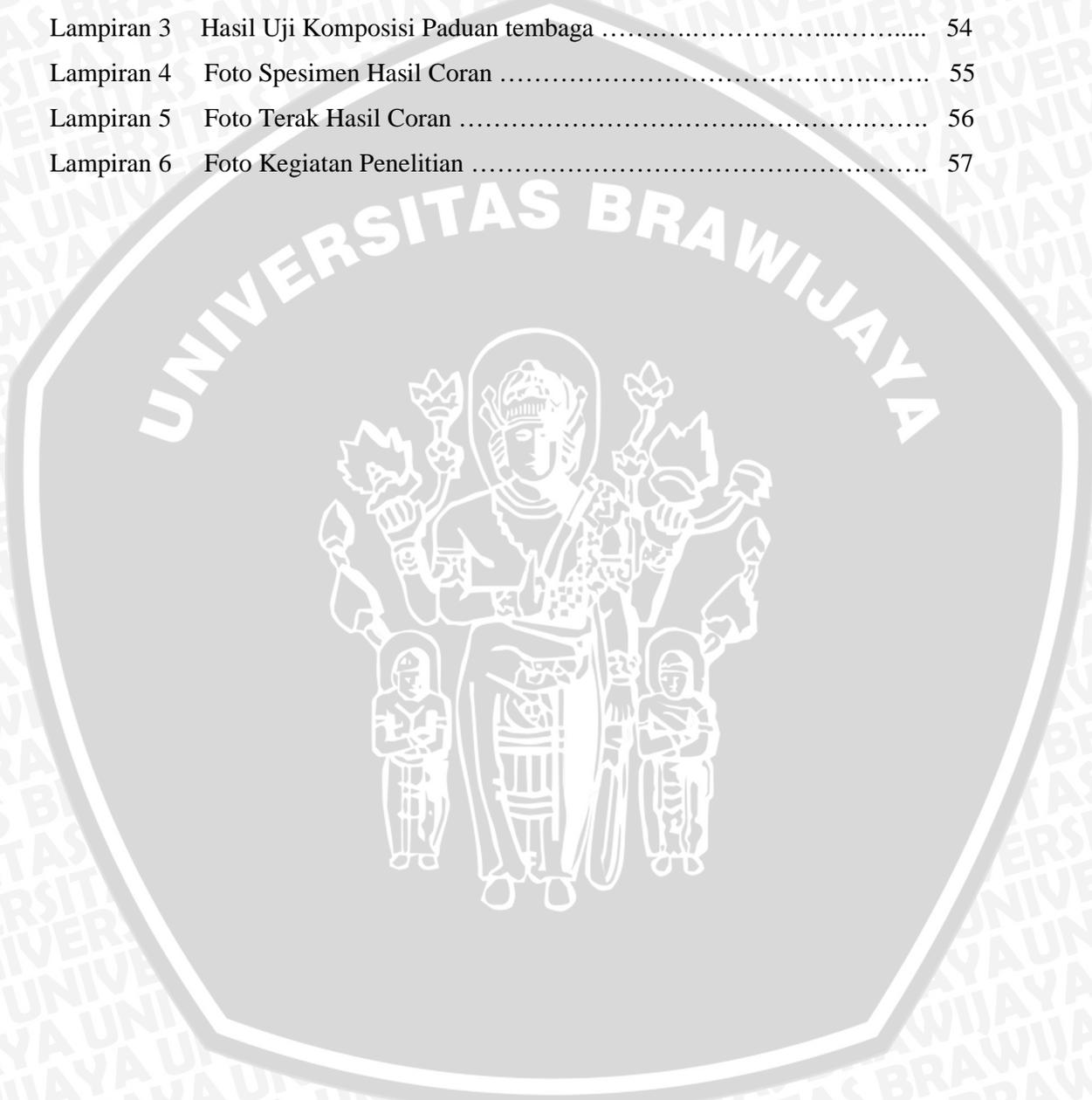
DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Temperatur penuangan untuk berbagai coran.....	7
Tabel 2.2.	Penggolongan paduan Aluminium dan serinya	14
Tabel 2.3.	Ukuran atom Cu dan ukuran atom Al	20
Tabel 4.1.	Densitas unsur	38
Tabel 4.2.	Data penimbangan sampel dan keranjang	39
Tabel 4.3.	Data <i>apparent density</i>	39
Tabel 4.4.	Data persentase porositas	40
Tabel 4.5.	Data efisiensi pengecoran	41



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1	Hasil Uji Komposisi Paduan Al-Cu	48
Lampiran 2	Hasil Uji Komposisi Paduan aluminium	53
Lampiran 3	Hasil Uji Komposisi Paduan tembaga	54
Lampiran 4	Foto Spesimen Hasil Coran	55
Lampiran 5	Foto Terak Hasil Coran	56
Lampiran 6	Foto Kegiatan Penelitian	57



RINGKASAN

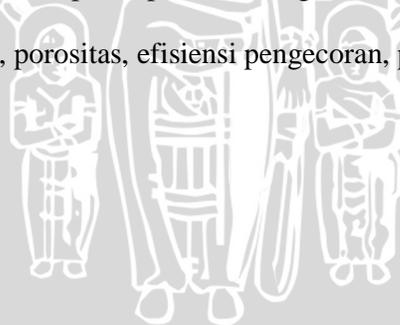
Satriyo Wicaksono, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2012, *Pengaruh Dimensi Scrap Cu terhadap porositas Dan Efisiensi Pengecoran Pada Ingot Aluminium Hasil Coran Duralumin*, Dosen Pembimbing: Wahyono Suprpto dan Femiana Gapsari.

Aluminium paduan merupakan material yang banyak digunakan sebagai bahan baku dalam dunia otomotif. Salah satu unsur yang dipadukan adalah unsur tembaga (Cu) yang dapat meningkatkan sifat mekanik, sifat fisik, maupun sifat kimianya. Akan tetapi pada proses pengecoran tidak lepas dari permasalahan porositas yang dapat mengurangi kekuatan coran. Paduan Al-Cu sendiri sering disebut dengan duralumin. Objek dalam percobaan ini adalah peleburan ingot aluminium murni dan tembaga dalam kowi pada tungku reverberatory, selanjutnya duralumin melt dituang kedalam cetakan permanen

Pada Penelitian ini dimensi *scrap* Cu yang digunakan yaitu 5mm, 7.5mm, 10mm, 12.5mm, 15mm. Selanjutnya *casting product* dibagi 2 kelompok, yaitu 1). Kelompok spesimen uji porositas *casting product* duralumin. Dalam percobaan, kuantitas porositas ditentukan dengan metode piknometri. 2). Kelompok uji efisiensi pengecoran. Efisiensi pengecoran yang dimaksud yaitu membandingkan berat akhir dengan berat awal dalam bentuk persentase.

Dari hasil percobaan menyatakan bahwa pengujian porositas berdasarkan uji piknometri menunjukkan peningkatan porositas. Persentase porositas dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm sebesar 0.6 % mengalami peningkatan hingga mencapai 3.0 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm. Dan berdasarkan uji efisiensi pengecoran semakin kecil dimensi *scrap* Cu maka nilai efisiensi pengecoran akan semakin tinggi yaitu sebesar 94.6 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm dan mengalami penurunan hingga mencapai 92.4 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm.

Kata Kunci: duralumin, *scrap*, porositas, efisiensi pengecoran, piknometri



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan paduan aluminium terus meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini terlihat dari urutan penggunaan logam paduan aluminium yang menempati urutan kedua setelah penggunaan logam besi atau baja, dan diurutan pertama untuk logam *nonferro* (Surdia, 2000). Sekarang ini kebutuhan aluminium di Indonesia per tahun mencapai 200.000 hingga 300.000 ton dengan harga US\$3.305 per ton (Noorsy.2007). Pemakaian aluminium pada industri otomotif terus meningkat sejak tahun 1980 (Budinski,1996). Ini berkaitan dengan jumlah produksi dan perkembangan industri otomotif, khususnya sepeda motor di Indonesia yang sangat pesat, berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia produksi sepeda motor pada tahun 2011 hanya mendekati 9 juta unit, tahun 2012 sebanyak 10 juta unit, dan jumlah tersebut diprediksi terus meningkat hingga tahun 2015 yang menembus 16 juta unit (bisnis.com). Disini peranan teknologi semakin penting dan dominan, dimana kita dituntut untuk menguasai teknologi yang semakin hari semakin berkembang. Salah satu cabang teknologi tersebut adalah teknologi pengerjaan logam, seperti pengecoran, permesinan, pengelasan, penempaan dan pelapisan.

Proses pengecoran merupakan salah satu proses yang banyak digunakan karena mempunyai kelebihan diantaranya dapat digunakan untuk memproduksi produk yang rumit, massal, dan produk dengan berbagai macam dimensi. Salah satu logam yang sering digunakan pada proses pengecoran logam adalah aluminium. Namun aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanis yang jelek oleh karena itu digunakan paduan aluminium karena sifat – sifat mekanisnya akan diperbaiki dengan menambahkan tembaga, silisium, magnesium, mangan, dan sebagainya. Dalam proses penelitian ini aluminium dipadukan dengan tembaga. Paduan ini sering disebut dengan duralumin yang merupakan kombinasi dari logam aluminium yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, mampu mesin dengan tembaga yang mempunyai sifat penghantar listrik yang baik, keuletan yang tinggi dan juga sifat tahan korosi.

Duralumin adalah kombinasi dari logam aluminium yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, mampu mesin dengan tembaga yang mempunyai sifat penghantar listrik yang

baik, keuletan yang tinggi dan juga sifat tahan korosi. Dalam dunia industri, duralumin dapat diaplikasikan pada produk seperti penggaruk padi (*rake*), sproket pada sepeda motor, *landing gear* pada pesawat terbang, dan *casing* laptop pada industri elektronik. Duralumin juga mempunyai salah satu keunggulan sifat yaitu memperpanjang usia benda akibat *fatigue*. *Fatigue* merupakan salah satu kerusakan material yang akan berakibat fatal meskipun *fatigue* baru bisa terdeteksi dalam rentan waktu yang lama. Misalnya pada sambungan antara sayap dan badan pesawat terbang atau antara sayap dan dudukan mesin. Untuk kepentingan penempaan, duralumin tidak boleh memiliki persentase tembaga di atas 5,6% karena akan membentuk senyawa Al_2Cu dalam logam yang menjadikan logam rapuh (Heine, 1990: 293).

Untuk itu dalam proses pengecoran perlu terus diupayakan peningkatan hasil coran dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil coran. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas hasil coran adalah porositas logam cair itu sendiri. Dimana saat porositas suatu logam cair tersebut tinggi maka akan menurunkan kekuatannya, serta hasil benda tuang yang kurang sempurna. Suatu pengecoran yang baik adalah pengecoran yang memiliki efisiensi pengecoran yang tinggi. Akan tetapi, terkadang pengecoran yang dilakukan memiliki efisiensi pengecoran yang rendah. Salah satu yang bisa mempengaruhi efisiensi pengecoran suatu produk adalah komposisi paduan logam. Dari sinilah peneliti ingin mencoba memvariasikan dimensi *scrap* Cu hasil coran duralumin, karena dengan adanya pemberian dimensi *scrap* Cu yang berbeda akan memberikan efek pada logam cair yang dapat meningkatkan efisiensi pengecoran sehingga akan didapat kualitas produk yang diinginkan.

Dalam hal ini peneliti memilih untuk memadukan aluminium dengan konsentrasi tembaga (Cu) sebesar 5%. Penambahan unsur tembaga sendiri akan memperbaiki sifat mampu mesin, mampu tempa, keuletan yang baik dan mudah dibentuk pada aluminium paduan. Selain itu, dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan karena tembaga bisa memperhalus struktur butir. Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi dimensi *scrap* Cu terhadap porositas dan efisiensi pengecoran pada ingot aluminium hasil coran duralumin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat di buat dalam penelitian kali ini adalah “Pengaruh variasi *dimensi scrap* Cu terhadap cacat porositas dan efisiensi pengecoran pada ingot hasil coran duralumin”

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjadikan penelitian ini lebih terarah maka penulis akan memberikan batasan-batasan masalah yang meliputi hal-hal berikut ini:

1. Persentase *scrap* Cu berdasarkan massa.
2. Dimensi *scrap* Cu adalah dimensi panjang.
3. Spesimen atau produk yang diuji adalah produk yang tidak *difinishing*.

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini mempunyai beberapa tujuan yaitu:

1. Untuk memperbaiki kualitas produk coran.
2. Mengetahui pengaruh dimensi *scrap* Cu terhadap porositas dan efisiensi pengecoran pada ingot hasil coran duralumin.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat, sebagai berikut:.

1. Penelitian ini akan menambah pengetahuan tentang pengaruh variasi dimensi *scrap* Cu pada pengecoran cetakan logam terhadap produk yang dihasilkan.
2. Dengan adanya penelitian ini, maka diharapkan akan dapat membantu industri kecil pengecoran untuk menghasilkan produk coran dengan kualitas yang baik.
3. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengecoran logam terutama logam aluminium paduan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Dari proses penelitian oleh Wahyono dkk (2010) menyatakan bahwa tembaga sebagai unsur paduan dalam duralumin berpengaruh pada kenaikan densitas massa hasil pengecoran. Secara eksplisit peningkatan kadar tembaga dalam paduan Al-Cu berpengaruh positif terhadap kenaikan densitas hasil pengecoran yang kenaikan persentase tembaga meningkatkan densitas massa dan porositas hasil pengecoran duralumin.

Atmaja, (2011), melakukan penelitian dengan membandingkan kadar Cu pada hasil coran aluminium. Pencampuran Cu yang digunakan 0%, 2%, 4% dan 8% dari berat aluminium. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada penambahan Cu (0%, 2%, 4% dan 8%) pada aluminium, diperoleh kekuatan tarik, kekerasan dan fatik terus meningkat hingga pada penambahan Cu 4% dan kekuatan mekanik menurun pada penambahan Cu 6% dan 8%. Struktur mikro dari aluminium paduan tembaga dapat terlihat AlCu benar benar terbentuk dengan baik pada paduan Cu 4%. Serta yang menyebabkan menurunnya kekuatan pada paduan Cu 6% dan 8% karena terbentuknya senyawa $CuAl_2$.

Firdaus, (2002), melakukan penelitian tentang analisis parameter proses pengecoran *squeeze* terhadap cacat porositas produk flens motor sungai. Melakukan pemeriksaan porositas menggunakan metode piknometri didasarkan pada standar ASTM E-252 dengan mengukur dan menghitung *true density*, *apparent density*, yang kemudian diketahui porositas hasil coran secara kuantitatif. Setelah melakukan beberapa pengujian terhadap spesimen, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persentase porositas yang dihasilkan menurun secara signifikan dibandingkan dengan proses pengecoran cetakan pasir yang ada.

Abraham (2011), melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah saluran masuk pada pengecoran wheel hub terhadap porositas dan cacat penyusutan produk Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah ingate terhadap porositas dan cacat penyusutan produk cor wheel hub menggunakan cetakan pasir dengan variasi jumlah 1, 2 dan 3 ingate. Pengujian prosentase porositas dilakukan dengan metode piknometri. Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya jumlah ingate maka nilai porositas akan turun. Nilai rata-rata porositas untuk jumlah ingate 1, 2 dan 3,

masing-masing adalah 2,013 %; 1,917 % dan 1,774 % . Sedangkan nilai rata-rata volume cacat penyusutan untuk jumlah ingate 1, 2 dan 3, masing-masing adalah 4,414 cm³; 3,176 cm³ dan 7,079 cm³.

2.2. Teori Dasar Pengecoran Logam

2.2.1. Pengertian Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam sebuah cetakan, yang mana cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk rongga cetakan (*cavity*) sesuai bentuk logam yang di buat, kemudian dibiarkan dingin sehingga membeku. Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil coran.

Proses pengecoran logam merupakan salah satu dari metode pembentukan, yang mana metode pembentukan lainnya antara lain permesinan, penempaan, pengelasan, dan lain sebagainya. Proses pengecoran logam memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pembentukan yang lain. Kelebihannya antara lain (Heine,1990,1):

1. Konstruksi dapat lebih sederhana.
2. Dapat digunakan untuk produksi massal.
3. Dengan proses ini kita dapat memperoleh sifat-sifat yang diinginkan.
4. Ukuran bervariasi, baik besar maupun kecil.
5. Untuk banyak logam.

2.2.2. Klasifikasi Proses Pengecoran Logam

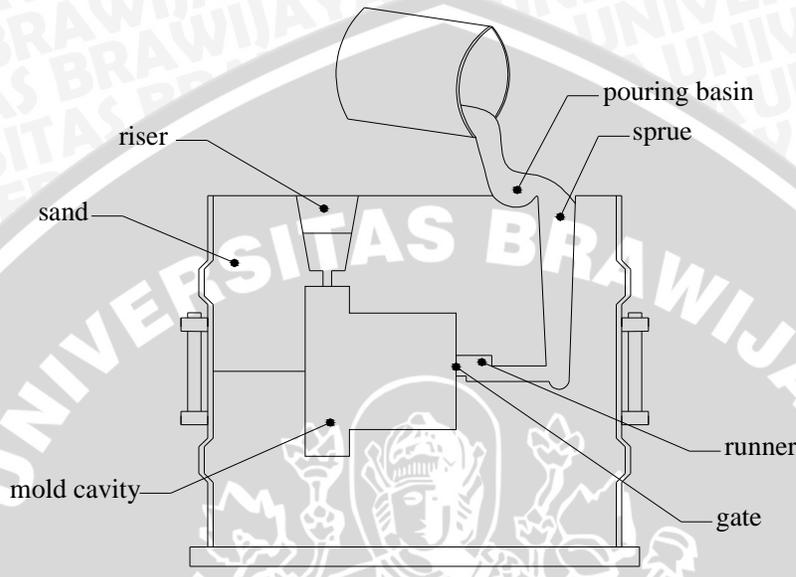
Berdasarkan cetakannya, proses pengecoran dibedakan menjadi dua yaitu:

1. *Expandable mold casting*

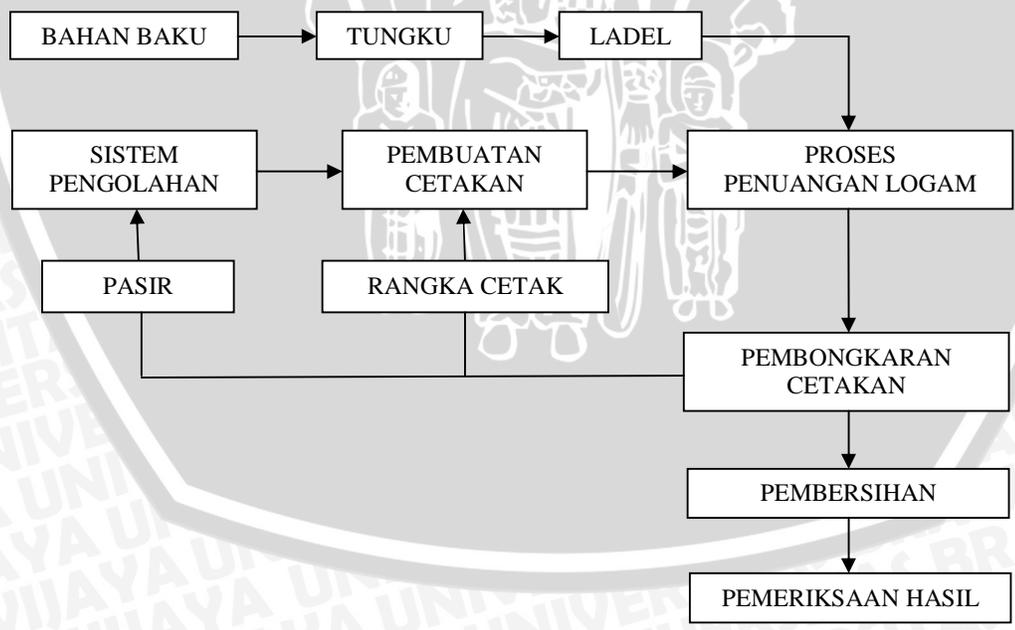
Prinsip dasar pengecoran logam adalah meleburkan logam hingga mencair kemudian memasukkan logam ke dalam cetakan. Cairan logam tersebut akan menyesuaikan dengan bentuk rongga cetakan sehingga didapatkan bentuk yang sesuai dengan cetakan setelah cairan logam tersebut membeku. Gambar cetakan pasir bisa dilihat pada Gambar 2.1.

Pengertian dari pengecoran adalah proses pembuatan produk yang dimulai dari penuangan logam cair ke dalam rongga cetakan kemudian dibiarkan selama beberapa saat untuk proses pembekuan. Pengecoran ini menggunakan cetakan yang terbuat dari pasir dimana cetakan pasir ini hanya dapat digunakan sekali. Setelah logam cair yang

dituang ke dalam rongga cetakan pasir membeku maka cetakan pasir dibongkar. Urutan proses pengecoran pada Gambar 2.2 meliputi: pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair ke dalam cetakan, pembersihan coran dan proses daur ulang pasir cetak.



Gambar 2.1 Cetakan pasir.
Sumber: Gantara (2011:7).



Gambar 2.2 Aliran proses pada pembuatan coran.
Sumber: Surdia (1996:3).

Pasir cetak yang umum digunakan adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silika. Beberapa dari pasir tersebut dipakai begitu saja dan yang lain dipakai begitu saja dan yang lain dipakai setelah dipecah menjadi butir-butir dengan ukuran yang cocok. Pasir gunung umumnya digali dari lapisan tua. Pasir ini mengandung lempung dan kebanyakan dipakai setelah dicampur air. Pasir dengan kadar lempung 10 – sampai 20 % dapat dipakai begitu saja. Pasir dengan kadar lempung kurang dari itu mempunyai adhesi yang lemah dan baru dapat dipakai setelah ditambahkan persentase lempung secukupnya. Pasir pantai, pasir kali, pasir silika alam dan pasir silika buatan tidak melekat dengan sendirinya. Oleh karena itu dibutuhkan pengikat untuk mengikat butir-butirnya satu sama lain dan baru dapat digunakan setelah pencampuran.

Pasir cetak memerlukan sifat-sifat yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Mempunyai sifat mampu bentuk sehingga mudah dalam pembuatan cetakan dengan kekuatan yang cocok. Cetakan yang dihasilkan harus kuat sehingga tidak rusak karena dipindah-pindah dan dapat menahan logam cair waktu dituang kedalamnya. Karena itu kekuatannya pada temperatur kamar dan kekuatan panasnya sangat diperlukan.
- Permeabilitas yang cocok. Permeabilitas yang buruk dapat menyebabkan hasil coran mempunyai cacat seperti rongga penyusutan, gelembung gas atau kekasaran permukaan, kecuali jika udara atau gas yang terjadi dalam cetakan waktu penuangan disalurkan melalui rongga-rongga di antara butir-butir pasir keluar dari cetakan dengan kecepatan yang cocok.
- Distribusi besar butir yang cocok. Permukaan coran diperhalus kalau coran dibuat di dalam cetakan yang berbutir halus.
- Tahan terhadap temperatur logam yang dituang. Temperatur penuangan yang biasa untuk bermacam-macam coran dinyatakan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Temperatur penuangan untuk berbagai coran

Macam coran	Temperatur penuangan (°C)
Paduan ringan	650-750
Brons	1100-1250
Kuningan	950-1100
Besi cor	1250-1450
Baja cor	1500-1550

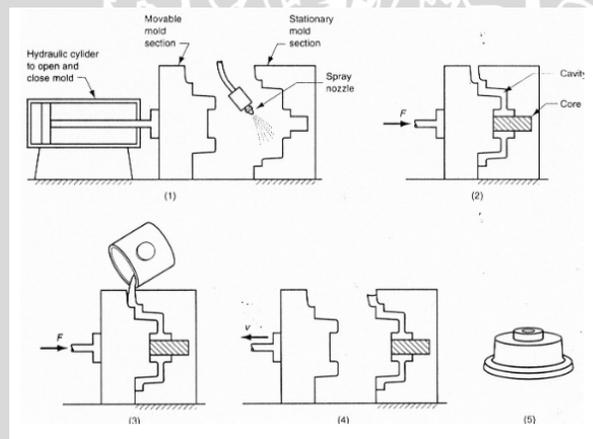
Sumber: Surdia (1996:109)

Coran paduan ringan adalah coran paduan Aluminium, coran paduan Magnesium dan sebagainya. Aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanis yang jelek. Oleh karena itu dipergunakan paduan Aluminium dengan penambahan Tembaga, Silikon, Magnesium, Mangan, Nikel dan lain-lain.

- Komposisi yang cocok. Butir pasir bersentuhan dengan logam yang dituang mengalami peristiwa kimia dan fisika karena logam cair mempunyai temperatur yang tinggi. Bahan-bahan yang tercampur yang mungkin menghasilkan gas atau larut dalam logam adalah tidak dikehendaki.
- Mampu dipakai lagi. Pasir harus mampu dipakai berulang-ulang supaya ekonomis.

2. *Permanent mold casting*

Permanent mold casting adalah cetakan yang bisa dipakai berulang kali dan bahannya terbuat dari baja atau logam tahan panas. Dengan cetakan ini dihasilkan permukaan produk cor yang halus. Berikut pada gambar 2.3 tahapan pengecoran dengan cetakan permanen.



Gambar 2.3 Tahapan Pengecoran Dengan Cetakan Permanen

Sumber : Groover; 32

Keterangan gambar:

- (1) cetakan diberi pemanasan awal dan dilapisi (*coated*),
- (2) inti (bila digunakan) dipasang dan cetakan ditutup,
- (3) logam cair dituangkan ke dalam cetakan, dan
- (4) cetakan dibuka,
- (5) produk coran yang dihasilkan.

Perbedaan utama antara *sand casting* dan *permanent mold casting* terdapat pada logam cetakan, prosesnya lambat dan biasanya pada *permanent mold* sifat mekanik

lebih baik karena proses solidifikasi lebih cepat serta sistem salurannya tidak rumit. Keuntungan serta kerugian proses pengecoran dengan menggunakan *permanent mold casting* adalah sebagai berikut:

Keuntungan:

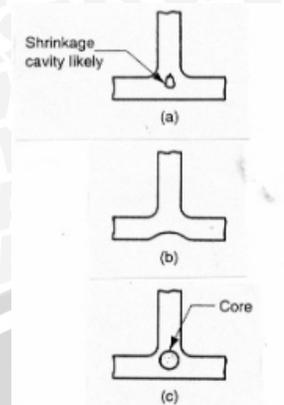
- Ketelitian ukuran sangat baik jika dibandingkan dengan pengecoran pasir, dapat membuat coran yang lebih ringan dan permukaan coran sangat halus.
- Struktur butir yang dihasilkan rapat sehingga diperoleh sifat mekanik dan sifat tahan tekanan yang baik.
- Mekanisasi dari proses adalah mudah dan produktifitas tinggi sehingga sesuai untuk produksi massal.

Kerugian:

- Cara *permanent mold casting* ini tidak sesuai untuk jumlah produksi yang kecil disebabkan tingginya biaya cetakan logam.
- Tidak mudah untuk digunakan cetakan yang berbentuk rumit.
- Pembentukan cetakan logam sukar dan mahal sehingga diperlukan rencana pengecoran sebelum pengerjaan pembuatan cetakan logam.

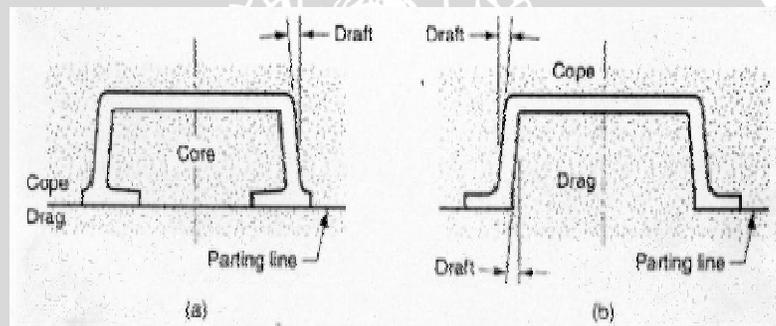
Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan produk coran seperti berikut:

1. Kesederhanaan geometri, untuk mempermudah proses percetakan.
2. Pojok/sudut, bagian-bagian yang bersudut tajam harus dihindari karena merupakan pemusatan tegangan yang dapat menimbulkan keretakan benda cor.
3. Ketebalan, setiap bagian sebaiknya memiliki ketebalan yang merata agar terhindar dari rongga penyusutan; Bagian yang tebal memerlukan waktu yang lebih lama untuk pembekuan dan pendinginannya, sehingga logam cair yang tersisa akan membentuk rongga (lihat gambar 2.4.a); Hal ini dapat diatasi dengan merubah desain (gambar 2.4.b) atau menggunakan inti (gambar 2.4.c)



Gambar 2.4 Bagian tebal yang Dapat Mengakibatkan Rongga Penyusutan
Sumber : Groover; 48

4. Tirus (*draft*), untuk memudahkan mengeluarkan pola dari dalam.
5. Penggunaan inti, perubahan kecil yang tidak terlalu penting dapat mengurangi penggunaan inti (gambar 2.5).



Gambar 2.5 Perubahan Desain Untuk Menghindari Pemakaian Inti
Sumber : Groover; 49

6. Toleransi dimensi dan penyelesaian permukaan, ketelitian dimensi dan penyelesaian permukaan tergantung pada jenis logam dan proses yang digunakan.
7. Kelonggaran permesinan, untuk beberapa jenis proses pengecoran, agar diperoleh dimensi yang lebih akurat perlu dilakukan permesinan, sehingga desain cetakan harus memperhitungkan kelonggaran untuk proses pemesinan tersebut. Pada umumnya cetakan pasir memerlukan permesinan.

2.2.3. Pengecoran Duralumin

Duralumin adalah paduan dari logam aluminium yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, mampu mesin dengan tembaga yang mempunyai sifat penghantar listrik yang baik, keuletan yang tinggi dan juga sifat tahan korosi. Paduan ini disebut dengan

duralumin karena mempunyai sifat *durability* yang tinggi yaitu kemampuan suatu material untuk menerima beban kejut sehingga mampu memperpanjang usia benda akibat *fatigue*. Untuk kepentingan penempaan, duralumin tidak boleh memiliki persentase tembaga di atas 5,6% karena akan membentuk senyawa CuAl_2 dalam logam yang menjadikan logam rapuh (Heine, 1990: 293)

Proses pengecoran duralumin yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah proses pengecoran yang dilakukan pada dapur dengan temperatur pemanasan 900°C . Sedangkan cetakan yang digunakan adalah *permanent mold* (dalam cetakan logam) logam yang sudah cair kemudian dilakukan penuangan ke dalam cetakan logam seperti pada pengecoran pasir dan produk yang dihasilkan tidak perlu *finishing* karena permukaan hasil corannya sudah halus. Cara pengecoran cetak atau penuangan cairan logam menggunakan gaya gravitasi yang berasal dari tinggi cairan dalam cetakan, tekanan rendah, *vacuum*, tekanan sentrifugal.

Perbedaan utama antara *sand casting* dan *permanent mold casting* terdapat pada logam cetakan prosesnya lambat dan biasanya pada *permanent mold* sifat mekanik lebih baik karena proses solidifikasi lebih cepat serta sistem salurannya tidak rumit. Bahan cetakan yang dipakai baja khusus atau besi cor paduan agar cara ini dapat membuat coran mempunyai ketelitian dan kualitas tinggi serta umur produksi antara 10000 sampai 20000 kali pengecoran. Sedangkan untuk desain khusus diproduksi antara 200 sampai 500 kali *casting*.

2.3. Aluminium

2.3.1. Pengolahan Aluminium

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur, dan pertama kali direduksi logam oleh H.C.Oersted tahun 1825, secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Prancis dan C.M.Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara dari elektrolis dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi diantara logam non fero

(Surdia,2000:129). Aluminium merupakan logam ringan mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Dengan ditambahkan paduan seperti Cu, Si, Mn, Mg, Zn, dan lainnya maka diperoleh kekuatan mekanik yang meningkat dan memberikan sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, kekerasan, ketahanan aus, dan sebagainya.

2.3.2. Pengaruh Unsur Paduan

Unsur-unsur pemuat aluminium antara lain :

- Cooper (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dengan berat atom 63,55 sma dan jari-jari atom 1,275Å. Lambangnya berasal dari bahasa latin *Cuprum* merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang lambat sekali. Tembaga juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat mampu mesin aluminium paduan. Selain itu dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan, dan kekerasan namun *castability*nya rendah.

- Silikon (Si)

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dengan berat atom 28,0855 sma dan jari-jari atom 1,46Å yang merupakan unsur terbanyak kedua di bumi. Silikon mampu meningkatkan sifat mampu cor. Dalam hal ini yang mampu diperbaiki adalah cara mengurangi penyusutan coran sampai 1,5 kali aluminium murni, mengurangi penyerapan gas dalam pengecoran dan meningkatkan mampu alirnya. Selain itu dapat meningkatkan ketahanan alirnya serta meningkatkan ketahanan korosi. Namun silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

- Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dengan berat atom 24,31 sma dan jari-jari atom 1,610Å. Magnesium adalah elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran aluminium-magnesium yang sering disebut "magnalium" atau "magnelium". Magnesium juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan aluminium dan meningkatkan sifat mampu bentuk serta mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

- Ferrous (Fe)

Ferrous adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Fe dengan berat atom 55,842 sma dan jari-jari atom 1,421Å. Fe merupakan logam transisi dan bersifat *ferromagnetic* (<http://id.wikipedia.org/besi>). Penambahan Fe dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan, tetapi apabila kandungan Fe terlalu besar akan menyebabkan struktur butiran yang kasar. Hal ini dapat diperbaiki dengan menambahkan sejumlah Mn dan C dalam prosentase kecil.

- Mangan (Mn)

Mangan adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mn dengan berat atom 54,938 sma dan jari-jari atom 1,35Å. Penambahan Mn akan meningkatkan ketahanan karat aluminium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya

- Zinc (Zn)

Seng (*Zinc*) adalah unsur kimia dengan simbol kimia Zn, nomor atom 30, dengan berat atom 65,39 sma dan jari-jari atom 1,390Å. Umumnya ditambahkan dengan tembaga dalam prosentase yang kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

2.3.3. Klasifikasi paduan aluminium

Paduan aluminium diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh berbagai negara di dunia. Saat ini klasifikasi yang terkenal adalah standar AA (*Aluminium Association*) di Amerika yang didasarkan atas standar terdahulu dari Alcoa (*Aluminium Company of America*).

Paduan aluminium berdasar pemuadannya dibagi menjadi dua yaitu :

1. Paduan aluminium tempa (*Wrought-Aluminium Alloy*)

Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *rolling*, *forming* (paduan tempa), *drawing*, *forging*, dan *press working* untuk menghasilkan barang setengah jadi misalnya batang, plat, dan lain-lain. Standar AA digunakan untuk penandaan pada paduan ini dengan menggunakan empat angka penandaan. Angka pertama menandakan unsure utama paduan. Angka kedua menandakan modifikasi dari paduan asli. Dan dua angka terakhir menandakan campuran paduan. Pada seri 1xxx, tiga angka terakhir menandakan kemurnian dari aluminium.

Paduan aluminium tempa ini dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

- a. Paduan dimana tidak lagi memerlukan perlakuan panas yang disebut non-heat treatable alloys. Paduan ini terdiri dari larutan padat homogen dan memiliki karakteristik kekuatan yang rendah dan ductility yang tinggi. Misalnya: Al-Mn dan Al-Mg.
- b. Paduan *heat treatable*, yang mana masih dibutuhkan perlakuan panas untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang optimum. Paduan ini sangat banyak dijumpai pada aplikasi industri-industri teknik. Yang paling sering dijumpai untuk paduan aluminium *heat treatable* adalah Al-Mg-Si dan Al-Cu-Mg.

2. Paduan aluminium cor (*Casting- Aluminium Alloy*)

Pada paduan ini, bentuk benda yang diinginkan diperoleh dari logam cair yang dituangkan pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan dibiarkan membeku sehingga didapatkan produk yang mendekati bentuk aslinya untuk kemudian dilakukan pengerjaan akhir (*finishing*). Penandaan pada paduan ini juga menggunakan standar AA dengan empat angka penandaan.

Paduan aluminium coran, garis besarnya dapat dibagi menjadi beberapa kelompok antara lain:

- a. Paduan aluminium yang didasarkan pada sistem Al-Si, yang biasa disebut dengan paduan silumin, dapat ditambahkan dengan Mg, Mn, Cu. Paduan ini memiliki sifat-sifat mampu tuang, ketahanan korosi yang baik, ductilitas yang tinggi dan berat jenis yang rendah.
- b. Paduan aluminium yang didasarkan pada sistem Al-Mg, memiliki sifat-sifat ketahanan korosi yang baik, sifat-sifat mekanik yang baik, tetapi sifat mampu tuangnya rendah.
- c. Paduan yang didasarkan sistem Al-Cu yang biasa disebut duralumin, memiliki sifat-sifat mampu tuang dan mekanik yang rendah, tetapi apabila diberikan perlakuan panas maka dapat memperbaiki sifat mekaniknya.

Berikut penggolongan paduan aluminium dan serinya yang ditunjukkan pada tabel 2.2:

Tabel 2.2 Penggolongan paduan aluminium dan serinya

Unsur Utama paduan	Seri
Aluminium, 99% atau lebih	1xxx
Tembaga	2xxx
Mangan	3xxx
Silikon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium dan Silikon	6xxx
Seng	7xxx
Elemen lain	8xxx

Sumber : De Garmo, 1997 : 159

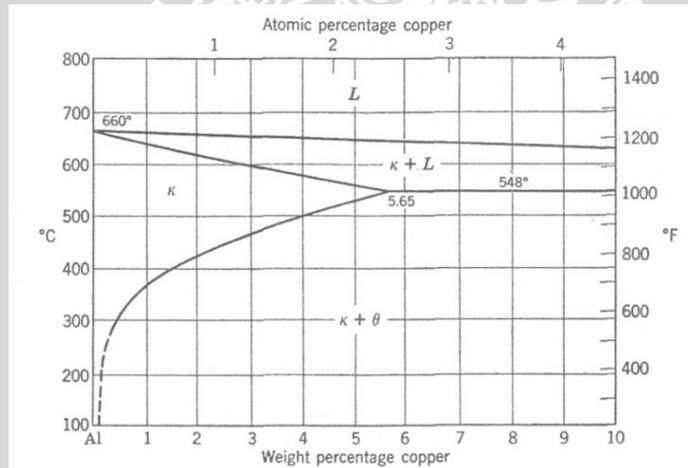
2.3.4. Sifat Umum dari berbagai Jenis Paduan Aluminium

- Jenis aluminium murni (seri 1xxx)

Jenis ini mengandung Al 99,9%. Aluminium dalam seri ini memiliki sifat yang baik dan ketahanan karat, konduktivitas listrik, mampu las, dan mampu potong. Jenis aluminium ini kurang menguntungkan dari kekuatannya yang rendah.

- Jenis paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat dilaku panas dengan melalui pengerasan endapan. Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan lainnya (Heine, R W. 1990: 294). Paduan aluminium-tembaga juga menghasilkan sifat yang keras dan kuat, namun rapuh. Beberapa jenis roda gigi menggunakan paduan Al-Cu. Penggunaan paduan Cu untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang cukup dan memperpanjang usia benda akibat *fatigue*. Umumnya, untuk kepentingan penempaan, paduan tidak boleh memiliki konsentrasi tembaga di atas 5,6% karena akan membentuk senyawa CuAl_2 dalam logam yang menjadikan logam rapuh (Heine, R W. 1990: 293). Berikut diagram fase Al-Cu:



Gambar 2.6 Diagram fase Al-Cu, temperatur vs persentase paduan
Sumber: Goldman, J.E., 1957: 197

- Jenis paduan Al-Mn (seri 3xxx)

Jenis paduan ini adalah jenis yang tidak dapat dilaku panas sehingga peningkatan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Bila dibandingkan dengan jenis aluminium murni, paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong, dan sifat

mampu lasnya. Dalam hal kekuatan jenis paduan ini lebih unggul daripada jenis aluminium murni.

- Jenis paduan Al-Si (seri 4xxx)

Paduan Al-Si termasuk jenis paduan larut dalam keadaan cair dan tidak larut dalam keadaan padat. Sehingga paduan ini tidak dapat dilaku panas seperti paduan lainnya (seperti Al-Cu, Al-Mg, ataupun Al-Zn), namun jenis paduan ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik, dan mempunyai sifat penyusutan yang kecil.

2.4. Tembaga

Tembaga adalah logam yang berwarna kemerahan dengan berat jenis $8,89 \text{ g/cm}^3$ yang mempunyai titik lebur antar $1070 - 1193^\circ\text{C}$. Tembaga sering digunakan dalam industri karena memiliki sifat-sifat yang menguntungkan antara lain adalah mempunyai sifat penghantar panas yang baik, memiliki keuletan yang tinggi (mudah dibentuk) serta memiliki ketahanan korosi yang baik. Selain dalam paduan aluminium, unsur tembaga ini dapat memperhalus butiran sehingga meningkatkan kekerasan.

Tembaga ini sendiri juga bisa dipadukan dengan unsur lainnya. Sebagai unsur utama, tembaga bisa dipadukan dengan unsur lain dan dibedakan menjadi dua paduan yaitu:

1. Perunggu

Perunggu adalah paduan antara tembaga dan timah, dan perunggu yang biasa dipakai mengandung kurang dari 15% timah (Surdia, 1996: 5). Paduan ini mempunyai sifat mampu cor yang baik sekali serta ketahanan aus dan ketahanan korosi yang baik pula.

2. Kuningan

Kuningan adalah paduan antara tembaga dan seng, dan kuningan tegangan tinggi adalah paduan yang mengandung tembaga, aluminium, besi, mangan, nikel, dan sebagainya dimana unsur-unsur tersebut dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mekanisnya.

2.5. Difusi

Difusi merupakan proses perpindahan atom-atom dalam struktur material dari bagian berkonsentrasi tinggi ke bagian berkonsentrasi rendah. Pergerakan atom tersebut memerlukan energi dan energi tersebut berkaitan dengan temperatur padatan. Adanya variasi termal di dalam padatan akan menimbulkan energi. Energi ini tidak terdistribusi

secara merata di antara atom-atom tunggal dalam kisi kristal tergantung dari energi termal yang dimilikinya. Adanya fluktuasi tingkat energi menyebabkan adanya atom-atom yang memiliki energi yang lebih rendah dan lebih tinggi. Atom yang memiliki tingkat energi yang lebih tinggi akan meninggalkan posisinya. Posisi yang ditinggalkan atom tersebut akan menimbulkan kekosongan (*vacancy*) pada kisi kristal yang dapat diisi oleh atom yang lain. Mekanisme pengisian tersebut merupakan penjelasan terhadap proses difusi. Pada temperatur tinggi, jumlah intertisi dan kekosongan meningkat sehingga laju difusi meningkat. Difusi dapat terjadi bila elemen yang berdifusi membentuk system larutan padat dengan matrik logam. Konsep dasar dari difusi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Adanya migrasi atom-atom dalam material pada kondisi gas, cair, dan padat.
- Adanya gradien konsentrasi dalam bentuk termal dan potensial kimia.
- Terjadi secara substitusi dan intertisi.

Sesuai dengan *Fick's Law* pada kondisi *steady-state* dimana tidak adanya perubahan konsentrasi selama periode waktu tertentu maka fluks atau aliran atom merupakan perkalian antara koefisien difusi dengan konsentrasi gradient, sesuai dengan persamaan :

$$J = -D \frac{dc}{dx} \quad (2-1)$$

Dimana : J = Fluks atau aliran atom [atom / m² . s].

D = Difusitas atau koefisien difusi [m²/s].

$\frac{dc}{dx}$ = Gradient konsentrasi [atoms / m³ . 1/m].

Jumlah atom yang berdifusi dalam satuan waktu melalui satu satuan luas penampang sepanjang satu satuan gradient konsentrasi disebut difusitas atau koefisien difusi. Sedangkan koefisien difusi bisa dihitung menggunakan persamaan *Arrhenius* :

$$D = D_{0.exp} \left(\frac{-Q}{RT} \right) \quad (2-2)$$

Dimana : D = Koefisien difusi [m²/s].

D₀ = Koefisien difusi pada keadaan standar [m²/s].

Q = Energi aktivasi: energi yang digunakan untuk memindahkan atom keposisi yang baru dalam kisi kristal [J/mol].

R = Konstanta gas [8,314 J/[mol.°K] atau 1,987 kal/[mol °K]].

T = Temperatur absolut [°K].

Persamaan ini tidak dapat menjelaskan perubahan konsentrasi yang terjadi akibat pengaruh difusi, sehingga penggunaan hukum *Fick's I* hanya terbatas pada konsentrasi yang dianggap sama pada setiap posisi (*steady state*). Sehingga untuk menjelaskan perbedaan konsentrasi yang terjadi terhadap waktu (*non steady state*), *Fick's* mensubstitusikan hukum *Fick's I* yang dikenal dengan hukum *Fick's II* sebagai berikut:

$$\frac{\partial c_B}{\partial t} = D_B \frac{\partial^2 c_B}{\partial x^2} \quad (2-3)$$

Persamaan ini merupakan profil konsentrasi antara jumlah perubahan komposisi terhadap waktu, dimana $\frac{\partial^2 c_B}{\partial x^2}$ diinterpretasikan dalam bentuk grafik sederhana berupa kurva konsentrasi dengan jarak tertentu. Aplikasi dari batas kondisi persamaan (2-3) dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\frac{c_x - c_0}{c_s - c_0} = 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (2-4)$$

Dimana : C_x = konsentrasi pada jarak x .

C_s = konsentrasi permukaan yang diperoleh pada waktu tertentu.

C_0 = konsentrasi pada $t = 0$ [kondisi awal].

$\operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right)$ = *Gaussian error function* yang disimbolkan dengan z

Jarak rata-rata difusi merupakan fungsi akar kuadratis terhadap waktu dengan persamaan

$$x = \sqrt{Dt} \quad (2-5)$$

Dimana : x = jarak difusi [mm].

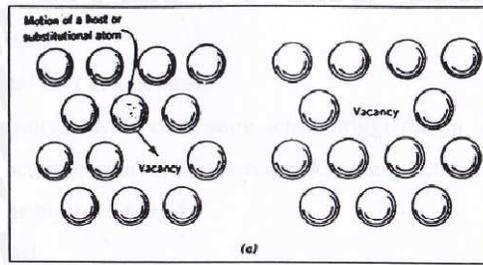
D = koefisien difusi [m^2/s].

t = waktu proses difusi [s].

Mekanisme difusi sangat berperan di dalam proses pengecoran. Diperlukan temperatur dan waktu proses yang lebih besar supaya difusi dapat berlangsung dengan baik. Ada dua macam difusi atom ke dalam kisi-kisi kristal, yaitu:

2.5.1 Mekanisme Difusi Substitusi

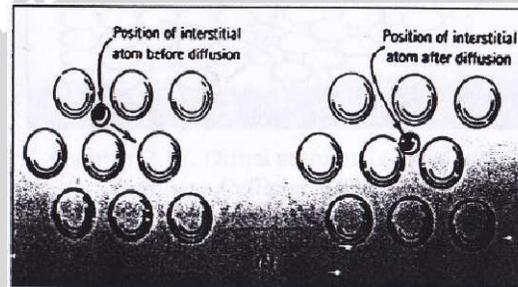
Berpindahnya atom pada kisi kristal dari posisi atom yang satu ke posisi atom yang lainnya pada gambar 2.7 Kondisi tersebut dipengaruhi oleh peluang kosongnya kedudukan atom (yang pada gilirannya sebanding dengan fraksi kekosongan dalam kristal) dan besarnya energi aktivasi yang dibutuhkan untuk memindahkan posisi atom.

Gambar 2.7 Difusi *Substitutional*

Sumber: Callister, 1997: 92

2.5.2 Mekanisme Difusi *Interstitial*

Pengangkutan atom melalui kisi berlangsung dengan berbagai cara, istilah “difusi *interstitial*” menggambarkan keadaan ketika atom tidak lagi bergerak di sekitar kisi kristal namun menempati posisi interstisi. Seperti terlihat pada gambar 2.8.

Gambar 2.8 Difusi *Interstitial*

Sumber: Callister, 1997: 92

Pada mekanisme interstitial ukuran atom yang akan berdifusi harus lebih kecil daripada matrik atomnya, seperti difusi atom hidrogen, oksigen, karbon, dan nitrogen ke dalam besi. Atom-atom nitrogen akan lebih mudah mengendap pada kristal Al dalam larutan padat interstisi daripada larutan padat substitusi. Pada larutan padat interstisi atom nitrogen bergerak lebih mudah, sedangkan pada larutan padat substitusi harus tersedia *vacancy* sebagai tempat atom berpindah. Hal ini menyebabkan proses difusi berjalan lebih lambat. Faktor-faktor yang mempengaruhi difusivitas antara lain:

1. Tipe dari mekanisme difusi.

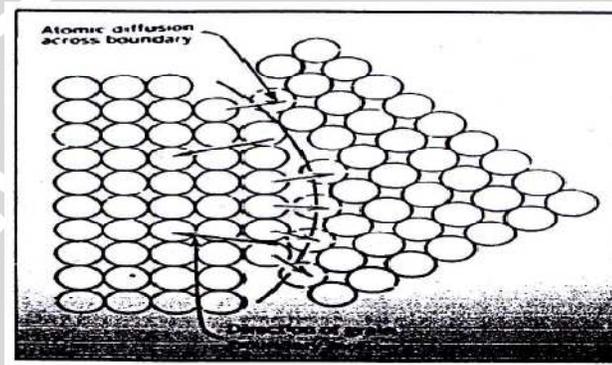
Proses difusi secara interstisi atau substitusi memberikan efek terhadap koefisien difusi. Untuk difusi interstisi atom yang kecil dapat bergabung ke dalam kisi kristal pada atom pelarut yang lebih besar, seperti nitrogen berdifusi interstisi pada struktur kristal BCC atau FCC. Sedangkan contoh proses difusi substitusi adalah atom tembaga berdifusi ke dalam aluminium sebagai atom pelarut dimana dimensi dari kedua atom tersebut sama besar serta keduanya memiliki struktur kristal FCC.

2. Tipe struktur kristal dari kisi pelarut.

Atom mempunyai difusivitas yang lebih tinggi dalam struktur BCC daripada struktur FCC karena BCC mempunyai faktor tumpukan yang lebih rendah 0,68 sedangkan FCC mempunyai faktor tumpukan 0,74.

3. Adanya cacat kristal.

Difusi berjalan lebih cepat melalui batas butir karena merupakan daerah dengan cacat kristal, dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Difusi atom pada batas butir
Sumber: Callister, 1997: 172

4. Temperatur difusi.

Suhu yang lebih tinggi menghasilkan difusivitas yang tinggi, atom-atom memiliki energi termal yang tinggi. Oleh karena itu besar kemungkinan untuk melampaui hambatan antara atom-atom. Ukuran atom Cu relative sama besar dengan ukuran atom Al, sehingga dengan mudah diantara kedua atom tersebut untuk berdifusi secara substitusi. Tabel 2.3 memperlihatkan ukuran atom Cu dengan ukuran atom Al.

Tabel 2.3 Ukuran atom Cu dan ukuran atom Al

Nama Atom	Radius atom [Å]
Al	1,428
Cu	1,275

Sumber : Lawrence, 1960: 88

2.6. Pembekuan Logam

Semua logam pada proses pembekuan membentuk kristal, yaitu susunan teratur (*ordered*) atom-atom yang berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

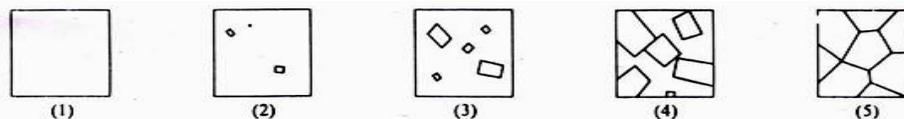
Atom logam pada kondisi cair berada dalam posisi tidak teratur. Ketika mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang

mula-mula menyusun diri adalah atom yang lebih dahulu stabil. Susunan awal atom disebut inti dan proses pembentukan inti disebut pengintian (*crystallization*). Misalnya, logam dengan kristal FCC, maka untuk membentuk inti diperlukan 12 atom. Setelah terbentuk inti, atom-atom lain disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti berkembang dan memiliki cabang-cabang yang disebut *dendrite*.

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti sehingga banyak pula muncul *dendrite*, yang masing-masing memiliki arah atau orientasi yang berbeda-beda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain yang juga berkembang. Permukaan singgung ini disebut batas butir (*grain boundary*) sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir disebut butir.

Jika keadaan memungkinkan (misalnya energi yang tersedia cukup besar), satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam arti bahwa atom-atom dari butir lain (yang kurang stabil) akan mengikuti orientasi butir tersebut. Apabila keadaan ini berlangsung terus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan dengan lambat, maka *dendrite* memiliki waktu cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butir-butir yang besar. Sebaliknya, pendinginan logam secara cepat akan menimbulkan butir-butir yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.

Pada proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan cetakan, dimana terjadi gradien temperatur yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah dari pada bagian dalam, sehingga inti atom mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan, lalu berkembang kebagian dalam, dari bentuk kecil lalu membesar sepanjang arah logam cair. Inti tersebut kemudian membentuk butir sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom, dan akhirnya memadat seluruhnya. Ilustrasi pembekuan logam dapat dilihat pada gambar berikut:

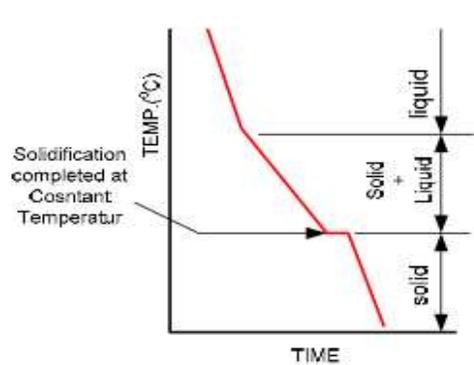


- | | |
|---|--|
| (1) Keadaan cair. | (4) Kristal menyentuh tetangganya menghentikan pertumbuhannya. |
| (2) Inti timbul. | (5) Pembekuan lengkap menjadi struktur berkristal banyak. |
| (3) Kristal tumbuh sekeliling inti. Inti baru timbul. | |

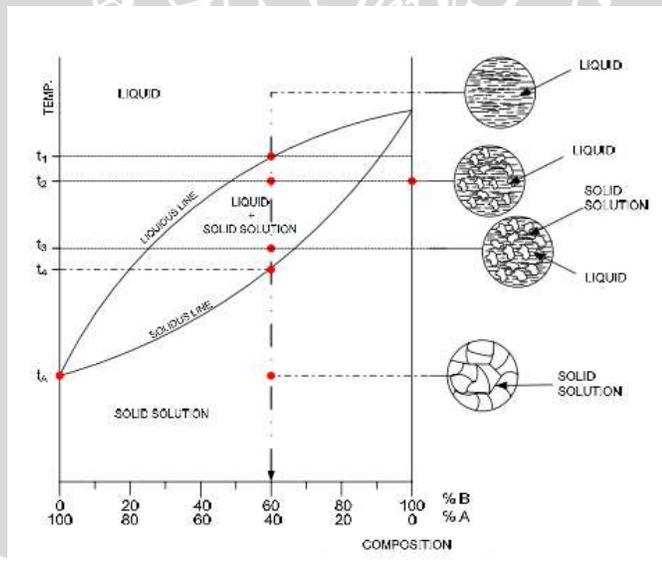
Gambar 2.10 Ilustrasi Skematis dari pembekuan logam

Sumber: Surdia, T., 1996: 14

Pembekuan logam merupakan suatu proses penting dalam proses pengecoran dimana logam yang dicairkan dimasukkan dalam cetakan dan dibiarkan membeku menjadi produk akhir atau semi akhir. Gambar 2.11 memperlihatkan proses perubahan yang terjadi pada larutan padat logam paduan, dimana proses pendinginan mengakibatkan terjadinya proses perubahan larutan padat ke dalam bentuk padat pada temperatur tertentu. Sedangkan pada gambar 2.12 memperlihatkan proses pembentukan butiran yang terjadi pada saat proses pembekuan logam paduan.



Gambar 2.11 Diagram perbandingan waktu dan temperatur pada proses pendinginan
 Sumber : Sudjana, 2008;122



Gambar 2.12 Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang terlarut penuh
 Sumber : Sudjana, 2008;126

Umumnya terdapat tiga daerah yang terjadi pada pembekuan logam coran, antara lain:

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)
 Daerah ini berada paling luar yang mana lebih dipengaruhi oleh heat removal. Struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan melt pada

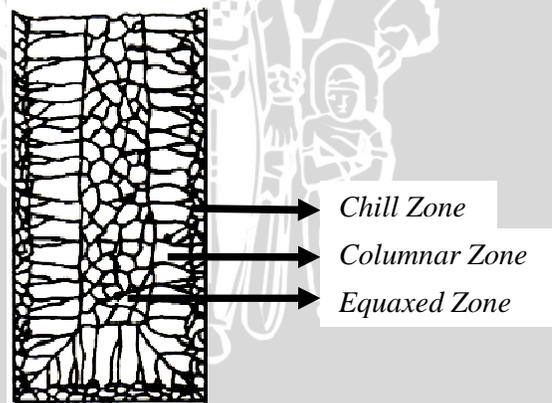
saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

- *Columnar zone*

Columnar zone merupakan yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah yang tegak lurus dengan dinding cetakan. Batas permukaan antara struktur kolumnar dengan cairan dapat berbentuk selular maupun selular dendritik.

- *Equaxed zone*

Struktur ini terdiri dari butiran yang bersumbu sama yang arah acak. Asal dari butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit. Bila suhu disekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru.



Gambar 2.13 Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equaxed Zone*
Sumber: Kalpakjian, 1990 : 279

2.7 Homogenitas

Pada proses pembuatan logam paduan dengan metode *casting* (peleburan dan penuangan), antara unsur utama dan unsur tambahan mengalami pencampuran. Pencampuran akan sempurna atau terjadi homogenitas yang baik pada produk tuang apabila unsur tambahan dapat terdistribusi secara merata sehingga semua unsur yang

ada termasuk juga unsur pengotor memiliki ikatan intermetalik yang baik. Pencampuran unsur-unsur secara kimiawi dalam suatu komposisi paduan akan memberikan pengaruh tertentu terhadap perilaku fisis dan mekanis dari produk tuang seperti kekuatan, keuletan dan kekerasan.

2.8 Porositas

2.8.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

Porositas menjadi permasalahan yang paling sering ditemui di dalam proses pengecoran logam. Porositas menjadi perhatian utama dalam menentukan kualitas dan *reability* produk hasil pengecoran. Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah :

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Tekanan udara yang berlebih.
- Temperatur cetakan.
- Teknik dan kondisi peleburan.
- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair.
- Temperatur logam cair.
- Uap air dalam udara.
- Permeabilitas cetakan.
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam cetakan
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

Pada proses penuangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuan karena kelarutannya pada fase cair lebih tinggi dari pada fase padat. Gas dikeluarkan dari larutan akan terperangkap pada struktur padat. Gas tersebut bernuklasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fase padat-cair.

2.8.2 Jenis - Jenis Porositas Pada Pengecoran Logam

Ada dua sumber utama dari porositas dalam logam cor. Pertama, porositas rongga (*cavity porosity*) adalah dalam kaitanya dengan penuangan yang tidak tepat. Kedua, porositas mikro (*microporosity*) adalah hasil dari solidifikasi dalam beberapa paduan.

➤ *Cavity Porosity* (Porositas rongga)

Porositas rongga diakibatkan oleh penuangan tidak tepat dan mungkin saja dihilangkan oleh desain riser yang tepat.

➤ *Microporosity* (Porositas Mikro)

Porositas mikro adalah suatu hasil yang tidak bisa dipisahkan dari sifat pembekuan dari struktur dendritik, dan mungkin saja menyajikan hal yang sama dengan desain riser yang sesuai.

Dua jenis karakteristik porositas mikro yang pertama porositas mikro yang disebarkan dengan seragam ke seluruh bagian, disebut dengan porositas mikro tersebar (*dispersed microporosity*). Di dalam jenis yang kedua yang disebarkan dalam lapisan-lapisan pertemuan bagian, disebut dengan porositas mikro lapisan (*layer microporosity*). Dikarenakan pori-pori ini dimulai dari lokasi interdendritik mungkin diharapkan menjadi sungguh kecil. Ukuran khas 5-10 μm untuk pori-pori di dalam butir *equiaxed*. Ukuran ini sangat kecil bahkan pori-pori kadang-kadang sulit untuk dideteksi.

2.8.3 Perhitungan Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* (Taylor, 1999), yaitu:

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \quad (2-6)$$

dengan:

$\%P$ = Prosentase porositas [%].

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* [g/cm^3].

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* [g/cm^3].

2.9 Densitas

Densitas (simbol: ρ – Greek: rho) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volume totalnya (ASTM Standar B311).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-7)$$

dengan :

ρ = kepadatan sebuah benda [g/cm^3].

m = massa total benda [g].

V = volum benda [cm^3].

2.9.1 Macam - macam Densitas

Di dalam pengukuran prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran digunakan perbandingan dua buah densitas yaitu *True density* dan *Apparent Density*.

➤ *True Density*

Kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya.

Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya (g/cm^3).

persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\{(\%Al/\rho_{Al})+(\%Cu/\rho_{Cu})+(\%Fe/\rho_{Fe})+etc.\}} \quad (2-8)$$

dengan:

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* [g/cm^3].

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur [g/cm^3].

%Al, %Cu, etc = Prosentase berat unsur [%].

➤ *Apparent Density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (*void*) yang terdapat dalam material yang di uji (g/cm^3). Standar ASTM B311-93 sebagai berikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-9)$$

dengan:

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* [g/cm^3].

ρ_w = Densitas air [g/cm^3].

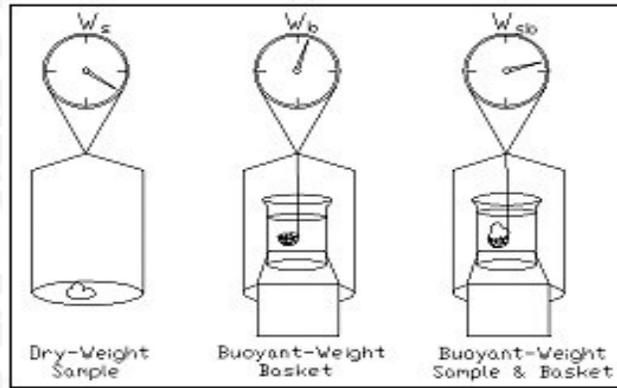
W_s = Berat sampel di luar air [g].

W_b = Berat keranjang di dalam air [g].

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air [g].

2.9.2 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.15



Gambar 2.14 Skema Piknometri

Sumber: Taylor, 1999

Tiga pengukuran berat yang dibuat adalah W_s = pengukuran berat kering (*dry weight*), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar 2.14, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

2.10 Efisiensi Pengecoran

2.10.1 Pengertian Efisiensi Pengecoran

Dalam proses pengecoran, segala macam bentuk kesalahan dan cacat sangatlah dihindari karena akan mengurangi kualitas benda coran dan menurunkan efisiensi pengecoran. Disini efisiensi pengecoran yang dimaksud yaitu membandingkan berat akhir dengan berat awal dalam bentuk persentase. Disini yang dimaksud berat awal yaitu berat bahan (Aluminium dan tembaga) yang akan dilebur pada setiap variasi sedangkan berat akhir yang dimaksud adalah berat produk yang dihasilkan, pada cetakan pasir berat produk harus di *finishing* sedangkan pada cetakan permanen tidak perlu *finishing*. Salah satu penyebab menurunnya efisiensi pengecoran yaitu logam cair terlalu banyak menghasilkan terak yang disebabkan oleh paduan logam cair yang kurang homogen atau proses difusi yang belum merata. Efisiensi pengecoran yang rendah pada benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Dalam hal ini dengan perbedaan dimensi *scrap* Cu diharapkan akan mempunyai efisiensi pengecoran yang berbeda juga.

2.10.2 Perhitungan Efisiensi Pengecoran

Perhitungan Efisiensi Pengecoran yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan berat akhir dengan berat awal, yaitu:

$$\eta = \frac{\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \quad (2-10)$$

Dengan :

η = efisiensi pengecoran [%].

Berat akhir = berat produk tanpa terak [g].

Berat awal = berat bahan baku yaitu ingot aluminium dan *scrap* Cu [g].

2.11 Hipotesis

Semakin kecil dimensi *scrap* Cu maka difusi paduan Al-Cu semakin merata dan homogenitas paduannya meningkat. Hal tersebut mengakibatkan porositas rendah dan logam duralumin tidak mudah terdeformasi. Selain itu, semakin kecil dimensi *scrap* Cu menyebabkan efisiensi pengecoran semakin tinggi akibat semakin merata difusi paduan Al-Cu dan homogenitas paduannya meningkat.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dimensi *scrap* Cu terhadap porositas dan efisiensi pengecoran pada pengecoran Al-Cu. Dengan asumsi variabel yang lain konstan. Kajian literatur dari berbagai sumber baik dari buku, jurnal yang ada di perpustakaan maupun dari internet juga dilakukan untuk menambah informasi yang diperlukan.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium $\alpha\beta\gamma$, Landung Sari. Adapun waktu penelitian dimulai pada tanggal 1 April 2012 sampai 11 Juni 2012.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan sebelum penelitian. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah dimensi *scrap* Cu sebesar 5 mm; 7,5 mm; 10 mm; 12,5 mm; 15 mm.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya bergantung dari variabel bebas. Variabel terikatnya yaitu :

- Porositas.
- Efisiensi pengecoran.

3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan. Dalam hal ini yang menjadi variabel terkontrol adalah :

- Temperatur peleburan : 900°C
- Waktu peleburan : 4 jam
- Ingot Al : 1000 – 1100 g
- Scrap* Cu : 5 % dari massa Al

3.3 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

3.3.1 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tungku *Reverberatory* digunakan untuk meleburkan Al-Cu yang dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Tungku *Reverberatory*

2. Cetakan permanen digunakan untuk cetakan produk dan biasanya cetakan terbuat dari baja tahan temperatur tinggi yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Cetakan Permanen

3. Piknometri digunakan untuk uji porositas dan lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Piknometri

4. Kowi digunakan sebagai tempat ingot aluminium dan *scrap* tembaga yang akan dilebur dan dimasukkan ke dalam tungku *reverberatory* yang dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Kowi

5. Timbangan elektrik digunakan untuk menimbang bahan yang akan digunakan yaitu ingot aluminium (gambar 3.5.a) dan *scrap* Cu (gambar 3.5.b)



(a)



(b)

Gambar 3.5 Timbangan elektrik
(a) kapasitas sampai 10000gr
(b) kapasitas sampai 300 gr

6. *Infrared thermometer* digunakan untuk mengetahui temperatur logam cair dan temperature cetakan yang dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Infrared thermometer*

7. Pengaduk baja yang digunakan untuk mengaduk logam cair supaya aluminium dan tembaga mencair seluruhnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Pengaduk baja.

8. Penjepit baja digunakan untuk mengangkat kowi dari dalam tungku dan kemudian menuangkan logam cair ke dalam cetakan yang terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Penjepit baja

9. Sarung tangan digunakan untuk melindungi tangan dari panas lidah api maupun logam cair yang dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Sarung Tangan

3.3.2 Bahan yang digunakan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

1. *Ingot* Aluminium

Spesimen aluminium yang digunakan berbentuk *ingot* aluminium murni yang dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Ingot* Aluminium

2. *Scrap* Cu

Tembaga yang digunakan awalnya berbentuk pipa panjang kemudian dipotong sesuai dengan variasi yang digunakan yaitu dengan dimensi panjang 5mm; 7.5mm; 10mm; 12.5mm dan 15mm seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Scrap* Tembaga

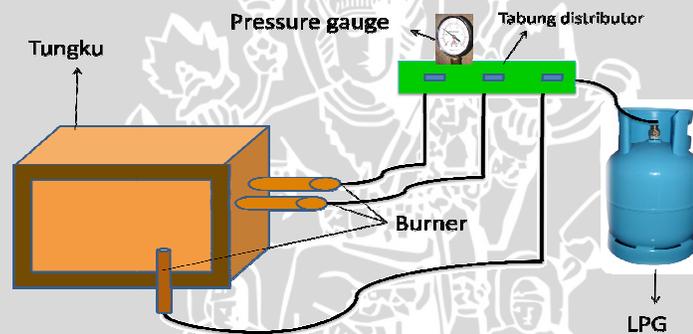
3.4 Cara Pengoperasian Tungku *Reverberatory*

Tungku *reverberatory* digunakan untuk meleburkan aluminium dan tembaga.

Cara pengoperasian tungku tersebut dapat dilihat pada instalasi gambar 3.12 yang pertama dengan memasang regulator pada tabung gas LPG kemudian regulator diputar sampai tekanan 0,7 atm yang ditunjukkan oleh *pressure gauge* yang terletak pada tabung distributor untuk diarahkan pada 3 buah *burner*. Setelah itu diberi nyala

api dengan menggunakan pematik api pada ujung *burner* sehingga ketiga *burner* tersebut menyala kemudian *burner* dimasukkan dalam tungku supaya ruang dalam tungku mendapatkan panas yang merata. Panas diberikan secara perlahan-lahan sebanyak 3-5 kali dengan cara memutar regulator setiap 10 menit untuk menambahkan tekanan. Panas diberikan secara perlahan – lahan untuk menghindari distorsi karena jika langsung diberi panas yang tinggi maka hanya permukaan tungku saja yang panas sehingga akan terjadi perubahan bentuk akibat pemuaian. Selama pengoperasian tungku ini tabung gas LPG disiram dengan air panas agar gas di dalam LPG mengembang sehingga tekanannya akan meningkat.

Tungku ini menggunakan bahan bakar LPG karena sistem *burnernya* sangat sederhana dan hampir bebas perawatan. Selain itu, gas dialirkan melalui tabung distribusi sehingga cocok untuk wilayah yang berpenduduk tinggi atau padat industri.



Gambar 3.12 Instalasi tungku *reverberatory*

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Prosedur Percobaan

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam percobaan adalah:

1. Persiapan percobaan yaitu menyiapkan tungku peleburan, menyiapkan alat dan menimbang bahan yang dibutuhkan, kemudian menyiapkan cetakan.
2. Meleburkan material sampai temperatur 900°C dalam tungku *reverberatory* dengan variasi dimensi *scrap* Cu yaitu 5mm; 7,5mm; 10mm; 12,5mm; 15mm kemudian dituangkan pada cetakan.
 - Penuangan pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 5mm.

- Penuangan kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 7,5mm.
 - Penuangan ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 10mm.
 - Penuangan keempat dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 12,5mm.
 - Penuangan kelima dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan dimensi *scrap* Cu 15mm.
3. Keluarkan dan diamkan hasil coran dari cetakan sampai dingin kemudian dilakukan pengambilan data.

3.5.2 Prosedur pengambilan dan pengolahan data

Dari hasil pengecoran, dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai porositas dan efisiensi pengecoran. Langkah-langkah yang diambil sebagai berikut :

1. Mengambil spesimen hasil coran dengan dimensi *scrap* Cu 5mm.
2. Melakukan proses penimbangan berat meliputi:
 - Berat akhir spesimen
 - Berat terak
3. Mengambil data dan menganalisa efisiensi pengecoran.
4. Melakukan pengulangan langkah 1 sampai 3 pada spesimen hasil coran dengan dimensi *scrap* lainnya yaitu 7,5mm; 10mm; 12,5mm dan 15mm.
5. Melakukan proses pengujian porositas menggunakan peralatan piknometri pada semua spesimen.
6. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut.
7. Kesimpulan.

3.6 Sumber data

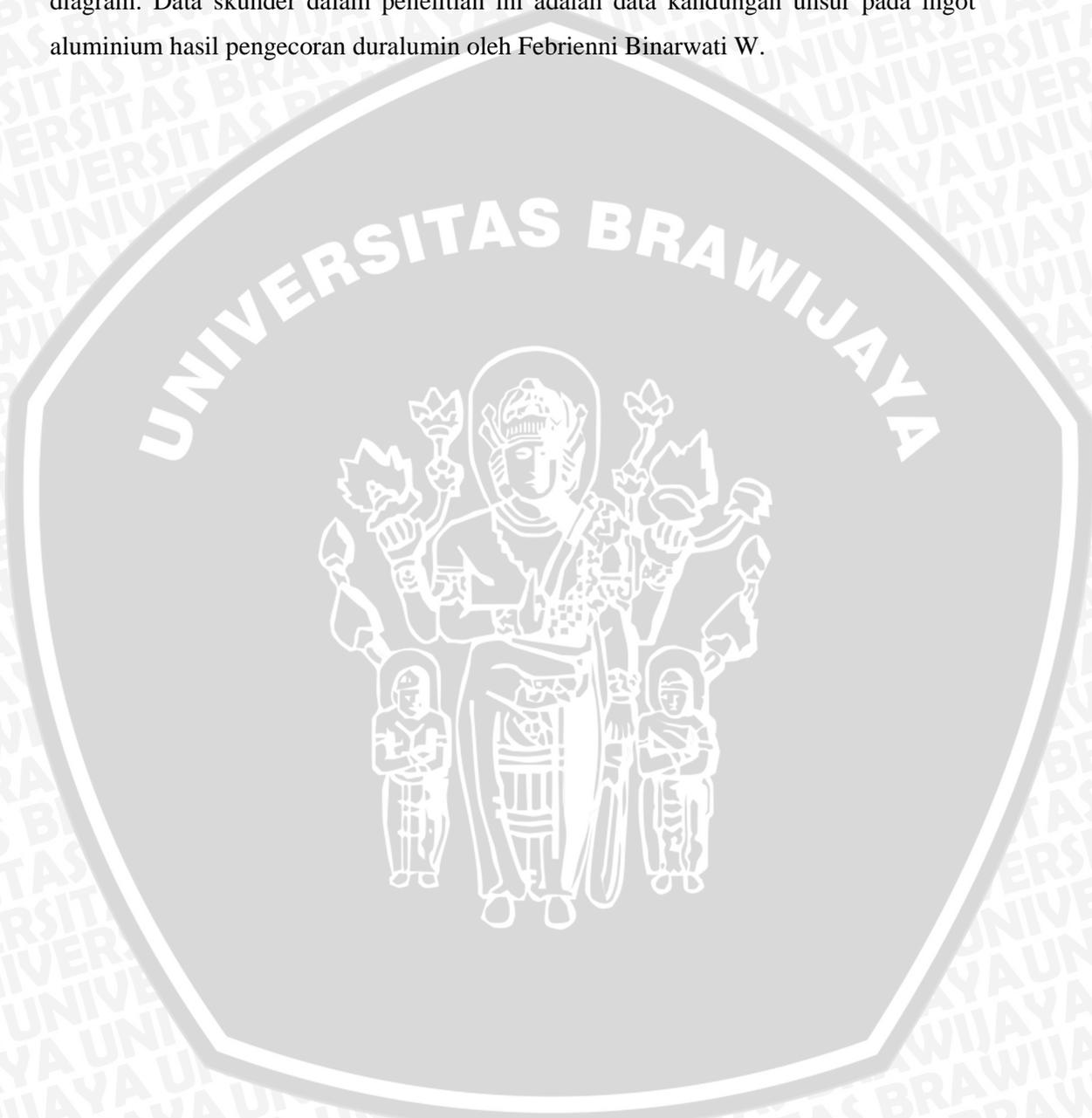
Sumber data penelitian terdiri atas sumber data primer dan data sekunder.

3.6.1 Data primer

Data primer merupakan sumber data yang diperoleh langsung dari sumber asli. Data primer dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian. Metode yang digunakan untuk mendapatkan data primer yaitu metode penelitian eksperimental nyata.

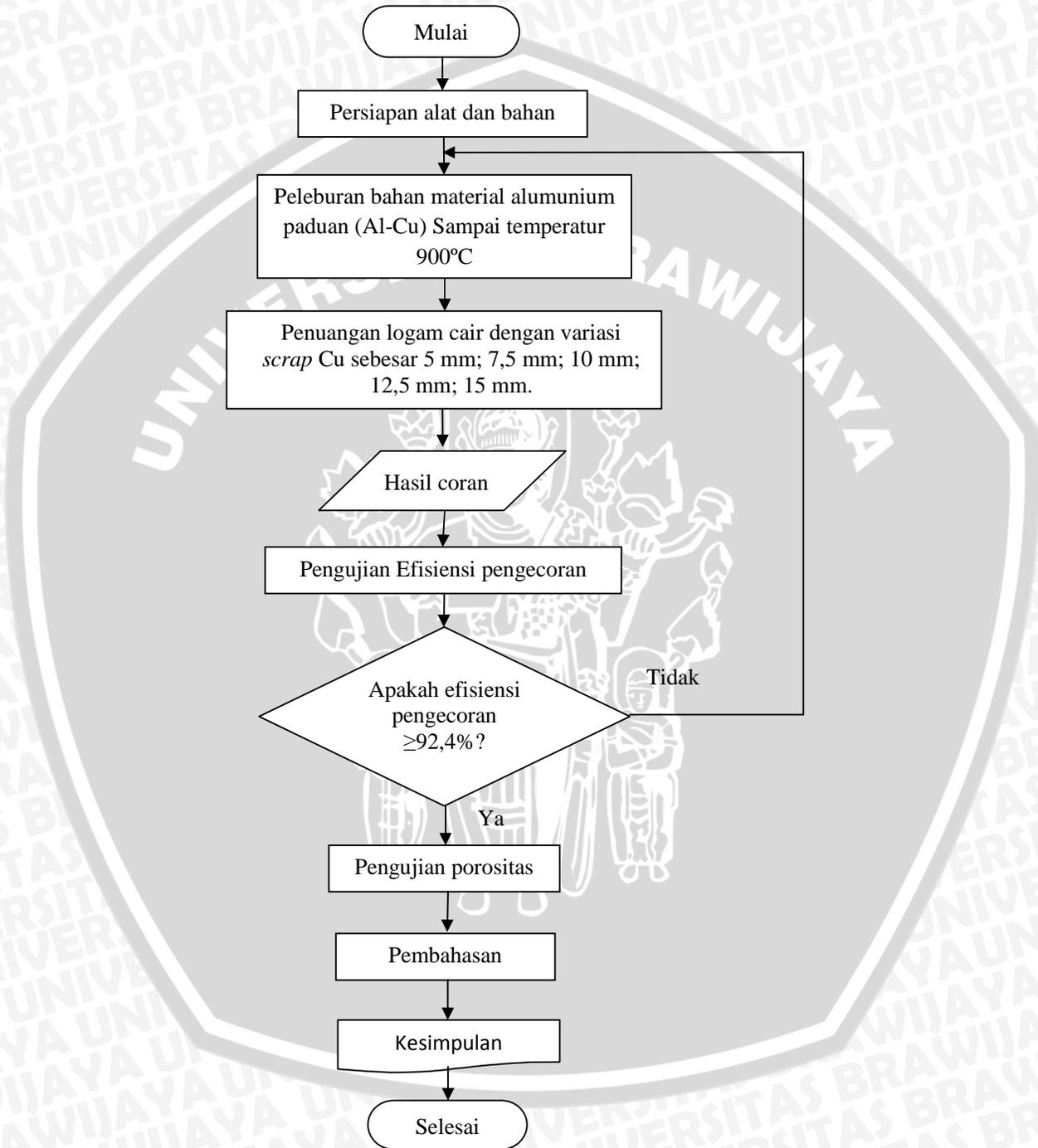
3.6.2 Data skunder

Data sekunder adalah data primer yang diperoleh oleh pihak lain atau data primer yang telah diolah lebih lanjut dan disajikan baik oleh pengumpul data primer atau oleh pihak lain yang pada umumnya disajikan dalam bentuk table-tabel atau diagram-diagram. Data skunder dalam penelitian ini adalah data kandungan unsur pada ingot aluminium hasil pengecoran duralumin oleh Febrienni Binarwati W.



3.7 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah rancangan diagram alir penelitian seperti yang ditunjukkan Gambar 3.14



Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian

BAB IV
HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1 Data dan Perhitungan Persentase Porositas

4.1.1.1 Perhitungan True Density

Perhitungan *true density* menggunakan standar ASTM E252-84 rumus (2-8) di bawah ini :

$$\rho_{th} = \frac{100}{\{(\%Al/\rho_{Al})+(\%Cu/\rho_{Cu})+(\%Fe/\rho_{Fe})+etc.\}}$$

dengan :

- ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* [g/cm³].
- $\rho_{Ab}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur [g/cm³].
- $\%Al, \%Cu, \%Fe, etc$ = Persentase berat unsur [%].

- dengan tahapan :
- a. Data densitas unsur diperoleh dari tabel unsur.
 - b. Data persentase berat unsur diperoleh dari hasil uji komposisi menggunakan *Optical Emission Spectrometer*.

Tabel 4.1 Densitas unsur [g/cm³]

	Unsur											
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ni	Ti	Pb	Sn
Densitas	2.7	2.33	7.87	8.89	7.3	1.81	7.14	7.15	8.9	4.51	11.33	7.29

Data hasil dihitung menggunakan rumus (2-8) :

$$\begin{aligned} \rho_{th} &= \frac{100}{\{(\%Al/\rho_{Al}) + (\%Cu/\rho_{Cu}) + (\%Fe/\rho_{Fe}) + etc.\}} \\ &= \frac{100}{\text{Total A}} \\ &= \frac{100}{35.5159} \\ &= 2.815 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

4.1.1.2 Perhitungan Apparent Density

Data hasil penimbangan menggunakan metode piknometri dan standar ASTM B311-93 dihitung menggunakan rumus (2-9) dibawah ini :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)}$$

Dengan :

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* [g/cm³].

ρ_w = Densitas air [g/cm³].

W_s = Berat sampel di luar air [g].

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air [g].

W_b = Berat keranjang di dalam air [g].

Tabel 4.2 Data penimbangan sampel dan keranjang [g]

Dimensi Scrap Cu [mm]	Pengulangan	W_s	W_b	W_{sb}
5	1	102.78	14.13	80.26
	2	102.78	14.13	79.13
	3	102.77	14.13	80.33
	Rata-rata	102.77	14.13	80.08
7.5	1	102.68	14.13	80.21
	2	102.67	14.13	80.19
	3	102.68	14.13	79.69
	Rata-rata	102.67	14.13	80.03
10	1	101.43	14.13	79.46
	2	101.44	14.13	79.31
	3	101.43	14.13	78.82
	Rata-rata	101.43	14.13	79.17
12.5	1	102.31	14.13	79.55
	2	102.34	14.13	79.27
	3	102.32	14.13	79.42
	Rata-rata	102.32	14.13	79.41
15	1	103.61	14.13	80.18
	2	103.60	14.13	80.21
	3	103.61	14.13	80.19
	Rata-rata	103.60	14.13	80.76

Sehingga diperoleh perhitungan *apparent density* sebagai berikut :

Table 4.3 Data *apparent density* [g/cm³]

Pengulangan	Dimensi Scrap Cu [mm]				
	5	7.5	10	12.5	15
1	2.795	2.796	2.800	2.764	2.749
2	2.711	2.795	2.788	2.742	2.752
3	2.801	2.757	2.751	2.754	2.750
Rata-rata	2.769	2.782	2.779	2.753	2.750

Perhitungan densitas sample menggunakan data pengulangan pertama dengan dimensi scrap Cu 5mm, menggunakan rumus (2-9) :

$$\begin{aligned} \rho_s &= \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \\ &= 0.9968 \text{ g/cm}^3 \frac{102.78}{102.78 - (80.26 - 14.13)} \\ &= 2.795 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

4.1.1.3 Persentase Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau *apparent density* dengan densitas teoritis atau *true density* dengan menggunakan rumus (2-6) sebagaimana berikut ini :

$$\% P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\%$$

dengan :

$\% P$ = Persentase porositas [%].

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* [g/cm^3].

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* [g/cm^3].

Tabel 4.4 Data persentase porositas [%].

Pengulangan	Dimensi Scrap Cu [mm]				
	5	7.5	10	12.5	15
1	0.7	0.5	1	1.6	3.1
2	0.9	0.6	0.8	2.4	3.0
3	0.4	1.9	2.1	2.0	3.1
Rata-rata	0.6	1.0	1.3	2.0	3.0

Perhitungan persentase porositas menggunakan data pengulangan pertama dengan dimensi *scrap* Cu 5mm, menggunakan rumus (2-6) :

$$\begin{aligned} \% P &= \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{2.795}{2.815}\right) \times 100\% \\ &= 0.7 \% \end{aligned}$$

4.1.2 Data dan Perhitungan Efisiensi Pengecoran

Perhitungan efisiensi pengecoran menggunakan rumus (2-10) sebagaimana berikut ini :

$$\eta = \frac{\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

dengan :

η = efisiensi pengecoran [%].

Berat akhir = berat produk tanpa terak [g].

Berat awal = berat bahan baku yaitu ingot aluminium dan *scrap* Cu [g].

Tabel 4.5 Data efisiensi pengecoran (%)

Variasi scrap Cu [mm]	Berat awal [g]	Berat akhir [g]	Efisiensi pengecoran(η) [%]	Berat terak [g]
5	1081.5	1024	94.6	55.52
7.5	1068.9	1004	93.9	62.81
10	1125.6	1055	93.7	68.14
12.5	1165.6	1080	92.6	85.87
15	1114.05	1030	92.4	90.76

Contoh perhitungan menggunakan data pertama dengan dimensi *scrap* Cu 5mm :

$$\eta = \frac{\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1024}{1081.5} \times 100\%$$

$$\eta = 94.6 \%$$

4.2 Pembahasan

4.2.1 Pembahasan Grafik Persentase Porositas

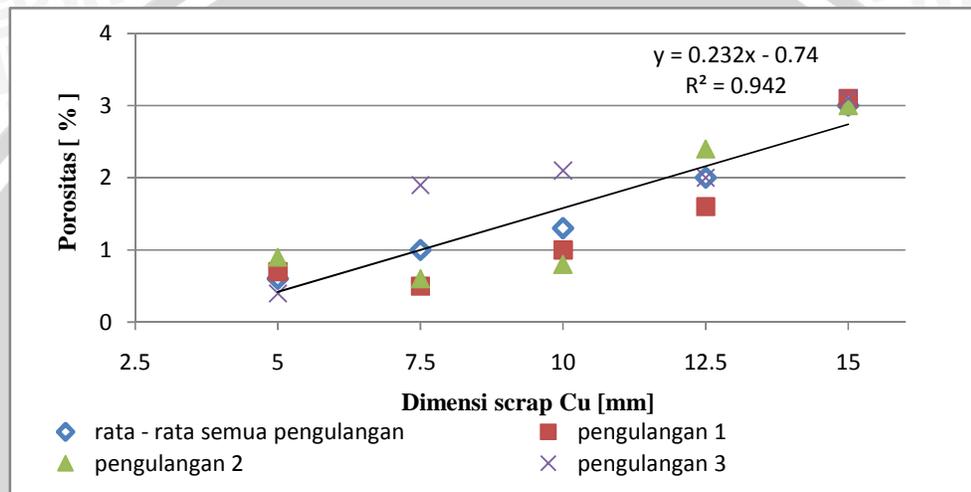
Dari data perhitungan yang nilai porositas ingot duralumin sangatlah kecil perbedaannya dengan jumlah variasi *scrap* Cu yang berbeda – beda. Hal ini dapat terjadi karena dalam perencanaan penelitian ini terdapat faktor-faktor yang tidak dapat dikontrol yang berpengaruh besar terhadap terjadinya porositas. Faktor-faktor yang tidak dapat terkontrol pada penelitian ini misalnya: kecepatan penuangan, temperatur penuangan.

Kecepatan penuangan menentukan besarnya kecepatan alir logam cair, sehingga akan mempengaruhi turbulensi pada rongga cetak. Semakin besar turbulensi yang terjadi maka akan semakin besar pula porositas yang ada pada produk hasil coran. Hal ini terjadi karena akan mempermudah terjebaknya gas-gas yang ada pada saat proses penuangan logam cair. Pada saat proses penelitian ini berlangsung, untuk mengontrol kecepatan tuang sangatlah sulit, meskipun dilakukan upaya penghitungan waktu tuang tetap tidak bisa menjaga kecepatan tuang yang sama antar satu coran dengan yang lain.

Temperatur peleburan logam telah ditentukan sebesar 900 °C. Namun untuk menjaga temperatur penuangan sangatlah sulit karena pada saat penuangan logam, kowi harus dikeluarkan terlebih dahulu dari dapur *reverberatory* baru kemudian dituang ke cetakan logam. Temperatur penuangan dapat mempengaruhi fluiditas dari logam cair. Fluiditas logam cair menentukan aliran yang terjadi saat melewati sistem saluran.

Selain itu porositas terjadi karena dalam coran Aluminium, hidrogen adalah gas satu-satunya yang larut dalam jumlah signifikan, yang dapat mengakibatkan porositas gas hidrogen. Hidrogen secara normal terbentuk oleh reaksi logam dengan kelembaban.

Dari hasil pengujian piknometri maka didapatkan nilai persentase porositas produk ingot hasil pengecoran setelah *finishing*. Untuk mempermudah menganalisa maka data hasil pengujian porositas tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara jumlah *dimensi scrap* Cu terhadap rata-rata persentase porositas.



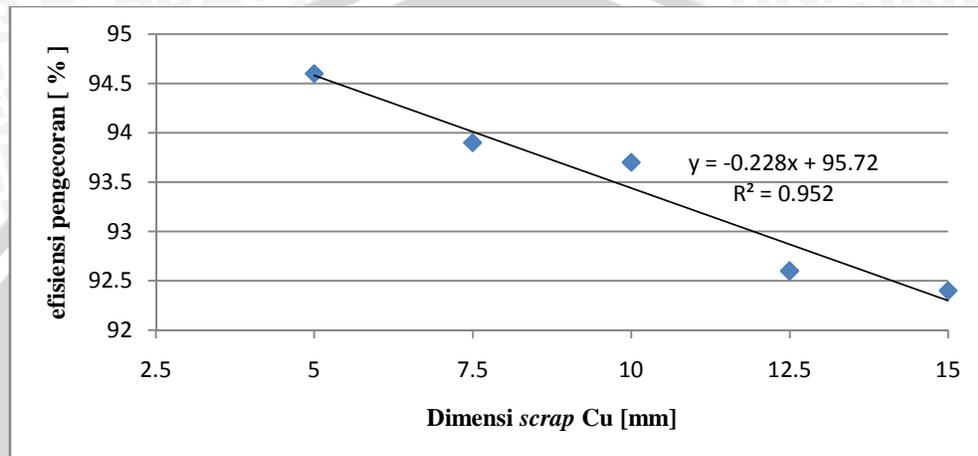
Gambar 4.1 Grafik dimensi scrap versus persentase porositas duralumin

Dari grafik dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh dimensi *scrap* Cu terhadap porositas spesimen pada berbagai variasi. Grafik tersebut menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan dengan semakin kecil dimensi *scrap* Cu pada pengecoran aluminium paduan Al – Cu akan menurunkan porositas coran yang terjadi. Pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm didapatkan bahwa spesimen memiliki persentase porositas tinggi mencapai 3.1% dan memiliki porositas rata – rata sebesar 3.0%. kemudian terus mengalami penurunan persentase porositas hingga mencapai 0.4% dan memiliki porositas rata – rata sebesar 0.6% pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm.

Peningkatan tersebut terjadi karena kandungan gas, khususnya gas hidrogen yang mudah terlarut pada aluminium dalam kondisi cair (*melting*), dapat dipahami karena kelarutan hidrogen dalam tembaga lebih tinggi dibanding aluminium disamping itu penambahan dimensi *scrap* Cu menurunkan homogenitas dan densitas massa sehingga hidrogen terlarut meningkat. Sehingga porositas yang terjadi pada spesimen tampak pada grafik gambar 4.1 mengalami penurunan seiring dengan penurunan dimensi *scrap* Cu pada aluminium paduan Al – Cu.

4.2.2 Pembahasan grafik Efisiensi Pengecoran

Selain dari pembahasan hasil perhitungan data – data yang telah diperoleh dari pengujian piknometri untuk memperbaiki kualitas produk dengan cara mengetahui karakteristik hasil pengecoran, dilakukan pula pengujian efisiensi pengecoran untuk mendapatkan kualitas benda coran yang baik. Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara dimensi *scrap* Cu terhadap Efisiensi Pengecoran.



Gambar 4.2 Grafik dimensi *scrap* Cu versus Efisiensi Pengecoran

Dari grafik didapatkan bahwa semakin besar dimensi *scrap* Cu terak yang dihasilkan juga semakin banyak. Pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm didapatkan memiliki Efisiensi Pengecoran yaitu 92.4% dengan berat terak 90.76 g kemudian terus mengalami peningkatan Efisiensi Pengecoran hingga mencapai 94.6% dengan berat terak 55.2 g terjadi pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm.

Penurunan tersebut terjadi karena semakin kecil dimensi *scrap* Cu maka paduan aluminium Al-Cu akan menghasilkan homogenitas yang semakin tinggi yang menyebabkan efisiensi pengecoran semakin tinggi. Sehingga efisiensi pengecoran yang terjadi tampak pada grafik 4.2 mengalami penurunan seiring dengan penurunan dimensi *scrap* Cu pada paduan aluminium Al-Cu.

Dari grafik pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 maka dapat diketahui titik optimumnya atau dapat dikatakan bahwa suatu produk tersebut memiliki porositas dan efisiensi pengecoran yang tinggi yaitu dimana didapatkan porositas dan efisiensi pengecoran yang tinggi pula. Titik optimum tersebut didapatkan dengan cara mencari titik potong dari dua persamaan yang terdapat pada grafik (gambar 4.1 dan gambar 4.2). Berikut contoh perhitungan untuk mencari nilai atau titik optimum:

Eliminasi persamaan pada gambar 4.1 dan gambar 4.2

$$y = 0.232x - 0.74$$

$$y = -0.238x + 95.72$$

$$0 = 0.46x + 96.46$$

$$x = \frac{96.46}{0.46}$$

$$x = 209.7$$

$$y = 0.232x - 0.74$$

$$y = 0.232(209.7) - 0.74$$

$$y = 47.9$$

Berdasarkan metode *superimpose* (menggabungkan dua grafik) didapatkan bahwa nilai atau titik optimum pada kondisi *real* (nyata) terdapat pada dimensi *scrap* Cu 10 mm.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada temperatur dan waktu peleburan yang sama, Persentase porositas dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm sebesar 0.6 % mengalami peningkatan hingga mencapai 3.0 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm. Hal ini dikarenakan semakin besar dimensi *scrap* Cu akan memungkinkan terjadi difusi paduan Al-Cu yang tidak merata yang menyebabkan Homogenitasnya menurun.

Dan berdasarkan uji efisiensi pengecoran semakin kecil dimensi *scrap* Cu maka nilai efisiensi pengecoran akan semakin tinggi yaitu sebesar 94.6 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm dan mengalami penurunan hingga mencapai 92.4 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm. Hal ini disebabkan karena semakin kecil dimensi *scrap* Cu maka akan lebih memungkinkan terjadi difusi yang merata dan homogenitas paduan Al-Cu yang tinggi.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang variabel yang tidak terkontrol dalam penelitian ini, misalnya kecepatan penuangan, temperatur penuangan, khususnya pada pengecoran produk ingot duralumin.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan dimensi *scrap* Cu yang lebih kecil dari 5 mm, misalnya 1mm, 2mm, 3mm, dan 4mm untuk lebih memperbaiki pencegahan timbulnya porositas coran dan lebih meningkatkan efisiensi pengecorannya juga.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Standar E252-84. 1999. *Standard Test Method for Thickness of Thin Foil and Film by Weighing*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA.
- ASTM Standar B 311 - 93. 2002. *Test Method for Density Determination for Powder Metallurgy (P/M) Materials Containing Less Than Two Percent Porosity*. Philadelphia, PA: American Society for Testing Materials.
- Atmaja. 2011. *Analisis Sifat Mekanik Penambahan Unsur Cu Pada Coran Aluminium*. Sumatra Utara.
- Bisnis.com, “perkembangan sepeda motor di Indonesia”, 2012.
- Budinski, G, Kenneth. 1996. *Engineering Material Properties and Selection*. New Jersey: Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs.
- Callister. Jr. William.D., 1985, *Material Science and Engineering, Fourt Edition*, Singapore : John Wiley and Sons Inc.
- De Garmo, E. P. 1997. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley and Sons, Inc.
- Firdaus. 2002. *Analisis Parameter Proses Pengecoran Squeeze terhadap cacat Porositas Produk Flens Motor Sungai*. Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Gantara, Arya. 2011. “*Pengaruh Diameter Bawah Sprue pada Pengecoran Produk Pulley Terhadap Distribusi Kekerasan dan Porositas Hasil Coran*”. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang Jurusan Mesin FT Unibraw, 2011.
- Goldman, J.E. 1960. *The Science Of Engineering Materials*. John Wiley & Sons, Inc.
- Heine, Richard W. 1990. *Principle of Metal Casting*. New Delhi: Publishing Company.
<http://id.wikipedia.org/besi>
- Kalpakistan, Serope. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. USA: Addison Wesley Publishing Company.
- Lawrance. 1960. *Elements of materials science USA*. Addison Wesley Publshing Company, Inc.
- Mikell P. Groover. 2010 *Fundamental Modern of Manufacturing*.
- Noorsy. 2007, *impor Aluminium akan melonjak*, Sinar Harapan, 5542.
- Smith, F. William. 1995. *Material Science and engineering*. (second edition) . New York: McGraw-Hill inc.
- Sudjana, Hardi. 2008. *Teknik Pengecoran Logam Jilid 2*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Surdia, T. & Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, Tata. & Chijiwa Kenji. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Tanjoong, Abraham. 2012. *Pengaruh Jumlah Saluran Masuk Pada Pengecoran Wheel Hub Terhadap Porositas Dan Cacat Penyusutan Produk*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Malang Jurusan Mesin FT Unibraw, 2012.

Taylor, R. P., McClain, S. T. & Berry, J.T., *Uncertainty Analysis of Metal Casting Porosity Measurement Using Archimedes Principle*. International Journal of Cast Metals Research, 1999, Vol. 11, 247-257.

Wahyono Suprpto, Bambang Suharno, Johny Wahyuadi Sudarsono, Dedi Priadi, 2010, *Uji Penentuan Kuantitas Porositas Casting Product Duralumin Dengan Rule Of Mixture Dan Proses Hot Isostatic Pressing*, Prosiding at SENAMM IV, 14-15 July 2010, University of Sultan Ageng Tirtayasa.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN 1

HASIL UJI KOMPOSISI PADUAN Al-Cu



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 1 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : A
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
A 15 mm 5,29 + 23,52	0.405	0.442	5.29	0.043	0.159	0.108
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.007	<0.005**	0.011	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan :
 * ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
 ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

6.482

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material

(Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 2 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : B
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
B = 7,5 5 AS + 95,13	0.408	0.443	5.55	0.062	0.214	0.103
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.006	<0.005**	0.009	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan :
 * ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
 ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

6.812

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 3 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : C
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel Sample Code	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
C = 5 mm 5.89492.36	0.434	0.436	5.79	0.036	0.205	0.103
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.005	<0.005**	0.010	0.002	<0.010**	Bal.

catatan :
 * ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
 ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 4 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : D
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Si <i>(%)</i>	Fe <i>(%)</i>	Cu <i>(%)</i>	Mn <i>(%)</i>	Mg <i>(%)</i>	Zn <i>(%)</i>
D - 13.5 5.145 ± 0.3.29	0.416	0.429	5.45	0.038	0.240	0.107
	Cr <i>(%)</i>	Ni <i>(%)</i>	Ti <i>(%)</i>	Pb <i>(%)</i>	Sn <i>(%)</i>	Al <i>(%)</i>
	0.007	<0.005**	0.010	<0.002**	<0.010**	Bal.

catatan :

- * ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
- ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM



FAKULTAS TEKNIK – UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL

KAMPUS BARU UI - DEPOK 16424 - INDONESIA
 Telp: 021 – 7863510, 78849045 Fax : 021 – 78888111 E-mail : lum@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Page 5 of 5

No Laporan <i>Report Nr</i>	0436	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Febrienni Binarwati W	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Code : E
Alamat <i>Address</i>	Universitas Brawijaya	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	13 April 2012
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0436/PT.02/FT04/P/2012	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	18 April 2012	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer*

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
E = 10 mm 5.46 + 93.24	0.446	0.459	5.46	0.034	0.235	0.090
	Cr (%)	Ni (%)	Ti (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.006	<0.005**	0.009	0.003	<0.010**	Bal.

catatan :

- * ketidakpastian bentangan dengan tingkat kepercayaan 95% dengan factor cakupan K=2
- ** (<) menunjukkan nilai berada di bawah *quantification limit* dari alat uji

6.759

Depok, 19 April 2012
 Manajer Teknis
 Laboratorium Uji
 Departemen Teknik Metalurgi Dan Material


 (Ahmad Ashari, ST)

FF-25/ LU-DTMM Rev 2

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sample yang diuji di Laboratorium Uji-DTMM; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji-DTMM

LAMPIRAN 2

HASIL UJI KOMPOSISI PADUAN ALUMINIUM



CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
 DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA

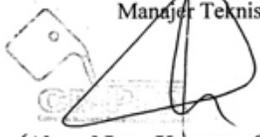
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
 Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 787 2350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id

LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT

Hal 1 dari 2

No Laporan <i>Report Nr</i>	0317	Bahan <i>Material</i>	Aluminium
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Bpk. Wahyono Suprpto	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	Al-a
Alamat <i>Address</i>	Dept. Metalurgi & Material	Tanggal Terima <i>Receiving Date</i>	27 Maret 2009
No Kontrak <i>Contract Nr.</i>	0317/PT.02/FT04/P/2009	Standar <i>Standard</i>	ASTM A751
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	30 Maret 2009	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)
Al-a	0.28	<0.001	0.006	0.108	0.008	< 0.005
	Ti (%)	Cr (%)	Ni (%)	Pb (%)	Sn (%)	Al (%)
	0.001	0.029	0.023	< 0.002	< 0.01	99.5

Depok, 1 April 2009
LABORATORIUM UJI MATERIAL
 Manajer Teknis,

 (Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji Material ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji Material

LAMPIRAN 3

HASIL UJI KOMPOSISI PADUAN TEMBAGA



**CENTER FOR MATERIALS PROCESSING AND FAILURE ANALYSIS
DEPARTEMEN TEKNIK METALURGI & MATERIAL-UNIVERSITAS INDONESIA
LABORATORIUM UJI MATERIAL**

Kampus Baru UI - Depok 16424 - Indonesia
Phone : 021 - 788 49045, 786 3510 Fax : 021 - 787 2350 E-mail : cmpfa@metal.ui.ac.id

**LAPORAN PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA
COMPOSITION TEST REPORT**

Hal 1 dari 1

No Laporan	0317	Bahan	Cu Based
<i>Report Nr</i>		<i>Material</i>	
Pemakai Jasa	Bpk. Wahyono Suprpto	Identitas Bahan	A
<i>Customer</i>		<i>Material Identity</i>	
Alamat	Dept. Metalurgi & Material	Tanggal Terima	27 Maret 2009
<i>Address</i>		<i>Receiving Date</i>	
No Kontrak	0317/PT.02/FT04/P/2009	Standar	ASTM B846
<i>Contract Nr.</i>		<i>Standard</i>	
Tanggal Uji	25 Maret 2009	Mesin Uji	Optical Emission Spectrometer
<i>Date of Test</i>		<i>Testing machine</i>	

Kode Sampel <i>Sample Code</i>	Cu (%)	Ni (%)	Pb (%)	Sn (%)	P (%)	Mn (%)	Fe (%)
A	98.5	0.100	<0.005	<0.005	0.011	0.003	0.358
	Zn (%)	Co (%)	Si (%)	Mg (%)	Cr (%)	Al (%)	Bi (%)
	0.280	0.042	0.245	0.001	0.002	<0.002	0.363

Depok, 03 April 2009
LABORATORIUM UJI MATERIAL
Manajer Teknis,

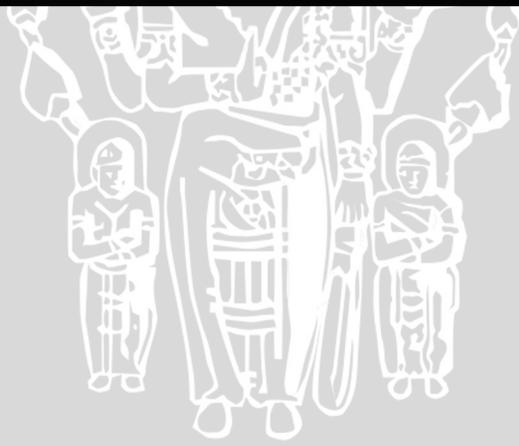


(Ahmad Ivan Karayan, ST, M.Eng)

Laporan hasil pengujian ini hanya berlaku untuk sampel yang diuji di Laboratorium Uji Material ; publikasi serta penggunaan dokumen ini atau sebagian dari padanya harus dengan izin dari Laboratorium Uji Material

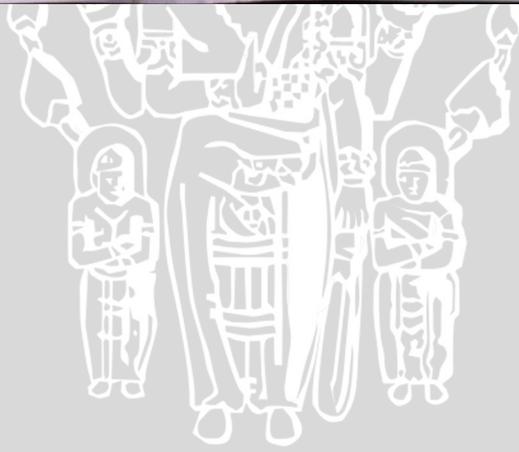
Lampiran 4

FOTO SPESIMEN HASIL CORAN



Lampiran 5

FOTO TERAK HASIL CORAN



Lampiran 6

FOTO KEGIATAN PENELITIAN



Proses peleburan logam



Proses pemanasan cetakan



Proses pengadukan logam cair



Proses penuangan logam cair



Proses pendinginan hasil coran



Pengaruh Dimensi *Scrap* Cu Terhadap Porositas dan Efisiensi Pengecoran Pada Ingot Hasil Coran Duralumin

Satriyo Wicaksono, Wahyono Suprpto, Femiana Gapsari
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. Mayjend Haryono No. 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: tyo_07_28@rocketmail.com

ABSTRAK

Aluminium paduan merupakan material yang banyak digunakan sebagai bahan baku dalam dunia otomotif. Salah satu unsur yang dipadukan adalah unsur tembaga (Cu) yang dapat meningkatkan sifat mekanik, sifat fisik, maupun sifat kimianya. Akan tetapi pada proses pengecoran tidak lepas dari permasalahan porositas yang dapat mengurangi kekuatan coran. Paduan Al-Cu sendiri sering disebut dengan duralumin. Objek dalam percobaan ini adalah peleburan ingot aluminium murni dan tembaga dalam kowi pada tungku reverberatory, selanjutnya duralumin melt dituang ke dalam cetakan permanen. Pada Penelitian ini dimensi *scrap* Cu yang digunakan yaitu 5mm, 7.5mm, 10mm, 12.5mm, 15mm. Selanjutnya *casting product* dibagi 2 kelompok, yaitu 1). Kelompok spesimen uji porositas *casting product* duralumin. Dalam percobaan, kuantitas porositas ditentukan dengan metode piknometri. 2). Kelompok uji efisiensi pengecoran. Efisiensi pengecoran yang dimaksud yaitu membandingkan berat akhir dengan berat awal dalam bentuk persentase. Dari hasil percobaan menyatakan bahwa pengujian porositas berdasarkan uji piknometri menunjukkan penurunan porositas. Persentase porositas dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm sebesar 3.0 % mengalami penurunan hingga mencapai 0.6 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm. Dan berdasarkan uji efisiensi pengecoran semakin kecil dimensi *scrap* Cu maka nilai efisiensi pengecoran akan semakin tinggi yaitu sebesar 94.6 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm dan mengalami penurunan hingga mencapai 92.4 % pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm.

Kata Kunci: duralumin, *scrap*, porositas, efisiensi pengecoran, piknometri

PENDAHULUAN

Penggunaan paduan aluminium terus meningkat dari tahun ke tahun. Hal ini terlihat dari urutan penggunaan logam paduan aluminium yang menempati urutan kedua setelah penggunaan logam besi atau baja, dan di urutan pertama untuk logam *nonferro* [1]. Sekarang ini kebutuhan aluminium di Indonesia per tahun mencapai 200.000 hingga 300.000 ton dengan harga US\$3.305 per ton [2]. Pemakaian aluminium pada industri otomotif terus meningkat sejak tahun 1980 [3]. Ini berkaitan dengan jumlah produksi dan perkembangan industri otomotif, khususnya sepeda motor di Indonesia yang sangat pesat, berdasarkan data yang dikeluarkan oleh

Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia produksi sepeda motor pada tahun 2011 hanya mendekati 9 juta unit, tahun 2012 sebanyak 10 juta unit, dan jumlah tersebut diprediksi terus meningkat hingga tahun 2015 yang menembus 16 juta unit [4].

Disini peranan teknologi semakin penting dan dominan, dimana kita dituntut untuk menguasai teknologi yang semakin hari semakin berkembang. Proses pengecoran logam merupakan salah satu cabang teknologi yang banyak digunakan karena dengan pengecoran dapat dihasilkan produk atau komponen-komponen yang rumit serta efisien untuk produksi massal. Salah satu

logam yang sering digunakan pada proses pengecoran logam adalah aluminium. Namun aluminium murni mempunyai sifat mampu cor dan sifat mekanis yang jelek oleh karena itu digunakan paduan aluminium karena sifat – sifat mekanisnya akan diperbaiki dengan menambahkan tembaga, silisium, magnesium, mangan, dan sebagainya [5]. Dalam proses penelitian ini aluminium dipadukan dengan tembaga. Paduan ini sering disebut dengan duralumin yang merupakan kombinasi dari logam aluminium yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, mampu mesin dengan tembaga yang mempunyai sifat penghantar listrik yang baik, keuletan yang tinggi dan juga sifat tahan korosi. Dalam dunia industri, duralumin dapat diaplikasikan pada produk seperti sproket pada sepeda motor, *landing gear* pada pesawat terbang, dan *casing* laptop pada industri elektronik. Untuk kepentingan penempaan, duralumin tidak boleh memiliki konsentrasi tembaga di atas 5,6% karena akan membentuk senyawa Al_2Cu dalam logam yang menjadikan logam rapuh [6]. Dalam proses pengecoran perlu terus diupayakan peningkatan hasil coran dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil coran. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas hasil coran adalah porositas dari logam cair itu sendiri. Dimana saat porositas suatu logam cair tersebut tinggi maka akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan,serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut.

Suatu pengecoran yang baik adalah pengecoran yang memiliki efisiensi pengecoran yang tinggi. Akan tetapi, terkadang pengecoran yang dilakukan memiliki efisiensi

pengecoran yang rendah. Salah satu yang bisa mempengaruhi efisiensi pengecoran suatu produk adalah komposisi paduan logam. Dari sinilah peneliti ingin mencoba memvariasikan dimensi *scrap* Cu hasil coran duralumin, karena dengan adanya pemberian dimensi *scrap* Cu yang berbeda akan memberikan efek pada logam cair yang dapat meningkatkan efisiensi pengecoran sehingga akan didapat kualitas produk yang diinginkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Sebelumnya

Dari proses penelitian oleh [7] menyatakan bahwa tembaga sebagai unsur paduan dalam duralumin berpengaruh pada kenaikan densitas massa hasil pengecoran. Secara eksplisit peningkatan kadar tembaga dalam paduan Al-Cu berpengaruh positif terhadap kenaikan densitas hasil pengecoran yang kenaikan persentase tembaga meningkatkan densitas massa dan porositas hasil pengecoran duralumin.

Pengecoran Logam

Proses pengecoran logam yaitu terdiri dari mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam sebuah cetakan, yang mana cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk rongga cetakan (*cavity*) sesuai bentuk logam yang di buat, kemudian dibiarkan dingin sehingga membeku. Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil coran.

Difusi

Difusi merupakan proses perpindahan atom-atom dalam struktur material

dari suatu posisi ke posisi lainnya. Pergerakan atom tersebut memerlukan energi dan energi tersebut berkaitan dengan temperatur padatan. Adanya variasi termal di dalam padatan akan menimbulkan energi. Energi ini tidak terdistribusi secara merata di antara atom-atom tunggal dalam kisi kristal tergantung dari energi termal yang dimilikinya. Adanya fluktuasi tingkat energi menyebabkan adanya atom-atom yang memiliki energi yang lebih rendah dan lebih tinggi. Atom yang memiliki tingkat energi yang lebih tinggi akan meninggalkan posisinya. Posisi yang ditinggalkan atom tersebut akan menimbulkan kekosongan (*vacancy*) pada kisi kristal yang dapat diisi oleh atom yang lain. Mekanisme pengisian tersebut merupakan penjelasan terhadap proses difusi. Pada temperatur tinggi, jumlah intertisi dan kekosongan meningkat sehingga laju difusi meningkat. Pada paduan Al-Cu ini terjadi proses difusi secara substitusi karena dimensi kedua atom tersebut hampir sama yaitu atom Al mempunyai jari-jari $1,428\text{\AA}$ dan atom tembaga mempunyai jari-jari $1,275\text{\AA}$.

Homogenitas

Homogenitas bertujuan untuk menghilangkan struktur *as cast* yang terjadi akibat proses pendinginan yang tidak sempurna saat pengecoran sehingga terjadi segregasi unsur-unsur pepadu pada batas butir dan pembentukan fasa-fasa eutektik yang dapat menurunkan ekstrudabilitas paduan.

Pada proses pembuatan logam paduan dengan metode *casting* (peleburan dan penuangan), antara unsur utama dan unsur tambahan mengalami pencampuran. Pencampuran akan sempurna atau terjadi homogenitas yang baik pada

produk tuang apabila unsur tambahan dapat terdistribusi secara merata sehingga semua unsur yang ada termasuk juga unsur pengotor memiliki ikatan intermetalik yang baik. Pencampuran unsur-unsur secara kimiawi dalam suatu komposisi paduan akan memberikan pengaruh tertentu terhadap perilaku fisis dan mekanis dari produk tuang seperti kekuatan, keuletan dan kekerasan.

Porositas

Porositas dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan [3]. Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Efisiensi pengecoran

Dalam proses pengecoran, segala macam bentuk kesalahan dan cacat sangatlah dihindari karena akan mengurangi kualitas benda coran dan menurunkan efisiensi pengecoran. Disini efisiensi pengecoran yang dimaksud yaitu membandingkan berat akhir dengan berat awal dalam bentuk persentase. Disini yang dimaksud berat awal yaitu berat bahan (Aluminium dan tembaga) yang akan dilebur pada setiap variasi sedangkan berat akhir yang dimaksud adalah berat produk yang dihasilkan. Salah satu penyebab menurunnya efisiensi pengecoran yaitu logam cair terlalu banyak menghasilkan terak yang

disebabkan oleh paduan logam cair yang kurang homogen atau proses difusi yang belum merata. Efisiensi pengecoran yang rendah pada benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Dalam hal ini dengan perbedaan dimensi *scrap* Cu diharapkan akan mempunyai efisiensi pengecoran yang berbeda juga.

METODE PENELITIAN
Rancangan Penelitian

Ingot aluminium murni (95% Al) dan tembaga murni (5% Cu) dilebur dalam tungku reverberatory. Setelah paduan Al-Cu yang disebut duralumin mulai melebur, duralumin melt pada tungku reverberatory diaduk 3 kali setiap 10 menit. Setelah duralumin melt tercampur homogen dituang kedalam cetakan permanen (gambar 1a). Selanjutnya hasil coran duralumin (gambar 1b) dikeluarkan dari cetakan dan dibiarkan dingin kemudian dilakukan pengambilan data.

Alat dan tempat penelitian

- tungku reverberatory untuk meleburkan paduan aluminium (Al-Cu), tungku ini menggunakan bahan bakar gas (LPG), kapasitas 5 Kg/jam untuk paduan aluminium, suhu maksimum 1300°C. Tempat percobaan laboratorium Material αβγ Landung sari – Malang.
- Piknometri digunakan untuk mengukur berat spesimen dalam air, alat ini dilengkapi dengan timbangan digital elektrik dan kerangka penimbangan, instrumen piknometri tersebut seperti dalam gambar 2a . Tempat pengukuran laboratorium Material αβγ Landung sari – Malang.
- Timbangan elektrik kapasitas 10 Kg digunakan untuk menimbang berat produk jadi dan berat terak untuk dibandingkan dengan berat awal bahan yang digunakan untuk mengetahui efisiensi pengecoran, timbangan tersebut seperti dalam gambar 2b Tempat pengukuran laboratorium Material αβγ Landung sari – Malang.



(a)



(b)

Gambar 1. a). Cetakan permanen, dan b). Hasil pengecoran duralumin



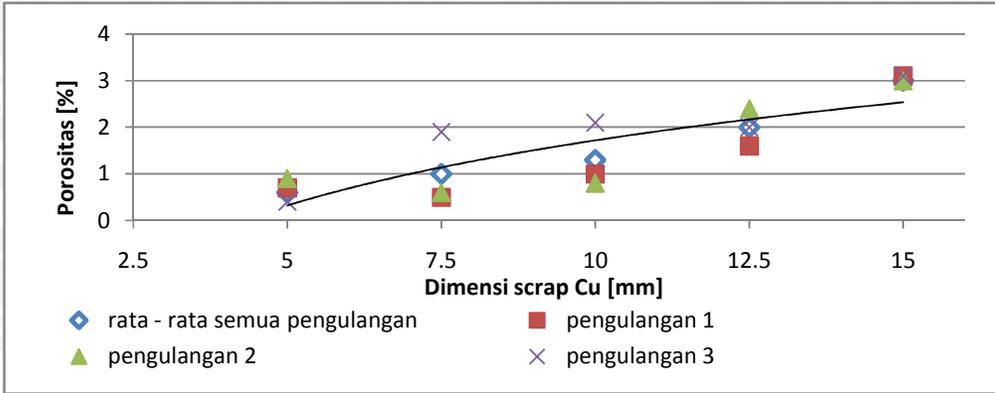
(a)



(b)

Gambar 2. a). Peralatan piknometri, dan b). Timbangan elektrik kapasitas 10 Kg

HASIL DAN PEMBAHASAN
Porositas Pegecoran

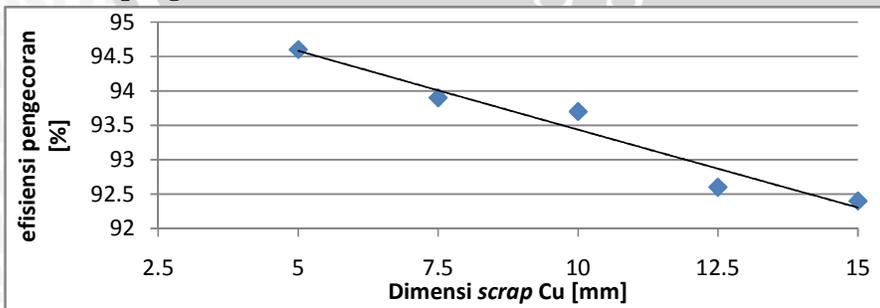


Gambar 3. Grafik dimensi scrap Cu versus persentase porositas duralumin

Penjelasan lebih lanjut dari gambar 3 adalah penambahan dimensi *scrap* Cu berakibat meningkatkan jumlah porositas dapat dipahami karena kelarutan hidrogen dalam tembaga lebih tinggi dibanding aluminium. disamping itu penambahan dimensi *scrap* Cu menurunkan homogenitas sehingga hidrogen terlarut meningkat. Pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm didapatkan bahwa spesimen memiliki persentase porositas rendah mencapai 0.4% dan memiliki porositas rata – rata sebesar 0.6%. kemudian terus mengalami peningkatan persentase porositas hingga mencapai 3.1% dan memiliki porositas rata – rata sebesar 3.0%

pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm. Peningkatan tersebut dimungkinkan terjadi karena kandungan gas, khususnya gas hidrogen yang mudah terlarut pada aluminium dalam kondisi cair (*melting*), dapat dipahami karena kelarutan hidrogen dalam tembaga lebih tinggi dibanding aluminium disamping itu penambahan dimensi *scrap* Cu menurunkan homogenitas dan densitas massa sehingga hidrogen terlarut meningkat. Sehingga porositas yang terjadi pada spesimen tampak pada grafik gambar 3 mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan dimensi scrap Cu pada aluminium paduan Al – Cu.

Efisiensi pengecoran



Gambar 4. Grafik dimensi scrap Cu versus efisiensi pengecoran pada pengecoran duralumin

Dari grafik didapatkan bahwa semakin besar dimensi *scrap* Cu terak yang dihasilkan juga semakin banyak terlihat pada gambar 4. pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 15 mm didapatkan bahwa memiliki efisiensi pengecoran paling rendah yaitu 92.4% dan memiliki berat terak 90.76 g kemudian terus mengalami peningkatan efisiensi pengecoran hingga mencapai 94.6% dan berat terak 55.2 g pada spesimen dengan dimensi *scrap* Cu 5 mm.

Peningkatan tersebut terjadi karena semakin kecil dimensi *scrap* Cu maka paduan aluminium Al-Cu akan menghasilkan homogenitas yang semakin tinggi dan menghasilkan terak yang sedikit yang menyebabkan efisiensi pengecoran semakin tinggi. Sehingga efisiensi pengecoran yang terjadi tampak pada gambar 4. mengalami penurunan seiring dengan penambahan dimensi *scrap* Cu pada paduan aluminium Al-Cu.

KESIMPULAN

- Nilai persentase porositas pada dimensi *scrap* Cu 5 mm, 7.5 mm, 10 mm, 12.5 mm, 15 mm, berturut-turut adalah sebesar 0.6%, 1.0%, 1.3%, 2.0%, 3.0%
- Perubahan dimensi *scrap* Cu pada pengecoran ingot duralumin sangat berpengaruh terhadap persentase porositas produk.
- Efisiensi pengecoran pada dimensi *scrap* Cu, berturut-turut adalah sebesar 57,5 g, 64.9 g, 64.6 g, 85.6 g, 84.05 g.

- Efisiensi pengecoran produk pada dimensi *scrap* Cu 5 mm adalah yang tertinggi, hal ini disebabkan karena semakin kecil dimensi *scrap* Cu maka akan lebih memungkinkan terjadinya homogenitas paduan Al-Cu yg baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Smith, F.William. 1995. *Material Science and engineering*. (second edition) . NewYork: McGraw-Hill inc.
2. Noorsy.2007, *impor Aluminium akan melonjak*, Sinar Harapan, 5542.
3. Budinski, G, Kenneth. 1996. *Engineering Material Properties and Selection*. New Jersey: Prentice Hall, Inc,Englewood Cliffs.
4. bisnis.com, “perkembangan sepeda motor di Indonesia”, 2012
5. Surdia, Tata. & Chijiwa Kenji. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
6. Heine, Richard W. 1990. *Principle of Metal Casting*. New Delhi: Publishing Company.
7. Wahyono Suprpto, Bambang Suharno, Johny Wahyuadi Sudarsono, Dedi Priadi, 2010, *Uji Penentuan Kuantitas Porositas Casting Product Duralumin Dengan Rule Of Mixture Dan Proses Hot Isostatic Pressing*, Prosiding at SENAMM IV, 14-15 July 2010, University of Sultan Ageng Tirtayasa.