

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR CETAKAN TERHADAP
DISTRIBUSI KEKERASAN DAN *CASTABILITY* PADA *RAKE* HASIL
CORAN DURALUMIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

**CINTYA MEGA JANUARY
NIM. 0810620046-62**

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

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR CETAKAN TERHADAP
DISTRIBUSI KEKERASAN DAN *CASTABILITY* PADA *RAKE* HASIL
CORAN DURALUMIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**CINTYA MEGA JANUARY
NIM. 0810620046-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



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

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR CETAKAN TERHADAP DISTRIBUSI
KEKERASAN DAN *CASTABILITY* PADA *RAKE* HASIL CORAN DURALUMIN**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**CINTYA MEGA JANUARY
NIM. 0810620046-62**

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

Bismillahirrohmanirrohim

Skripsi ini kupersembahkan untuk:

Kedua Orang tuaku

Yang selalu membantu baik moril maupun materi serta yang tak pernah lupa untuk selalu mendoakanku sehingga aku bisa menyelesaikan skripsi ini dan cepat lulus. Makasih **papa dan mama** atas semuanya !!!!

Kakakku Arif dan Citra

Yang tidak bosan-bosannya untuk memberi masukan baik berupa saran maupun kritikan agar aku segera lulus meskipun sebenarnya terkadang saya merasa risih juga tapi **"you are my beloved brother and sister"**

My cousin "Tita" & "Nida"

Setiap aku mulai bosan dan saat menemui kesulitan dalam pengerjaan skripsi ini, si centil **"Tita"** dan **"Nida"** yang bias buat aku tersenyum dan bersemangat untuk segera menyelesaikan dan bertemu dengan mereka

My Humpy

Satriyo Wicaksono yang selalu kusayang, makasih udh mau nemenin aku mulai dari penelitian sampai skripsi ini selesai dan kita bisa lulus bareng-bareng dan semoga kita bias secepatnya sama-sama dapat kerja. Amiiiiinnn !!!

Temen-temenku

EMPEROR baik yang sudah maupun yang sedang berjuang menyelesaikan skripsi tetap semangat dan semoga selalu diberi kemudahan, khususnya EMPERORWATI (**Ike**, **Rista**, **Binar**, **Ulil**, dan **Ike Swan**)

Wisma Azizah *community* (**Mb.Gud**, **Dek Ulis**, **Upay**, **Mb.Cippz**, **Upe**, **Mb.Cheers**, **Silpong**) makasih atas semua bantuannya yaa...udh nemenin aku ngerjain skripsi sampai malem, udh mau menghibur aku saat aku lagi suntuk ama skripsiku dan selalu bikin aku ketawa ngakak. Makasih teman-teman, Luv you all !!!!!

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:

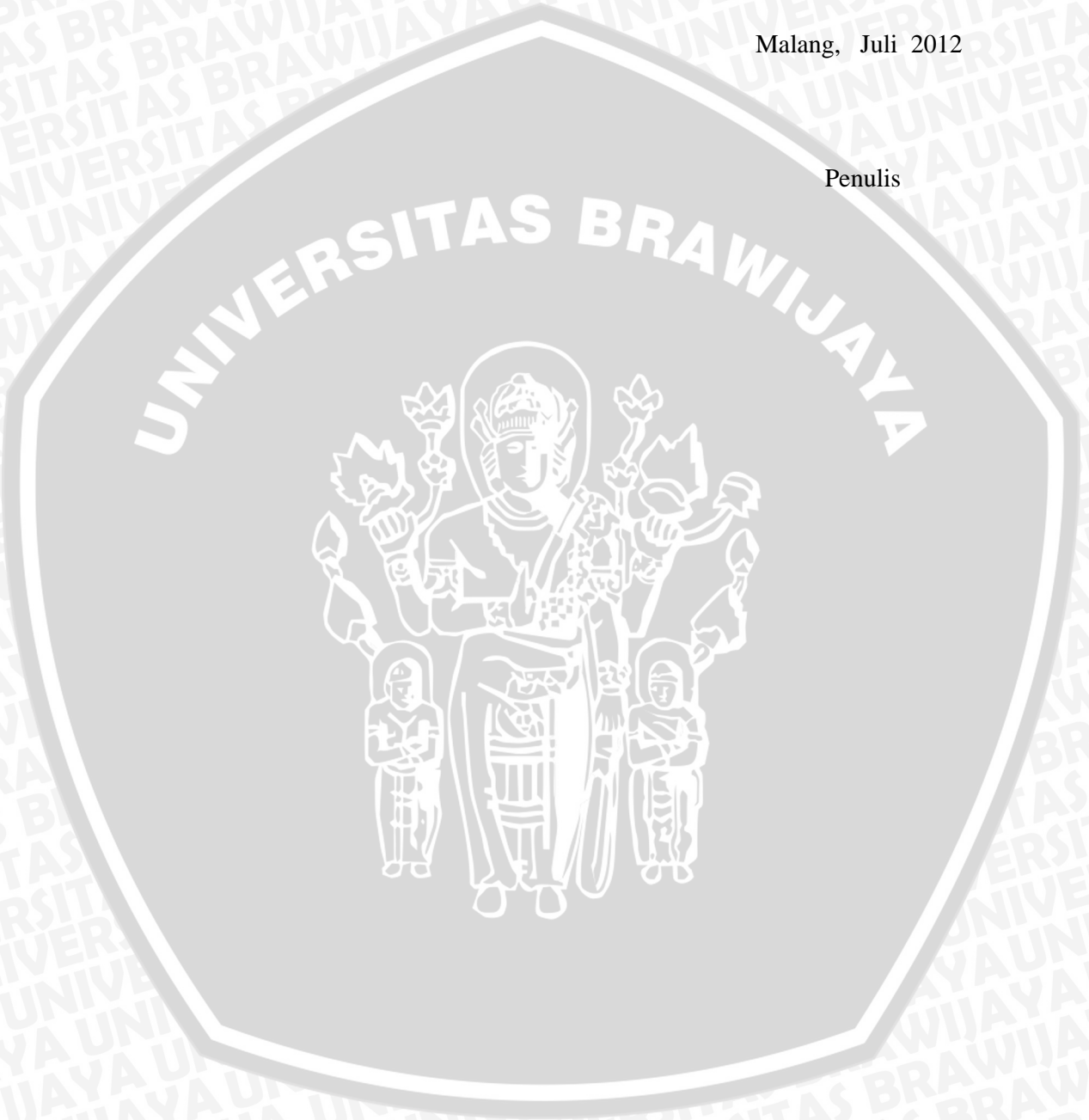
1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Dr. Eng. Anindito P, ST, M.Eng. selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, MSc., CSE selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin.
4. Bapak Dr. Ir. Wahyono Suprpto, MT, Met. selaku 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. Ir. Suharto, MT., selaku dosen wali.
7. Seluruh Dosen pengajar dan Staff Jurusan Teknik Mesin.
8. Papaku Agus Muljanto dan Mamaku Tutik Megadewi Kliandari tercinta, serta kakak-kakaku Arif Bagus Setiawan dan Citra Mega Octavianti yang saya banggakan
9. 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	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	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 Proses Pengecoran Logam	5
2.3. Duralumin	10
2.3.1. Aluminium	11
2.3.1.1 Sifat-sifat Aluminium	11
2.3.1.2 Pengaruh Unsur Paduan	12
2.3.1.3 Klasifikasi Paduan Aluminium	13
2.3.1.4 Sifat Umum Dari Berbagai Jenis Paduan Aluminium	15
2.3.2 Tembaga	18
2.4 Difusi	18
2.4.1. Mekanisme Difusi Substitusi	19
2.4.2. Mekanisme Difusi <i>Interstitial</i>	20
2.5 Macam-macam Energi Panas	21
2.6 Pembekuan Logam	22
2.7 Kekerasan	25
2.8 <i>Castability</i>	27

2.8.1.	Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Castability</i>	28
2.8.2.	Metode-metode Pengujian <i>Castability</i>	28
2.9	Hipotesa	29
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.2.	Variabel Penelitian	30
3.3.	Peralatan dan Bahan yang Digunakan	31
3.3.1.	Alat yang Digunakan	31
3.3.2.	Bahan yang Digunakan	34
3.4.	Cara Pengoperasian Tungku <i>Reverberatory</i>	35
3.5.	Dimensi Hasil Coran	36
3.6.	Prosedur Penelitian	37
3.6.1.	Prosedur Percobaan	37
3.6.2.	Prosedur Pengambilan dan Pengolahan Data	37
3.7.	Pengujian Kekerasan	38
3.8.	Pengujian <i>Castability</i>	38
3.9.	Rancangan Penelitian	39
3.10.	Diagram Alir Penelitian	41
BAB IV HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Data Hasil Pengujian	42
4.1.1.	Data Hasil Pengujian Kekerasan	42
4.1.2.	Data Hasil Pengujian <i>Castability</i>	42
4.2.	Pembahasan	43
4.2.1.	Hubungan antara Temperatur Cetakan terhadap Distribusi Kekerasan	43
4.2.2.	Hubungan antara Temperatur Cetakan terhadap <i>Castability</i> ..	45
BAB V PENUTUP		
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47

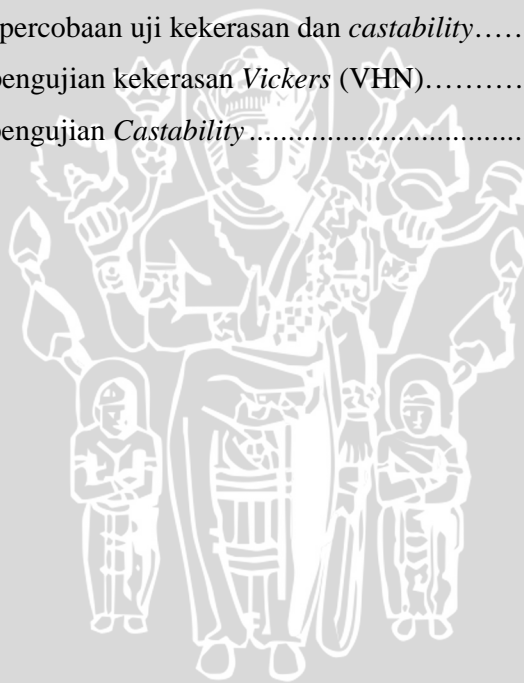
DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Cetakan pasir.....	6
Gambar 2.2.	Aliran proses pada pembuatan coran.....	6
Gambar 2.3.	<i>Permanent mold casting</i>	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 fasa Al-Cu.....	16
Gambar 2.7.	Mekanisme penguatan paduan Al-Cu.....	17
Gambar 2.8.	Difusi <i>substitutional</i>	19
Gambar 2.9.	Difusi <i>interstitial</i>	20
Gambar 2.10.	Difusi atom pada batas butir	21
Gambar 2.11.	Ilustrasi skematis dari pembekuan logam.....	23
Gambar 2.12.	Diagram perbandingan waktu dan temperatur pada proses pendinginan.....	24
Gambar 2.13.	Diagram keseimbangan untuk dua jenis logam yang terlarut penuh....	24
Gambar 2.14.	Struktur <i>chill</i> , <i>columnar</i> , dan <i>equaxed zone</i>	25
Gambar 3.1.	Tungku <i>reverberatory</i>	31
Gambar 3.2.	Cetakan permanen	31
Gambar 3.3.	Alat uji kekerasan	32
Gambar 3.4.	kowi	32
Gambar 3.5.	Timbangan elektrik.....	32
Gambar 3.6.	<i>Infrared thermometer</i>	33
Gambar 3.7.	Pengaduk baja	33
Gambar 3.8.	Penjepit baja	33
Gambar 3.9.	Sarung tangan	34
Gambar 3.10.	Ingot aluminium	34
Gambar 3.11.	<i>Scrap</i> tembaga	34
Gambar 3.12.	Instalasi tungku <i>reverberatory</i>	35
Gambar 3.13.	Dimensi hasil coran.....	36
Gambar 3.14.	Indentor <i>Vickers</i>	38
Gambar 3.15.	Diagram alir penelitian	41
Gambar 4.1.	Grafik temperatur cetakan terhadap angka kekerasan.....	43
Gambar 4.2.	Grafik temperatur cetakan terhadap <i>castability</i>	45

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Temperatur penuangan untuk berbagai coran.....	7
Tabel 2.2.	Sifat-sifat mekanik aluminium.....	12
Tabel 2.3.	Penggolongan paduan aluminium dan serinya	15
Tabel 2.4.	Klasifikasi perlakuan panas	15
Tabel 2.5.	Ukuran atom Cu dan ukuran atom Al	21
Tabel 2.6.	Kelebihan dan kekurangan jenis-jenis bahan bakar.....	22
Tabel 2.7.	Kelebihan dan kekurangan pengujian kekerasan dengan metode penekanan.....	26
Tabel 2.8.	Kelebihan dan kekurangan metode-metode pengujian <i>castability</i>	29
Tabel 3.1.	Rancangan percobaan uji kekerasan dan <i>castability</i>	39
Tabel 4.1.	Data hasil pengujian kekerasan <i>Vickers</i> (VHN).....	42
Tabel 4.2.	Data hasil pengujian <i>Castability</i>	43



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data hasil pengujian kekerasan <i>Vickers</i> pada Al-Cu	48
Lampiran 2.	Tabel nilai kekerasan <i>Vickers</i>	51
Lampiran 3.	<i>Hardness conversion table and approximate tensile strength</i>	52
Lampiran 4.	Hasil pengujian komposisi kimia aluminium	54
Lampiran 5.	Hasil pengujian komposisi kimia tembaga	55
Lampiran 6.	Gambar produk	56



RINGKASAN

Cintya Mega January, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2012, *Pengaruh Variasi Temperatur Cetakan terhadap Distribusi Kekerasan dan Castability pada Rake Hasil Coran Duralumin*. Dosen Pembimbing: Wahyono Suprpto dan Femiana Gapsari.

Aluminium merupakan salah satu logam yang sering digunakan dan dipadukan dengan unsur lain untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Salah satu unsur yang biasa dipadukan adalah unsur tembaga (Cu) yang dapat meningkatkan kekerasannya. Paduan Al-Cu sering disebut dengan duralumin. Duralumin dapat diaplikasikan pada produk *rake* yang mana dibutuhkan kekerasan yang tinggi dan pada proses pembuatannya dibutuhkan *castability* yang baik karena produk *rake* itu sendiri dilihat dari fungsinya yang mendapat beban kejut atau gaya dari berbagai arah sehingga mudah patah maka diperlukan material yang ulet dan tidak mudah patah. Untuk mendapatkan produk yang baik dan sifat mekanik yang diinginkan maka peneliti akan memvariasikan temperatur cetakan.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur cetakan terhadap distribusi kekerasan dan *castability* pada *rake* (penggaruk padi) hasil pengecoran Al-Cu. Temperatur peleburan 900°C yang dilebur dalam tungku *reverberatory* dengan menggunakan *permanent mold*. Sebelum logam cair dituang, cetakan diberi panas terlebih dahulu hingga temperatur tertentu yang mana temperatur cetakan yang digunakan yaitu 260°C, 280°C, 300°C, 320°C, dan 340°C. Pengujian kekerasan menggunakan *Micro Vickers Hardness Tester* dan pengujian fluiditas (*castability*) menggunakan metode *Stripe Mould Test*.

Hasil penelitian didapatkan kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen dengan penuangan logam cair pada temperatur cetakan 260°C yang memiliki nilai kekerasan yaitu 93,4 VHN pada bagian kiri, 94,9 VHN pada bagian tengah, dan 94 VHN pada bagian kanan. Sedangkan untuk *castability* yang paling baik terdapat pada spesimen dengan penuangan logam cair pada temperatur cetakan 340°C dengan panjang hasil coran rata-rata 30,6cm.

Kata kunci: duralumin, temperatur cetakan, kekerasan, *castability*

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* (Smith,1995). Sekarang ini kebutuhan aluminium di Indonesia per tahun mencapai 200.000 hingga 300.000 ton dengan harga US\$3.305 per ton (Noorsy, 2007). Hal ini tentunya dapat mengurangi ketergantungan terhadap produk dari negara lain. 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 yaitu pengecoran, permesinan, penempaan, pengelasan, 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. Pada proses pengecoran untuk produksi massal hendaknya menggunakan cetakan permanen. Pada umumnya, industri pengecoran logam di Indonesia masih banyak memerlukan pembinaan yang terarah sehingga kualitas produk benda coran akan mampu menyaingi produk luar negeri. Untuk itu dalam proses pengecoran perlu terus diupayakan peningkatan hasil coran dengan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas hasil coran.

Salah satu logam yang sering digunakan pada proses pengecoran logam adalah aluminium. Namun dalam proses pengolahannya lebih baik jika aluminium ini dipadukan dengan unsur lain seperti tembaga. Paduan ini sering disebut dengan duralumin karena 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. 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). 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. *Rake* berfungsi untuk meratakan padi yang akan dijemur. *Rake* atau penggaruk padi membutuhkan produk ber dinding tipis dengan

distribusi kekerasan yang baik sehingga dalam memproduksi *rake* ini, kualitas hasil cor sangat dipengaruhi oleh *castability* atau lebih sering dikenal dengan fluiditas. Dimana saat *castability* suatu logam cair tersebut rendah maka hasil produk tidak sempurna. Selain itu, waktu yang dibutuhkan dalam suatu proses produksi menjadi lebih lama karena semakin lama waktu yang dibutuhkan, efisiensi proses produksinya akan rendah sehingga kurang tepat untuk suatu proses produksi massal.

Suatu produk yang baik adalah produk yang mempunyai sifat mekanik sesuai dengan yang diinginkan seperti kekerasan yang tinggi. Pada produk *rake* ini, diperlukan produk *rake* yang mempunyai distribusi kekerasan yang baik karena dilihat dari fungsinya itu sendiri untuk menggaruk atau meratakan padi sehingga adanya gerakan bolak-balik yang menyebabkan adanya beban kejut atau gaya dari berbagai arah yang mengakibatkan material tersebut lelah dan mudah patah. Akan tetapi, terkadang produk yang dihasilkan tidak sesuai dengan apa yang kita inginkan atau dengan kata lain tidak memiliki sifat mekanik yang baik. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu produk pengecoran saat proses pengecoran adalah temperatur cetakan. Dari sinilah peneliti ingin mencoba memvariasikan temperatur cetakan pada proses pembuatan *rake* hasil coran duralumin karena dengan adanya pemberian panas pada suatu cetakan akan memberikan efek pelunakan pada logam cair yang mengakibatkan butiran lebih homogen sehingga didapatkan distribusi kekerasan yang baik. Selain itu dengan adanya pemanasan yang berulang-ulang pada logam cair juga dapat memperbaiki *castability* pada suatu logam cair tersebut.

Dalam hal ini peneliti memilih untuk memadukan aluminium dengan tembaga (Cu) atau yang lebih sering dikenal dengan duralumin sebesar 5% dari berat aluminium. Penambahan unsur tembaga di bawah 5,6% itu sendiri akan memperbaiki sifat mampu mesin, mampu tempa, dan keuletan yang baik sehingga mudah dibentuk pada aluminium paduan (Heine, 1990: 293). Selain itu, dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan karena tembaga bisa memperhalus struktur butir. Di samping itu peneliti ingin mengetahui ukuran spesifik *castability* pada duralumin karena selama ini hanya dijelaskan bahwa duralumin memiliki *castability* rendah tetapi nominalnya belum diketahui. Selain itu, *castability* paduan logam merupakan parameter yang sangat penting dalam menentukan kualitas produk coran (kesempurnaan bentuk), terutama produk-produk yang memiliki geometri yang rumit dan berinding tipis. Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis akan melakukan penelitian

untuk mengetahui pengaruh temperatur cetakan terhadap distribusi kekerasan dan *castability* pada *rake* hasil coran duralumin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah yang dapat kita buat dalam penelitian kali ini adalah “Bagaimana pengaruh temperatur cetakan terhadap distribusi kekerasan dan *castability* pada *rake* 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. Pembahasan difokuskan pada sifat mekanik logam yaitu distribusi kekerasan dan *castability* pada *rake*.
2. Dilakukan tiga titik uji distribusi kekerasan pada tiap sampel dengan ukuran 2x3cm dan tebal 3mm.
3. Beban penekanan pada pengujian kekerasan 100gf.

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini mempunyai beberapa tujuan yaitu:

1. Untuk memperbaiki kualitas produk coran.
2. Mengetahui pengaruh temperatur cetakan terhadap distribusi kekerasan dan *castability* pada *rake* hasil coran duralumin.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Mampu menerapkan teori yang didapatkan selama perkuliahan terutama berkenaan dengan teknologi pengecoran logam.
2. Memberikan masukan yang bermanfaat bagi industri pengecoran logam dalam peningkatan kualitas hasil coran.
3. Memberikan referensi tambahan bagi penelitian lebih lanjut mengenai pengecoran logam terutama logam paduan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

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 kekutan 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 CuAl₂.

Harjanto dan Suyitno (2008) melakukan penelitian Pengecoran logam dengan metode *High Pressure Die Casting* (HPDC) adalah metode pengecoran dengan cara menginjeksikan cairan logam kedalam cetakan dengan kecepatan dan tekanan tertentu menggunakan mesin HPDC. Cetakan yang digunakan berbahan dasar baja karbon. Penelitian ini menggunakan tekanan sebesar 40 bar. Variasi suhu tuang adalah 700°C, 750°C dan 800°C sedangkan untuk suhu cetakan adalah 150°C, 175°C dan 200°C. Kekerasan secara umum menurun dengan meningkatnya suhu tuang dan suhu dies. Didapatkan hasil suhu tuang maksimal adalah 700°C dan suhu cetakan 150 °C dengan kekerasan 97.86 VHN.

Respati, (2010) melakukan Penelitian dengan memvariasikan tekanan dan temperatur cetakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisis dan mekanis pada pengecoran *squeeze (direct squeeze casting)* pada paduan aluminium daur ulang. Temperatur penuangan 700°C pada cetakan yang berbentuk die-punch yang dipanaskan pada variasi temperatur 300°C dan 400°C. Tekanan diberikan pada saat pembekuan sebesar 0 MPa, 10 MPa, 20 MPa dan 30 MPa selama 100 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengecoran squeeze mampu mengurangi cacat penyusutan, struktur silikon semakin halus, meningkatkan dan meratakan distribusi kekerasan Brinell. Penurunan temperatur cetakan menyebabkan struktur silikon semakin halus dan kekerasan naik.

Masnur, Dedy (2005) dengan judul penelitian perubahan sifat fisis dan mekanis paduan aluminium 4% tembaga yang di-aging dengan variasi temperatur 160°C, 180°C,

200°C. Pada penelitian yang dilakukan diketahui bahwa paduan Al-Cu sebelum dilakukan perlakuan panas nilai kekerasan paduan diperoleh 42,5 kg/mm². Dengan penambahan unsur tembaga pada aluminium dapat mengubah sifat mekanis dengan meningkatkan harga kekerasan, namun diikuti dengan penurunan ketangguhan yang berakibat bahan menjadi getas.

2.2 Teori Dasar Pengecoran Logam

2.2.1 Pengertian Pengecoran Logam

Pengecoran logam yaitu suatu proses 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

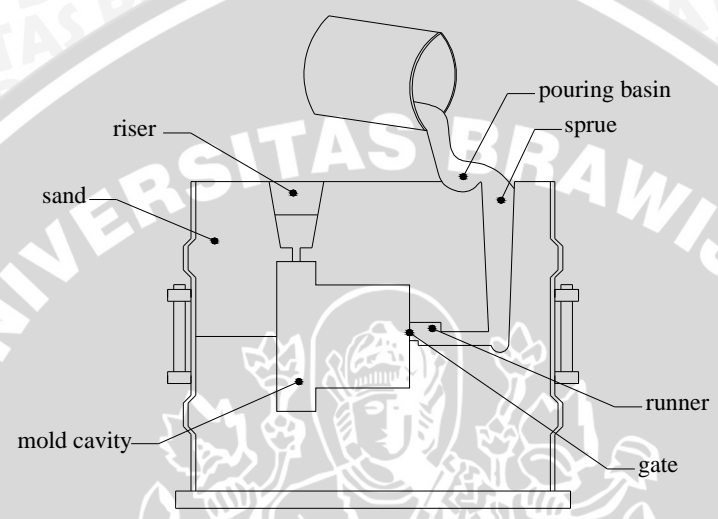
Berdasarkan cetakkannya, proses pengecoran dibedakan menjadi dua yaitu:

1. *Expandable mold casting*

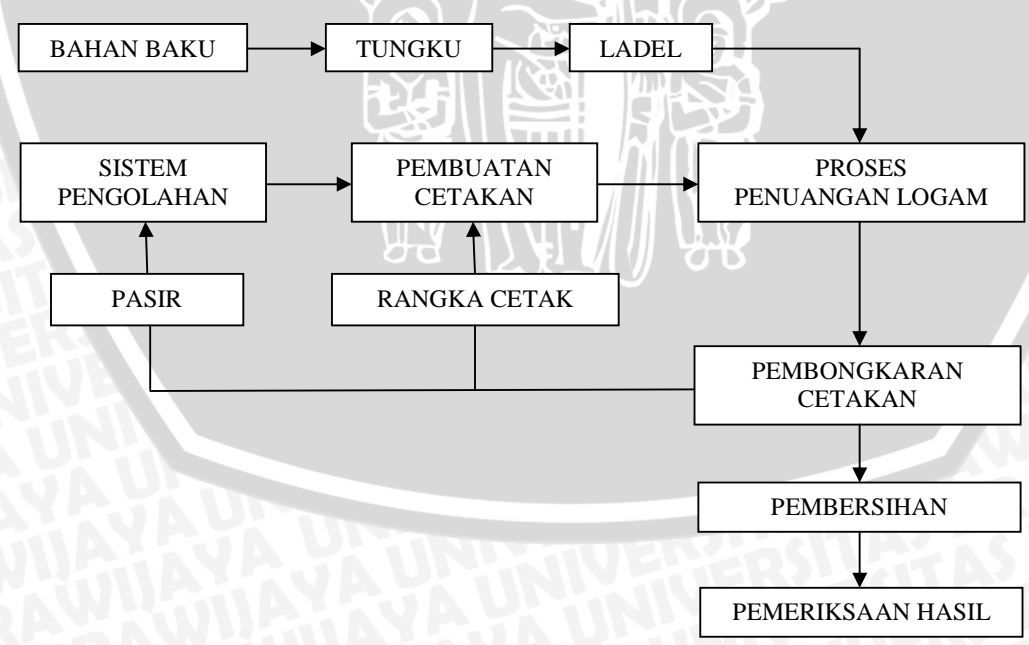
Prinsip dasar pengecoran logam adalah meleburkan logam hingga mencair kemudian memasukkan logam ke dalam cetakan. Cairan logam tersebut akan menyesuaikan dengan bentuk rongga cetakan sehingga didapatkan bentuk yang sesuai dengan cetakan setelah cairan logam tersebut membeku. Gambar cetakan pasir bisa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

Pada *Permanent mold casting*, cetakan dapat dipakai berulang kali untuk menghasilkan benda cor yang banyak, sehingga dengan proses pengecoran seperti ini dapat lebih ekonomis pada produksi secara massal. Bahan cetakan umumnya terbuat dari baja atau logam tahan panas lainnya yang dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut



Gambar 2.3 *Permanent Mold Casting*
Sumber: Laboratorium $\alpha\beta$, Landung sari-Malang

Pada *permanent mold casting* mempunyai beberapa keuntungan dan kerugian diantaranya:

Keuntungan:

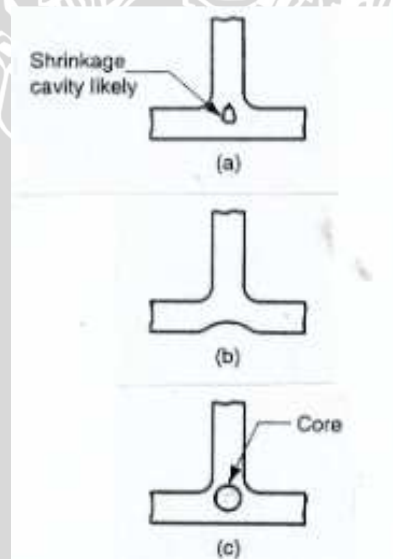
- Ketelitian ukuran sangat baik jika dibandingkan dengan pengecoran pasir, dapat membuat coran yang lebih ringan dan permukaan coran sangat halus.
- Struktur butir yang dihasilkan rapat sehingga diperoleh sifat mekanik dan sifat tahan tekanan yang baik.
- Mekanisasi dari proses adalah mudah dan produktifitas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

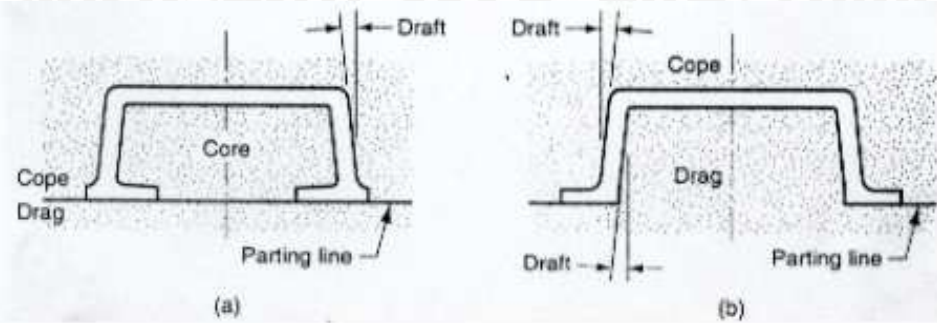
Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan produk coran seperti berikut:

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 2.3 Bagian tebal yang dapat mengakibatkan rongga penyusutan
Sumber : Mikell P. 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 : Mikell P. Groover; 49

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

2.3 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)

Pada proses pengecoran duralumin yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah proses pengecoran yang dilakukan pada dapur dengan temperatur pemanasan 900°C . Cetakan yang digunakan adalah *permanent mold* (cetakan logam) yang diberi panas terlebih dahulu pada cetakan hingga temperatur tertentu sehingga dengan semakin tinggi pemberian panas pada cetakan maka akan mengurangi gradien temperatur antara logam cair dengan cetakan dan mengakibatkan laju pembekuan semakin lambat dan menjadi adanya waktu butiran untuk berkembang lebih besar yang menyebabkan

kekerasan menjadi rendah. Kemudian setelah logam cair mencair, dilakukan penuangan logam cair ke dalam cetakan logam seperti pada pengecoran pasir. Cara pengecoran cetak atau penuangan cairan logam menggunakan gaya gravitasi yang berasal dari tinggi cairan dalam cetakan, tekanan rendah, *vacuum*, tekanan sentrifugal. 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*.

2.3.1 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 elektrolisis 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.

2.3.1.1 Sifat-sifat Aluminium

Sifat-sifat mekanik pada aluminium itu sendiri ditunjukkan pada tabel 2.2 sebagai berikut

:

Tabel 2.2. Sifat-sifat mekanik aluminium

Sifat-sifat	Kemurnian Al(%)			
	99,99		>99.0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%)(kg/mm ²)	1,3	11	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell (kg/mm ²)	17	27	23	44

Sumber: T. Surdia dan S. Saito, 2000: 134

2.3.1.2 Pengaruh Unsur Paduan

Unsur-unsur pepaduan 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.

2.3.1.3 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, 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 2.3:

Tabel 2.3 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

Pada tabel 2.4 di bawah ini dapat diketahui klasifikasi panas pada logam:

Tabel 2.4 Klasifikasi Perlakuan Panas

Tanda	Perlakuan
-F	Setelah pembuatan
-O	Dianil penuh
-H	Pengerasan regangan
-H 1n	Pengerasan regangan
-H 2n	Sebagian dianil setelah pengerasan regangan
-H 3n	Dianil untuk penyetabilan setelah pengerasan regangan n = 2 (1/4 keras), 4 (1/2 keras), 6 (3/4 keras), 8 (keras), 9 (sangat keras)
-T	Perlakuan panas
-T2	Penganilan penuh (hanya untuk coran)
-T3	Pengerasan regangan setelah perlakuan pelarutan
-T4	Penuaan alamiah penuh setelah perlakuan pelarutan
-T5	Penuaan tiruan (tanpa perlakuan pelarutan)
-T6	Penuaan tiruan setelah perlakuan pelarutan
-T7	Penyetabilan setelah perlakuan pelarutan
-T8	Perlakuan pelarutan, pengerasan regangan, penuaan tiruan
-T9	Perlakuan pelarutan, penuaan tiruan, pengerasan regangan
-T10	Pengerasan regangan setelah penuaan tiruan

Sumber: Tata Surdia, 2000: 136

2.3.1.4 Sifat Umum dari Berbagai Jenis Paduan Aluminium

Berikut ini sifat-sifat umum dari berbagai jenis paduan aluminium yaitu:

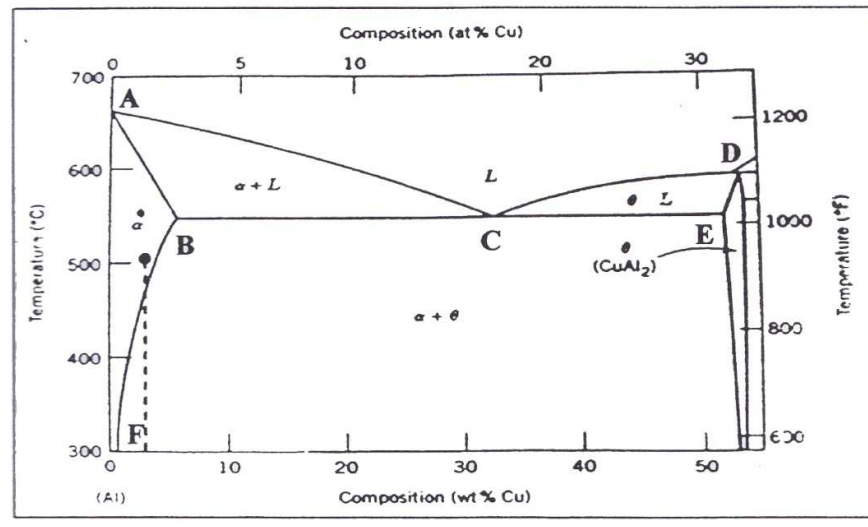
- Jenis aluminium murni (seri 1xxx)

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 komponen 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 Al_2Cu dalam logam yang menjadikan logam rapuh. Berikut diagram fase Al-Cu yang dapat dilihat pada gambar 2.6:

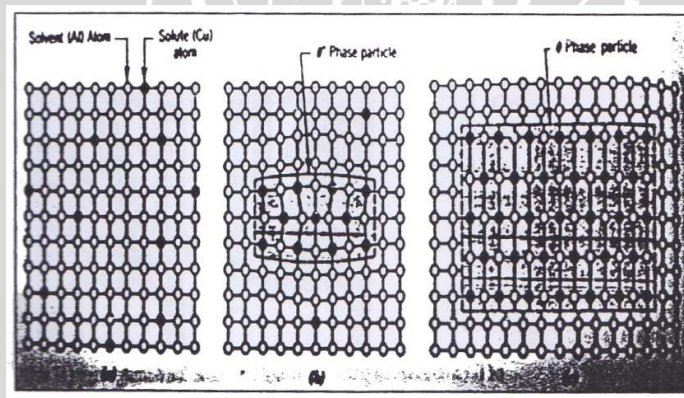


Gambar 2.6 Diagram fasa Al-Cu
Sumber: Callister, 1997: 337

Pada gambar 2.6, diagram fasa dari dua komponen ditunjukkan oleh dua variabel yaitu persentase unsur dan temperatur. Garis A-C-D adalah garis cair sehingga jika paduan tersebut dipanaskan melewati garis tersebut maka paduan akan mencair seluruhnya. Titik C adalah titik eutektik yang merupakan titik pada suhu terendah terjadinya pencairan dari paduan tanpa melewati fasa gabungan antara padat dan cair dan terletak pada 33,2% Cu, temperatur 548°C. Garis A-B-C-E-D adalah garis padat sehingga paduan akan berubah fasanya menjadi fasa padat pada penurunan temperatur yang memotong garis ini. Pada paduan Al-4,5% Cu secara perlahan-lahan, cairan dari Al-4,5% Cu akan mulai membeku membentuk larutan padat α jika temperaturnya diturunkan. Dengan menurunnya temperatur maka akan semakin banyak unsur Cu yang larut dalam Al dan membentuk larutan padat α . Ketika temperatur semakin diturunkan melewati garis B-F yang merupakan batas kejenuhan dari larutan padat α , atom-atom Cu yang larut dalam matriks Al mulai berpresipitasi membentuk senyawa $\alpha + \text{Al}_2\text{Cu}$.

Dengan diturunkan temperatur pada suhu ruang maka Al_2Cu yang terbentuk semakin besar dan larutan padat α semakin berkurang.

Jika penuaan dilakukan pada temperatur pemanasan yang lebih rendah maka dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan dengan waktu pemanasan yang lama jika dibanding dengan temperatur yang lebih tinggi. Pada gambar 2.7.a tampak bahwa pada awal proses penuaan atom-atom tembaga masih larut dan tersebar dalam matriks aluminium membentuk larutan padat lewat jenuh α dengan jenis larutan substitusional, setelah itu akibat adanya penambahan energi yang diterima selama pemanasan maka atom tembaga menggunakan energi tersebut untuk mulai berpresipitasi menjadi partikel yang sangat halus, dapat dilihat pada gambar 2.7.b dimana atom-atom Cu mulai berkelompok membentuk fasa θ terutama pada daerah butir dan menarik atom-atom aluminium yang berada dalam larutan padat α sehingga menimbulkan tegangan pada kisi-kisi kristal, adanya daerah dengan penguatan tersebut akan menghambat dislokasi yang terjadi pada logam. Sedangkan pada gambar 2.7.c merupakan awal terjadinya overaging dimana fasa θ (Al_2Cu) yang terbentuk semakin besar dan membentuk struktur sendiri yang menimbulkan putusnya ikatan dengan larutan padat α sehingga harus dihindari. Adapun cara untuk menghindari terbentuknya fasa θ pada perlakuan panas buatan adalah mengatur variabel temperatur dan waktu penuaan.



Gambar 2.7. Mekanisme penguatan paduan Al-Cu
Sumber: Callister, 1997: 338

- 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.

2.3.2 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 unsure 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.

2.4 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-

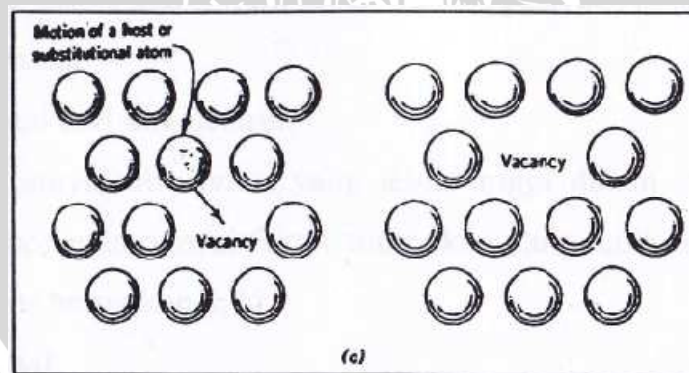
atom tunggal dalam kisi kristal tergantung dari energi termal yang dimilikinya. Adanya fluktuasi tingkat energi menyebabkan adanya atom-atom yang memiliki energi yang lebih rendah dan lebih tinggi. Atom yang memiliki tingkat energi yang lebih tinggi akan meninggalkan posisinya. Posisi yang ditinggalkan 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. Difusi dapat terjadi bila elemen yang berdifusi membentuk sistem 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.

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:

2.4.1 Mekanisme Difusi Substitusi

Berpindahnya atom pada kisi kristal dari posisi atom yang satu ke posisi atom yang lainnya pada gambar 2.8. 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.

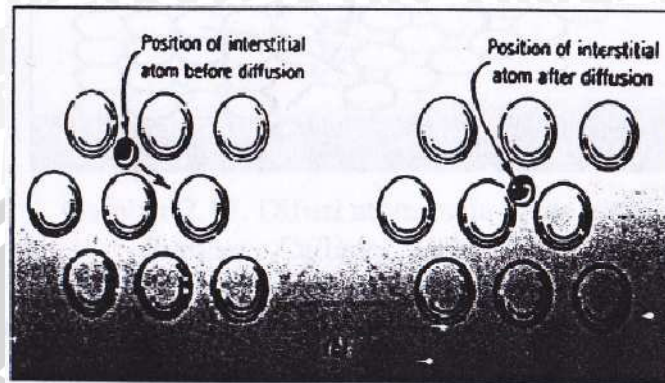


Gambar 2.8 Difusi *Substitutional*

Sumber: Callister, 1997: 92

2.4.2 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 2.9.



Gambar 2.9 Difusi *Interstitial*
Sumber: Callister, 1997: 92

Pada mekanisme interstisi 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.

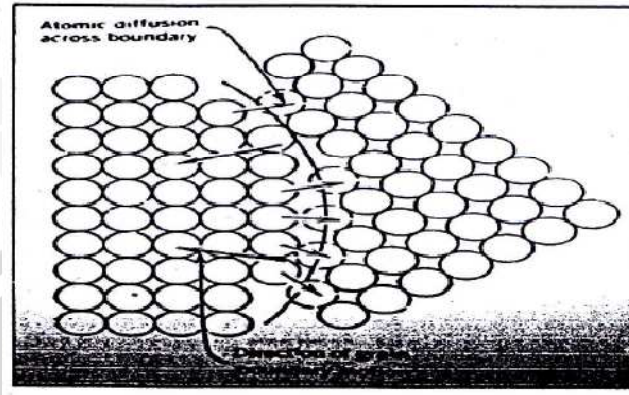
Proses difusi secara interstisi ataupun substitusi memberikan efek terhadap koefisien difusi. Untuk difusi interstisi atom yang kecil dapat bergabung ke dalam kisi kristal pada atom pelarut yang lebih besar, seperti nitrogen berdifusi interstisi pada struktur kristal BCC atau FCC. Sedangkan contoh proses difusi substitusi adalah atom tembaga berdifusi ke dalam aluminium sebagai atom pelarut dimana dimensi dari kedua atom tersebut sama besar serta keduanya mempunyai 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 2.10.



Gambar 2.10 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 relatif sama besar dengan ukuran atom Al, sehingga dengan mudah diantara kedua atom tersebut untuk berdifusi secara substitusi. Tabel 2.5 memperlihatkan ukuran atom Cu dengan ukuran atom Al.

Tabel 2.5 Ukuran atom Cu dan ukuran atom Al

Nama Atom	Radius atom (Å)
Al	1,428
Cu	1,275

Sumber: Lawrence, 1960: 88

2.5 Macam-macam Energi Panas

Energi panas timbul karena adanya reaksi pembakaran antara bahan bakar dan oksigen. Berbagai jenis bahan bakar yang ada seperti bahan bakar cair, padat, dan gas. Semua bahan bakar yang tersedia tergantung pada berbagai faktor seperti biaya, ketersediaan, penyimpanan, tungku dan peralatan pembakaran lainnya. Berikut jenis bahan bakar beserta kelebihan dan kekurangannya yang ditunjukkan pada tabel 2.6 berikut:

Tabel 2.6 Kelebihan dan Kekurangan Jenis-jenis Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Kelebihan	Kekurangan
Bahan bakar cair (minyak tanah)	<ul style="list-style-type: none"> • Api tetap bisa menyala saat penambahan bahan bakar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Akan timbul endapan jika disimpan cukup lama. • Mudah tumpah. • Mahal.
Bahan bakar padat (arang)	<ul style="list-style-type: none"> • Murah 	<ul style="list-style-type: none"> • Menimbulkan polusi (abu, berbau)
Bahan bakar gas (LPG)	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem <i>burner</i> nya sangat sederhana dan hampir bebas perawatan. • Gas dialirkan melalui jaringan pipa distribusi sehingga cocok untuk wilayah yang berpenduduk tinggi atau padat industri. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mudah meledak.

Pengetahuan mengenai kelebihan dan kekurangan dari masing-masing jenis bahan bakar membantu dalam memilih bahan bakar yang benar untuk keperluan yang benar dan untuk penggunaan bahan bakar yang efisien. Dari uraian di atas maka peneliti memilih menggunakan bahan bakar gas yaitu LPG.

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.

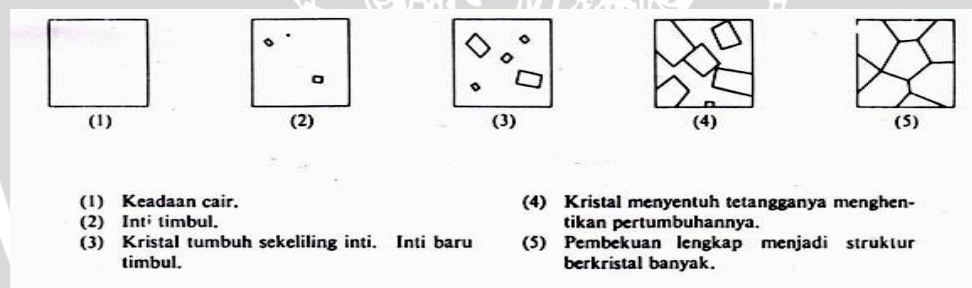
Atom logam pada kondisi cair berada dalam posisi tidak teratur. Ketika mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang lebih dahulu stabil. Susunan awal atom disebut inti dan proses pembentukan inti disebut pengintian (*crystallization*). 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.

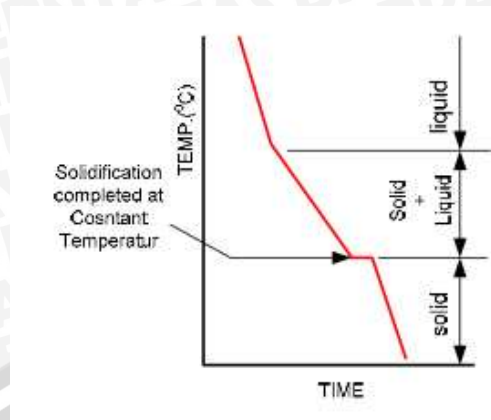
Jika keadaan memungkinkan (misalnya energi yang tersedia cukup besar), satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam arti bahwa atom-atom dari butir lain (yang kurang stabil) akan mengikuti orientasi butir tersebut. Apabila keadaan ini berlangsung terus maka pada akhirnya akan terdapat 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 2.11 berikut:

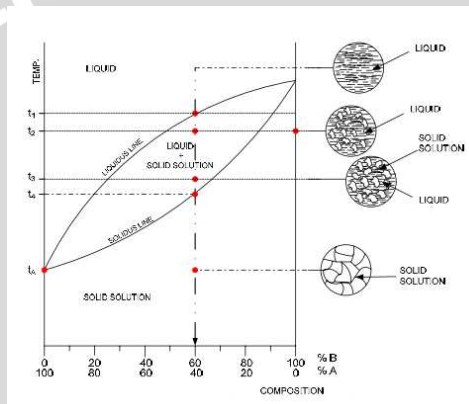


Gambar 2.11 Ilustrasi Skematis dari pembekuan logam
 Sumber: Surdia, 1996: 14

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 2.12 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 2.13 memperlihatkan proses pembentukan butiran yang terjadi pada saat proses pembekuan logam paduan.



Gambar 2.12 .Diagram Perbandingan Waktu dan Temperatur pada Proses Pendinginan
 Sumber : Hardi Sudjana, 2008: 122



Gambar 2.13 Diagram Keseimbangan untuk Dua Jenis Logam yang Terlarut Penuh
 Sumber: Hardi Sudjana, 2008: 126

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

- Daerah pembekuan cepat (*chill zone*)

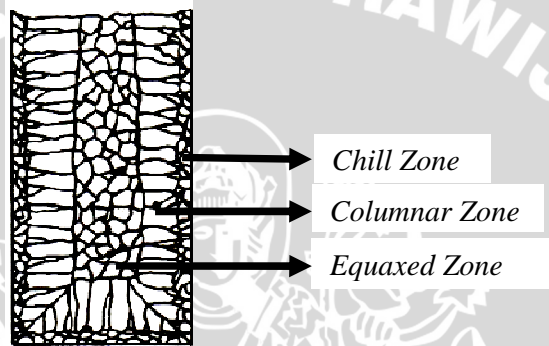
Daerah ini berada paling luar yang mana lebih dipengaruhi oleh heat removal. Struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan melt pada saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan 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 2.14 Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equaxed Zone*
Sumber: Kalpakjian, 1990: 279

2.7 Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan bahan untuk menahan penetrasi benda yang lebih keras dari luar tanpa terdeformasi plastis. Untuk mengetahui kekerasan suatu material maka dilakukan pengujian kekerasan. Pengujian ini merupakan satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Metode pengujian kekerasan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Metode pengujian dengan pantulan

Metode pengujian ini biasa disebut dengan *share schleroscope test*. Pengujian kekerasan pantulan menggunakan palu intan yang dapat dinaikkan pada ketinggian tertentu lalu dijatuhkan bebas pada permukaan logam yang halus. Ketinggian pemantulan setelah menyentuh permukaan itulah yang akan diukur. Semakin tinggi pantulan maka benda yang diuji memiliki kekerasan yang semakin tinggi pula. Prinsipnya yaitu konversi energi potensial menjadi energi kineti, sebagian energi

diserap bahan dan sisanya menyebabkan pantulan. Keuntungan dari metode ini adalah peralatan kecil dan penetrasi kecil sehingga tidak merusak bahan uji.

2. Metode pengujian dengan goresan

Metode pengujian ini dengan cara moh's yaitu menggoreskan beberapa mineral standar yang telah diketahui kekerasannya pada material yang akan diuji. Berikut beberapa mineral standar yang digunakan adalah talk, gips, kalsit, fluorite, apatite, fieldspar, kwarsa, topar, titanium, intan. Skala moh's jarang sekali digunakan karena interval skalanya tinggi sehingga hasilnya kurang tepat. Logam pada umumnya mempunyai skala moh's 4-8.

3. Metode pengujian dengan penekanan

Metode pengujian ini dibedakan menjadi empat berdasarkan bentuk indentornya yaitu kekerasan *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell*, dan kekerasan mikro. Berikut kelebihan dan kekurangan dari beberapa pengujian tersebut yang ditunjukkan pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Kelebihan dan Kekurangan Pengujian Kekerasan dengan Metode Penekanan

Pengujian Kekerasan	Kelebihan	Kekurangan
Brinell	<ul style="list-style-type: none"> • Digunakan untuk bahan yang keras • Tidak dipengaruhi kekasaran permukaan • Untuk heterogen permukaan 	<ul style="list-style-type: none"> • Perhitungan kurang akurat • Penekanan tidak terpusat • Tidak bisa menguji benda yang sangat tipis
Vickers	<ul style="list-style-type: none"> • Dapat digunakan dalam segala material • Umum untuk segala pengujian bahan 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengujian relatif lama • Persiapan yang hati-hati karena permukaan benda harus rata • Memungkinkan kesalahan manusia pada saat perhitungan panjang diagonal
Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> • Cepat dan akurat • Dapat digunakan untuk material yang cepat geser 	<ul style="list-style-type: none"> • Lebih mahal • Dibanding brinell dan vickers angka kekerasan ditentukan manusia
Kekerasan Mikro	<ul style="list-style-type: none"> • Penekanan lebih terpusat karena indenter berbentuk piramida 	<ul style="list-style-type: none"> • Digunakan pada daerah yang sangat kecil

Sumber: Avner, 1995

2.8 Castability

Castability atau yang lebih sering dikenal dengan fluiditas aliran adalah kemampuan dari suatu zat (dalam hal ini logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini erat kaitannya dengan kekentalan zat cair itu, semakin tinggi kekentalan maka sifat mampu alirnya menurun. Saat logam cair mengalir dalam sebuah saluran tertutup, viskositasnya akan menentukan alirannya yang mana *drag*/hambatan yang ditimbulkan oleh dinding saluran tertransmisi ke logam cair sehingga mempengaruhi kecepatan aliran logam dalam cetakan. Salah satu karakteristik dasar zat cair adalah kemampuan cairan apapun untuk berpacu dengan waktu dalam mengisi cetakan/wadah yang dilaluinya. Ini akan terjadi dengan cepat untuk logam cair yang berada dalam temperatur yang konstan karena viskositasnya tinggi. Dalam kondisi pengecoran, kegagalan mengisi cetakan bukan dikarenakan oleh tingginya viskositas tetapi karena pembekuan yang prematur (belum saatnya). Jadi, kondisi termal (*thermal condition*) dan mode pembekuan (*mode of solidification*) menjadi faktor kritis terhadap berhentinya aliran logam cair (Beeley, 2001).

Aliran logam cair pada rongga lurus dan belokan memiliki kecepatan yang berbeda dimana kecepatan aliran pada rongga lurus memiliki kecepatan yang lebih tinggi dibanding dengan kecepatan aliran saat melewati belokan. Hal ini disebabkan pada rongga belokan, kecepatan aliran diperlambat karena terjadi desipasi energi dari cairan akibat perubahan arah aliran yaitu bahwa harga C dari rumus (2-1) berkurang. Harga C ini tidak berubah banyak berdasarkan macam logam, asalkan logam berada dalam keadaan cair seluruhnya. Dalam hal ini tidak perlu mempertimbangkan berat jenis dan macam logam yang dipakai sehingga dapat dipergunakan harga yang sama seperti untuk air. Kecepatan aliran logam tersebut dapat dinyatakan oleh (Surdia, 1996: 12):

$$V = C\sqrt{2gh} \quad (2-1)$$

Dimana:

V = kecepatan aliran

C = koefisien kecepatan

g = percepatan gravitasi

h = tinggi permukaan cairan di atas titik lubang

Untuk logam cair yang keluar dan menumbuk dinding tegak lurus dengan kecepatan v , laju aliran Q , berat jenis γ , percepatan gaya tarik bumi g , dan P adalah gaya yang bekerja pada dinding maka dapat dinyatakan dengan (Surdia, 1996: 12):

$$P = \gamma/g \cdot Q \cdot v \quad (2-2)$$

Untuk membelokkan aliran yang lurus maka diperlukan gaya yang berbanding lurus dengan berat jenis cairan sehingga gaya yang bekerja pada dinding dalam aliran logam cair menjadi besar. Saat logam cair mengalir melalui rongga sebuah cetakan maka tidak mengikuti keadaan cair sempurna. Jika temperatur logam jauh di atas titik cair maka lapisan beku tidak akan cepat tumbuh pada permukaan dinding cetakan. Sedangkan apabila temperatur logam dekat dengan titik cairnya atau cetakan mudah mengambil panas dari cairan logam, maka lapisan beku akan cepat tumbuh pada permukaan dinding dan jalan aliran menjadi lebih sempit, maka kemudian aliran memisahkan kristal-kristal yang membeku dan bercampur dengannya. Dalam hal ini *castability* akan menurun sebagai akibat tambahan dari jalan aliran yang menyempit, yang kadang-kadang menghentikan aliran.

2.8.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi *Castability*

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi *castability* selain viskositas, diantaranya adalah temperatur penuangan dan komposisi logam. Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan *castability* dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini.

Komposisi logam juga mempengaruhi *castability* logam cair terutama mencakup mekanisme seluruh rongga (solidifikasi) logam cair. *Castability* yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperatur konstan, contohnya pada logam mulia. Saat solidifikasi terjadi pada *range* temperatur tertentu (terutama pada logam paduan) maka dapat terjadi pembekuan sebagian sehingga menurunkan *castability*nya.

2.8.2 Metode-metode Pengujian *Castability*

Dalam pengujian *castability*, terdapat beberapa metode yang dapat digunakan diantaranya *spiral-shaped mould test*, *vacuum fluidity test*, dan *strip mould test*. Pengujian yang sering digunakan adalah *spiral-shaped mould test* dan *vacuum fluidity test*. Namun disini peneliti memilih menggunakan metode *strip mould test* meskipun metode ini jarang digunakan oleh yang lain karena adanya beberapa kelebihan yang ditunjukkan pada tabel 2.8 berikut:

Tabel 2.8 Kelebihan dan Kekurangan Metode-metode Pengujian *Castability*

Metode Pengujian	Kelebihan	Kekurangan
<i>Spiral-shaped mould test</i>	<ul style="list-style-type: none"> Bisa digunakan untuk pengujian pada logam cair yang mempunyai fluiditas baik. 	<ul style="list-style-type: none"> Parameter-parameter yang penting dalam menentukan fluiditas tidak bisa terkontrol dengan baik. Proses manufakturnya rumit.
<i>Vacuum fluidity test</i>	<ul style="list-style-type: none"> Bisa digunakan untuk pengujian pada logam cair yang mempunyai fluiditas baik. 	<ul style="list-style-type: none"> Instalasi peralatannya lebih rumit.
<i>Strip mould test</i>	<ul style="list-style-type: none"> Mudah pengujiannya. Dapat digunakan untuk membandingkan variasi ketebalan. 	<ul style="list-style-type: none"> Tidak bisa digunakan untuk pengujian pada logam cair yang mempunyai fluiditas baik.

Sumber: Beeley, 2001

2.9 Hipotesa

Semakin tinggi temperatur cetakan maka nilai kekerasan akan semakin rendah karena gradien temperatur logam cair dan cetakan rendah sehingga laju pendinginan lebih lambat dan mengakibatkan butiran akan berkembang lebih besar yang menyebabkan nilai kekerasan menjadi rendah. Namun, semakin tinggi temperatur cetakan maka panas logam cair yang dilepas kecil sehingga mampu alir (*castability*) pada logam cair baik dan logam cair akan membeku pada jarak yang panjang.

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur cetakan terhadap distribusi kekerasan dan *castability* pada *rake* hasil coran duralumin. 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 dan Laboratorium Metalografi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional. Adapun waktu penelitian dimulai pada bulan 11 Mei 2012 sampai 18 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 variasi temperatur cetakan yaitu 260°C, 280°C, 300°C, 320°C, dan 340°C.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya yaitu :

a. Distribusi kekerasan.

b. *Castability*.

3. Variabel terkontrol

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

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| a. Temperatur peleburan | : 900°C |
| b. Tebal <i>rake</i> | : 3mm |
| c. Ingot Al | : 1000 - 1100 g |
| d. <i>Scrap</i> Cu | : 5% dari berat Al |
| e. Waktu peleburan | : 4 jam |

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 *rake* dan uji fluiditas yang biasanya cetakan terbuat dari baja tahan temperatur tinggi yang dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Cetakan permanen

3. Alat Uji Kekerasan

Spesifikasi:

- Code No. : 810 – 100E
- Serial No. : 555186
- Model : Mitutoyo MVK – E3 Akashi Corporation Japan
- Timer : 10 detik

- Beban : 100 gf
- Identor : Diamond 136°



Gambar 3.3 Alat uji kekerasan

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) yang dapat dilihat pada gambar 3.5.



(a)



(b)

Gambar 3.5 Timbangan elektrik

- (a) Kapasitas sampai 10000 g
- (b) Kapasitas sampai 300 g

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 dapat dilihat 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.



Gambar 3.10 *Ingot* aluminium

2. *Scrap* Tembaga

Merupakan potongan-potongan dari tembaga yang masih berupa menyerupai pipa.



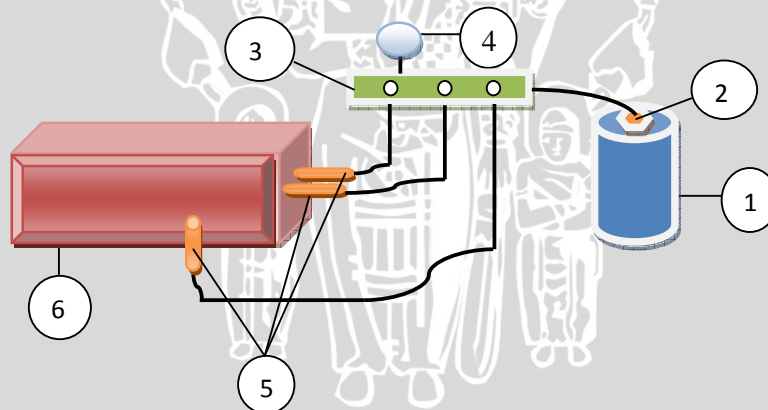
Gambar 3.11 *Scrap* tembaga

3.4 Cara Pengoperasian Tungku *Reverberatory*

Tungku *reverberatory* digunakan untuk meleburkan aluminium dan tembaga. Cara pengoperasian tungku tersebut 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 bertahap sebanyak 3 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 permukaan tungku saja yang panas sehingga akan terjadi perubahan bentuk akibat pemuain.

Tungku ini menggunakan bahan bakar LPG karena sistim *burnernya* sangat sederhana dan hampir bebas perawatan. Selain itu, gas dialirkan melalui tabung distribusi sehingga cocok untuk wilayah yang berpopulasi tinggi atau padat industri. Lebih jelasnya dapat dilihat pada instalasi tungku *reverberatory* pada gambar 3.10 berikut ini.

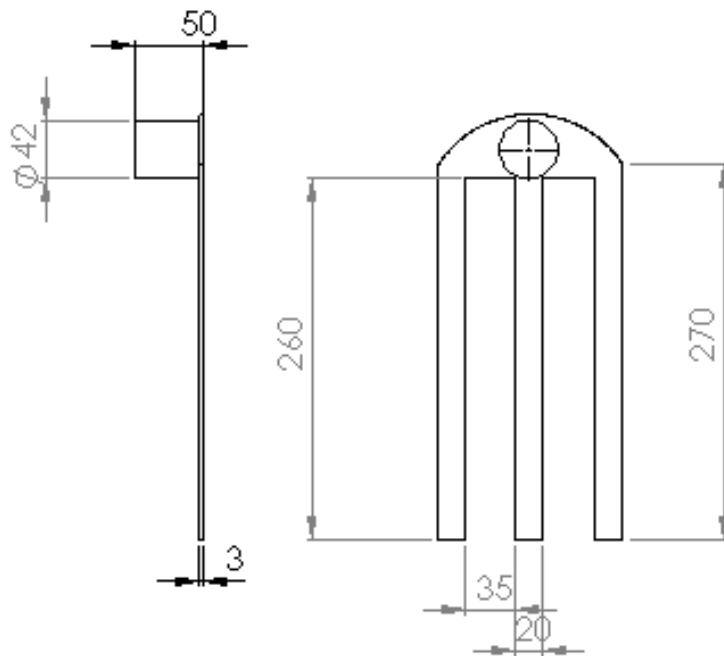


Gambar 3.12 Instalasi tungku *reverberatory*

Keterangan:

1. LPG
2. Regulator
3. Tabung distributor
4. *Pressure gauge*
5. *Burner*
6. Tungku

3.5 Dimensi Hasil Coran



Gambar 3.13 Dimensi hasil coran

Keterangan:

1. Bagian pangkal
2. Bagian tengah terdiri dari kanan, tengah, dan kiri
3. Bagian ujung terdiri dari kanan, tengah, dan kiri

Spesimen yang akan diuji kekerasan yaitu pada bagian yang dijelaskan pada gambar 3.13 namun dipotong terlebih dahulu dengan ukuran 2x3cm.

3.6 Prosedur Penelitian

3.6.1 Prosedur Percobaan

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian adalah:

1. Mempersiapkan percobaan yaitu menyiapkan tungku peleburan, menyiapkan alat dan menimbang bahan yang dibutuhkan, kemudian memasang cetakan.
2. Meleburkan material sampai temperatur 900°C dalam tungku *reverberatory*.
3. Penuangan logam cair kedalam cetakan dengan variasi temperatur cetakan yaitu (260, 280, 300, 320, 340°C) pada temperatur penuangan.
 - Penuangan pertama dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan temperatur cetakan 260°C.
 - Penuangan kedua dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan temperatur cetakan 280°C.
 - Penuangan ketiga dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan temperatur cetakan 300°C.
 - Penuangan keempat dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan temperatur cetakan 320°C.
 - Penuangan kelima dilakukan dengan menuangkan logam cair kedalam cetakan dengan temperatur cetakan 340°C.
4. Mengeluarkan hasil coran dari cetakan dan diamkan sampai produk hasil coran dingin kemudian dilakukan pengambilan data.

3.6.2 Prosedur pengambilan dan pengolahan data

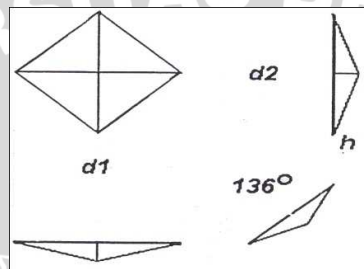
Dari hasil pengecoran, dilakukan pengujian untuk mengetahui besar kekerasan dan *castability*. Langkah-langkah yang diambil sebagai berikut:

1. Mengambil produk hasil coran dengan temperatur cetakan 260°C.
2. Mengambil data dan menganalisa *castability* pada hasil coran.
3. Melakukan pengulangan langkah 1 dan 2 pada spesimen hasil coran dengan temperatur cetakan lainnya yaitu 280°C, 300°C, 320°C, dan 340°C.
4. Melakukan proses pemotongan *rake* pada ketiga stripnya yang tiap stripnya dipotong pada bagian ujung dan tengah sedangkan pada bagian pangkal diambil 1 sampel sehingga terdapat 7 spesimen untuk temperatur cetakan 260°C.
5. Melakukan pengujian dan pengambilan data uji kekerasan pada spesimen hasil coran yang telah dipotong.

6. Melakukan pengulangan langkah 4 sampai 6 pada produk *rake* hasil coran dengan temperatur cetakan lainnya yaitu 280°C, 300°C, 320°C, dan 340°C.
7. Melakukan analisa dan pembahasan dari data-data tersebut.
8. Kesimpulan.

3.7 Pengujian Kekerasan

Pengujian yang dilakukan adalah untuk menguji kekerasan permukaan bahan dengan *Micro Vickers Hardness Tester* dengan indenter terbuat dari intan dan berbentuk piramida dengan empat sisi. Sudut antara sisi yang berlawanan 136° seperti pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 Indenter *vickers*

Sumber: [www. Gordonengland.co.uk](http://www.Gordonengland.co.uk)

Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Permukaan spesimen yang akan diuji dibersihkan dari kotoran atau terak dengan *centrifugal sand paper* hingga halus dan rata.
2. Pemasangan spesimen pada *Micro Vickers Hardness Tester*.
3. Dilakukan pengujian kekerasan untuk mendapatkan data kekerasan permukaan masing-masing spesimen.

Uji kekerasan terdiri dari 7 spesimen untuk tiap variasi temperatur cetakan, tiap spesimen dilakukan 3 kali pengulangan pengujian kekerasan.

3.8 Pengujian *Castability*

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Logam cair yang ada di dalam kowi dituang pada cetakan logam untuk uji *castability* dengan metode *stripe mould test*.
2. Mengeluarkan spesimen dari cetakan.
3. Dilakukan pengukuran panjang masing-masing strip untuk mendapatkan data uji *castability* pada tiap spesimen.

3.9 Rancangan Penelitian

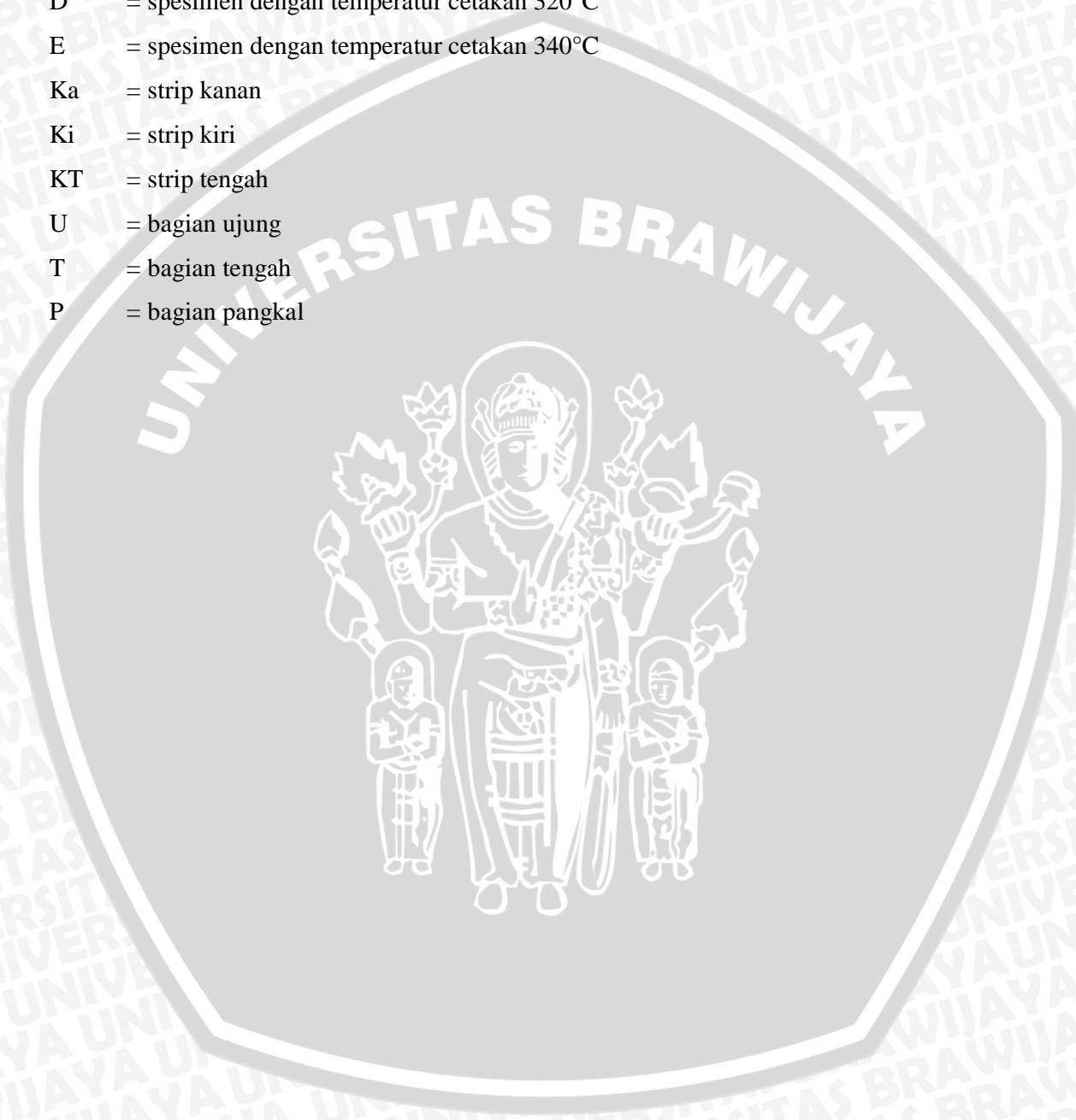
Rancangan penelitian dari pengaruh temperature cetakan terhadap distribusi kekerasan dan *castability* dapat dilihat dari tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Rancangan percobaan uji kekerasan dan *castability*

Temperatur Cetakan (°C)	Bagian		Nilai Kekerasan (HV)	Rata-rata
260	kanan	ujung	A KaU	A Ka
		tengah	A KaT	
		pangkal	A P	
	tengah	ujung	A TU	A T
		tengah	A TT	
		pangkal	A P	
	kiri	ujung	A KiU	A Ki
		tengah	A KiT	
		pangkal	A P	
280	kanan	ujung	B KaU	B Ka
		tengah	B KaT	
		pangkal	B P	
	tengah	ujung	B TU	B T
		tengah	B TT	
		pangkal	B P	
	kiri	ujung	B KiU	B Ki
		tengah	B KiT	
		pangkal	B P	
300	kanan	ujung	C KaU	C Ka
		tengah	C KaT	
		pangkal	C P	
	tengah	ujung	C TU	C T
		tengah	C TT	
		pangkal	C P	
	kiri	ujung	C KiU	C Ki
		tengah	C KiT	
		pangkal	C P	
320	kanan	ujung	D KaU	D Ka
		tengah	D KaT	
		pangkal	D P	
	tengah	ujung	D TU	D T
		tengah	D TT	
		pangkal	D P	
	kiri	ujung	D KiU	D Ki
		tengah	D KiT	
		pangkal	D P	
340	kanan	ujung	E KaU	E Ka
		tengah	E KaT	
		pangkal	E P	
	tengah	ujung	E TU	E T
		tengah	E TT	
		pangkal	E P	
	kiri	ujung	E KiU	E Ki
		tengah	E KiT	
		pangkal	E P	

Keterangan:

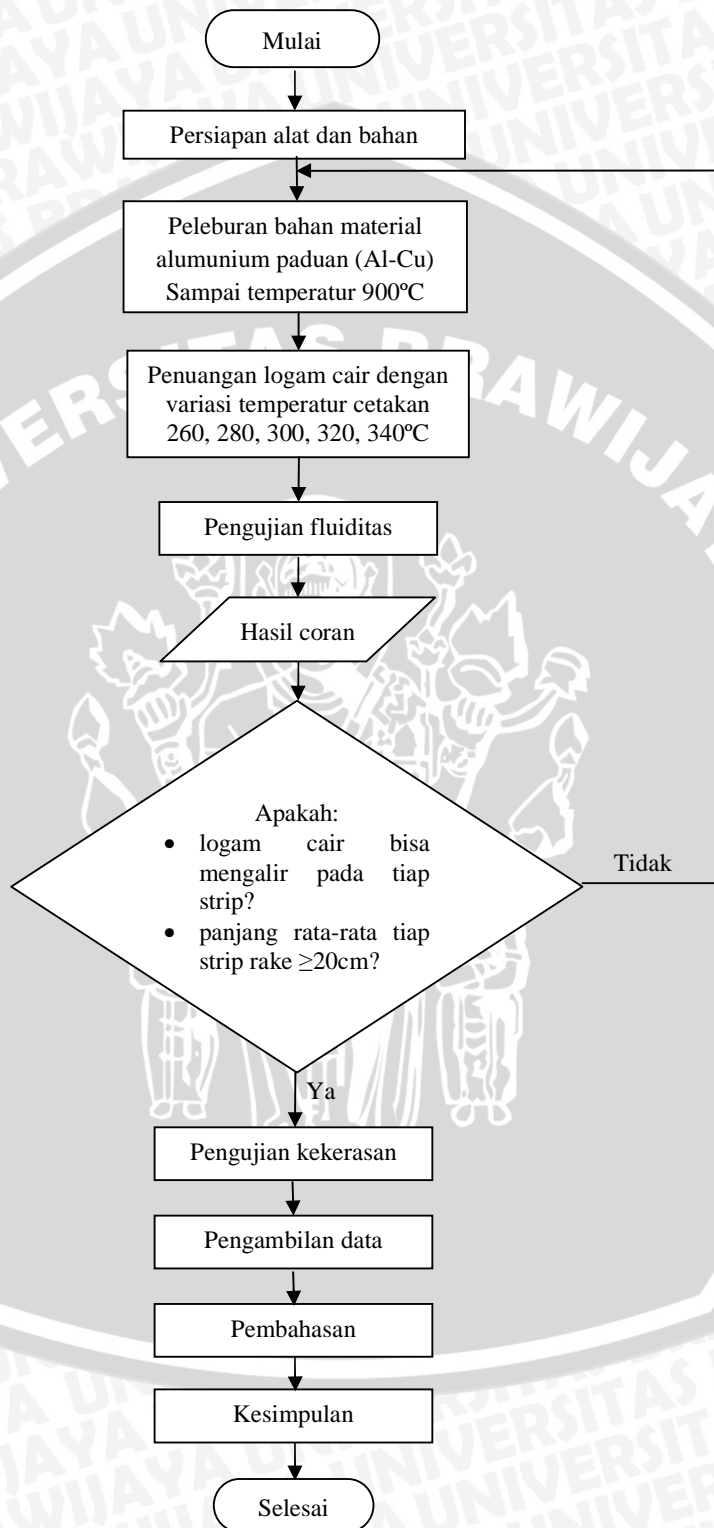
- A = spesimen dengan temperatur cetakan 260°C
- B = spesimen dengan temperatur cetakan 280°C
- C = spesimen dengan temperatur cetakan 300°C
- D = spesimen dengan temperatur cetakan 320°C
- E = spesimen dengan temperatur cetakan 340°C
- Ka = strip kanan
- Ki = strip kiri
- KT = strip tengah
- U = bagian ujung
- T = bagian tengah
- P = bagian pangkal



3.10 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah rancangan diagram alir penelitian seperti yang ditunjukkan

Gambar 3.14



Gambar 3.15 Diagram alir penelitian

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai kekerasan *Vickers* (VHN) seperti pada tabel 4.1. Dalam pengujian, sampel yang diambil untuk tiap variasi temperatur cetakan yaitu strip *rake* sebelah kanan, tengah, dan kiri kemudian dibagi lagi menjadi bagian ujung, tengah, dan pangkal pada tiap strip *rake* namun untuk bagian pangkal pada tiap *rake* hanya diambil 1 sampel saja sehingga terdapat 7 sampel yaitu 3 sampel bagian ujung, 3 sampel bagian tengah, dan 1 sampel bagian pangkal. Tiap sampel dilakukan pengujian pada tiga titik yang berbeda pada permukaan uji kekerasan.

Nilai kekerasan nantinya akan diambil dengan cara mencari rata-rata nilai kekerasan pada tiap sampel kemudian sampel pada tiap variasi akan dikelompokkan berdasarkan posisi strip *rake* yaitu kiri, tengah, dan kanan. Nilai kekerasan pada tiap posisi *rake* tersebut didapatkan dari rata-rata nilai kekerasan yaitu misalkan pada bagian kiri strip *rake* didapat dari rata-rata nilai kekerasan dari sampel bagian ujung, tengah, dan pangkalnya sehingga didapatkan nilai kekerasan seperti pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Temperatur [°C]	Nilai Kekerasan (VHN)			Rata-rata
	Kiri	Tengah	Kanan	
260	93.4	94.9	94	94.2
280	91.4	93.1	92.6	92.3
300	92.9	93.8	92.8	93.4
320	88.7	89.1	88.2	88.9
340	86.8	87	86.2	86.9

4.1.2 Data Hasil Pengujian *Castability*

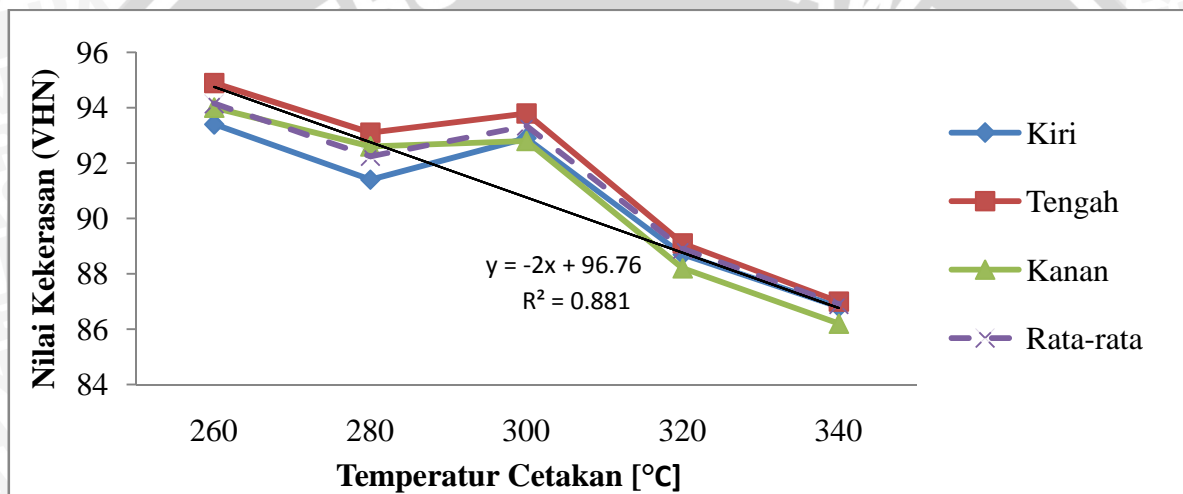
Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan data panjang *rake* seperti pada tabel 4.2. Dalam pengujian, untuk tiap variasi temperatur cetakan diambil satu produk *rake* yang terdiri dari 3 strip yaitu bagian kiri, tengah, dan kanan. Panjang rata-rata dari tiap produk dapat ditabelkan pada tabel berikut:

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian *Castability*

Temperatur Cetakan [°C]	<i>Castability</i> [cm]			Jumlah	Rata-rata
	Kiri	Tengah	Kanan		
260	20.7	23	19.3	63	21.0
280	24.7	26	12.9	63.6	21.2
300	8	22.5	30.8	61.3	20.4
320	23.7	22.9	30.2	76.8	25.6
340	30.8	29.6	31.5	91.9	30.6

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan antara Temperatur Cetakan terhadap Distribusi Kekerasan



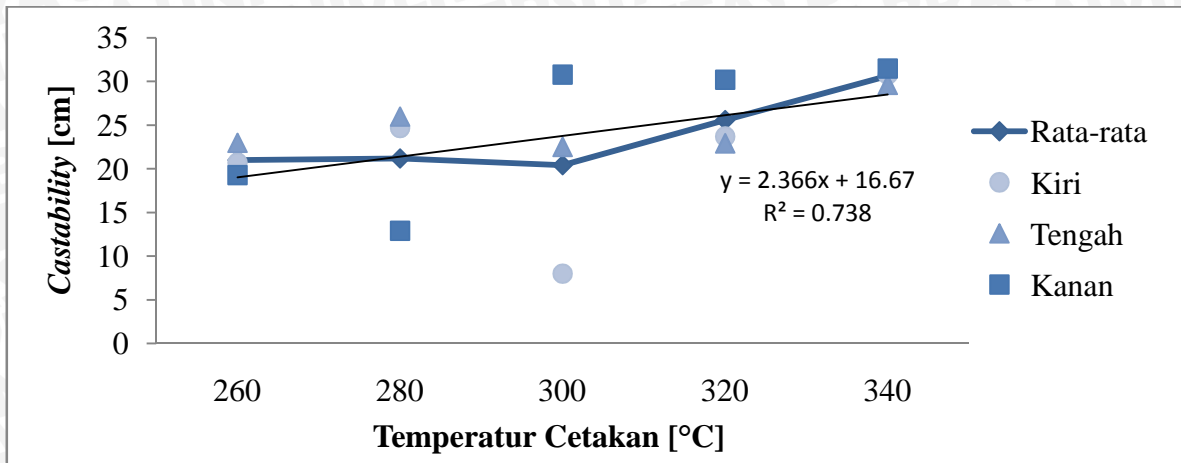
Gambar 4.1 Grafik Temperatur Cetakan terhadap Nilai Kekerasan

Dari gambar 4.1 dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya temperatur cetakan maka kekerasan pada tiap strip *rake* cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena gradien temperatur antara logam cair dengan cetakan semakin rendah sehingga laju pembekuan semakin lambat. Saat temperatur logam cair 700°C dan temperatur cetakan 340°C maka gradien temperaturnya akan lebih rendah dibanding dengan gradien pada saat temperatur cetakan 320°C dan temperatur penuangan yang sama yaitu 700°C. Pada strip *rake* bagian tengah memiliki kekerasan yang lebih tinggi daripada bagian kiri dan kanan yaitu pada temperatur cetakan 260°C, 280°C, 300°C, 320°C, dan 340°C masing-masing memiliki nilai kekerasan 94,9 VHN, 93,1 VHN, 93,8 VHN, 89,1 VHN, dan 87 VHN. Hal ini disebabkan karena pada bagian tengah, posisi stripnya lurus dengan saluran masuk dan

saluran keluar sehingga aliran logam cair lebih cepat dalam memenuhi rongga cetakan dan panas logam cair lebih dahulu dilepaskan yang mengakibatkan butiran tidak ada waktu untuk berkembang lebih besar. Sedangkan pada strip *rake* bagian kiri dan kanan mempunyai kekerasan yang lebih rendah dari bagian tengah yaitu pada temperatur cetakan 260°C, 280°C, 300°C, 320°C, dan 340°C masing-masing memiliki nilai kekerasan 93,4 VHN dan 94 VHN; 91,4 VHN dan 92,6 VHN; 92,9 VHN dan 92,8 VHN; 88,7 VHN dan 88,2 VHN; 86,8 VHN dan 86,2 VHN. Hal ini disebabkan karena pada bagian kanan dan kiri, logam cair harus melewati belokan saat memenuhi rongga cetakan sehingga panas logam cair yang dilepaskan berkurang sedikit demi sedikit dan mengakibatkan adanya waktu untuk butiran berkembang lebih besar dan menjadikan kekerasan lebih rendah.

Pada saat temperatur cetakan 300°C mengalami peningkatan nilai kekerasan. Hal ini sejalan dengan *castability* yang terlihat pada gambar 4.2 dimana *castability* pada temperatur cetakan 300°C mengalami penurunan karena pada saat temperatur cetakan 300°C atom Cu memiliki energi yang lebih akibat pemanasan dari cetakan untuk berpresipitasi menjadi partikel yang halus dan seiring dengan menurunnya temperatur cetakan saat temperatur cetakan 300°C, atom-atom Cu mulai berkelompok membentuk fasa θ (Al_2Cu) terutama pada daerah butir dan menarik atom-atom aluminium yang berada dalam larutan padat α sehingga menimbulkan tegangan pada kisi-kisi kristal. Dengan adanya daerah dengan penguatan tersebut maka akan menghambat dislokasi yang terjadi pada logam. Pada temperatur cetakan di atasnya yaitu 320 dan 340°C, fasa θ (Al_2Cu) yang terbentuk semakin besar dan membentuk struktur sendiri yang menimbulkan putusnya ikatan dengan larutan padat α yang menyebabkan kekerasan menurun.

4.2.2 Hubungan antara Temperatur Cetakan terhadap *Castability*



Gambar 4.2. Grafik Temperatur Cetakan terhadap *Castability*

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur cetakan maka *castability* logam cair cenderung mengalami peningkatan pula karena terjadi efek pelunakan yang disebabkan oleh adanya pemanasan yang berulang-ulang pada logam cair yang ada dalam cetakan sehingga panas yang dilepas logam cair semakin kecil dan mengakibatkan logam cair membeku pada jarak yang panjang. Pada penelitian ini, *castability* duralumin tertinggi terjadi pada temperatur cetakan 340°C yang mempunyai panjang rata-rata 30,6cm. Namun pada temperatur cetakan 300°C mengalami penurunan *castability* yaitu dari panjang rata-rata 21,2cm pada temperatur cetakan 280°C menjadi 20,4cm pada temperatur cetakan 300°C. Pada temperatur cetakan 300°C, panjang strip rake bagian kiri hanya mencapai 8cm namun panjang strip rake bagian tengah dan kanan yaitu 22,5cm dan 30,8cm. Produk pada temperatur ini merupakan produk terbaik dibanding sebelumnya. Panjang *castability* 8cm pada strip rake bagian kiri terjadi karena pembekuan dini pada logam cair akibat dari panas logam cair yang lebih cepat dilepaskan sehingga laju pendinginan juga lebih cepat.

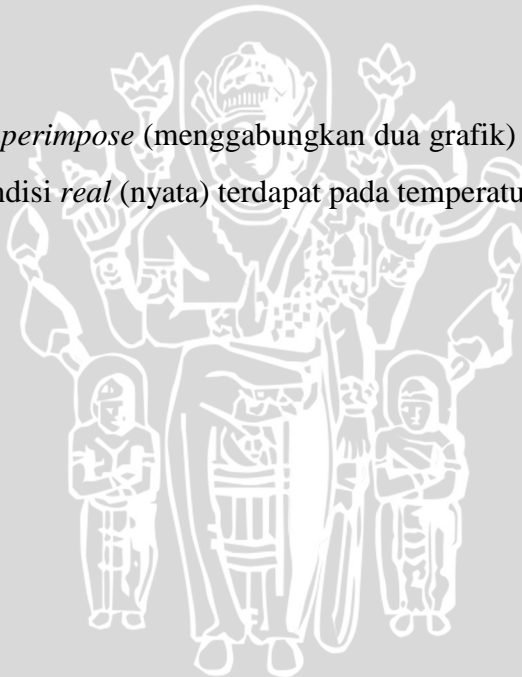
Dari grafik pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 maka dapat diketahui titik optimumnya atau dapat dikatakan bahwa suatu produk tersebut memiliki kekerasan dan *castability* yang cukup yaitu dimana didapatkan kekerasan baik dan *castability* yang baik pula. Titik optimum tersebut didapatkan dengan cara mencari 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

- $$y = -2x + 96,76$$
$$y = 2,366x + 16,67 \quad -$$
$$0 = -4,366x + 80,09$$
$$x = \frac{80,09}{4,366}$$
$$x = 18,344$$
- $$y = -2x + 96,76$$
$$y = -2(18,344) + 96,76$$
$$y = -36,688 + 96,76$$
$$y = 60,072$$

Berdasarkan metode *superimpose* (menggabungkan dua grafik) didapatkan bahwa nilai atau titik optimum pada kondisi *real* (nyata) terdapat pada temperatur cetakan 295°C.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan semakin tinggi temperatur cetakan maka kekerasan akan cenderung mengalami penurunan. Kekerasan tertinggi terdapat pada temperatur cetakan 260°C yaitu 93,4 VHN pada bagian kiri, 94,9 VHN pada bagian tengah, dan 94 VHN pada bagian kanan. Kekerasan terendah terdapat pada temperatur cetakan 340°C dengan nilai kekerasan yaitu 86,8 VHN pada bagian kiri, 87 VHN pada bagian tengah, dan 86,2 VHN pada bagian kanan.

Pada pengujian *castability*, semakin tinggi temperatur cetakan maka *castability* cenderung mengalami peningkatan dan didapatkan *castability* yang paling baik terdapat pada temperatur cetakan 340°C dengan panjang hasil coran rata-rata 30,6cm. *Castability* terendah terdapat pada temperatur cetakan 300°C dengan panjang hasil coran rata-rata 20,4cm.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian mengenai pengaruh terhadap distribusi kekerasan dan *castability* dengan metode pengecoran yang berbeda.
2. Dapat dilakukan pengembangan penelitian mengenai pengaruh pemanasan awal cetakan terhadap distribusi kekerasan dan *castability* dengan produk yang lebih kompleks.
3. Sebaiknya digunakan *thermocouple* atau termo regulator untuk menstabilkan temperatur cetakan.

LAMPIRAN 1

DATA HASIL PENGUJIAN KEKERASAN VICKERS PADA AL-CU



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
 Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

DATA HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

Nama : Cintya Mega January
 NIM/Jurusan : 0810620046/ Teknik Mesin Universitas Brawijaya
 Hari/Tanggal : 18 Juni 2012
 Specimen : Al - Cu

Micro Vickers Hardness Tester

Code No. : 810 - 100E
 Serial No. : 555186
 Model : Mitutoyo MVK - E3 Akashi Corporation Japan
 Timer : 10 detik
 Beban : 100 gf
 Indentor : Diamond 136°

Specimen	Kekerasan (HV)			Rata-rata
	Specimen			
A KaU	84.4	88.2	85.1	85.9
A KaT	85.1	80.3	80.9	82
A KiU	85.7	82.8	93.7	87.4
A KiT	85.1	75.8	75.8	78.9
A TU	91.1	82.1	93.3	88.83333
A TT	82.1	82.8	80.9	81.93333
A P	112	110	120	114
B KaU	84.4	80.3	89.9	84.86667
B KaT	77.6	85.7	85.1	82.8
B KiU	84.4	85.1	80	83.16667
B KiT	77.9	84.4	81.2	81.16667
B TU	93.7	84.4	85.4	87.83333
B TT	83.7	82.8	77.9	81.4667
B P	119	103	108	110
C KaU	88.2	89.9	88.2	88.8
C KaT	89.9	85.1	84.4	86.5
C KiU	81.2	82.1	84.4	82.56667
C TU	87.5	92.2	97.3	92.3
C TT	85.4	84.4	87.5	85.76667
C P	106	108	95.7	103



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
 Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

D KaU	88.2	88.2	89.9	88.76667
D KaT	78.7	78.7	77.3	78.2
D KiU	93.7	88.2	88.2	90.03333
D KiT	80.3	77.9	77.6	78.6
D TU	87.5	84.4	89.9	87.26667
D TT	80.3	83.7	83.7	82.6
D P	120	88.2	84.4	97.53333
E KaU	87.5	85.4	87.5	86.8
E KaT	89.9	88.2	89.9	89.33333
E KiU	95.7	93.7	88.2	92.53333
E KiT	87.5	88.2	80.3	85.33333
E TU	93.7	89.9	89.9	91.2
E TT	88.2	88.2	86.1	87.5
E P	80.3	88.2	78.7	82.4

Malang, 18 Juni 2012
 Kepala Laboratorium



I Komang Astana Widi, ST . MT
 NIP. Y : 1030400405



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
 FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI JURUSAN TEKNIK MESIN
LABORATORIUM PENGUJIAN MATERIAL
 Jl. Raya Karanglo Km. 2 Telp. (0341) 417636 Ext. 511 Malang

SURAT IZIN PENELITIAN

FORM B

No.:

Laboratorium Material dan Metalografi Jurusan T. Mesin SI ITN Malang dengan ini memberikan izin melaksanakan penelitian kepada;

Nama (NIMNIP) : CINTYA MEGA JANUARY / 0810620046
 Fakultas/Umum : TEKNIK / UNIV. BRAWIJAYA
 Judul Penelitian : PENGARUH VARIASI TEMPERATUR CETAKAN
 TERHADAP DISTRIBUSI KEKERASAN DAN
 CASTABILITY PADA RAKE HASIL CORAN DURALUMIN
 Institusi Sponsor :
 Waktu Penelitian : 18 JUNI 2012
 Dosen Pembimbing : Dr. Ir. WAHYONO SUPRPTO, MT, MET / FEMIANA GAPSARI, ST., MT.
 Biaya : Rp. 1.350.000,-
 Jenis Pengujian : 1. MICRO VICKERS HARDNESS TESTER
 : 2.
 : 3.
 : 4.
 : 5.

Malang, 18 JUNI 2012

Ka. Lab. Material & Metalografi,



Komang Astana Widi, ST. MT.
 NIP. P. 1030400405

*) Coret yang tidak perlu

LAMPIRAN 2

TABEL NILAI KEKERASAN VICKERS

a	Test load 0.9807N(0.100)									
	Vickers Hardness Number									
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
55.0	1814	1782	1750	1719	1689	1660	1631	1604	1576	1550
60.0	1524	1499	1475	1451	1428	1405	1383	1361	1340	1319
65.0	1299	1279	1260	1241	1222	1204	1187	1170	1153	1136
70.0	1120	1104	1089	1073	1059	1044	1030	1016	1002	989
75.0	976	963	950	938	926	914	902	891	879	868
80.0	857	847	836	826	816	806	797	787	778	769
85.0	760	751	742	733	725	717	709	701	693	685
90.0	677	670	663	655	648	641	634	628	621	615
95.0	608	602	595	589	583	577	571	566	560	554
100.0	549	543	538	533	527	522	517	512	507	503
105.0	498	493	488	484	479	475	470	466	462	458
110.0	454	449	445	441	437	434	430	426	422	419
115.0	415	411	408	404	401	397	394	391	388	384
120.0	381	378	375	372	369	366	363	360	357	354
125.0	351	348	346	343	340	338	335	332	330	327
130.0	325	322	320	317	315	313	310	308	306	303
135.0	301	299	297	295	292	290	288	286	284	282
140.0	280	278	276	274	272	270	268	266	265	263
145.0	261	259	257	256	254	252	251	249	247	246
150.0	244	242	241	239	238	236	234	233	231	230
155.0	228	227	225	224	223	221	220	218	217	216
160.0	214	213	212	210	209	208	207	205	204	203
165.0	202	200	199	198	197	196	194	193	192	191
170.0	190	189	188	187	185	184	183	182	181	180
175.0	179	178	177	176	175	174	173	172	171	170
180.0	169	168	168	167	166	165	164	163	162	161
185.0	160	159	159	158	157	156	155	154	154	153
190.0	152	151	150	150	149	148	147	147	146	145
195.0	144	144	143	142	141	141	140	139	139	138
200.0	137	137	136	135	134	134	133	133	132	131
205.0	131	130	129	129	128	127	127	126	126	125
210.0	124	124	123	123	122	122	121	120	120	119
215.0	119	118	118	117	117	116	115	115	114	114
220.0	113	113	112	112	111	111	110	110	109	109
225.0	108	108	107	107	106	106	106	105	105	104
230.0	104	103	103	102	102	102	101	101	100	99.8
235.0	99.4	98.9	98.5	98.1	97.7	97.3	96.9	96.5	96.1	95.7
240.0	95.3	94.9	94.5	94.1	93.7	93.3	92.9	92.6	92.2	91.8
245.0	91.4	91.1	90.7	90.3	89.9	89.6	89.2	88.9	88.5	88.2
250.0	87.8	87.5	87.1	86.8	86.4	86.1	85.7	85.4	85.1	84.7
255.0	84.4	84.1	83.7	83.4	83.1	82.8	82.4	82.1	81.8	81.5
260.0	81.2	80.9	80.6	80.3	79.9	79.6	79.3	79.0	78.7	78.4
265.0	78.1	77.9	77.6	77.3	77.0	76.7	76.4	76.1	75.8	75.6
270.0	75.3	75.0	74.7	74.4	74.2	73.9	73.6	73.4	73.1	72.8
275.0	72.6	72.3	72.0	71.8	71.5	71.3	71.0	70.8	70.5	70.2

LAMPIRAN 3

HARDNESS CONVERSION TABLE AND APROXIMATE TENSILE STRENGTH

No	Vickers hardness number	Brinell number		Rockwell number		Scleroscope	Tensile strength
	HV	Steel ball	Carbide ball	C-scale	B-scale	Scope hardness	
			BHN		R _C	R _B	Shore
1	940			68		97	
2	920			67,5		96	
3	900			67		95	
4	880			66,4		93	
5	860			65,9		92	
6	840		745	65,3		91	
7	820		733	64,7		90	
8	800		722	64		88	
9	780		710	63,3		87	
10	760		698	62,5		86	
11	740		684	61,8		84	
12	720		670	61		83	
13	700		656	61,1		81	
14	680		638	59,2		80	250
15	660		620	58,3		79	243
16	640		601	57,3		77	234
17	620		582	56,3		75	225
18	600		564	55,2		74	216
19	580		545	54,1		72	208
20	560		525	53		71	200
21	540	496	507	51,7		69	190
22	520	480	488	50,5		67	185
23	500	465	471	49,1		66	175
24	480	448	452	47,7		64	168
25	460	433	433	46,1		62	156
26	440	415	415	44,5		59	150
27	420	397	397	42,7		57	141
28	400	379	379	40,8		55	133
29	379	360		38,8		52	127
30	360	341		36,6		50	116
31	340	322		34,4		47	110
32	320	303		32,2		45	104
33	300	284		29,8		42	97
34	290	275		28,5		41	94
35	280	265		27,1		40	90
36	270	256		25,6		38	86
37	260	247		24		37	84
38	250	238		22,2		36	81
39	240	228		20,3		34	78
40	230	219			99,1	33	76

Sumber: B.K Agrawal, 1988: 355

No	Vickers hardness number	Brinell number		Rockwell number		Scleroscope	Tensile strength
		Steel ball	Carbide ball	C-scale	B-scale	Scope hardness	
	HV	BHN		R _C	R _B	Shore	Kg/mm ²
41	220	209			97,5	32	73
42	210	200			95,7	30	70
43	200	190			93,8	29	67
44	190	181			91,6	28	66
45	180	171			89,2	26	62
46	170	162			86,5	25	58
47	160	152			83,4	23	54
48	150	143			80	22	51
49	140	133			76,1	21	48
50	130	124			71,5	20	46
51	120	114			66,3	18	43
52	110	105			60		
53	100	95			52,5		
54	90	85,5			43,3		
55	80	76			31,9		
56	70	66,5					
57	60	57					
58	50	47,5					
59	40	38					
60	30	28,5					



Sumber: B.K Agrawal, 1988: 355



LAMPIRAN 4

HASIL PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA 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>	Alumunium
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 5

HASIL PENGUJIAN KOMPOSISI KIMIA 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 <i>Report Nr</i>	0317	Bahan <i>Material</i>	Cu Based
Pemakai Jasa <i>Customer</i>	Bpk. Wahyono Suprpto	Identitas Bahan <i>Material Identity</i>	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 B846
Tanggal Uji <i>Date of Test</i>	25 Maret 2009	Mesin Uji <i>Testing machine</i>	Optical Emission Spectrometer

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 6

GAMBAR PRODUK



DAFTAR PUSTAKA

- Atmaja, Gusti Randa. 2011. *Analisis Sifat Mekanik Penambahan Unsur Cu Pada Coran Aluminium*. Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Avner. 1995. *Introduction of Physical Metallurgy*. Sydney
- Beeley, Peter. 2001. *Foundry Technology Second Edition*. London
- Callister. Jr. William. D., 1985. *Material Science and Engineering, Fourth Edition*. Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- De Garmo, E. P. 1997. *Materials and Processes In Manufacturing*. John Wiley & Sons, Inc.
- 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.
- Harjanto dan Suyitno, 2008. *Pengaruh Temperatur Tuang dan temperatur Cetakan pada High Pressure Die Casting (HPDC) Berbentuk Piston Paduan Aluminium Silikon*. Yogyakarta.
- Heine, Richard W. 1990. *Principle of Metal Casting*. New Delhi: Publishing Company.
- Kalpakjian, Serope. 1990. *Manufacturing Engineering and Technology*. USA: Addison Wesley Publishing Company.
- Lawrence. 1960. *Elements of Materials Science*. USA: Addison Wesley Publishing Company, Inc.
- Masnur, Dedy. 2005. *Perubahan Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Aluminium 4& Tembaga yang Di-Aging dengan Variasi Temperatur 160°C, 180°C, dan 200°C*. Universitas Riau, Pekanbaru.
- Mikell P. Groover. 2010. *Fundamental Modern of Manufacturing*. Florida.
- Noorsy. 2007. *Impor Aluminium akan Melonjak*, Sinar Harapan, 5542.
- Respati, 2010. *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Cetakan terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Hasil Pengecoran pada Material Aluminium Daur Ulang*.
- 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 Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- Surdia, Tata. & Saito, S. 2000. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Surdia, Tata. & Chijjiwa Kenji. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

www.Gordonengland.co.uk tanggal akses 29-07-2012

Pengaruh Variasi Temperatur Cetakan Terhadap Distribusi Kekerasan Dan *Castability* Pada *Rake* Hasil Coran Duralumin

Cintya Mega January, Wahyono Suprpto, Femiana Gapsari

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. Mayjend Haryono No. 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: cintya.mega@gmail.com

ABSTRAK

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*. Dalam hal ini peranan teknologi semakin penting. Salah satu cabang teknologi adalah teknologi pengolahan logam seperti pengecoran logam. Dari berbagai jenis logam, aluminium merupakan salah satu logam yang sering digunakan dan dipadukan dengan unsur lain untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Salah satu unsur yang dipadukan adalah unsur tembaga (Cu) yang dapat meningkatkan kekerasannya. Paduan Al-Cu sendiri sering disebut dengan duralumin. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur cetakan terhadap distribusi kekerasan dan *castability* pada *rake* (penggaruk padi) hasil pengecoran Al-Cu. Temperatur cetakan yang digunakan yaitu 260°C, 280°C, 300°C, 320°C, dan 340°C. Dari hasil penelitian didapatkan kekerasan yang paling tinggi terdapat pada bagian tengah strip *rake* dan diantara bagian kanan, tengah, dan kiri strip *rake* yang mempunyai nilai kekerasan tertinggi yaitu pada saat temperatur cetakan 260°C dengan nilai kekerasan 93,4 VHN pada bagian kiri, 94,9 VHN pada bagian tengah, dan 94 VHN pada bagian kanan. Sedangkan untuk *castability*, semakin tinggi temperatur cetakan maka *castability* cenderung mengalami peningkatan dengan *castability* yang paling baik terdapat pada temperatur cetakan 340°C dengan panjang hasil coran 30,6cm.

Kata Kunci: duralumin, temperatur cetakan, kekerasan, *castability*

PENDAHULUAN

Penggunaan paduan aluminium yang 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* [1]. Sekarang ini kebutuhan aluminium di Indonesia per tahun mencapai 200.000 hingga 300.000 ton dengan harga US\$3.305 per ton [2]. Disini peranan teknologi semakin penting dan dominan, dimana kita dituntut untuk menguasai teknologi yang semakin hari semakin berkembang. 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 dalam proses pengolahannya lebih baik jika aluminium ini dipadukan dengan unsur lain seperti tembaga karena aluminium murni mempunyai sifat mampu coran sifat mekanis yang rendah [3]. 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. 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 [4]. 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. Suatu produk yang baik adalah produk yang mempunyai sifat mekanik sesuai dengan yang diinginkan seperti kekerasan yang tinggi yang dapat dipengaruhi oleh salah satu faktor yaitu temperatur cetakan. Dari sinilah peneliti ingin mencoba memvariasikan temperatur cetakan pada pembuatan *rake* hasil coran duralumin karena dengan adanya pemberian panas pada suatu cetakan akan memberikan efek pelunakan pada logam cair yang dapat memperbaiki *castability*/ fluiditas sehingga akan didapat sifat mekanik yang diinginkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Sebelumnya

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 kekutan 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 $CuAl_2$ [5].

Harjanto, Budi dan Suyitno (2010) melakukan penelitian pengecoran logam dengan metode *High Pressure Die Casting (HPDC)* adalah metode pengecoran dengan cara menginjeksikan cairan logam kedalam cetakan dengan kecepatan dan tekanan tertentu menggunakan mesin *HPDC*. Cetakan yang digunakan berbahan dasar baja karbon. Penelitian ini menggunakan tekanan sebesar 40 bar. Variasi suhu tuang adalah 700°C, 750°C dan 800°C sedangkan untuk suhu cetakan adalah 150°C, 175°C dan 200°C. Kekerasan secara umum menurun dengan meningkatnya suhu tuang dan suhu dies. Didapatkan hasil suhu tuang maksimal adalah 700°C dan suhu cetakan 150 °C dengan kekerasan 97.86 VHN [6].

Respati, (2010) melakukan Penelitian dengan memvariasikan tekanan dan temperatur cetakan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sifat fisis dan mekanis pada pengecoran squeeze (direct squeeze casting) pada paduan aluminium daur ulang. Temperatur penuangan 700°C pada cetakan yang berbentuk die-punch yang dipanaskan pada variasi temperatur 300°C dan 400°C. Tekanan diberikan pada saat pembekuan sebesar 0 MPa, 10 MPa, 20 MPa dan 30 MPa selama 100 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengecoran squeeze mampu mengurangi cacat penyusutan, struktur silikon semakin halus, meningkatkan dan meratakan distribusi kekerasan Brinell. Penurunan temperatur cetakan menyebabkan struktur silikon semakin halus dan kekerasan naik [7].

Masnur, Dedy (2005) dengan judul penelitian perubahan sifat fisis dan mekanis paduan aluminium 4% tembaga yang di-aging dengan variasi temperatur 160°C, 180°C, 200°C. Pada penelitian yang dilakukan diketahui bahwa paduan Al-Cu sebelum dilakukan perlakuan panas nilai kekerasan paduan diperoleh 42,5 kg/mm². Dengan penambahan unsur tembaga pada

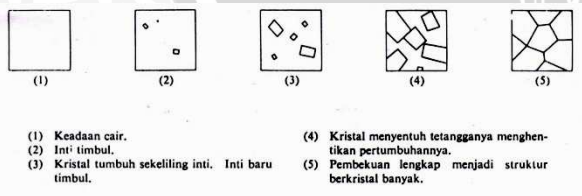
aluminium dapat mengubah sifat mekanis dengan meningkatkan harga kekerasan, namun diikuti dengan penurunan ketangguhan yang berakibat bahan menjadi getas [8].

Pengecoran Logam

Proses pengecoran logam 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.

Pembekuan Logam

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 1 berikut:



Gambar 1. Ilustrasi Skematis dari Pembekuan Logam

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 1,428Å dan atom tembaga mempunyai jari-jari 1,275Å.

Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan bahan untuk menahan penetrasi benda yang lebih keras dari luar tanpa terdeformasi plastis. Untuk mengetahui kekerasan suatu material maka dilakukan pengujian kekerasan. Pengujian ini merupakan satu dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang kecil tanpa kesukaran mengenai spesifikasi. Pada penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan *Micro Vickers Hardness Tester*.

Castability

Castability adalah kemampuan dari suatu zat (dalam hal ini logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini erat kaitannya dengan kekentalan zat cair yaitu

semakin tinggi kekentalan maka sifat mampu alirnya menurun. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas selain kekentalan, diantaranya adalah temperatur penuangan dan komposisi logam. Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan fluiditas dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini. Komposisi logam juga mempengaruhi fluiditas, terutama mencakup mekanisme pembekuan (solidifikasi) logam cair. Fluiditas yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperatur konstan.

METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi temperatur cetakan yaitu 260, 280, 300, 320, dan 340°C sebagai variabel bebas, distribusi kekerasan dan *castability* sebagai variabel terikat serta temperatur peleburan 900°C, tebal *rake* 3mm, waktu peleburan 4 jam, *ingot* Al 95%, dan *scrap* Cu 5% sebagai variabel terkontrol.

Alat dan Bahan

- Tungku *reverberatory* untuk meleburkan paduan aluminium (Al-Cu), tungku ini menggunakan bahan bakar LPG dengan kapasitas 5kg/jam untuk paduan aluminium, suhu maksimum



Gambar 2. Tungku Reverberatory

1300°C yang dapat dilihat pada gambar 2. Tempat percobaan di Laboratorium $\alpha\beta$ Landung Sari-Malang.

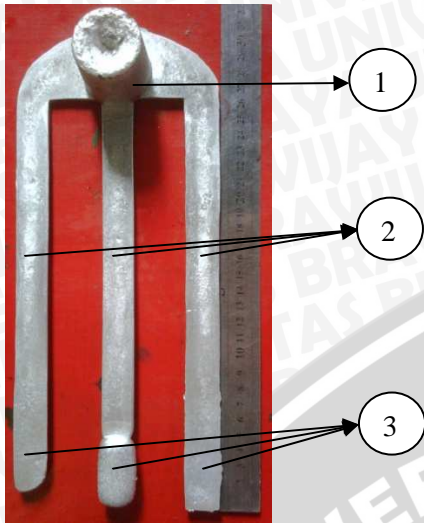
- Cetakan logam yang digunakan untuk cetakan produk *rake*. Cetakan terbuat dari baja yang tahan terhadap temperatur tinggi seperti pada gambar 3.
- *Micro Vickers Hardness Tester* untuk uji kekerasan hasil coran dengan pembebanan 100gf yang dapat dilihat pada gambar 4. Tempat pengujian di Laboratorium Uji Material Institut Teknologi Nasional-Malang. Bagian specimen yang diuji kekerasan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 3. Cetakan Rake



Gambar 4. Micro Vickers Hardness Tester



Keterangan:

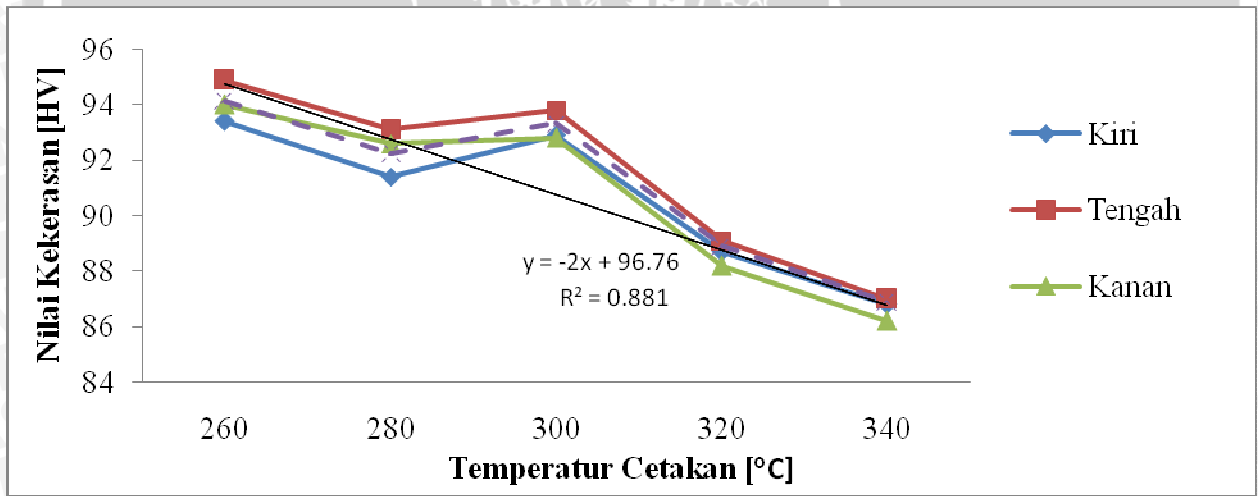
1. Bagian pangkal
2. Bagian tengah terdiri dari kanan, tengah, dan kiri
3. Bagian ujung terdiri dari dari kanan, tengah, dan kiri

- Penggaris untuk pengukuran panjang hasil uji *castability* (fluiditas) pada hasil coran duralumin

Gambar 5. Hasil coran

HASIL DAN PEMBAHASAN

- **Distribusi Kekerasan**



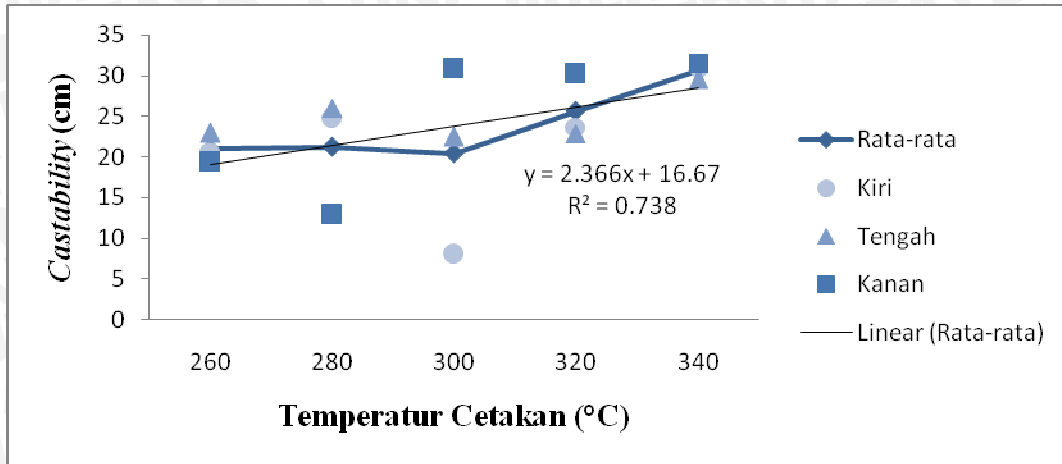
Gambar 6. Grafik hubungan antara Temperatur Cetakan terhadap Distribusi Kekerasan

Penjelasan lebih lanjut dari gambar 6 adalah dengan meningkatnya temperatur cetakan maka kekerasan pada tiap strip *rake* cenderung mengalami penurunan. Pada strip *rake* bagian tengah mempunyai kekerasan yang paling tinggi diantara bagian kanan dan kiri yaitu pada temperatur cetakan 260°C nilai kekerasan 94,9 VHN, pada temperatur cetakan 280°C mempunyai nilai kekerasan 93,1 VHN, pada temperatur cetakan 300°C mempunyai nilai kekerasan 93,8 VHN, pada temperatur cetakan 320°C mempunyai nilai kekerasan 89,1 VHN, pada temperatur cetakan 340°C mempunyai nilai kekerasan 87 VHN. Sedangkan pada strip *rake* bagian kanan dan kiri mempunyai kekerasan yang tidak terlalu tinggi perbedaannya yaitu saat temperatur cetakan 260°C, pada bagian kanan mempunyai nilai kekerasan 94 VHN dan pada bagian kiri mempunyai nilai kekerasan 93,4 VHN. Saat temperatur cetakan 280°C, pada bagian kanan mempunyai nilai kekerasan 92,6 VHN dan pada bagian kiri mempunyai nilai kekerasan 91,4 VHN. temperatur cetakan 300°C, pada bagian kanan mempunyai nilai kekerasan 92,8 VHN dan pada bagian kiri mempunyai nilai kekerasan 92,9 VHN. Temperatur cetakan 320°C, pada bagian kanan mempunyai nilai kekerasan 88,2 VHN dan pada bagian kiri mempunyai nilai kekerasan 88,7 VHN. temperatur cetakan 340°C, pada bagian kanan mempunyai nilai kekerasan 86,2 VHN dan pada bagian kiri mempunyai nilai kekerasan 86,8 VHN.

Dari sini terlihat bahwa nilai kekerasan terendah didapat dari temperatur cetakan 340°C, sedangkan kekerasan tertinggi didapat dari temperatur cetakan 260°C. Penurunan kekerasan disebabkan karena makin tinggi temperatur cetakan, maka gradien temperatur logam cair dan cetakan semakin rendah sehingga laju pembekuan semakin lambat dan ukuran butir lebih besar dan mengakibatkan

kekerasan logam menjadi rendah. Namun terjadi penyimpangan pada temperatur cetakan 300°C yaitu mengalami peningkatan nilai kekerasan. Hal ini bisa disebabkan oleh pada saat temperatur cetakan 300°C atom Cu memiliki energi yang lebih akibat pemanasan dari cetakan untuk berpresipitasi menjadi partikel yang halus dan seiring dengan menurunnya temperatur cetakan saat temperatur cetakan 300°C, atom-atom Cu mulai berkelompok membentuk fasa θ (Al_2Cu) terutama pada daerah butir dan menarik atom-atom aluminium yang berada dalam larutan padat α sehingga menimbulkan tegangan pada kisi-kisi kristal. Dengan adanya daerah dengan penguatan tersebut maka akan menghambat dislokasi yang terjadi pada logam. Pada temperatur cetakan di atasnya yaitu 320 dan 340°C, fasa θ (Al_2Cu) yang terbentuk semakin besar dan membentuk struktur sendiri yang menimbulkan putusnya ikatan dengan larutan padat α yang menyebabkan kekerasan menurun.

Castability



Gambar 7. Grafik Hubungan antara Temperatur Cetakan terhadap *Castability*

Dari grafik yang terlihat pada gambar 7 dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya temperatur maka *castability* logam cair cenderung mengalami peningkatan pula karena terjadi efek pelunakan yang disebabkan oleh adanya pemanasan yang berulang-ulang pada logam cair yang ada dalam cetakan sehingga panas yang dilepas logam cair semakin kecil dan mengakibatkan logam cair membeku pada jarak yang panjang. Pada penelitian ini, *castability* duralumin tertinggi terjadi pada temperatur cetakan 340°C yang mempunyai panjang rata-rata 30,6cm. Namun pada temperatur cetakan 300°C mengalami penurunan *castability* yaitu dari panjang rata-rata 21,2cm pada temperatur cetakan 280°C menjadi 20,4cm pada temperatur cetakan 300°C. Hal ini disebabkan oleh faktor yang tidak terkontrol saat penelitian yaitu temperatur penuangan. Saat penelitian, temperatur peleburan telah ditentukan sebesar 900°C namun untuk menjaga temperatur penuangan sangatlah sulit karena pada saat penuangan logam, kowi harus dikeluarkan terlebih dahulu dari tungku dan kemudian baru dituang ke cetakan logam sehingga saat penuangan logam cair,

temperatur logam cair pada temperatur cetakan 300°C ini lebih rendah daripada variasi temperatur cetakan lainnya yang berpengaruh pada viskositas logam cair yang menjadi tinggi dan kecepatan aliran logam cair menjadi rendah yang mengakibatkan logam cair akan membeku pada jarak yang pendek.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin meningkatnya temperatur cetakan pada cetakan logam maka nilai kekerasan pada hasil coran duralumin juga cenderung mengalami penurunan dan kekerasan tertinggi terdapat pada temperatur cetakan 260°C dengan nilai kekerasan yaitu 93,4 VHN pada bagian kiri, 94,9 VHN pada bagian tengah, dan 94 VHN pada bagian kanan.
2. Dengan meningkatnya temperatur cetakan pada cetakan logam maka *castability* paduan aluminium (Al-Cu) cenderung mengalami peningkatan dan *castability* terpanjang terdapat pada

temperatur cetakan 340°C dengan panjang hasil coran rata-rata 30,6cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Smith, F. William. 1995. *Material Science and engineering*. (second edition). New York: McGraw-Hill inc.
- [2] Noorsy. 2007. *Impor Aluminium akan Melonjak*, Sinar Harapan, 5542.
- [3] Heine, W. R., 1990. *Principle of Metal Casting*. New Delhi: Tata McGraw hill, Publishing Company Ltd.
- [4] Surdia, T. 1996. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pt. Pradnya Paramita.
- [5] Randa Atmaja, Gusti. 2010. *Analisis Sifat Mekanik Penambahan Unsur Cu pada Coran Aluminium*. Makassar.
- [6] Harjanto, Budi dan Suyitno, 2008. *Pengaruh Temperatur Tuang dan temeperatur Cetakan pada High Pressure Die Casting (HPDC) Berbentuk Piston Paduan Aluminium Silikon*. Yogyakarta.
- [7] Respati, 2010. *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Cetakan terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Hasil Pengecoran pada Material Aluminium Daur Ulang*.
- [8] Masnur, Dedy. 2005. *Perubahan Sifat Fisis dan Mekanis Paduan Aluminium 4% Tembaga yang Di-Aging dengan Variasi Temperatur 160°C, 180°C, dan 200°C*. Pekanbaru.

