



**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR
MAGNESIUM PADA SIFAT MEKANIS PENGECORAN
ALUMINIUM PADUAN APLIKASI *HANDLE REM* SEPEDA
MOTOR**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Dalam Rangka Penyelesaian Studi

Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik

Program Studi Teknik Mesin

Oleh :

ARSALAN NABHAN

6418500029

FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER

UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL

2023

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

Skripsi yang berjudul **“ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MAGNESIUM PADA SIFAT MEKANIS PENGECORAN ALUMINIUM PADUAN APLIKASI *HANDLE REM* SEPEDA MOTOR“**

Nama Penulis : Arsalan Nabhan

NPM : 6418500029

Telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk di pertahankan di hadapan sidang dewan penguji skripsi Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal.

Hari : Rabu

Tanggal : 12 Juli 2023

Dosen Pembimbing 1

12/7
2023



(Rusnoto, ST., M.Eng)

NIPY. 14054121974

Dosen Pembimbing 2



(Isradias Mirajhusnita, ST, MT)

NIPY. 22561051983

HALAMAN PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik
Universitas Pancasakti Tegal.


Pada hari : Kamis

Tanggal : 20 Juli 2023

Ketua sidang

Teguh Haris Santoso, ST. MT

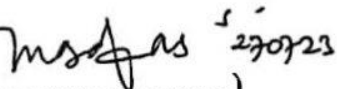
NIPY. 2466451973


(.....)

Penguji Utama

M. Agus Sidiq, ST. MT


NIPY. 20562111978


(.....)

Penguji 1

Rusnoto, ST., M.Eng

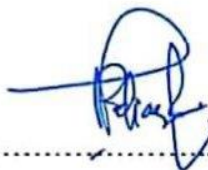
NIPY. 14054121974


(.....)

Penguji 2

Isradias Mirajhusnita, ST, MT

NIPY. 22561051983


(.....)

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Universitas Pancasakti Tegal



(Dr. Agus Wibowo, S.T., M.T.)

NIPY. 126518101972

HALAMAN PERNYATAAN

Dalam penulisan skripsi ini saya tidak melakukan penjiplakan, dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MAGNESIUM PADA SIFAT MEKANIS PENGECORAN ALUMINIUM PADUAN APLIKASI *HANDLE REM* SEPEDA MOTOR“ ini dan seluruh isinya adalah benar-benar karya sendiri. Atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai etika yang berlaku dalam masyarakat keilmuan sebagaimana mestinya.

Demikian pernyataan ini untuk di jadikan sebagai pedoman bagi yang berkepentingan dan saya siap menanggung segala resiko dan sanksi yang di berikan kepada saya apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran atas etika keilmuan dalam karya tulis ini, atau adanya klaim atas karya tulis ini.

Tegal, 12 Juli 2023



Arsalan Nabhan

NPM. 6418500029

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

Akan selalu ada jalan menuju sebuah kesuksesan bagi siapapun, selama orang tersebut mau berusaha dan bekerja keras untuk memaksimalkan kemampuan yang di milikinya.

Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya. Ali bin Abi Thalib.

Menuntut ilmu adalah takwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad. Abu Hamid Al Ghazali.

PERSEMBAHAN

1. Setiap goresan tinta ini adalah wujud dari keagungan dan kasih sayang yang diberikan Allah SWT kepada umatnya.
2. Setiap detik waktu menyelesaikan skripsi ini merupakan hasil getaran doa kedua orang tua, saudara, dan orang-orang terkasih yang mengalir tiada henti.
3. Setiap pancaran semangat dalam penulisan dan penelitian ini merupakan dorongan dan dukungan dari sahabat-sahabatku tercinta.
4. Setiap makna pokok bahasan pada bab-bab dalam skripsi ini merupakan hampasan kritik dan saran dari dosen pembimbing dan teman-teman .

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT berkat Rahmat, Hidayah, dan Karunia-Nya kepada kita semua sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR MAGNESIUM PADA SIFAT MEKANIS PENGECORAN ALUMINIUM PADUAN APLIKASI *HANDLE REM SEPEDA MOTOR*”**. Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan studi strata Program Studi Teknik Mesin.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Agus Wibowo, ST.MT. selaku Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer.
2. Bapak Rusnoto, ST., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu Isradias Mirajhusnita, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing II.
4. Segenap Dosen dan Staf Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.
5. Bapak dan ibuku yang tak pernah lelah mendoakan ku.
6. Teman-teman baik didalam kampus maupun diluar kampus yang telah memberikan dukungan moral dalam menyusun skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu hingga laporan ini selesai, semoga bantuan dan bimbingan yang telah di berikan mendapat balasan yang sesuai dari Allah SWT.

Kami menyadari skripsi ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan dilapangan serta bisa dikembangkan lebih lanjut. Amiin.

Tegal, 12 Juli 2023

Peneliti

ABSTRAK

Arsalan Nabhan, 2023. “Analisa pengaruh penambahan unsur magnesium pada sifat mekanis pengecoran aluminium paduan aplikasi *handle rem* sepeda motor“ Skripsi Teknik Mesin, Universitas Pancasakti Tegal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan sifat mekanik pada pengecoran aluminium silikon dipadukan dengan magnesium (Mg) sebesar 0%, 1,5%, 3,5% dan 5,5% terhadap kekuatan *impact*, kekuatan tarik, dan nilai kekerasan.

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen pengecoran aluminium silikon (piston bekas) yang dipadukan dengan magnesium menggunakan proses pengecoran *Stir casting* dengan kecepatan putar 280 rpm selama 5 menit, temperatur peleburan 720°C, temperatur penuangan 700°C, dan cetakan yang dipakai menggunakan cetakan pasir kering (*Sand casting*). Kemudian dilakukan pengujian *impact charpy*, kuat tarik, dan kekerasan *brinell* menggunakan standar JIS.

Dari hasil data yang diperoleh hasil uji *impact* paduan magnesium (0%, 1,5%, 3,5% dan 5,5%) terbaik adalah pada *raw material* dengan nilai 0,046 J/mm², adapun uji *impact* terendah adalah pada penambahan Mg 1,5% dengan nilai 0,038 J/mm². Hasil uji kuat tarik terbaik adalah pada *raw material* dengan nilai 68,7 N/mm², adapun uji tarik terendah adalah pada penambahan Mg 3,5% dengan nilai 57,2 N/mm². Sedangkan nilai kekerasan paling besar adalah pada *raw material* dengan nilai 66,9 HB, adapun nilai kekerasan terendah adalah pada penambahan Mg 1,5% dengan nilai 59,9 HB. Dari hasil pengujian yang dilakukan bahwa penambahan magnesium (Mg) belum dapat menyamai sifat yang seharusnya yaitu menambah kekuatan sifat mekanik pada aluminium.

Kata kunci : Aluminium silikon (piston bekas), Magnesium, *Handle rem*, *Stir casting*, *Sand casting*, uji *impact charpy*, uji kuat tarik, dan uji kekerasan *brinell*.

ABSTRACT

Arsalan Nabhan, 2023. *“Analysis of the effect of the addition of magnesium on the mechanical properties of aluminum alloy castings for motorcycle brake handle applications”* Thesis of Mechanical Engineering, Pancasakti University, Tegal.

The purpose of this study was to determine the strength of the mechanical properties of aluminum silicon casting combined with magnesium (Mg) of 0%, 1,5%, 3,5% and 5,5% on impact strength, tensile strength, and hardness values.

The research method used in this research is the experimental method of casting aluminum silicon (used pistons) combined with magnesium ingots using a Stir casting casting process with a rotational speed of 280 rpm for 5 minutes, a melting temperature of 720°C, a pouring temperature of 700°C, and a mold used using a mold dry sand (Sand casting). Then tested the charpy impact, tensile strength, and brinell hardness using the JIS standard.

From the results of the data obtained from the impact test results for magnesium alloy (0%, 1,5%, 3,5% and 5,5%) the best is on raw material with a value of 0,046 J/mm², while the lowest impact test is on the addition of Mg 1,5% with a value of 0,038 J/mm². The best result of the tensile strength test was on raw material with a value of 68,7 N/mm², while the lowest tensile test was on the addition of 3,5% Mg with a value of 57,2 N/mm². While the highest hardness value is in the raw material with a value of 66,9 HB, while the lowest hardness value is in the addition of 1,5% Mg with a value of 59,9 HB. From the results of the tests carried out that the addition of magnesium (Mg) has not been able to match the properties that should be, namely increasing the strength of the mechanical properties of aluminum.

Keywords : Aluminum silicon (used pistons), Magnesium, Brake handle, Stir casting, Sand casting, impact charpy test, tensile strength test, and brinell hardness test.

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
PRAKATA.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GRAFIK.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
HALAMAN LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Batasan Masalah.....	3
C. Rumusan Masalah.....	3
D. Tujuan Penelitian.....	4
E. Manfaat Penelitian.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Landasan Teori.....	7
1. Pengecoran Logam.....	7
2. Sifat mekanis.....	24
3. Aluminium.....	26
4. Paduan Aluminium.....	32
5. Magnesium.....	38
6. <i>Handle rem</i> (Tuas rem).....	40

7. Uji Komposisi	41
8. Uji <i>Impact</i>	41
9. Uji Tarik.....	43
10. Uji Kekerasan	45
B. Tinjauan Pustaka.....	49
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	57
A. Metode Penelitian	57
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	57
C. Instrumen Penelitian dan Desain Penelitian	58
D. Prosedur Penelitian	68
E. Teknik Pengambilan Sampel	69
F. Variabel Penelitian.....	70
G. Metode Pengumpulan Data.....	71
H. Metode Analisa Data.....	71
I. Diagram Alur Penelitian	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema cetak pasir	11
Gambar 2.2 Skema proses <i>investmen casting</i>	14
Gambar 2.3 Skema proses <i>die casting</i>	17
Gambar 2.4 <i>Hot chamber die casting machine</i>	17
Gambar 2.5 <i>Cold chamber high pressure die casting machine</i>	18
Gambar 2.6 Pengecoran tekanan rendah	19
Gambar 2.7 Pengecoran <i>centrifugal</i> sejati	21
Gambar 2.8 Pengecoran semi <i>centrifugal</i>	22
Gambar 2.9 Pengecoran <i>centrifuge</i>	23
Gambar 2.10 <i>Plaster mold casting</i>	23
Gambar 2.11 Aluminium murni	27
Gambar 2.12 <i>Handle rem</i> (Tuas rem)	40
Gambar 2.13 Skema pengujian <i>impact charpy</i>	42
Gambar 2.14 Skema pengujian tarik	44
Gambar 2.15 Parameter dasar uji kekerasan <i>brinell</i>	49
Gambar 3.1 Piston bekas	59
Gambar 3.2 Magnesium	59
Gambar 3.3 Cetakan pasir	60
Gambar 3.4 Tungku peleburan	60
Gambar 3.5 Pengaduk (<i>Stir casting</i>)	61
Gambar 3.6 Timbangan digital	61
Gambar 3.7 Gerenda	62
Gambar 3.8 Palu besi	62
Gambar 3.9 <i>Thermocouple</i>	63
Gambar 3.10 <i>Vernier caliper</i>	63
Gambar 3.11 <i>Stopwatch</i>	64
Gambar 3.12 Tang penjepit	64
Gambar 3.13 Sarung tangan tahan panas	64

Gambar 3.14 Alat uji <i>impact</i>	65
Gambar 3.15 Alat uji tarik	65
Gambar 3.16 Alat uji kekerasan.....	66
Gambar 3.17 Spesimen uji <i>impact charpy</i>	66
Gambar 3.18 Spesimen uji tarik.....	67
Gambar 3.19 Spesimen uji kekerasan <i>brinell</i>	67
Gambar 3.20 Diagram alur penelitian	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Temperatur penuangan untuk berbagai macam logam	8
Tabel 2.2 Sifat fisik aluminium.....	31
Tabel 2.3 Sifat mekanik aluminium	31
Tabel 2.4 Klasifikasi paduan aluminium	33
Tabel 2.5 Karakteristik uji kekerasan.....	47
Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian.....	57
Tabel 3.2 Jumlah specimen pengujian	70
Tabel 3.3 Data hasil uji <i>impact charpy</i>	71
Tabel 3.4 Data hasil uji tarik	72
Tabel 3.5 Data hasil uji kekerasan <i>brinell</i>	73

HALAMAN LAMBANG DAN SINGKATAN

ASTM	: american society for testing and material
JIS	: japan industrial standard
Cu	: tembaga
Zn	: seng
Fe	: besi
Pb	: timbal
Si	: silikon
Mn	: mangan
Ni	: nikel
Sn	: timah
Sb	: antimon
Mg	: magnesium
Al	: aluminium
σ	: sigma
J/mm^2	: joule per millimeter kuadrat
β	: beta
ϵ	: epsilon
α	: alpha
mm^2	: millimeter kuadrat
mm^3	: millimeter kubik
HI	: harga <i>impact</i>
HB	: <i>hardness brinell</i>
E	: energi yang diserap untuk mematahkan spesimen
A	: luas penampang spesimen

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Pengecoran logam adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian yang memiliki bentuk yang mirip dengan geometri produk akhir. Proses ini disukai karena dapat menghasilkan produk dari bentuk yang sederhana hingga kompleks dengan berat yang beragam dari satuan gram hingga ton, dan memiliki proses finishing yang sederhana, yang mengurangi biaya dan waktu produksi. Akibatnya, proses ini banyak digunakan di industri. (Surdia dan Chijiwa, 2013).

Karena kekuatan yang tinggi, massa jenis atau densitas yang rendah, daya tahan atau durabilitas yang baik, kemampuan permesinan yang baik, dan biaya yang kompetitif, aluminium paduan telah lama digunakan pada aplikasi tertentu. (Kurniawan, F. A., & Isranuri, I, 2016). Paduan aluminium silikon banyak digunakan dalam komponen otomotif karena memiliki kemampuan untuk mengurangi koefisien ekspansi termalnya. Ini sangat penting selama proses pendinginan, karena volume paduan aluminium akan menyusut selama proses pemanasan. Paduan Al-Si, yang membutuhkan perlakuan panas, dikombinasikan dengan Mg, Cu, dan Ni untuk memberikan kekerasan saat dipanaskan. (Rusnoto, 2014). Paduan aluminium sangat bermanfaat dalam berbagai aplikasi. Ini termasuk komponen kendaraan bermotor seperti velg, piston, tromol, sirip radiator, dan komponen lainnya. Magnesium umumnya

digunakan pada paduan Al-Si kompleks yang mengandung Cu, Ni, dan elemen lain dengan sifat yang serupa, karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan paduan Al-Si yang telah dipanaskan. (Rusnoto, 2014). Magnesium tidak cukup kuat sendirian karena sifatnya yang ringan, mudah terbakar, dan mudah bereaksi dengan logam lain. Akibatnya, banyak paduan magnesium cocok untuk proses pembentukan, pengecoran, dan permesinan untuk mendapatkan komponen yang berkualitas tinggi. (Surdia dan Saito, 1999).

Salah satu bagian yang paling penting dari sebuah kendaraan bermotor adalah *handle rem* (tuas rem), yang berfungsi untuk mengatur pengereman kendaraan bermotor. Ada beberapa alasan mengapa *handle rem* (tuas rem) dapat patah, salah satunya karena tekanan atau benturan yang signifikan atau karena bahan metalnya yang mungkin memiliki porositas, porositas merup, atau porositas ruptur. Tuas rem kendaraan bermotor dibuat dengan kekuatan yang cukup untuk mencegah patah sehingga dapat berfungsi dengan baik saat digunakan untuk menghentikan laju kendaraan. Tuas rem yang baik dibuat dengan menggunakan campuran material bahan yang memiliki sifat mekanis yang kuat untuk menahan beban kejut atau benturan, sehingga tidak mudah patah. Ini karena banyak kasus di mana tuas rem kendaraan bermotor sangat kuat terhadap beban kejut atau benturan.

Penulis tertarik untuk menemukan solusi untuk masalah ini dan melakukan penelitian dengan judul “**Analisis pengaruh penambahan unsur magnesium pada sifat mekanis pengecoran aluminium paduan aplikasi *handle rem* sepeda motor**”.

B. Batasan Masalah

Agar tujuan penelitian ini dapat dicapai sepenuhnya, peneliti membatasi lingkup pembahasan berikut:

1. Untuk membuat handle rem sepeda motor, bahan yang digunakan adalah Aluminium silikon.
2. Magnesium ingot ditambahkan dengan tingkat 0%, 1,5%, 3,5%, dan 5,5%.
3. Produk yang dihasilkan adalah *handle rem* sepeda motor bahan aluminium silikon paduan magnesium dengan model yang serupa.
4. Uji tekanan, tarik, dan kekerasan adalah ujian yang dilakukan.

C. Rumusan Masalah

Agar penelitian dapat dilakukan dengan tepat dan mencapai tujuan, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan Mg sebesar 0%, 1,5%, 3,5% dan 5,5% terhadap kekuatan *impact* pada pengecoran aluminium paduan?
2. Bagaimana pengaruh penambahan Mg sebesar 0%, 1,5%, 3,5% dan 5,5% terhadap kekuatan tarik pada pengecoran aluminium paduan?
3. Bagaimana pengaruh penambahan Mg sebesar 0%, 1,5%, 3,5% dan 5,5% terhadap nilai kekerasan pada pengecoran aluminium paduan?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 0%, 1,5%, 3,5% dan 5,5% terhadap kekuatan *impact* pada pengecoran aluminium paduan.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 0%, 1,5%, 3,5 dan 5,5% terhadap kekuatan tarik pada pengecoran aluminium paduan.
3. Untuk mengetahui pengaruh penambahan Mg sebesar 0%, 1,5%, 3,5% dan 5,5% terhadap nilai kekerasan pada pengecoran aluminium paduan.

E. Manfaat Penelitian

Berikut adalah beberapa keuntungan dari penelitian ini:

1. Bagi mahasiswa
Menggambarkan secara khusus bagaimana kekuatan material bahan paduan mempengaruhi aluminium silikon, khususnya dengan penambahan magnesium.
2. Bagi akademik
 - a. Sebagai referensi untuk kemajuan dan penelitian yang akan datang di jurusan teknik mesin.
 - b. Ada pustaka tambahan yang membantu perkuliahan.

3. Bagi industri

- a. Ada kemungkinan bahwa ini akan berkontribusi pada perkembangan ilmu material dan industri pengecoran, baik kecil maupun besar, dalam proses pembuatan *handle rem* dengan menggunakan limbah piston bekas dengan memberikan penambahan unsur Mg yang diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik tersebut.
- b. Melalui variasi penambahan unsur Mg, dapat membantu mencapai tingkat kekerasan paduan aluminium silikon yang diinginkan.

F. Sistematika Skripsi

Skripsi ini terdiri dari beberapa bagian, antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan keuntungan penelitian.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini membahas landasan teori dan tinjauan literatur..

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas metode penelitian, waktu dan lokasi penelitian, prosedur pengambilan sampel, variabel atau fenomena yang diamati, teknik pengumpulan dan pengolahan data, dan pengujian bahan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data yang dikumpulkan yang akan dianalisis selanjutnya dibahas pada bab ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini mencakup kesimpulan, menjawab tujuan penelitian, dan rekomendasi untuk meningkatkan penelitian berikutnya. Setelah analisis dan pembahasan selesai, bab ini mencakup kesimpulan.

DAFTAR PUSTAKA

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah proses di mana logam cair panas dimasukkan ke dalam cetakan yang mengandung potongan berlubang atau rongga yang memiliki bentuk yang diinginkan. Logam dibentuk setelah mendingin dan mengeras menjadi bentuk yang diinginkan. Setelah itu, logam dikeluarkan dari cetakan dengan memecah atau memisahkan cetakan tersebut. Proses pengecoran logam ini dapat digunakan untuk membuat benda-benda dengan bentuk yang rumit, lubang berukuran besar, atau benda-benda yang mahal jika dibuat dengan cara lain. Mereka juga dapat diproduksi secara massal dengan biaya yang rendah jika digunakan dengan teknik lain. Pengecoran logam dapat dilakukan untuk berbagai jenis logam seperti kuningan, perunggu, tembaga, besi, baja, dan lain-lain. Bisa digunakan untuk berbagai jenis logam paduan ringan, seperti paduan magnesium, aluminium, dan lainnya. Membuat coran memerlukan beberapa langkah. Ini termasuk membuat model atau cetakan pencairan logam, memasukkan cairan logam ke cetakan yang telah dibuat, memecah atau memisahkan cetakan, dan kemudian membersihkan dan memeriksa coran. Menurut jenis cetakan, metode pengecoran logam dibagi menjadi dua kategori: metode cetakan tetap dan metode cetakan tidak tetap.

Pengecoran logam cetakan memiliki banyak metode yang tetap. Ini termasuk pengecoran cetakan dengan tekanan tinggi, pengecoran cetakan dengan tekanan rendah, pengecoran cetakan gravitasi, dan pengecoran cetakan investasi yang kehilangan foam. Semua jenis pengecoran memiliki kelebihan dan kekurangan, jadi ketika Anda memilih metode pengecoran untuk proses produksi, Anda harus mempertimbangkan banyak hal, seperti biaya, kualitas, dan fungsi (Surdia dan Chijiwa, 2013).

Logam dapat dicairkan dengan berbagai Cara, ini dapat dilakukan melalui pemanasan induksi logam dalam tanur induksi atau tungku listrik, atau melalui tanur kupola atau tanur pelebur dalam pengecoran logam untuk melebur besi tuang kelabu.

Temperatur peleburan yang lebih tinggi berkontribusi pada penurunan volume dan berat hasil pengecoran, dan waktu peleburan yang lebih lama juga berkontribusi pada penurunan volume dan berat hasil pengecoran (Rudi Siswanto, 2014).

Berikut ini merupakan temperatur penuangan untuk berbagai macam logam :

Tabel 2.1 Temperatur penuangan untuk berbagai macam logam.

No.	Macam-macam Logam	Temperatur Penuangan (°C)
1	Paduan ringan	650-750
2	Brons	1100-1250
3	Kuningan	950-1100
4	Besi cor	1250-1450

5	Baja cor	1500-1550
---	----------	-----------

Sumber : (Surdia dan Chijiwa, 2013)

Secara umum, ada beberapa jenis pengecoran. Setiap jenis memiliki fitur tertentu, dan masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan.

Jenis pengecoran berikut:

a) *Sand casting*

Sand casting adalah metode pengecoran dengan memakai media pasir. Untuk jenis pasir yang digunakan, biasanya menggunakan pasir Silica (SiO_2). Hasilnya sangat dipengaruhi oleh ukuran pasir. Pengecoran pasir ini mengurangi risiko kerusakan pada material yang dihasilkan karena sangat fleksibel dan cepat menyusut selama proses pendinginan. Terlihat bahwa biaya produksinya rendah. Dengan kapasitas berukuran cukup, dapat digunakan untuk pengecoran bahan besi dan non-besi. Salah satu kekurangan pengecoran pasir adalah ketidakakuratannya, yang membuat benda-bendanya membutuhkan toleransi yang tinggi, dan sulit mendapatkan hasil pengecoran dengan permukaan yang halus. Ada tiga kategori cetakan pasir, yaitu:

1) Cetakan pasir basah.

Sebuah campuran pasir, lempung, dan air dapat digunakan untuk membuat cetakan ini

Kelebihan dari cetak pasir basah:

- (a) Memiliki kolapsibilitas yang baik.
- (b) Permeabilitas baik.
- (c) Reusabilitas yang baik.
- (d) Murah.

Kelemahan cetakan pasir basah:

- (a) Kondisi basah dapat menyebabkan kerusakan pada logam dan bentuk tertentu.

2) Cetakan pasir kering.

Untuk membuat cetakan ini, bahan pengikat organik dapat digunakan. Kemudian, untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan cetakan, mereka dibakar dalam oven dengan suhu antara 200 dan 300 derajat Celcius.

Kelebihan cetakan pasir kering:

- (a) Dimensi produk cetak lebih baik.

Kelemahan cetakan pasir kering:

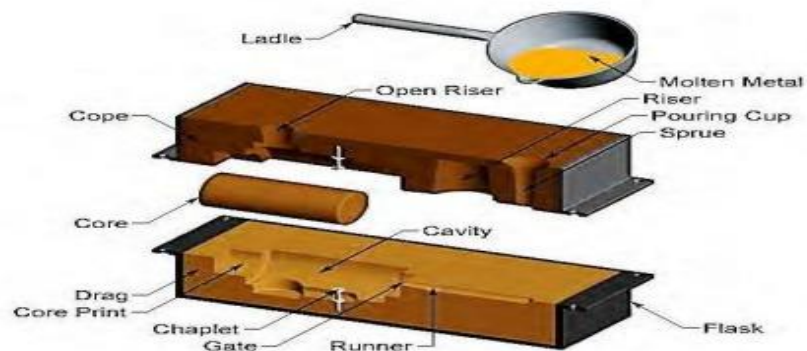
- (a) Lebih mahal dibandingkan dengan cetakan pasir basah.
- (b) Laju produksi lebih rendah karena dibutuhkan waktu peringanan.

(c) Pemakaian terbatas untuk coran yang *medium* dan besar dalam laju produksi rendah atau *medium*.

3) Cetakan kulit kering.

Cetakan kulit kering dibuat dengan mengeringkan permukaan pasir basah dengan kedalaman 1,2 cm sampai 2,5 cm. Untuk memperkuat permukaan rongga cetakan, bahan perekat khusus ditambahkan ke campuran pasir. Jenis klasifikasi cetakan yang telah dibahas dianggap sebagai klasifikasi konvensional. Cetakan saat ini menggunakan pengikat bahan kimia. Beberapa bahan pengikat yang tidak memerlukan proses pembakaran antara lain resin turan, penolik, minyak, dan sebagainya.

Pengecoran pasir dilakukan dengan menuangkan logam panas ke dalam cetakan dan menunggu hingga dingin. Kemudian, Anda mengambil coran yang telah dibuat dan membersihkan sisa coran. Secara umum, cetakan pasir harus terdiri dari tiga bagian utama:



Gambar 2.1. Skema cetak pasir

Sumber : (Jurnal pasti, vol.XIII, No.2, Agustus 2019, pp.177- 186)

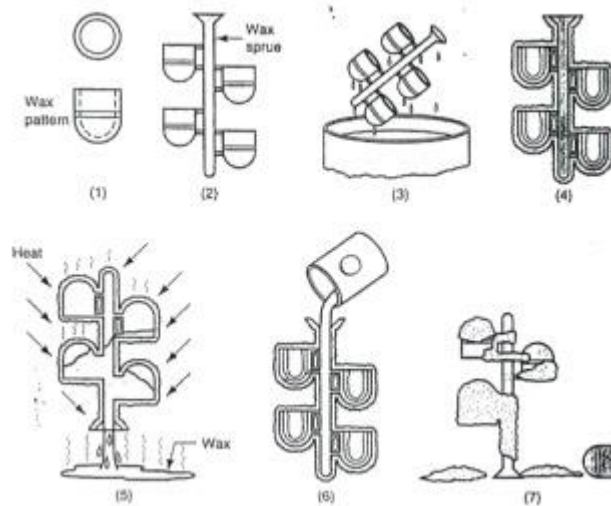
- 1) Rongga cetakan (*cavity*), adalah bagian dimana logam cair dituangkan ke dalam cetakan. Bentuk rongga ini sama dengan bentuk bagian cetakan. Rongga cetakan dibuat menggunakan *template*.
- 2) *Core* (inti), tugasnya adalah membuat rongga pada benda yang terbuat dari coran. Inti dibuat secara terpisah dari cetakan dan dirakit saat cetakan digunakan. Bahan inti harus tahan terhadap suhu cairan logam dan biasanya terbuat dari pasir.
- 3) *Gating system* (sistem saluran masuk), merupakan saluran masuk ke dalam rongga cetakan melalui saluran turun dasar, pengalir, dan gate. Ukuran rongga cetakan yang akan diisi oleh logam cair menentukan sistem gatingnya.
- 4) *Sprue* (Saluran turun), merupakan saluran pertama di mana cairan logam masuk ke dalam pengalir dan saluran masuk melalui cawang tuang. Saluran turun lurus dan tegak dengan irisan lingkaran atau persegi, kadang-kadang sama besar dari atas ke bawah, atau kadang-kadang berbentuk tirus ke bawah atau mengecil pada bagian bawah. Fungsi saluran turun dengan luasan yang mengecil pada bagian bawah adalah untuk mengurangi aspirasi udara dan gas yang terjebak. Aliran logam cair membentuk olakan dan aliran jatuh bebas karena bentuk pasir cetak, yang dibawa oleh logam cair.

- 5) *Pouring cup* atau *basin*, merupakan cekungan pada cetakan yang berfungsi utama untuk mengurangi kecepatan logam cair yang masuk langsung dari ladle ke sprue. Karena kecepatan aliran logam yang tinggi, sprue dapat rusak dan terkena kotoran logam cair yang berasal dari tungku kerongga cetakan.
 - 6) *Riser* (penambah), merupakan cadangan logam cair yang dapat digunakan untuk mengisi kembali rongga cetakan setelah solidifikasi.
- b) *Investment casting* (Pengecoran presisi)

Investment casting merupakan teknik pengecoran di mana cangkang keramik atau plastik digunakan untuk mengitari pola lilin. Setelah pola lilin dileburkan dan dihilangkan dari tungku, logam dituangkan ke dalam cangkang. Jenis pengecoran ini biasanya digunakan dalam situasi yang membutuhkan kompleksitas tinggi. Jika Anda memerlukan tingkat presisi yang tinggi dan ingin mengurangi jumlah material yang dibuang, jenis pengecoran ini adalah pilihan yang tepat. Ramah untuk pengecoran baik besi maupun material non-besi. Serta dapat mengecor dengan tingkat kerumitan tinggi. Karena jenis pengecoran lainnya membutuhkan biaya produksi yang tinggi, tingkat kerumitan tinggi harus dibayar mahal. Terdapat batasan pada ukuran dan jumlah yang dapat dituang untuk keduanya. Terakhir, prosesnya memakan waktu cukup lama. Contoh benda coran yang memiliki kepresisian yang tinggi, seperti rotor turbin, adalah contoh

benda coran yang biasanya menggunakan jenis pengecoran ini.

Gambar berikut menunjukkan skema proses investmen casting:



Gambar 2.2 Skema proses *investment casting*

Sumber : (Yulianti Malik, 2017)

- 1) Membuat pola lilin cair: Pola lilin cair dicetak dengan dituang atau diinjeksi ke dalam cetakan induk (master die). Setelah lilin menjadi padat, pola lilin dikeluarkan dari cetakan induk.
- 2) Setelah pola lilin dicetak menggunakan cetakan induk, pola lilin dipasangkan pada gating system (saluran tuang) yang terbuat dari lilin. Sistem ini terdiri dari runner (saluran pengalir), sprue (saluran masuk), dan cluster (pohon pola).
- 3) Setelah itu, pohon pola dicampur dengan larutan campuran keramik dan disimpan selama sekitar empat jam pada suhu sekitar 23 derajat Celcius..

- 4) Setelah didiamkan, pohon pola dicelupkan kembali ke dalam campuran keramik. Setelah diangkat, ditaburi dengan butir pasir dan didiamkan kering seperti yang dilakukan sebelumnya.
 - 5) Variasi jumlah lapisan disesuaikan dengan kebutuhan dan tahapan uji coba.
 - 6) Setelah dilapisi hingga lapisan terakhir, pohon pola dipanaskan untuk proses dewax, atau penghilangan lilin, pada suhu sekitar 120 derajat Celcius. Proses ini dilakukan dalam posisi terbalik, sehingga cairan lilin keluar dari sprue.
 - 7) Sintering adalah langkah terakhir dalam pembuatan cetakan casting investasi, yang dilakukan pada suhu sekitar 1000 derajat Celcius.
 - 8) Setelah proses sintering selesai, proses pouring dimulai. Setelah dimasukkan ke dalam tungku sintering, penuangan dilakukan pada kondisi cetakan panas.
- c) *Die casting*

Die casting merupakan proses pembuatan dengan menggunakan cetakan dan logam cair untuk membuat bagian dengan bentuk yang sebanding dengan bentuk geometri produk akhir. Cetakannya dapat digunakan berulang karena terbuat dari logam. Logam non-ferrous biasanya digunakan untuk dicor..

Kelebihan dari *die casting* yaitu :

- 1) Hasil coran memiliki kepresisian tinggi.
- 2) Cocok untuk industri skala besar dengan konsistensi yang sangat baik.
- 3) Cocok untuk logam bertitik lebur rendah seperti tembaga, zinc, dan magnesium.

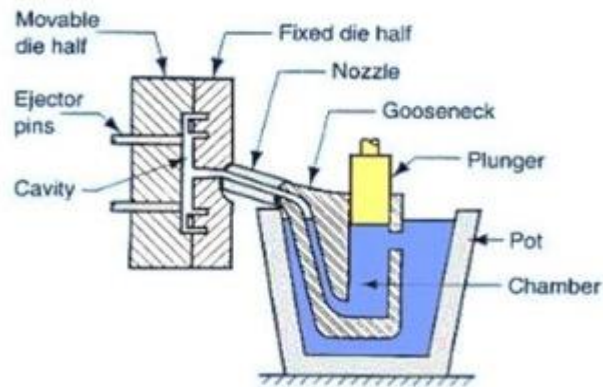
Kekurangan dari *die casting*, yaitu:

- 1) Biaya produksi meningkat karena suku cadang yang mahal.
- 2) Pengecoran dengan berat lebih dari 75 ton tidak disarankan
- 3) Sulit untuk menjamin sifat mekanik komponen yang merupakan bagian struktur fungsional.

Prinsip kerja *die casting*:

- 1) Memasang *movable die* dengan *fixed die*.
- 2) Menginjeksikan logam cair menuju *cavity*.
- 3) Melepaskan *movable die* dari *fixed die*.
- 4) Mendorong *injector pin* pada *movable die*.

Skema proses *die casting* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



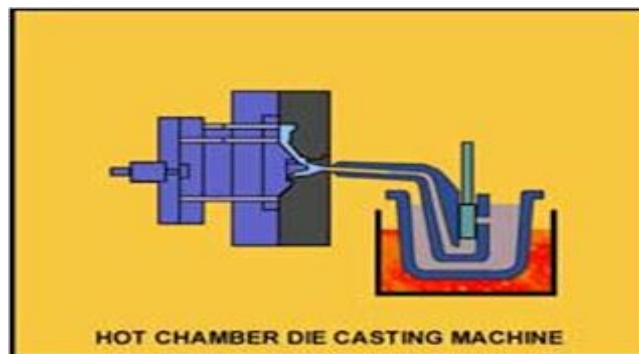
Gambar 2.3 Skema proses *die casting*

Sumber : (Yulianti Malik, 2017)

Proses-proses *die casting* :

1) *Hot chamber die casting*

Pada proses ini, ruang tekanan, atau kamar, yang terhubung ke lubang die, sepenuhnya terendam dalam logam cair.

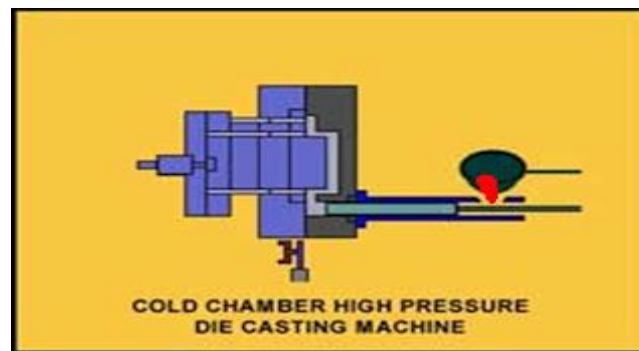


Gambar 2.4 *Hot chamber die casting machine*

Sumber: (<http://planetcopas.blogspot.com/2012/05/memahami-prinsip-kerja-mesin-die.html>)

2) *Cold chamber die casting*

Untuk setiap penginjeksian, logam cair dituangkan ke dalam ruang tekanan, juga dikenal sebagai chamber, selama proses ini.



Gambar 2.5 *Cold chamber high pressure die casting machine*

Sumber: (<http://planetcopas.blogspot.com/2012/05/memahami-prinsip-kerja-mesin-die.html>).

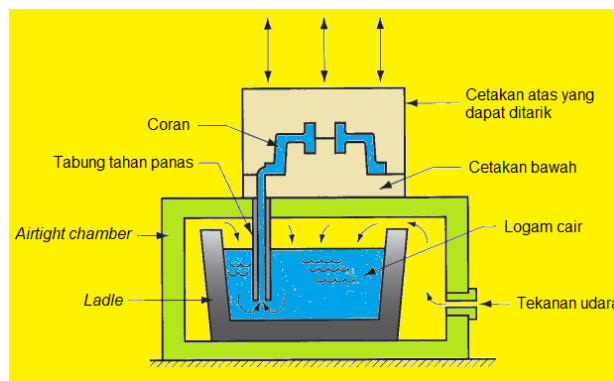
d) *Low pressure casting*

Pengecoran *low pressure casting* ini memakai tekanan rendah dengan kisaran 0,02 – 0,06 Mpa. Berbeda dengan *die casting*, jika *die casting* menggunakan tekanan tinggi. Pengaplikasian pengecoran *low pressure casting* ini pada benda aksial seperti ban kendaraan. Dalam proses pengecoran ini, pengisian rongga cetakan diatur dengan presisi. Ini memungkinkan logam cair mengalir lebih cepat melalui saluran umpan sambil mengurangi pembentukan oksida dan menghindari rongga atau porositas di dalam coran.

Kelebihan *low pressure casting* karena logam cair lebih bebas dari paparan udara, sehingga porositas gas dan cacat oksidasi dapat

dikurangi. Selain itu, sifat mekanik produk cor ini lebih baik dibandingkan dengan pengecoran tradisional.

Kekurangan *low pressure casting* adalah lebih mahal. Selain itu, pengecoran ini membutuhkan mesin; ukuran mesin ini akan membatasi ukuran produk cor yang diinginkan. Selain itu, pengecoran bertekanan rendah lebih lambat daripada pengecoran bertekanan tinggi.



Gambar 2.6 Pengecoran tekanan rendah

Sumber: (Groover, Mikell P., 2010, *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems*, 4th ed.)

e) *Centrifugal casting*

Centrifugal casting merupakan pengecoran yang dilakukan dengan memutar cetakan. Gaya sentrifugal digunakan untuk mendorong logam cair karena cetakan bergerak. Ini biasanya digunakan untuk membuat benda berbentuk silinder seperti barrel. Centrifugal casting dapat bekerja pada sumbu atau dalam kedua arah, vertikal dan horizontal. Jika arah putaran logam berbeda dari arah

aliran logam yang memasuki rongga cetak, itu akan menghasilkan fitur yang berbeda sesuai dengan arah yang digunakan.

Kelebihan *centrifugal casting*, antara lain :

- 1) Efek dari penyusutan akan ditransfer kebagian dalam benda.
- 2) Tidak menggunakan sistem saluran, sehingga temperature *pouring* bisa lebih rendah dan memiliki *yield* logam yang tinggi yaitu mencapai 96%.
- 3) Laju pendinginan terjadi searah, sehingga menghasilkan karakter butiran *columnar*.
- 4) Laju pendinginan yang cepat, karena menggunakan cetakan berbahan logam, sehingga pembekuan lebih cepat dan ukuran butiran yang kecil.
- 5) Menghasilkan logam yang bersih.

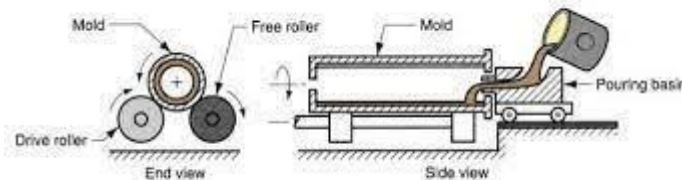
Kekurangan *centrifugal casting*, antara lain:

- 1) Ada beberapa keterbatasan dalam produksi coran berbentuk khusus.
- 2) Diameter lubang batin tidak akurat, permukaan lubang batin kasar, kualitas buruk, dan mesin yang diperbolehkan besar.
- 3) Gravitasi spesifik pemisah mudah terjadi dicoran.
- 4) Laju produksi rendah dan harga peralatan mahal.

Casting centrifugal terdiri dari tiga kategori: centrifugal sejati, semi-centrifugal, dan centrifuge. Berikut adalah penjelasannya:

1) *Centrifugal sejati*

Pengecoran centrifugal sejati menggunakan logam cair yang dituangkan ke dalam cetakan yang berputar untuk menghasilkan benda cor tabular (silinder) yang agak sederhana, seperti pipa, tabung, bushing, dan benda dengan simetri radial. Produk cor yang dihasilkan dengan teknik ini memiliki arah pembekuan yang bergerak dari bagian diameter luar ke bagian diameter dalam. Pengecoran centrifugal sejati bekerja dengan cara berikut: logam cair dimasukkan ke dalam cetakan yang sedang berputar pada kecepatan putar yang rendah; setelah cetakan berputar sepenuhnya, kecepatan putar dinaikkan dan logam cair ditahan sampai membeku.



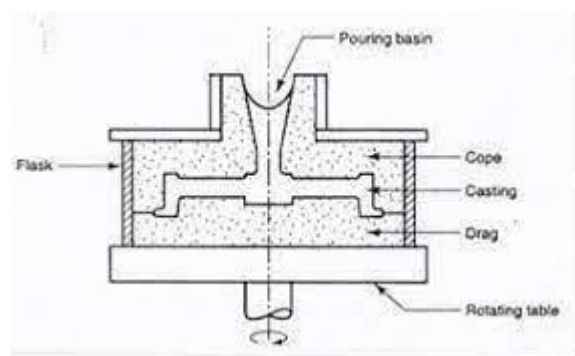
Gambar 2.7 Pengecoran *centrifugal sejati*

Sumber : (<https://logamceper.com/centrifugal-casting/>)

2) *Semi centrifugal*

Pengecoran centrifugal sejati bekerja dengan cara berikut: logam cair dimasukkan ke dalam cetakan yang sedang berputar pada kecepatan putar yang rendah; setelah cetakan berputar sepenuhnya, kecepatan putar dinaikkan dan logam cair ditahan sampai membeku. Produk semi centrifugal dapat menghasilkan

benda kerja yang agak kompleks seperti velg, pulley, tromol, dan sebagainya. Menurut prinsip kerja semi centrifugal, penuangan dimulai pada saat cetakan diam. Ketika logam cair terisi sepenuhnya ke dalam cetakan, cetakan diputar sampai pada kecepatan tertentu sehingga logam membeku saat cetakan berputar karena gaya centrifugal.

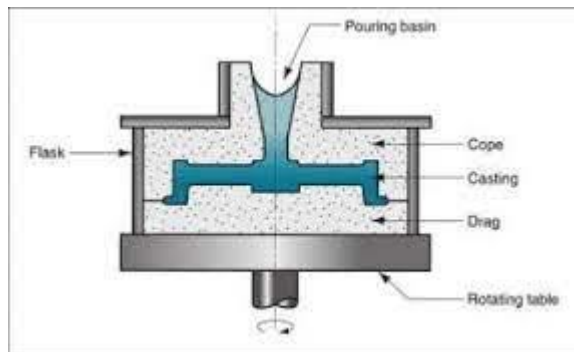


Gambar 2.8 Pengecoran semi *centrifugal*

Sumber : (<https://logamceper.com/centrifugal-casting/>)

3) *Centrifuge*

Pada metode centrifuge, rongga cetakan berada di luar pusat rotasi, sehingga logam cair yang dituangkan ke dalam cetakan didistribusikan dengan gaya centrifugal ke setiap rongga cetakan. Prinsip pengecoran centrifuge dimulai dengan logam cair mencapai suhu tuang yang diinginkan, kemudian cairan dituangkan ke dalam cawan tuang. Gaya centrifugal yang dihasilkan akan mendorong logam cair secara merata ke dalam rongga cetakan. Sampai logam cair membeku di dalam cetakan, putaran berhenti.

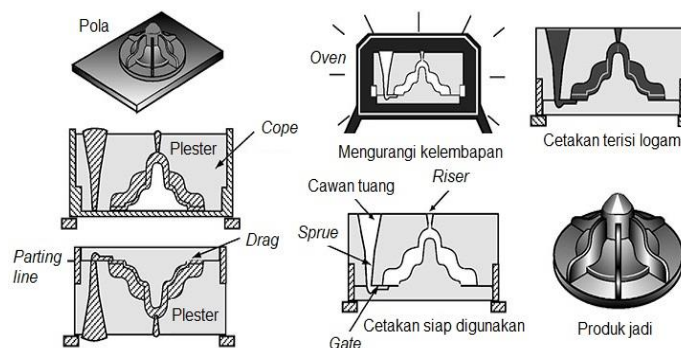


Gambar 2.9 Pengecoran *centrifuge*

Sumber : (<https://logamceper.com/centrifugal-casting/>)

f) *Plaster casting*

Sand casting dan *plaster casting* sangat mirip. Mereka berbeda karena mereka menggunakan campuran air, gypsum, dan bahan penguat lainnya. Karena konsistensi fluida, campuran plaster casting dapat mengalir. Banyak kali, pola dibuat dari plastik atau logam. Penggunaan plaster casting adalah untuk membuat sudut pompa dan turbin. Selain biaya produksi yang lebih tinggi, casting pasir memiliki toleransi dimensi yang lebih rendah. Hasil pengecoran sangat sempurna. Plaster casting harus memiliki draft minimal 1 derajat saat digunakan. Bahan cetakan harus diganti dengan sering.



Gambar 2.10 Gambar *Plaster Mold Casting*.

Sumber : (*Mechanica Technical Solutions*)

Salah satu kelemahan pengecoran ini adalah proses membuat cetakan plaster siap pakai, terutama dalam produksi tinggi. Sekitar dua puluh menit harus ditunggu sebelum pola dilepas. Setelah itu, cetakan harus dipanggang selama beberapa jam untuk menghilangkan kelembapan. Ketika plaster terlalu kekurangan air, kekuatan cetakan hilang; jika terlalu banyak air hilang, produk akan rusak. Gas sulit keluar dari rongga cetakan adalah kerugian lain dari cetakan plaster. Menggabungkan plaster dengan 50% pasir dapat menyelesaikan masalah ini.

Terbatas pada logam paduan dengan titik leleh yang lebih rendah, seperti magnesium, aluminium, dan beberapa paduan berbasis tembaga, karena cetakan plaster tidak tahan terhadap suhu yang sama seperti cetakan pasir.

2. Sifat Mekanis

Sifat mekanis adalah sifat yang menunjukkan bagaimana material bertindak ketika diberi beban mekanik, baik statik maupun dinamis. Contoh sifat mekanis adalah sebagai berikut:

a) Kekuatan (strength)

merupakan kemampuan suatu bahan untuk menerima tegangan tanpa merusaknya. Kekuatan tarik, geser, tekan, torsi, dan lengkung adalah jenis kekuatan yang berbeda yang digunakan.

b) Kekakuan (stiffness)

adalah kemampuan suatu benda untuk menerima tegangan dan beban tanpa mengubahnya atau membengkokkannya.

c) Kekenyalan (elasticity)

Kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa menghasilkan perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan, atau dengan kata lain, kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran awalnya setelah mengalami deformasi.

d) Plastisitas (plasticity)

Kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa menghasilkan perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan, atau dengan kata lain, kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran awalnya setelah mengalami deformasi.

e) Keuletan (ductility)

Adalah suatu sifat material yang menggunakan kekuatan tarik untuk menyerupai kabel. Material lentur ini harus kuat. Keuletan biasanya diukur dengan persentase keregangan selama periode tertentu. Sifat ini biasanya digunakan oleh bidan perteknikan, dan bahan-bahan seperti besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dan lainnya memiliki sifat ini.

f) Ketangguhan (toughness)

Merupakan kemampuan suatu benda untuk menyerap energi tertentu tanpa menyebabkan kerusakan.

g) Kegetasan (brittleness)

Adalah sifat bahan yang tidak mengalami keuletan. Kerapuhan ini adalah sifat material yang memiliki sedikit pergeseran permanen saat pecah. Material yang rapuh ini juga tahan terhadap beban regang tanpa regangan yang berlebihan. Besi cor adalah salah satu contoh material yang memiliki sifat kerapuhan ini.

h) Kelelahan (fatigue)

Jika logam menerima beban bolak-balik, atau beban dinamis, yang besarnya jauh di bawah batas kekakuan elastiknya, maka logam cenderung pecah.

i) Melar (creep)

Logam lebih rentan terhadap kerusakan plastik ketika dipaksakan dalam jumlah besar dalam jangka waktu yang lama pada suhu tinggi.

3. Aluminium

Selain menjadi logam yang lunak dan ringan, aluminium juga dianggap sebagai logam yang ringan. Ini juga memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik, dan berbagai sifat lainnya. Aluminium biasanya dibuat sebagai paduan dari logam lain. Material ini digunakan bukan hanya untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga untuk industri, pengurangan, dan keperluan lainnya.

Sebagai hasil dari fakta bahwa aluminium tidak kehilangan sifat ringan dan sifat mekanisnya, serta karena coranya dapat diperbaiki dengan penambahan unsur-unsur lain, aluminium banyak digunakan dalam

paduan. Paduan ini tidak hanya meningkatkan kekuatan mekanik aluminium tetapi juga dapat memberikan sifat tambahan seperti ketahanan korosi dan ketahanan aus (Saito, 1992 dalam Musa 2018).

Setelah ditemukan oleh *Hans Christian Oersted* pada tahun 1825, aluminium baru diakui secara resmi oleh *F. Wohler* pada tahun 1827. Sumber unsur ini adalah Bauksit, bijih utamanya. Aluminium digunakan dalam kabel, kerangka kapal terbang, mobil, dan berbagai peralatan rumah tangga. Senyawanya dapat digunakan sebagai obat, penjernih air, dan fotografi. Ini juga dapat digunakan sebagai ramuan untuk cat, pewarna, amplas, dan permata sintesis. (Surdia dan Saito, 1999).



Gambar 2.11 Aluminium murni

Sumber: (<https://id.m.wikipedia.org/wiki/Aluminium>)

Bauksit dan kreolit adalah bahan pokok yang digunakan untuk membuat aluminium. Antara 55 dan 65 persen tanah tawas, 2-28% besi, 1230% air, dan 1-8% asam silikat terdapat dalam bauksit. Aluminium murni diperoleh melalui proses bayer, di mana bauksit dijernihkan menjadi tanah tawas murni. Setelah tanah tawas direduksi menjadi aluminium

mentah, kreolit digunakan sebagai pelarut baru untuk natrium aluminium fluorida (Na_3AlF_6). Aluminium mentah kemudian melebur melalui elektrolisa.

Aluminium dengan kemurnian berat 99,85% biasanya dapat digunakan di udara dan tahan lama. Aluminium dengan kemurnian 99,85% jika dielektrolisa kembali akan memiliki kemurnian 99,99% atau hampir 100%. (Surdia dan Saito 1999).

Unsur kimia aluminium (Al) memiliki massa atom 26,9851 dan nomor atom 13. Isotop alamnya adalah Al-27, yang memiliki kemampuan untuk meluruhkan sinar dengan waktu paruh 105 tahun. Dengan berat jenis 2,70 pada 20 derajat Celcius, aluminium berwarna putih keperakan dengan titik cair 660,5 drajat Celcius dan titik didih 2.467 drajat Celcius.

Ketahuilah bahwa logam yang paling banyak terkandung dikerak bumi adalah aluminium, yang menyumbang kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari massa padat dikerak bumi. Produksi tahunan aluminium dari bauksit dan batuan lain mencapai sekitar 15 juta ton. Aplikasi aluminium semakin meningkat dalam industri otomotif, rumah tangga, dan elektrik.

Aluminium banyak digunakan sebagai material teknik karena beberapa sifatnya yang penting, di antaranya:

a) Mudah dalam pembentukannya (*easy fabrication*)

Salah satu logam yang paling mudah dibentuk dan mudah dibuat adalah aluminium. Itu dapat dibentuk dengan mudah dengan

ekstrusi, forging, bending, rolling, casting, drawing, dan machining. Aluminium tetap ulet meskipun pada suhu yang sangat rendah karena memiliki struktur kristal FCC (face-centered cubic). Bahan aluminium dapat digunakan dalam berbagai bentuk yang kompleks dan tipis, seperti rel, gording, bingkai jendela, dan lembaran foil.

b) Konduktifitas panas tinggi (*high thermal conductivity*)

Aluminium banyak digunakan pada radiator mobil, koil evaporator, alat penukar kalor, peralatan masak, dan bagian mesin karena konduktifitas panasnya tiga kali lebih besar dari besi.

c) Ringan (*light in weight*)

Dengan densitas sekitar 1/3 dari densitas besi, aluminium bahkan lebih ringan dari magnesium. Kekuatan tariknya adalah 700 mpa (100 Ksi). Aluminium sering digunakan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, tangga, scaffolding, dan roket karena ringan dan kuat.

d) Konduktifitas listrik tinggi (*high electrical conductivity*)

Aluminium cocok untuk kabel transmisi listrik karena konduktifitas listriknya dua kali lipat dari tembaga dengan berat yang Sama.

e) Tangguh pada temperatur rendah (*high toughness at cryogenic temperature*)

Aluminium dapat digunakan pada material bejana yang beroperasi pada temperatur rendah karena tidak menjadi getas bahkan pada suhu rendah hingga -1000 derajat Celcius.

f) Tahan terhadap korosi (*corrosion reistance*)

Fenomena pasivasi adalah ketika logam bereaksi terhadap komponen udara dan membentuk lapisan yang melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Ini adalah alasan mengapa aluminium tahan terhadap korosi.

g) Mudah didaur ulang (*reciclability*)

Aluminium dapat didaur ulang dengan mudah, dan bahkan 30% produksi aluminium Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Memisahkan aluminium dari bauksit hanya membutuhkan energi 5%.

h) Tidak beracun (*non toxic*)

Karena tidak berbahaya bagi manusia, aluminium sering digunakan dalam industri makanan seperti kaleng dan pipa penyalur.

Salah satu kekurangan aluminium adalah kekuatan dan kekerasan yang rendahnya dibandingkan dengan logam lain seperti besi dan baja (Wessel, 2004). Tabel berikut menunjukkan sifat fisik dan sifat mekanik aluminium:

Tabel 2.2 Sifat fisik aluminium

No.	Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium (%)	
		99,996	>99,0
1	Massa jenis (20°C)	2,6986	2,71
2	Titik cair	660,2	653-657
3	Panas jenis (Cal/g. °C) (100)	0,2226	0,2297
4	Hantaran listrik	64,94	59 (dianil)
5	Tahanan listrik koefisien temperature (°C)	0,00429	0,0115
6	Koefisien pemuai (20-100°C)	23,86 x 10 ⁻⁶	23,5 x 10 ⁻⁶
7	Jenis kristal, Konstanta kisi	fcc, a=4,013 kX	fcc, a=4,04 kX

Sumber : (Surdia dan Saito, 1999)

Tabel 2.3 Sifat mekanik aluminium

No.	Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium (%)			
		99,996		>99,0	
		Dianil	75% Dirol dingin	Dianil	H18
1	Kekuatan Tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
2	Kekuatan mulur (0,02%) (kg/mm ²)	1,3	11	3,5	14,8

3	Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
4	Kekerasan brinell	17	27	23	44

Sumber : (Surdia dan Saito, 1999)

4. Paduan aluminium

Banyak orang menggunakan aluminium sebagai paduan daripada logam murni karena sifatnya yang lunak. Meskipun aluminium memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan logam lainnya, aluminium memiliki kelemahan, yaitu sifat mekaniknya yang kurang baik, terutama pada kekerasan, batas cair, dan regangan. Untuk meningkatkan sifat mekaniknya, logam paduan harus ditambahkan dengan unsur lain, unsur paduan yang digosok (Surdia dan Saito, 1999).

Paduan aluminium digunakan secara luas dalam struktur dan komponen teknik yang membutuhkan bobot ringan dan ketahanan terhadap karat. Paduan ini biasanya terdiri dari aluminium, tetapi juga terdiri dari logam lain seperti tembaga, magnesium, mangan, silikon, seng, dan timah.

Salah satu cara untuk meningkatkan sifat aluminium adalah dengan memadukannya dengan bahan lain. Paduan ini juga dikenal sebagai larutan padat dalam logam. Larutan ini mudah terbentuk ketika pelarut dan atom terlarut memiliki ukuran dan struktur elektron yang sama. Larutan ini memiliki batas kelarutan maksimum. Paduan logam fasa tunggal adalah yang masih dalam batas kelarutan, sedangkan paduan logam fasa ganda adalah yang melebihi batas kelarutan.

Kode standar Asosiasi Alumunium (AA) dan komposisi bahan paduan yang dimasukkannya ditunjukkan di bawah ini:

Tabel 2.4 Klasifikasi paduan aluminium

No.	Standar AA	Keterangan
1	1001	Al murni 99,5% atau di atasnya
2	1100	Al murni 99,0% atau di atasnya
3	2010-2029	Cu merupakan unsur paduan utama
4	3003-3009	Mn merupakan unsur paduan utama
5	4030-4039	Si merupakan unsur paduan utama
6	5050-5086	Mg merupakan unsur paduan utama
7	6061-6069	Mg ₂ Si merupakan unsur paduan utama
8	7070-7079	Zn merupakan unsur paduan utama

Sumber : (Surdia dan Saito, 1999)

Sistem Alumunium Association (AA) Amerika membagi paduan alumunium menjadi dua kategori:

- a) Paduan cor (casting alloy) menggunakan sistem penamaan empat angka. Kandungan utama paduannya ditunjukkan oleh angka pertama, dan penandaan paduannya ditunjukkan oleh dua angka berikutnya. Angka terakhir, yang dipisahkan dengan tanda desimal, adalah bentuk hasil pengecoran, seperti pengecoran (0) atau ingot (1,2).
- b) Paduan tempa (alloy wrought) juga menggunakan sistem penamaan empat angka, tetapi penamaannya berbeda dengan

penamaan paduan jenis cor. Angka pertama menunjukkan kelompok paduan atau kandungan elemen tertentu dalam paduan, angka kedua menunjukkan perlakuan paduan asli atau batas kemurnian, dan dua angka terakhir menunjukkan paduan alumunium atau kemurnian alumunium.

Paduan alumunium dari kedua kelompok di atas dibagi lagi menjadi dua kelompok lagi: yang tidak dapat diperlaku-panaskan dan yang dapat diperlaku-panaskan. Seri 2xxxx, 3xxxx, 7xxxx, dan 8xxxx adalah contoh cor yang dapat diperlaku-panaskan, sedangkan seri 1xxxx, 4xxxx, dan 5xxxx adalah contoh cor yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Kemudian seri 1xxx.x, 3xxx.x, 4xxx.x, dan 5xxx.x ditemukan pada alumunium tempa yang tidak dapat diperlaku-panaskan, sedangkan yang dapat diperlaku-panaskan meliputi seri 2xxx.x, 6xxx.x, 7xxx.x, dan 8xxx.x. Jenis paduan alumunium termasuk:

a) Jenis Al murni (Seri 1xxx)

Paduan ini memiliki kandungan aluminium minimal 99,0 persen, dan komponen utamanya adalah silikon dan besi. Selain kekuatan yang rendah, jenis alumunium ini memiliki sifat tahan korosi, konduksi panas, dan konduksi listrik yang baik. Mereka juga mampu las dan dipotong dengan baik. Banyak pekerjaan sheet metal menggunakan seri alumunium ini.

b) Paduan Jenis Al-Cu (Seri 2xxx)

Tembaga adalah komponen utama dalam seri ini, tetapi sebagian besar paduan terdiri dari magnesium dan beberapa elemen kecil lainnya. Paduan Al-Cu dapat diperlakukan-panaskan dengan pengerasan endapan atau penyepuhan. Sifat mekaniknya mirip dengan baja lunak, tetapi daya korosinya lebih rendah daripada jenis paduan lainnya. Paduan jenis ini biasanya digunakan untuk membuat keling karena sifat mampu lasnya yang buruk. Duralumin (2017) dan super duralumin (2024) juga banyak digunakan untuk membuat pesawat terbang dan mobil.

c) Paduan Jenis Al-Mn (Seri 3xxx)

Manganesee adalah komponen utama dari garis ini. Paduan ini tidak dapat diperlakukan-panaskan, jadi pekerjaan dingin adalah satu-satunya cara untuk meningkatkan kekuatan. Paduan (3003) dan (3004) digunakan sebagai paduan tanpa perlakuan panas yang tahan korosi. Paduan ini disebut sebagai Al-1,2% Mn dan Al-1,0% Mn. Paduan ini lebih kuat daripada jenis aluminium murni dalam hal ketahanan terhadap korosi, kemampuan potong, dan las.

d) Paduan Jenis Al-Si (Seri 4xxx)

Paduan Al-Si tidak dapat diperlakukan-panaskan. Dalam bentuk cair, paduan jenis ini sangat mampu alir dan pembekuannya hampir tidak terjadi retak atau kegetasan panas. Mereka juga sangat baik untuk paduan coran. Selain itu, Al-Si sangat ringan, memiliki

koefisien pemuaian yang rendah, dan memiliki ketahanan korosi yang baik. Paduan dengan (Al-12% Si) umumnya digunakan untuk cor cetak, tetapi tidak diperlukan modifikasi ini. Perlakuan panas sangat memperbaiki sifat silumin, dan unsur paduan sedikit memperbaiki sifatnya. Silumin biasanya digunakan dalam campuran dengan 0,4-0,15% Mg dan 0,5% Mg. Campuran yang diperhalus dan dituakan disebut silumin, sedangkan campuran yang ditemper saja disebut silumin. Paduan Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam las untuk pengelasan paduan aluminium, baik cor maupun tempa, karena sifat-sifatnya yang luar biasa.

e) Paduan Jenis Al-Mg (Seri 5xxx)

Sejak lama dikenal sebagai hidronalium dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi, paduan Al-Mg adalah magnesium yang memiliki komposisi sekitar 5% dan memiliki ketahanan korosi yang sangat baik terhadap air laut. Disebabkan fakta bahwa Cu dan Fe sangat berbahaya bagi ketahanan korosi, terutama karena Cu memiliki efek korosi yang signifikan, tercampurnya unsur pengotor harus dilakukan dengan hati-hati. Paduan dengan (2-3% Mg) dapat ditempa, dirol, dan diekstrusi dengan mudah, dan paduan 5052 adalah yang paling umum digunakan sebagai bahan tempaan. Paduan 5056 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dan digunakan setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan

yang tinggi. Paduan 5083 yang dianil, yang kuat dan mudah dilas, digunakan sebagai bahan untuk tangki LNG.

f) Paduan Jenis Al-Mg-Si (Seri 6xxx)

Seri ini menggabungkan magnesium dan silikon. Paduan jenis ini memiliki sifat mampu potong dan daya tahan korosi yang kuat. Paduan (6061) dan (6063) sangat liat dan dapat dibentuk untuk penempaan dan ekstrusi, tetapi kekuatan tempaan mereka kurang. Paduan 6063 digunakan untuk rangka konstruksi karena kekuatan tingginya tanpa mengurangi hantaran listrik. Dalam situasi ini, unsur pengotor seperti Cu, Fe, dan Mn tidak boleh dicampur karena memiliki tahanan listrik yang tinggi.

g) Paduan Jenis Al-Zn (Seri 7xxx)

Paduan yang dapat diperlaku-panaskan termasuk dalam kategori ini. Dua jenis paduan yang ditemukan dalam seri ini adalah paduan Al-Zn-Mg (7005) dan paduan Al-Zn-Mg-Cu (7075 dan 7178). Paduan yang terkenal dari seri ini memiliki kekuatan tarik 580 Mpa, yaitu pada seri 7178, juga dikenal sebagai *ultra duralumin*, yang sering digunakan untuk komponen struktural dan struktur rangka pesawat. Sifat mampu lasnya dan daya tahan korosinya lebih rendah daripada kekuatannya.

5. Magnesium

Magnesium sangat banyak di alam dan ditemukan dalam bentuk mineral penting dalam bebatuan seperti magnesit dan olivin. Ini juga terlarut paling banyak ketiga dalam air laut dan merupakan sekitar 2% dari berat kerak bumi. Magnesium adalah logam yang kuat, putih keperakan, ringan (satu pertiga lebih ringan dari aluminium), dan kusam jika dibiarkan pada udara. Dalam bentuk serbuknya, logam ini sangat reaktif, dan udara yang lembab dapat membuatnya terbakar dengan api putih. Jika pita logam magnesium dibakar dan kemudian direndam dalam air, pita akan terus terbakar hingga habis. Ketika magnesium dibakar dalam udara, ia mengeluarkan cahaya putih yang terang.

Selama tahun 1930-an, logam magnesium dibuat secara industri dengan elektrolisis campuran klorida yang terfusikan. Kira-kira pada tahun 1956, logam magnesium dikembangkan secara industri menggunakan metode yang disebut "pidgeon", di mana campuran dolomit yang dikalsinasikan dan ferrosilicon dalam bentuk bubuk direduksi dalam vakum dengan suhu tinggi. Dengan demikian, logam yang sangat murni sekarang lebih mudah didapat (Surdia dan Saito, 1999).

Magnesium adalah unsur logam berwarna putih yang memiliki titik lebur $648,8^{\circ}\text{C}$ dan titik didih 1.107°C . Magnesium biasanya digunakan pada paduan Al-Si kompleks yang mengandung Cu, Ni, dan elemen lain dengan fungsi yang sama.

Pada suhu 450oC, magnesium memiliki kelarutan 17.4%. Magnesium dan silikon membentuk fasa Mg₂Si yang mengendap, yang terbentuk dengan kadar 0.1% hingga 1.3%. Mekanisme penguatan hujau adalah caranya. Selain meningkatkan kekerasan dan kekuatan, Mg meningkatkan ketahanan paduannya terhadap korosi.

Unsur magnesium membuat aluminium menjadi ketahanan korosi, kualitas pengerjaan mesin, kuat, dan kuat. Magnesium juga dapat memperkuat sifat dasar aluminium dan meningkatkan kualitasnya, sehingga menghasilkan paduan aluminium yang sesuai dengan kebutuhan. Karena berat jenis magnesium yang paling ringan, 1,89 g/cm³, magnesium juga memiliki sifat ringan dan mampu menahan oksidasi dan retak pada suhu tinggi.

Selain itu magnesium juga memberikan pengaruh-pengaruh pada paduan aluminium silikon, diantaranya:

Magnesium memiliki banyak manfaat, seperti:

- a) Meningkatkan proses penuangan,
- b) Meningkatkan kemampuan mesin,
- c) Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
- d) Meningkatkan kekuatan mekanis
- e) Menghaluskan butiran kristal secara efektif
- f) Meningkatkan ketahanan beban kejut atau impak.

Pengaruh negatif yang ditimbulkan oleh unsur Mg:

- a) Meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada hasil pengecoran.

6. *Handle rem (tuas rem)*

Salah satu bagian yang paling penting dari sebuah kendaraan bermotor adalah handle rem (tuas rem), yang berfungsi untuk mengatur pengereman kendaraan bermotor. Ada beberapa alasan mengapa handle rem (tuas rem) dapat patah, salah satunya karena tekanan atau tumbukan yang kuat padanya atau karena bahan metalnya yang mungkin memiliki porositas. Rongga atau gelembung udara di dalam logam coran disebut porositas. Porositas dapat disebabkan oleh gas yang terperangkap di dalam cairan logam atau penyusutan yang terjadi selama proses pembekuan. Temperatur yang rendah juga dapat mencegah pembekuan porositas. Jika tuas rem (handle rem) patah dengan mudah, itu pasti akan mengganggu pengereman karena tuas rem (handle rem) menggerakkan kampas rem untuk menggesekan tromol atau cakram, yang menyebabkan mekanisme pengereman terjadi.



Gambar 2.12 *Handle rem (tuas rem)*

Sumber : (Dhany Sahdeini Hari, 2020)

7. Uji komposisi

Pengujian komposisi kimia menggunakan spektrometer untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada hasil coran. Sifat atau karakteristik suatu material dipengaruhi oleh setiap unsur yang terkandung dalamnya. Ini termasuk kekerasan (hardness), kekuatan (strength), keuletan (ductile), kelelahan (fatigue), dan ketangguhan (toughness). Dengan mengetahui komposisi kimia suatu material, kita dapat mengetahui sifat atau karakteristiknya..

Uji komposisi biasanya dilakukan di pabrik atau perusahaan logam yang memproduksi banyak logam atau di institusi pendidikan yang khusus mempelajari logam. Ini menunjukkan seberapa besar atau seberapa banyak kandungan yang ada pada suatu logam, baik logam besi maupun non-besi.

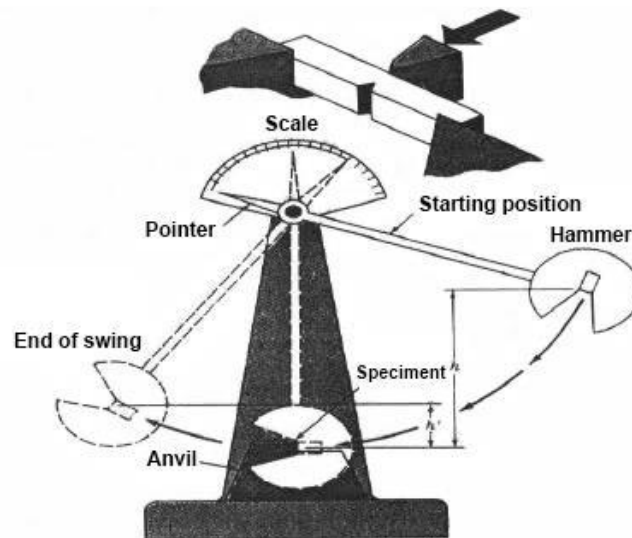
Dalam proses pengujian komposisi, bahan dibakar menggunakan elektroda untuk menghasilkan suhu rekristalisasi. Pada suhu rekristalisasi, unsur-unsur terurai, menghasilkan perbedaan warna. Determinasi kadar menggunakan sensor perbedaan warna Pembakaran elektroda ini berlangsung selama tiga detik. Dengan melihat persentase unsur yang ada, pengujian komposisi dapat dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang digunakan.

8. Uji *impact*

Pengujian kuat *impact* mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Metodenya bergantung pada pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian dan menumbuk benda uji sehingga mengalami deformasi.

Pengujian tekanan biasanya mengukur jumlah energi yang diserap oleh benda uji untuk menyebabkan perpatahan. Energi yang diserap oleh benda uji biasanya ditunjukkan dalam satuan joule dan dibaca langsung pada skala petunjuk yang sudah dikalibrasi pada mesin penguji.

Alat uji impact biasanya dimasukkan ke dalam dua kategori sampel: batang uji izod yang umum di Inggris dan Eropa dan uji charpy yang biasa digunakan di Amerika. Benda uji charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar 10 mm x 10 mm, dengan jari-jari 0,25 mm dan kedalaman 2 mm. Takiknya berbentuk huruf V dengan sudut 45°. Skema pengujian tekanan charpy adalah sebagai berikut:



Gambar 2.13 Skema pengujian *impact charpy*

Sumber: (Hamdi, 2011)

Harga *impact* (HI) suatu beban yang di uji charpy dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$HI = \frac{E}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$E = G \times R (\cos \beta - \cos \alpha) \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

E = Energi yang diserap untuk mematahkan *specimen* (J)

G = Berat *hammer* (N)

R = Panjang pendulum (m)

HI = Harga *impact* per satuan luas (J/cm^2)

A = Luas penampang *specimen* (mm^2)

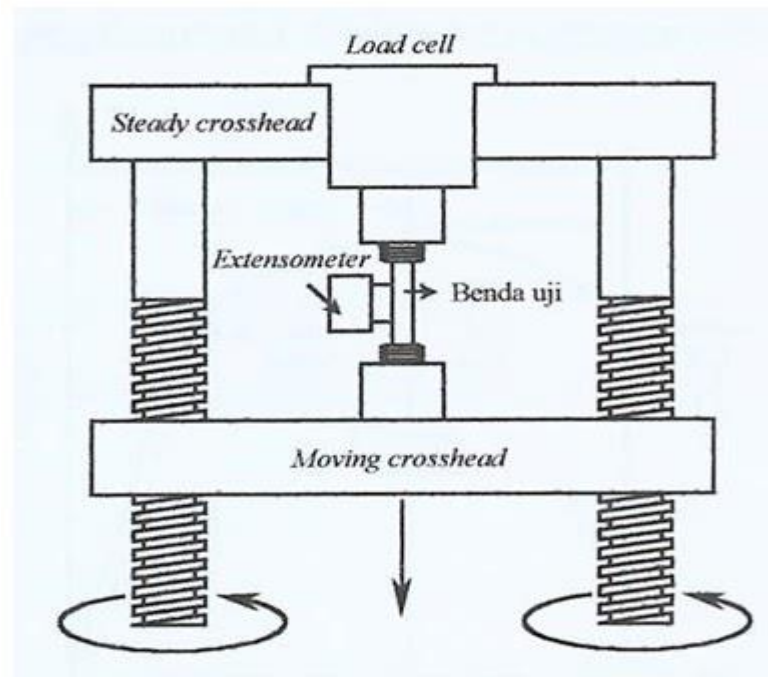
α = Besarnya sudut awal jatuh pendulum ($^\circ$)

β = Besarnya sudut pantul pendulum setelah menabrak *specimen* ($^\circ$)

Dimana E adalah energi yang diserap dalam satuan *joule* dan luas penampang dibawah takik satuan mm^2 .

9. Uji Tarik

Pengujian bahan yang paling dasar mencakup uji tarik. Proses pengujiannya mudah dan diakui oleh standar global (Amerika ASTM E8 dan Jepang JIS 2241). Uji tarik menunjukkan seberapa panjang suatu bahan dan bagaimana ia bereaksi terhadap energi tarikan. Alat eksperimen yang digunakan untuk uji tarik ini harus memiliki cengkraman yang kuat dan kekakuan yang tinggi.



Gambar 2.14 Skema pengujian tarik

Sumber : dari ASTM E8

Persamaan ini dapat digunakan untuk menghitung besar nilai modulus elastis benda, yang juga merupakan perbandingan antara regangan pada daerah proporsional. (Surdia, 1995).

Rumus berikut digunakan untuk menghitung tingkat tarik:

a) Rumus tegangan tarik

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \dots\dots\dots(2.3)$$

b) Rumus regangan tarik

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

σ = Tegangan tarik (N/mm²)

F = Beban (N)

A_o = Luas penampang (mm²)

ε = Regangan

l_i = Panjang akhir (mm)

l_o = Panjang awal (mm)

Δl = Pertambahan panjang (mm)

10. Uji kekerasan

Kekerasan adalah sifat yang dapat diandalkan sebagai pengganti kekuatan bahan. Karena pengukuran kekerasan mudah, kekerasan banyak digunakan saat memilih bahan. Beberapa macam alat penguji kekerasan digunakan untuk menguji bahan sesuai dengan karakteristik seperti bahan, kekerasan, ukuran, dan elemen lainnya (Tata & Kenji, 2006).

Uji kekerasan menguji kemampuan suatu benda untuk menahan tekanan yang tepat sehingga benda tersebut akan mengalami deformasi ketika gaya tertentu diterapkan padanya. Tergantung pada metode pengujian, ada tiga kategori kekerasan yang umum: kekerasan goresan (hardness of scratch), kekerasan lekukan (hardness of indentation), dan kekerasan pantulan (hardness of rebound). Dalam bidang rekayasa, hanya kekerasan lekukan logam yang menarik perhatian. (Dieter, 1933:328).

Ketahanan sebuah benda kerja terhadap penetrasi atau daya tembus dari bahan yang lebih keras (penetrator) dikenal sebagai kekerasan. Untuk

melakukan pengujian kekerasan, bola baja atau piramida intan yang dikeraskan pada permukaan benda kerja dan kemudian mengukur bekas tekanan dari indentor.

Material diuji dalam aplikasi manufaktur dengan dua tujuan: untuk mengetahui karakteristik material baru dan untuk memastikan bahwa material memenuhi spesifikasi kualitas tertentu. Uji kekerasan dilakukan dengan menekan sebuah indentor ke permukaan benda uji. Tingkat kekerasan yang diukur dihitung dari hasil penekanan.

Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui tingkat kekerasan suatu bahan dengan menggunakan metode Brinell, Rockwell, Vickers, dan Micro hardness. Dua metode yang paling umum digunakan untuk melakukan pengujian kekerasan ini adalah:

a) Metode Dinamis (*Dynamical Methode*)

Karakteristik dari metode dinamis adalah :

- 1) Pembebanan terjadi dengan tiba-tiba.
- 2) Waktu penetrasinya singkat (*Short penetration time*).
- 3) Ketelitian rendah (*Low accuracy*).
- 4) Pengujian dilakukan dengan cepat.

Jenis pengujian kekerasan yang menggunakan metode ini antara lain : *Shore scleroscope, Herbert, Hammer Poldi*, dsb.

b) Metode Statis (*Statical Methode*)

Karakteristik dari metode statis adalah :

- 1) Pembebanan terjadi secara perlahan-lahan dengan beban tertentu.
- 2) Waktu penetrasinya panjang (*Long penetration time*).
- 3) Ketelitian tinggi (*High accuracy*).
- 4) Pengujian lebih lambat dari metode dinamis.

Jenis pengujian kekerasan seperti Brinell, Vickers, Rockwell, Vickers micro hardness, dan Knoop micro hardness adalah beberapa contoh menggunakan metode ini.

Tabel 2.5 Karakteristik uji kekerasan

Cara Pengujian	Brinell (HB)	Rockwell (HRA, HRB, HRC)	Vickers (HVN)
Penekan (Indentor)	Bola baja Ø10 mm karbida	Kerucut intan 120 ⁰ , Bola baja $\frac{1}{16}$ - $\frac{1}{2}$	Piramida intan sudut bidang 136 ⁰
Beban	500-3000 kg	Beban mula 10 kg, Beban total 660, 100, 150 kg	1-120 kg
Kekerasan	Beban luas penekan	Dalamnya penekanan	Beban luas penekanan

Sumber : (Dieter, 1993:30)

Uji kekerasan biasanya dilakukan dengan metode pengujian statis. Ini didasarkan pada temuan tes yang lebih akurat. Pengujian ini dapat dikategorikan berdasarkan tujuan dari material yang diuji, yaitu:

- a) Pengujian kekerasan Brinell, Rockwell, dan Vickers digunakan untuk mengukur kekerasan material.
- b) Pengujian kekerasan mikro digunakan untuk mengukur kekerasan fasa pada struktur mikro atau lapisan tipis material.

Peneliti dalam penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan brinell. Pengujian kekerasan dengan metode brinell digunakan untuk mengukur kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahannya terhadap bola baja (indentor) yang ditekan pada permukaan spesimen. Pengujian ini idealnya dilakukan pada material dengan permukaan kasar dengan uji kekuatan antara 500 dan 3000 kilogram. Dalam kebanyakan kasus, indentor, atau bola baja, telah dikeraskan dan diplating. Mereka juga dapat terbuat dari bahan karbida tungsten. Uji kekerasan brinell dibuat menggunakan:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(2.5)$$

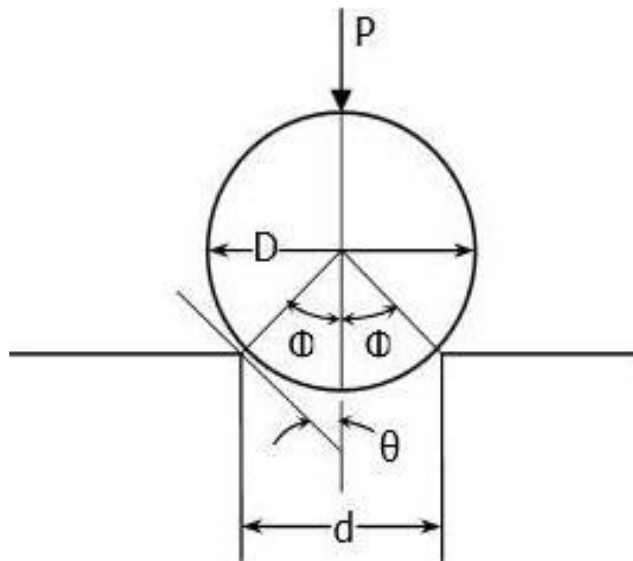
Keterangan :

HB = *Brinell result* (HB)

P = Beban yang menginjak atau menekan (kg)

d = Diameter penetrator atau diameter lekukan (mm)

D = Diameter injakan penetrator atau diameter bola (mm)



Gambar 2.15 Parameter dasar uji kekerasan *brinell*

Sumber : (Dieter, 1993:330)

B. Tinjauan Pustaka

1. Tjokorda Gde Tirta Nindhia, 2010. "*Studi Struktur Mikro Silikon dalam Paduan Aluminium-Silikon pada Piston dari Berbagai Merek Sepeda Motor*". Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Bali. Penelitian ini menemukan bahwa setiap merek sepeda motor mengembangkan paduan Al-Si dengan morfologi silikon yang berbeda-beda.
2. Danhardjo, 2013. "*Analisis Sifat Mekanik Paduan Al-Si Pada Cast Piston Dan Forged Piston*". Jurnal Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri - ISTN Jl. Moh Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640, Indonesia. Penggunaan aluminium alloy sebagai bahan piston tidak dapat dipisahkan dari karakteristik piston itu sendiri. Piston adalah komponen mesin pembakaran yang berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang bakar

silinder liner. Ada dua cara berbeda untuk membuat piston: pengecoran dan penempaan. Kedua metode pembuatan piston ini menggunakan bahan utama, alloy aluminium Al-Si. Studi ini dilakukan untuk mengumpulkan nilai-nilai karakteristik dari sifat mekanik dan struktur mikro dari piston coran dan piston tempa. Dari semua tes yang dilakukan pada piston coran, tes komposisi kimia menunjukkan 87,4% Al, 6,63% Si, dan 4,94% Cu; tes kandungan piston tempa menunjukkan 89,6% Al, 6,64% Si, dan 1,18% Cu; dan tes Vicker menunjukkan nilai kekerasan rata-rata 123,5 HRV. (Mengandung silicon kurang dari 11,7%).

3. Mugiono, 2013. *“Pengaruh Penambahan Mg Terhadap Sifat Kekerasan Dan Kekuatan Impak Serta Struktur Mikro Pada Paduan Al-Si Berbasis Material Piston Bekas”* Jurnal Teknik Mesin Universitas Pancasakti, Tegal. Setelah piston dan magnesium dipotong, spesimen dibuat. Setelah itu, kedua bahan ditimbang untuk mendapatkan komposisi yang diinginkan. Potongan dilakukan untuk memudahkan peleburan, dan cetakan pasir digunakan. Kesimpulan: Jika Mg 0%, 5%, 10%, dan 15% ditambahkan pada paduan Al-Si, kekerasan rata-rata tertinggi mencapai 95,44 kg/mm² dan kekuatan impak tertinggi mencapai 0,035 J/mm².
4. Rudi Siswanto, 2014. *“Analisis Pengaruh Temperatur Dan Waktu Peleburan Terhadap Komposisi Al Dan Mg Menggunakan Metode Pengecoran Tuang”*. Jurnal Teknik Mesin Universitas Trisakti, Jakarta.

Dalam teknik pengecoran tuang, logam cair dituang ke dalam cetakan tanpa tekanan dan dibiarkan membeku di dalam cetakan pada suhu ruang. Untuk peleburan, tungku krusibel dan cetakan logam digunakan. Paduan aluminium magnesium (Al-17%Mg) sekrap digunakan sebagai material pengecoran. Paduan dilebur dalam tungku pada temperatur 6500C, 7000C, dan 7500C dengan waktu peleburan 5, 10 dan 15 menit. Setelah itu, paduan dimasukkan ke dalam cetakan logam pada temperatur 2000C. Kesimpulan: Jika temperatur peleburan lebih tinggi, komposisi Al dalam paduan akan meningkat, sedangkan komposisi Mg dalam paduan akan menurun. Jika waktu peleburan lebih lama, komposisi Al dalam paduan akan meningkat, sedangkan komposisi Mg dalam paduan akan menurun. Rekomendasi terbaik untuk peleburan adalah pada 650 °C dengan waktu peleburan 5–10 menit dan 700 °C dengan waktu peleburan 5 menit.

5. Fadly A. Kurniawan Nst, 2016. "*Penyelidikan Karakteristik Mekanik Tarik Paduan Aluminium Magnesium (Al-Mg) Dengan Metode Pengecoran Konvensional*". Jurnal Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik Harapan, Medan. Paduan Al-Mg dibuat dengan metode pengecoran. Hasil pengujian tarik menunjukkan modulus elastisitas paduan Al-Mg dengan komposisi 98%-2% sebesar 4.44 GPa, komposisi 96%-4% sebesar 4.46 GPa, dan komposisi 94%-6% sebesar 3.56 GPa. Komposisi 96%-4% memberikan hasil terbaik, yaitu 4,46 GPa.

6. Rusnoto dan Susri Mizhar, dkk. 2016. *“Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak, Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan (AL-SI) Dengan Metode Lost Foam Casting”* Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Medan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana penambahan Mg sebesar 4,11 % pada paduan Al-Si yang dibuat dari material velg mobil bekas mempengaruhi kekerasan, kekuatan impak, dan struktur mikro hasil coran kepala silinder prototipe yang dicor dengan metode casting foam lost (LFC). Sebelum dan setelah menambahkan Mg, aluminium paduan Al-Si dilebur pada 750oC di dapur krusible. Kemudian, aluminium tersebut dituangkan ke dalam pola styrofoam yang telah disiapkan sebelumnya. Untuk melihat sifat fisis dan mekanis Mg tambahan pada Al-Si yang dibuat dari velg mobil bekas, hasil coran dipotong menjadi beberapa bagian, seperti saluran masuk kepala silinder dan bagian alas bawah. Penelitian ini menguji nilai kekerasan dan kekuatan impak paduan Al-Si yang terbuat dari velg mobil bekas dengan menggunakan mesin uji kekerasan Rockwell dan Charpy, dan struktur mikro diamati dengan mikroskop optik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan dan kekuatan impak meningkat dengan penambahan Mg sebesar 4,11% pada paduan Al-Si, kenaikan kekerasan sebesar 9,9% setelah penambahan Mg, dan kenaikan harga impak sebesar 25% setelah penambahan Mg₂Si.

7. Wijoyo, 2017. “*Pengaruh Penambahan 12%Mg Hasil Remelting Aluminium Velg Bekas Terhadap Fluidity Dan Kekerasan Dengan Variasi Temperatur Tuang*”. Jurnal Teknik Mesin Universitas Surakarta. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat bagaimana penambahan 12% Mg mempengaruhi kekerasan dan fluiditas hasil remelting aluminium velg bekas dengan berbagai suhu tuang. Bahan penelitian ini adalah campuran aluminium dan magnesium dari velg mobil yang telah digunakan sebelumnya. Setelah dilebur, bahan tersebut dituang ke dalam cetakan dengan suhu yang berbeda antara 670 derajat Celcius, 720 derajat Celcius, dan 770 derajat Celcius. Pengecoran dilakukan dengan metode evaporatif menggunakan pola foam polystyrene. Hasil: Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan sifat mampu alir secara umum disebabkan oleh variasi temperatur tuang terhadap fluiditas velg bekas yang dipanaskan dengan penambahan 12% Mg. Kekerasan tertinggi dicapai pada temperatur tuang 720 0C, yang mencapai 109,8 HB.
8. Boedijanto, 2019. “*Analisis Pembuatan Handle Rem Sepeda Motor Dari Bahan Piston Bekas*”. Jurnal Flywheel, Volume 2, Nomor 1, Juni 2009. Bahan baku untuk handle rem sepeda motor yang berasal dari limbah piston adalah Al: 87.260, Cr: 0.017, Cu: 1.460, Fe: 0.455, Mn: 0.143, Ni: 1.763, Si: 8.989, Zn: 0.139, Mg: 1.390. Kekerasannya 98 BHN dan efeknya 0,16 joule/mm². Pembuatan handle rem dilakukan dengan meleburkan piston-piston yang sudah ada di dalam oven yang

dapat melebur. Kemudian, coran dilakukan pada cetakan logam yang sebelumnya dipanaskan pada 150oC, 200oC, dan 250oC untuk memungkinkan coran membeku secara bersamaan. Oleh karena itu, hasil coran yang baik akan dihasilkan. Data dampak yang rendah diperkuat dengan melihat patahan hasil pengujian dampak. Ini menunjukkan bahwa hasil pengecoran limbah piston lama tersebut termasuk patah getas. Hasil pengujian foto mikro menunjukkan bahwa coran memiliki porositas, yang berarti kekuatan handle rem akan berkurang. Karena handle rem digunakan untuk menahan gaya yang ringan, temuan pengujian menunjukkan bahwa handle rem dapat dibuat dari bahan limbah piston.

9. Dhany Sahdeini Hari, 2020. "*Pengaruh penambahan unsur magnesium (mg) terhadap sifat mekanis pada pengecoran aluminium A1100 aplikasi handle rem sepeda motor*" Jurnal Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Pancasakti Tegal. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kekuatan sifat mekanik aluminium A1100 yang dipadukan dengan magnesium (Mg) terhadap kekuatan dampak, kekuatan lengkung (bending), dan nilai kekerasan. Dalam penelitian ini, plat aluminium (1100) yang dipadukan dengan magnesium ingot dicor menggunakan metode eksperimen pengecoran stir. Proses pengecoran ini menggunakan kecepatan putar 280 rpm selama lima menit, temperatur peleburan 7200 °C, dan temperatur penuangan 7000 °C. Cetakan yang digunakan adalah cetakan pasir kering. Kemudian

dilakukan pengujian kuat impak charpy, kuat lengkung (bending), dan kekerasan brinell menggunakan standar JIS. Hasil menunjukkan bahwa paduan magnesium 2%, 6%, dan 8% meningkatkan kuat impak, dengan 6% paduan magnesium mencapai 0,115 J/mm², dan A1100 raw material mencapai 0,062 J/mm². Uji bending pada bahan mentah A1100 menunjukkan bahwa kekuatan lengkung tertinggi adalah 206,35 N/mm², paduan magnesium 2% adalah 127,52 N/mm², paduan magnesium 6% adalah 108,17 N/mm², dan paduan magnesium 8% adalah 116,25 N/mm². Nilai kekerasan pada paduan magnesium 8% adalah 143,14 HB, dan pada bahan mentah handle rem memiliki nilai kekerasan tertinggi 143,14 HB.

10. Muhammad Abdus Shomad, 2020. *"Pengaruh Penambahan Unsur Magnesium pada Paduan Aluminium dari Bahan Piston Bekas"*. Jurnal Teknologi Mesin Program Vokasi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Banyak komponen otomotif, termasuk blok mesin, piston, kepala silinder, velg, dan lainnya, terbuat dari aluminium, yang membutuhkan kekuatan mekanik yang baik. Untuk membuat produk yang terbuat dari logam aluminium, rekayasa material dapat digunakan untuk membuat campuran bahan seperti Cu, Si, Mg, Zn, Mn, dan Ni. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari modulus elastisitas dan tegangan tarik bahan Al-Si yang diambil dari bahan piston diesel yang telah digunakan sebelumnya. Tujuan dari pengujian impak adalah untuk mengetahui ketangguhan material yang digunakan dalam

pembuatan swingarm sepeda motor. Penambahan unsur magnesium (Mg) dengan variasi 0%, 2%, 3%, dan 5% digunakan untuk peleburan piston diesel. Cetakan pasir digunakan untuk membuat spesimen uji tarik dan impak, yang distandardisasi oleh ASTM-E8M untuk uji tarik dan ASTM-E23 untuk uji impak. Penambahan Mg sebesar 3% dapat menghasilkan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan keuletan yang optimal.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode eksperimen (uji coba langsung) digunakan dalam penelitian ini. Penelitian ini memadukan aluminium silikon dengan paduan magnesium (Mg) dengan variasi penambahan 0%, 1,5%, 3,5%, dan 5,5%. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana sifat mekanis yang dihasilkan oleh penambahan unsur Mg dipengaruhi oleh uji impact, tarik, dan kekerasan.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Keseluruhan kegiatan penelitian dapat digambarkan dalam tabel berikut:

Tabel 3.1 Rencana kegiatan penelitian

No.	Kegiatan	Bulan						
		Okt 2022	Nov 2022	Des 2022	Feb 2023	April 2023	Juni 2023	Juli 2023
1	Pengajuan judul proposal							
2	Penyusunan proposal							
3	Seminar proposal							

4	Pembuatan specimen							
5	Pengujian spesimen dan pengolahan data							
6	Penyusunan laporan							
7	Ujian skripsi							

2. Tempat Penelitian

a) Tempat Pengecoran

Dilakukan di UD Kelana logam, Desa Kebasen Kab.Tegal

b) Tempat Pengujian

Ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada di Yogyakarta dan di Laboratorium Perindustrian Komplek LIK Takaru di Tegal.

C. Instrumen Penelitian dan Desain Pengujian

Penelitian ini menggunakan instrumen seperti:

1. Bahan penelitian

a) Piston bekas

Dalam penelitian ini, paduan Al-Si digunakan dari bahan piston bekas dari motor bensin.



Gambar 3.1 Piston bekas

b) Magnesium

Sebagai bahan utama yang digunakan untuk membuat paduan Al-Si dengan variasi yang telah ditentukan. Magnesium dalam bentuk waffle ingot digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 3.2 Magnesium

2. Alat penelitian

a) Cetakan pasir

Digunakan sebagai cetakan untuk uji kekerasan, tarik, dan tekanan.



Gambar 3.3 Cetakan pasir

b) Tungku atau dapur peleburan

Coran dilebur di dalam tungku yang terbuat dari besi yang dilapisi pasir dan semen tahan api.



Gambar 3.4 Tungku peleburan

c) Pengaduk (*Stir casting*)

Menggabungkan aluminium dengan magnesium ingot, pengaduk yang terbuat dari besi baja memiliki blade di ujungnya.



Gambar 3.5 Pengaduk (*Stir casting*)

d) Timbangan digital

Timbangan ini digunakan untuk menghitung masa ingot magnesium dan alumunium yang akan digunakan untuk pengecoran.



Gambar 3.6 Timbangan digital

e) Gerenda

digunakan untuk memotong piston magnesium dan piston yang sudah usang menjadi beberapa bagian sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 3.7 Gerenda

f) Palu besi

digunakan untuk membantu melepaskan coran dari cetakan.



Gambar 3.8 Palu besi

g) *Thermocouple*

digunakan untuk mengukur suhu cair peleburan dan coran yang akan dimasukkan ke dalam cetakan.



Gambar 3.9 *Thermocouple*

h) *Vernier caliper*

Digunakan untuk membantu mengukur diameter pembuatan spesimen.



Gambar 3.10 *Vernier caliper*

i) *Stopwatch*

digunakan untuk menghitung jumlah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengadukan stir casting.



Gambar 3.11 *Stopwatch*

j) Tang penjepit

Digunakan untuk menuangkan coran dengan membantu mengangkat kowi (crusibel).



Gambar 3.12 Tang penjepit

k) Sarung tangan tahan panas

Digunakan untuk melindungi tangan saat mengangkat kowi (crusibel).



Gambar 3.13 Sarung tangan tahan panas

3. Alat pengujian

a) Alat uji *impact*

Untuk mengukur kekuatan tekanan pada suatu material, impact charpy digunakan.



Gambar 3.14 Alat uji *impact*

b) Alat uji tarik

Berfungsi untuk mengidentifikasi reaksi bahan terhadap tenaga tarik.



Gambar 3.15 Alat uji tarik

c) Alat uji kekerasan

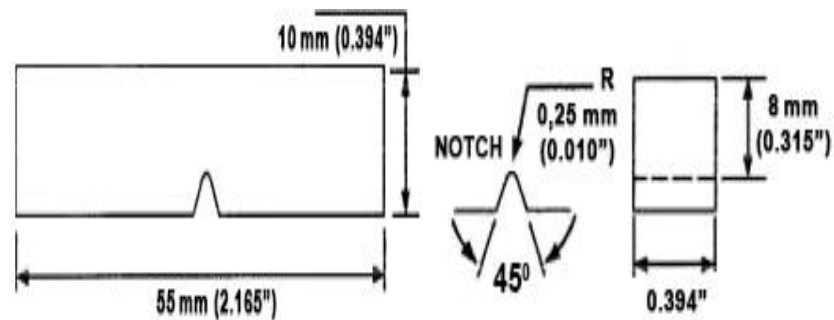
Alat uji kekerasan brinell digunakan untuk mengukur kekerasan suatu material.



Gambar 3.16 Alat uji kekerasan

4. Desain pengujian

a) Spesiman uji *impact charpy* JIS Z 2005 ed 2006

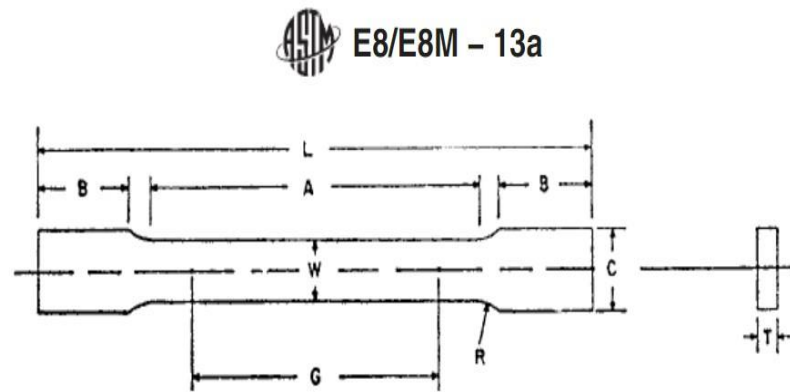


Gambar 3.17 Spesimen uji *impact charpy*

Keterangan :

- 1) $P = 55 \text{ mm}$
- 2) $T = 10 \text{ mm}$
- 3) Sudut $V = 45^\circ$

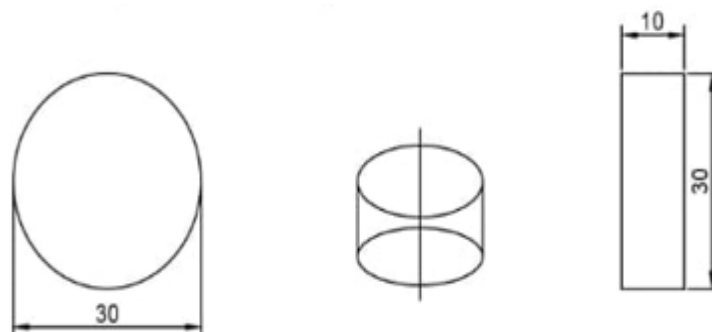
b) Spesimen uji tarik ASTM E8



Gambar 3.18 Spesimen uji Tarik

Keterangan :

- 1) $G = 50,8 \text{ mm}$
 - 2) $W = 12,7 \text{ mm}$
 - 3) $C = 50 \text{ mm}$
 - 4) $d = 10 \text{ mm}$
 - 5) $L = 200 \text{ mm}$
 - 6) $R = 25,4 \text{ mm}$
- c) Spesimen uji kekerasan JIS Z 2243:1998



Gambar 3.19 Spesimen uji kekerasan *brinell*

Keterangan :

- 1) Diameter = 30 mm
- 2) Tebal = 10 mm

D. Prosedur Penelitian

1. Tahapan proses pengecoran

Proses pengecoran spesimen terdiri dari tahapan berikut:

- a) Menyediakan peralatan dan bahan yang akan digunakan untuk pengecoran, termasuk piston magnesium dan piston yang telah digunakan sebelumnya.
- b) Material piston bekas disiapkan sebelum dilebur, lalu dibersihkan dengan menggunakan larutan pembersih dan digosok dengan kertas amplas untuk menghilangkan kerak dan oksidasi permukaan ruang bakar.
- c) Mengambil potongan magnesium dan piston yang telah dibuang, lalu menimbanginya dengan prosentase yang telah ditentukan sebelumnya. Berat paduan Al-Si-Mg sepenuhnya adalah 1000 gram, dan prosentase penambahan Mg adalah 0%, 1,5%, 3,5%, dan 5,5%, masing-masing:
 - Mg 0% → 0 gr Mg + 1000 gr Al-Si
 - Mg 1,5% → 15 gr Mg + 985 gr Al-Si
 - Mg 3,5% → 35 gr Mg + 965 gr Al-Si
 - Mg 5,5% → 55 gr Mg + 945 gr Al-Si
- d) Piston bekas yang sudah ditimbang dimasukkan kedalam tungku.

- e) Untuk mengukur suhu peleburan, celupkan thermocouple ke dalam cairan setelah piston telah dicairkan.
- f) Saat piston bekas sudah melebur pada suhu 660°C kemudian masukan Mg ke dalam tungku peleburan. Ini disebabkan karna Al memiliki titik lebur yang lebih tinggi daripada Mg yaitu 648°C.
- g) Setelah magnesium cair, gunakan stir casting untuk mengaduk cairan aluminium dan magnesium selama lima menit agar tercampuran rata.
- h) Setelah suhu lebur mencapai 700°C, tuang campuran kedua bahan ke dalam cetakan pasir.
- i) Setelah cairan menjadi padat dan dingin, buka cetakan dan ambil spesimen yang dihasilkan dari pengecoran.
- j) Untuk membuat setiap sampel, gunakan prosedur yang sama untuk menambah magnesium sebesar 0%, 1,5%, 3,5%, dan 5,5%.

2. Tahapan akhir

Pada tahap terakhir ini, coran yang telah dibuat dan dibentuk menjadi spesimen siap untuk diuji. Setelah itu, uji tekanan, tarik, dan kekerasan dilakukan.

E. Teknik Pengambilan Sampel

Jumlah sampel benda uji dalam penelitian ini adalah 28 sampel; data untuk uji impact, tarik, dan kekerasan disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.2 Jumlah specimen pengujian

No.	Spesimen	Banyak Sampel			
		Uji <i>impact</i>	Uji tarik	Uji kekerasan	Jumlah
1	0% Mg	3	3	1	7
2	1,5% Mg	3	3	1	7
3	3,5% Mg	3	3	1	7
4	5,5% Mg	3	3	1	7
Jumlah Sampel					28

F. Variabel Penelitian

1. Variabel bebas

Variabel yang mempengaruhi atau menyebabkan variabel terikat disebut variabel bebas. Penambahan fraksi berat magnesium sebesar 0%, 1,5%, 3,5%, dan 5,5% digunakan sebagai variabel bebas dalam penelitian ini.

2. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah (uji impact, tarik, dan kekerasan). Dengan kata lain, variabel terikat dipengaruhi atau disebabkan oleh adanya variabel bebas.

Variabel terikatnya dalam penelitian ini adalah (uji impact, tarik, dan kekerasan).

G. Metode Pengumpulan Data

Metode-metode yang dilakukan dalam pengumpulan data meliputi :

1. Observasi

Studi ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Pancasakti Tegal dan membahas bagaimana penambahan unsur Mg dapat meningkatkan sifat mekanis pada bahan tuas rem sepeda motor.

2. Eksperimen

Menurut hasil di atas, dilakukan eksperimen untuk menambah unsur Mg dengan fraksi berat 0%, 1,5%, 3,5%, dan 5,5% dengan menggunakan proses pengecoran logam. Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh unsur magnesium terhadap sifat mekanis yang dihasilkan dari pengecoran Al-Si-Mg.

H. Metode Analisa Data

Setelah data dikumpulkan, analisis data dilakukan dengan menggabungkan hasil pengujian ke dalam persamaan yang ada. Ini menghasilkan data kuantitatif yang mudah dipahami dan bermanfaat untuk menjawab masalah penelitian. Dengan demikian, analisis data dapat didefinisikan sebagai pengolahan data yang telah dikumpulkan.

Tabel 3.3 Data hasil uji *impact charpy*

No	Spesimen	Energi <i>impact</i> E (J)	Berat <i>hammer</i> G (N)	Panjang pendulu m R (m)	Harga <i>impact</i> HI (j/cm ²)	Luas penampakan g A (mm ²)	Sudut awal jatuh pendulum α	Sudut pantul pendulum β
1	0% Mg							
2								
3								

Rata-rata							
1	1,5% Mg						
2							
3							
Rata-rata							
1	3,5% Mg						
2							
3							
Rata-rata							
1	5,5% Mg						
2							
3							
Rata-rata							

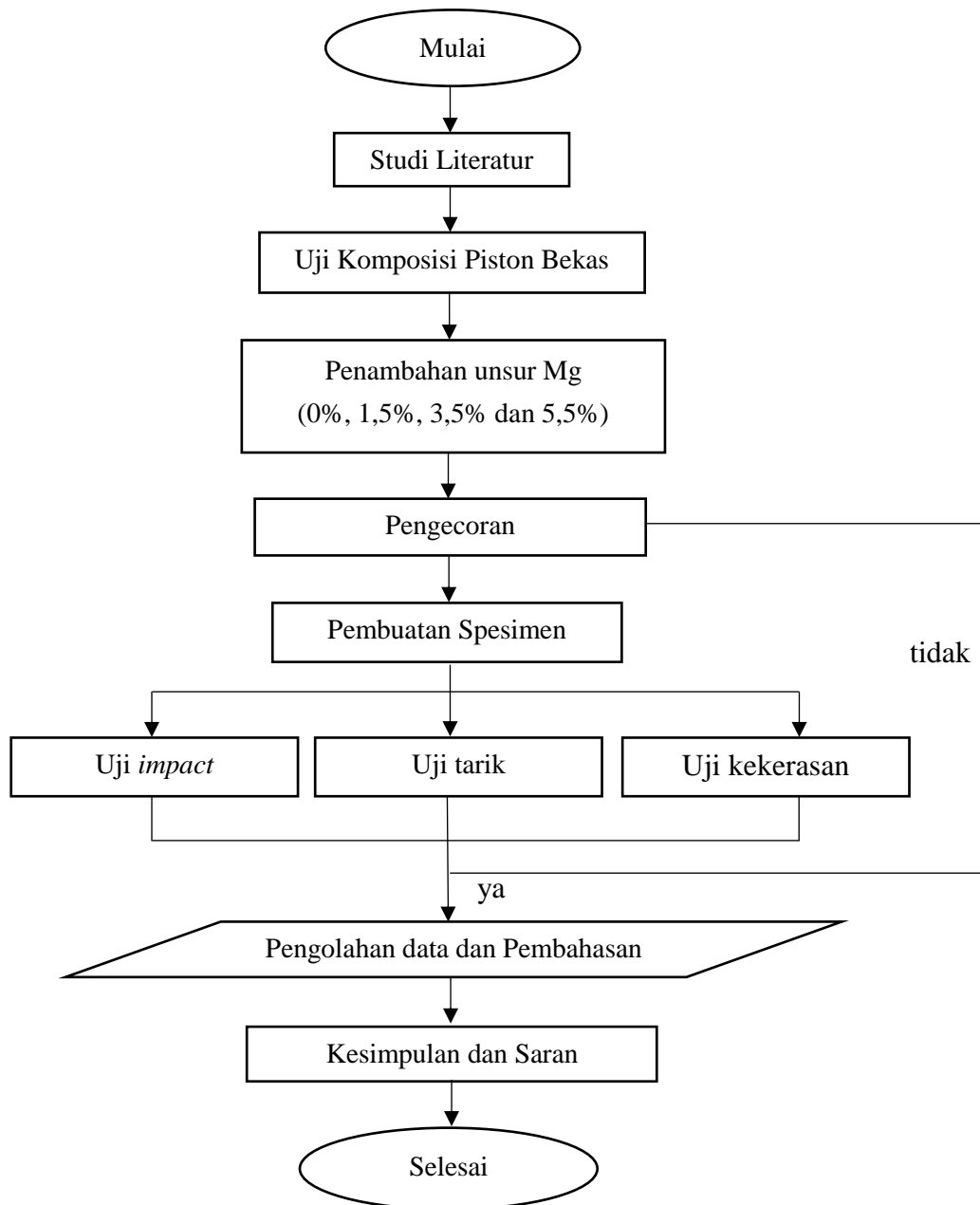
Tabel 3.4 Data hasil uji tarik

No.	Spesimen	Panjang benda uji p(mm)	Lebar benda uji l(mm)	Luas penampang A = p x l (mm)	Beban F (N)	Kekuatan tarik $\sigma = \frac{F}{A_0}$
1	0% Mg					
2						
3						
Rata-rata						
1	1,5% Mg					
2						
3						
Rata-rata						
1	3,5% Mg					
2						
3						
Rata-rata						
1	5,5% Mg					
2						
3						
Rata-rata						

Tabel 3.5 Data hasil uji kekerasan *brinell*

No.	Spesimen	Daerah uji	Diameter indentor D (mm)	Diameter tapak tekan d (mm)	Beban penekan F (N)	Nilai kekerasan <i>brinell</i> (HB)
1	0% Mg	Titik 1				
2		Titik 2				
3		Titik 3				
Rata-rata						
1	1,5% Mg	Titik 1				
2		Titik 2				
3		Titik 3				
Rata-rata						
1	3,5% Mg	Titik 1				
2		Titik 2				
3		Titik 3				
Rata-rata						
1	5,5% Mg	Titik 1				
2		Titik 2				
3		Titik 3				
Rata-rata						

I. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.20 Diagram alur penelitian