

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan hantaran listrik yang baik. Pemakaian aluminium diperkirakan pada masa mendatang masih terbuka luas baik sebagai material utama maupun material pendukung dengan ketersediaan biji aluminium di bumi yang melimpah. Aluminium dapat dipergunakan untuk peralatan rumah tangga, material pesawat terbang, otomotif, kapal laut, konstruksi dan lain-lain. Produk-produk aluminium dihasilkan melalui proses pengecoran (*casting*) dan pembentukan (*forming*). Aluminium hasil pengecoran banyak dijumpai pada peralatan rumah tangga dan komponen otomotif misalnya velg (*cast wheel*), piston, blok mesin dan lain sebagainya. Aluminium hasil pembentukan diperoleh melalui tempa, rol dan ekstrusi misalnya aluminium profil dan plat yang banyak digunakan dalam konstruksi. [1] Pada umumnya material memiliki keterbatasan untuk mencapai kombinasi yang sempurna, baik dari segi kekuatan, kekakuan, ketangguhan, dan kepadatan. Untuk mengatasi kekurangan ini dan untuk memenuhi meningkatnya permintaan teknologi modern komposit merupakan bahan yang paling menjanjikan dengan keuntungan yang besar. Komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan. Komposit matriks logam memiliki sifat yang tahan terhadap korosi dan keausan dibandingkan dengan logam tanpa penguat. Semakin meningkat penggunaan komposit karena komposit mempunyai densitas yang rendah dan penguat dengan biaya relatif rendah [1]. Aluminium matrix composites memiliki kekuatan yang spesifik, modulus yang spesifik dan ketahanan keausan yang baik dibandingkan dengan paduan aluminium tanpa penguat [1]. Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Keausan telah menjadi perhatian praktis sejak lama, tetapi

hingga beberapa saat lamanya masih belum mendapatkan penjelasan ilmiah yang besar sebagaimana halnya pada mekanisme kerusakan akibat pembebanan tarik, dampak, puntir atau *fatigue*. Partikel komposit dapat dibuat dengan mencampurkan partikel penguat ke dalam matriks cair melalui metode metalurgi cair yaitu *casting*. Proses *casting* lebih disukai karena mempunyai biaya yang relatif murah untuk produksi yang relatif banyak. Salah satu proses *casting* yang paling banyak digunakan yaitu *stir casting*, karena memiliki metode yang paling sederhana dan relatif murah [1].

Proses *stir casting* merupakan proses pengecoran dengan cara menambahkan suatu logam murni (biasanya aluminium) dengan sebuah komposit dengan cara melebur logam murni tersebut kemudian logam murni yang sudah mencair tersebut diaduk-aduk secara terus-menerus hingga terbentuk sebuah pusaan, kemudian komposit (berupa serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusaan yang telah terbentuk itu [2]. Satu-satunya masalah dalam proses *stir casting* yaitu kadangkala mengalami kendala distribusi partikel yang kurang homogen. Ketidakhomogenan mikrostruktur disebabkan oleh penggumpalan partikel penguat (*clustering*) dan pengendapan selama pembekuan berlangsung akibat perbedaan densitas matriks dan penguat, terutama pada fraksi volume partikel tinggi [2].

Komposit aluminium dipilih karena memiliki sifat ketahanan terhadap korosi yang tinggi, akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan daya tahan aus yang rendah [3]. Untuk memperbaikinya dilakukan proses penguatan dengan menambahkan serbuk besi dan abu terbang dipilih sebagai penguat pada proses *stir casting* pada komposit aluminium dikarenakan serbuk besi memiliki sifat ketangguhan dan keuletan yang tinggi [4]. Aluminium sering diaplikasikan sebagai bahan baku dalam pembuatan bahan konstruksi umum dan alat-alat permesinan.

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis mencoba untuk melakukan penelitian tentang ketahanan aus pada komposit aluminium yang diperkuat serbuk besi dan komposit aluminium paduan tembaga yang diperkuat dengan serbuk abu terbang. Salah satu metode untuk meningkatkan sifat mekanis aluminium adalah dengan menambahkan serbuk penguat pada aluminium dengan metode pengecoran yang dinamakan *stir casting*. *Stir casting* adalah proses pengecoran dengan

menambahkan suatu logam murni (biasanya aluminium) dengan sebuah komposit, dengan cara melebur logam murni tersebut kemudian logam murni yang sudah mencair tersebut diaduk-aduk secara terus-menerus hingga terbentuk sebuah pusran, kemudian komposit (berbentuk serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusran yang sudah terbentuk itu. [5]

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui ketahanan aus pada komposit aluminium diperkuat serbuk besi dan komposit aluminium paduan tembaga. pada temperatur penuangan 750°C , dengan dengan variasi penguat serbuk besi 5%, 10% dan 15%. Penelitian ini meliputi uji keausan dan kekerasan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat membandingkan ketahanan aus antara komposit aluminium yang diperkuat serbuk besi dengan komposit paduan aluminium tembaga yang diperkuat abu terbang.
2. Dapat membandingkan nilai kekerasan antara komposit aluminium yang diperkuat serbuk besi dengan komposit paduan aluminium tembaga yang diperkuat abu terbang.

1.4 Batasan Masalah

Untuk mampu menghasilkan kapabilitas penelitian yang baik, maka lingkup pembahasan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Material yang akan diuji adalah material aluminium diperkuat serbuk besi dan paduan aluminium tembaga diperkuat abu terbang.
2. Pengujian yang dilakukan adalah uji sifat keausan dan kekeerasan

1.5 Metode Penelitian

Adapun langkah-langkah yang penulis lakukan dalam membuat Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Metode Studi Pustaka

Metode ini adalah pencarian data-data dari berbagai literatur yang dibutuhkan untuk mencari dasar-dasar yang berkaitan dengan topik penulis sebagai referensi dalam mempelajari buku, artikel, jurnal yang berhubungan dengan proses penyusunan tugas akhir.

2. Penyiapan Spesimen Uji

Pada tahapan ini kegiatan yang dilakukan adalah;

- a. Penyiapan aluminium batangan untuk nantinya dilebur.
- b. Penyiapan serbuk besi dan abu terbang tersebut sebagai bahan penguat pada saat proses stir casting dengan prosentase 5%, 10% dan 15%.
- c. Proses pencampuran aluminium dengan penguat serbuk besi dan abu terbang dilakukan melalui proses stir casting dengan temperatur tuang 750°C dengan waktu pengadukan sekitar 5 menit.

3. Metode Eksperimen

Merupakan metode yang digunakan pada saat proses penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir. Proses ini meliputi pengujian densitas pada sampel kering dan basah di dalam air dengan menggunakan alat neraca digital merk *sarforius* dilanjutkan dengan pengujian aus, dan uji kekerasan.

4. Pengolahan dan Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data, pengolahan data dan analisa data hasil pengujian. Pengolahan data menggunakan metode statistik yang sesuai. Data yang diolah direpresentasikan dalam bentuk tabel, grafik dan foto.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk kemudahan penyusunan tugas akhir ini, maka penulisan laporan dapat dibagi menjadi beberapa bab yaitu sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Meliputi teori-teori dasar yang berkaitan dengan penelitian yang mengemukakan penjelasan mengenai aluminium, sifat-sifat aluminium, paduan aluminium, besi, sifat-sifat besi, tembaga (Cu), abu terbang, sifat abu terbang, komposit, aluminium matrix komposit, metode pembuatan aluminium matrix komposit yaitu *metode solid state processing* dan *liquid state processing*, *stir casting*, pengujian keausan dan kekerasan.

BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA PENELITIAN

Meliputi diagram alir penelitian, prosedur pelaksanaan penelitian, peralatan yang digunakan, spesimen uji dan bahan pereaksi, proses pembuatan ingot Al, pembuatan sampel, pengujian keausan, penujian kekerasan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Meliputi data-data yang diperoleh selama penelitian serta pembahasan mengenai hasil penelitian dan pengaruh komposit aluminium yang diperkuat serbuk besi dan paduan aluminium tembaga diperkuat abu terbang pada temperatur 750°C dengan prosentase serbuk penguat sebanyak 5%, 10% dan 15%, analisa data aus spesimen uji, analisa data kekerasan spesimen uji, dan analisa dari foto makro spesimen uji.

BAB V PENUTUP

Meliputi kesimpulan yang merupakan jawaban dari tujuan dalam penelitian yang telah dilakukan, serta saran yang mungkin dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

DASAR TEORI

2.1 ALUMINIUM

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H . C. Oersted, tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C . M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis dari garam yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam *non ferro* [3].

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb. Secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi [3].

1.1.1 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik pada beberapa kondisi lingkungan karena permukaan Aluminium mampu membentuk lapisan alumina (Al_2O_3) bila bereaksi dengan oksigen. Struktur kristal yang dimiliki Aluminium adalah struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*), sehingga Aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah.

Seperti logam murni lainnya, Aluminium memiliki kekuatan yang rendah dan tidak dapat langsung diaplikasikan karena ketahanan deformasi dan patahnya kurang tinggi. Oleh karena itu perlu adanya penambahan elemen lain ke dalam Aluminium. Sifat Aluminium tergantung dari interaksi komposisi kimia dan struktur mikro yang berkembang selama solidifikasi, perlakuan panas, dan proses deformasi (untuk produk tempa). [6] Selain sifat-sifat tersebut Aluminium mempunyai sifat-sifat yang sangat baik dan bila dipadu dengan logam lain bisa mendapatkan sifat-sifat yang tidak bisa ditemui pada logam lain. Adapun sifat-sifat dari aluminium antara lain : ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. [7] Sifat mekanik dan fisik aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2 berikut :

Tabel 2.1. Sifat-sifat fisik aluminium [3]

Sifat-Sifat	Kemurnian Aluminium (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (20 ⁰ C)	2,6968	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g . ⁰ C) (100 ⁰ C)	0,2226	0,229
Tahanan listrik (%)	64,94	59
Hantaran listrik koefisien temperature (/ ⁰ C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian (20 - 100 ⁰ C)	23,86x10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶
Jenis Kristal, konstanta kisi	<i>fcc</i> ,a=4,013 kX	<i>fcc</i> ,a=4,04 kX

Tabel 2.2. Sifat-sifat mekanik aluminium [3]

Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium (%)			
	99,996		>99.0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekutan mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan	17	27	23	44

Tabel 2.1 menunjukkan sifat-sifat fisik Al dan Tabel 2.2 menunjukkan sifat-sifat mekaniknya. Ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian 99,0 % atau di atasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam bertahun-tahun. Hantaran listrik Al, kira-kira 65 % dari hantaran listrik tembaga, tetapi masa jenisnya kira-kira sepertiganya sehingga memungkinkan untuk memperluas penampangannya. Aluminium juga dapat dipergunakan untuk kabel tenaga dan dalam berbagai bentuk umpamanya sebagai lembaran tipis (*foil*). [3]

1.1.2 Paduan aluminium

Memadukan aluminium dengan unsur lainnya merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat aluminium tersebut. Paduan adalah kombinasi dua atau lebih jenis logam, kombinasi ini dapat merupakan campuran dari dua struktur kristalin. Paduan dapat disebut juga sebagai larutan padat dalam logam. Larutan padat mudah terbentuk bila pelarut dan atom yang larut memiliki ukuran yang sama dan struktur elektron yang serupa. Larutan dalam logam utama tersebut memiliki batas kelarutan maksimum. Paduan yang masih dalam batas kelarutan disebut dengan paduan logam fasa tunggal. Sedangkan paduan yang melebihi batas kelarutan disebut dengan fasa

ganda. Peningkatan kekuatan dan kekerasan logam paduan disebabkan oleh adanya atom-atom yang larut yang menghambat pergerakan dislokasi dalam kristal sewaktu deformasi plastik [8]. Secara garis besar paduan aluminium dibedakan menjadi dua jenis yaitu paduan aluminium tempa dan aluminium cor. Untuk lebih jelasnya pengelompokan paduan aluminium ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3. Kelompok paduan aluminium(*casting alloys*) [9]

<i>Designation</i>	<i>Wrought</i>	<i>Cast</i>
<i>Aluminium, 99.00% minimum and greater</i>	1xxx	1xx.x
<i>Aluminium alloy grouped by major alloying elements:</i>		
<i>Copper</i>	2xxx	2xx.x
<i>Manganesee</i>	3xxx	-
<i>Silicon, with added copper and/or magnesium</i>	-	3xx.x
<i>Silicon</i>	4xxx	4xx.x
<i>Magnesium</i>	5xxx	5xx.x
<i>Magnesium and silicon</i>	6xxx	-
<i>Zinc</i>	xxx	7xx.x
<i>Tin</i>	-	8xx.x
<i>Other element</i>	8xxx	xx.x
<i>Unused series</i>	9xxx	6xx.x

Menurut *Aluminium Association (AA)* sistem di Amerika, penamaan paduan aluminium:

1. Paduan cor (*casting alloys*) digunakan sistem penamaan empat angka. Angka pertama menunjukkan kandungan utama paduannya. Dua angka selanjutnya menunjukkan penandaan dari paduannya. Angka terakhir yang di pisahkan dengan tanda desimal merupakan bentuk dari hasil pengecoran, misalnya *casting* (0) atau *ingot* (1,2) [10].

2. Paduan tempa (*wrought alloys*) menggunakan sistem penamaan empat angka juga tetapi penamaannya berbeda dengan penamaan pada paduan jenis cor. Angka pertama menyatakan kelompok paduan atau kandungan elemen spesifik paduan, angka kedua menunjukkan perlakuan dari paduan asli atau batas kemurnian. Sedangkan dua angka terakhir menunjukkan paduan aluminium atau kemurnian aluminium [10].

Dari dua kelompok paduan aluminium diatas dikelompokkan lagi menjadi dua kelompok, yaitu: tidak dapat diperlaku-panaskan dan dapat diperlaku-panaskan. Untuk paduan aluminium jenis cor yang dapat diperlaku-panaskan meliputi seri 2xx.x, 3xx.x, 7xx.x, dan 8xx.x, yang tidak dapat diperlaku-panaskan meliputi seri 1xx.x, 4xx.x, dan 5xx.x. Sedangkan aluminium jenis tempa yang tidak dapat diperlaku-panaskan meliputi seri 1xxx, 3xxx, 4xxx, dan 5xxx, yang dapat diperlaku-panaskan adalah seri 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan 8xxx [10].

Sifat-sifat umum pada paduan aluminium adalah:

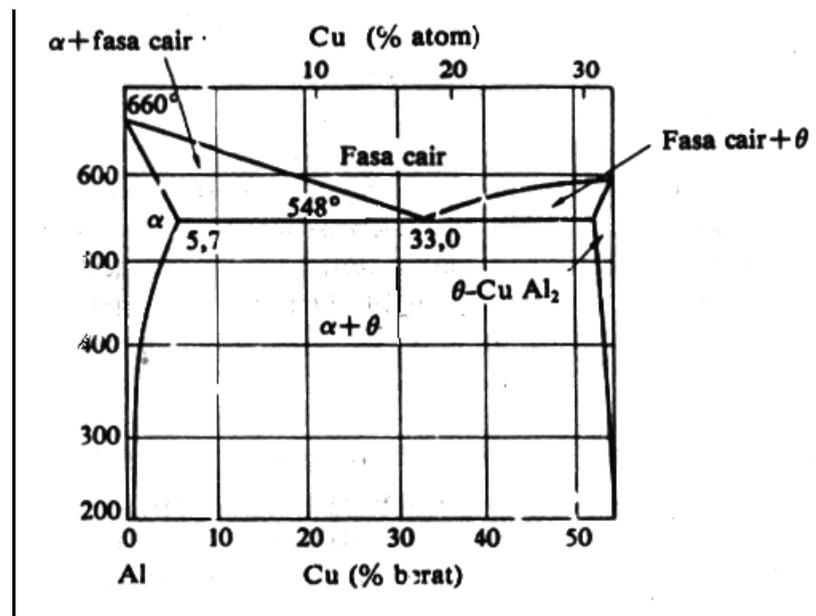
1. Jenis Al-murni teknik (seri 1xxx)

Jenis paduan ini mempunyai kandungan minimal aluminium 99,0% dengan besi dan silikon menjadi kotoran utama (elemen paduan). Aluminium dalam seri ini memiliki kekuatan yang rendah tapi memiliki sifat tahan korosi, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik juga memiliki sifat mampu las dan mampu potong yang bagus. Aluminium seri ini banyak digunakan untuk *sheet metal work* [10].

2. Paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Elemen paduan utama pada seri ini adalah tembaga, tetapi magnesium dan sejumlah kecil elemen lain juga ditambahkan sebagian besar paduan jenis ini. Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan, sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan yang lainnya. Sifat mampu lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada

kontruksi keling dan banyak sekali digunakan dalam kontruksi pesawat terbang seperti duralumin (2017) dan super duralumin (2024) [10]. Al-Cu adalah kombinasi dari logam aluminium yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, mudah dimesin, dengan tembaga yang mempunyai sifat penghantar listrik yang baik, keuletan yang tinggi dan juga sifat tahan korosi. [3]. Paduan Al-Cu dapat digolongkan dalam tiga jenis yaitu *hypoeutectic*, *eutectic* dan *hypereutectic*. Gambar 2.1. menunjukkan paduan Al-Cu dengan komposisi tembaga < 33% disebut *hypoeutectic*. Titik *eutectic* pada paduan Al-Cu terdapat pada kandungan Cu sebesar 31,9 sampai 32,9%. Sedangkan kandungan tembaga >33,0% disebut *hypereutectic*. [11].



Gambar 2.1. Diagram fase *binary* Al-Cu . [10].

Tembaga dalam paduan aluminium dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kemampuan permesinan, dan juga meningkatkan konduktivitas termal. Tembaga dapat mengurangi kemampuan coran suatu paduan dan meenurunkan ketahanan laju panas seiring dengan ketahan paduan terhadap korosi. [12]

3. Paduan jenis Al-Mn (seri 3xxx)

Manganese merupakan elemen paduan utama seri ini. Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan, sehingga kenaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin pada proses pembuatannya. Bila dibandingkan dengan jenis aluminium murni, paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal ketahanan terhadap korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya, sedangkan dalam hal kekuatannya, jenis paduan ini jauh lebih unggul [10].

4. Paduan jenis Al-Si (seri 4xxx)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat-sifatnya, maka paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium baik paduan cor atau tempa [10].

5. Paduan jenis Al-Mg (seri 5xxx)

Magnesium merupakan paduan utama dari komposisi sekitar 5%. Jenis ini mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu lasnya. Paduan ini juga digunakan untuk *sheet metal work*, biasanya digunakan untuk komponen bus, truk, dan untuk aplikasi kelautan [10].

6. Paduan jenis Al-Mg-Si (seri 6xxx)

Elemen paduan seri 6xxx adalah magnesium dan silikon. Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong dan daya tahan korosi yang cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul. Paduan jenis ini banyak digunakan untuk tujuan struktur rangka [10].

7. Paduan jenis Al-Zn (seri 7xxx)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 504 Mpa, sehingga paduan ini dinamakan juga

ultra duralumin yang sering digunakan untuk struktur rangka pesawat. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Akhir-akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik daripada paduan dasar Al-Zn [10].

2.2 Besi

Besi paling banyak dipakai sebagai bahan industri yang merupakan sumber sangat besar, dimana sebagian ditentukan oleh nilai ekonominya, tetapi yang paling penting karena sifat-sifatnya yang bervariasi. Yaitu bahwa bahan tersebut mempunyai berbagai sifat yang paling lunak dan mudah dibuat sampai yang paling keras dan tajam untuk pisau pemotong dapat dibuat, atau apa saja dengan bentuk apapun dapat dibuat, itulah sebabnya mengapa besi bahan yang kaya dengan sifat-sifat. [3]

Besi adalah logam transisi yang paling banyak dipakai karena relatif melimpah di alam dan mudah diolah. Besi murni tidak begitu kuat, tetapi bila dicampur dengan logam lain dan karbon didapat baja yang sangat keras. Bijih besi biasanya mengandung hematite (Fe_2O_3) yang dikotori oleh pasir (SiO_2) sekitar 10 %, serta sedikit senyawa sulfur, fosfor, aluminium, dan mangan. [4]

2.2.1 Sifat Besi

Secara garis besar mempunyai dua sifat yaitu sifat fisika dan sifat kimia, untuk lebih jelasnya bisa kita lihat pada tabel 2.4 dan 2.5

Tabel 2.4. Sifat fisika besi [4]

Fase	Padat
Masa jenis (sekitar suhu kamar)	7,86 g/cm ³
Masa jenis cair pada titik lebur	6,98 g/cm ³
Titik lebur	1811 K (1538 °C, 2800 °F)
Titik didih	3134 K (2861 °C, 5182 °F)
Kalor peleburan	3134 K
Kalor penguapan	340 kJ/mol
Kapasitas kalor	(25 °C) 25,10 J/(mol.K)

Tabel 2.5. Sifat kimia besi [4]

Keterangan Umum Unsur	
Nama, Lambang, Nomor atom	Besi, Fe, 26
Deret kimia	Logam transisi
Golongan, Periode, Blok	8, 4, d
Penampilan	Metalik mengkilap keabu-abuan
Masa atom	55,845 g/mol
Konfigurasi elektron	3d ⁶ 4s ²
Jumlah elektron tiap kulit	2, 8, 14, 2

Besi adalah logam yang paling banyak dan paling beragam penggunaannya. Hal itu karena beberapa hal, diantaranya [4] :

1. Kelimpahan besi di kulit bumi cukup besar.
2. Pengolahannya relatif mudah dan murah
3. Besi mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan dan mudah dimodifikasi.
4. Mempunyai daya hantar listrik dan panas yang baik. Karena memiliki ikatan ganda dan ikatan kovalen logam.
5. Besi murni cukup reaktif. Dalam udara lembab cepat teroksidasi membentuk besi (III) oksida hidrat

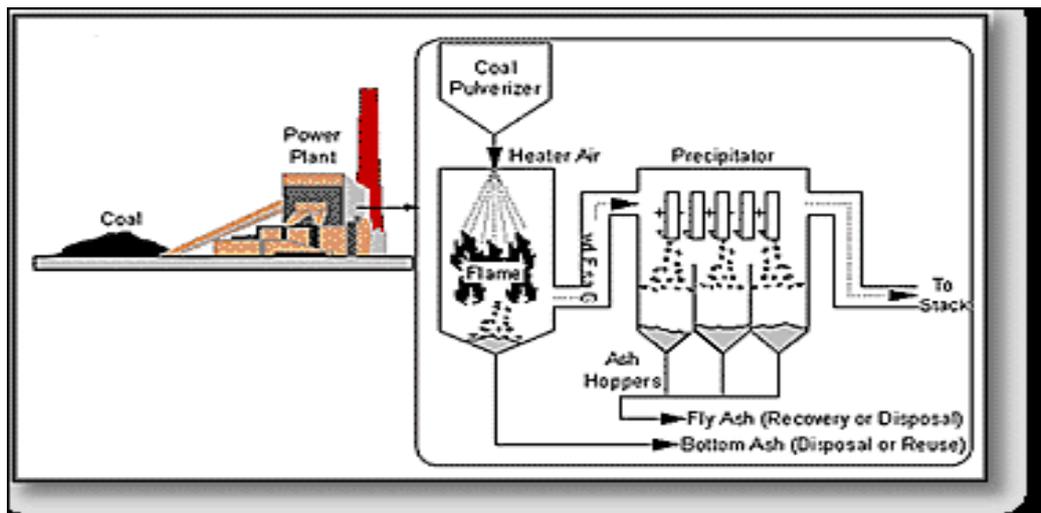
Tabel 2.7. Sifat lain-lain besi [4]

Sifat-sifat magnetik	Feromagnetik
Resistivitas listrik	(20 °C) 96,1 nΩ.m
Konduktivitas termal	(300 K) 80,4 W/(m.K)
Ekspansi termal	(25 °C) 11,8 μm/(m.K)
Kecepatan suara	5120 m/s
Modulus Young	211 Gpa
Modulus geser	82 Gpa
Skala kekerasan Mohs	4,0
Kekerasan Vickers	608 Mpa
Kekerasan Brinell	490 Mpa

2.3 Abu terbang batu bara

Abu terbang merupakan produk sisa dari pembakaran batubara yang dipisahkan dari saluran pembuangan gas batubara pada suatu *power plant* menggunakan *precipitator*. Abu terbang ini tentu saja dapat menyebabkan polusi jika dibiarkan menumpuk begitu saja. Berdasarkan hasil penelitian, ternyata abu terbang ini dapat dimanfaatkan diberbagai bidang, salah satunya sebagai material penguat (*reinforcement*) dalam *metal matrix composite (MMC)*. [13].

Selain abu terbang juga terdapat abu dasar (*bottom ash*), *wet bottom boiler slag*, *economizer ash* dan *flue gas desulphurization* sebagai zat sisa (limbah) pembakaran batubara. Gambar 2.2 menunjukkan proses terbentuknya abu terbang mulai dari batu bara hingga menjadi abu terbang dan proses terbentuknya *by-products* di dalam suatu *power plant*.



Gambar 2.2 Proses terbentuknya *fly ash* dan *bottom ash* [14]

2.3.1 Sifat abu terbang batu bara

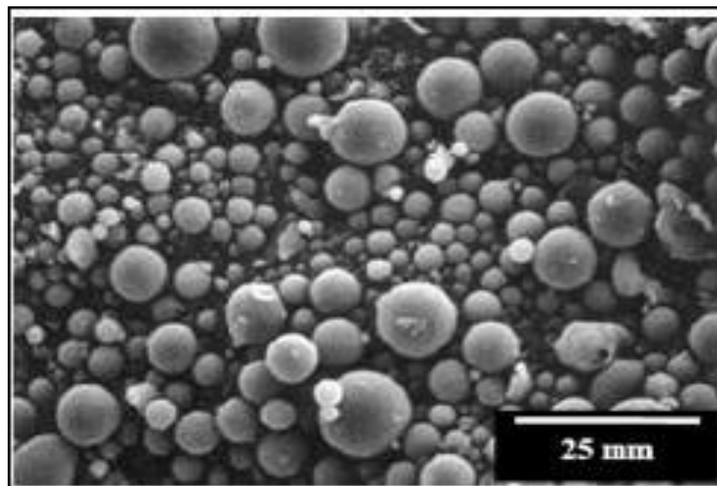
Abu terbang digolongkan menjadi dua macam menurut jenis batubara yang digunakan, yaitu tipe C dan F. Abu terbang tipe C berasal dari hasil pembakaran batubara jenis *lignite* atau *sub-bituminous* sedangkan abu terbang tipe F dihasilkan dari *anthracite* atau *bituminous*. Selain itu, klasifikasi abu terbang dapat diketahui dari persentase komposisi kimia yang terkandung didalamnya.

Untuk mendapatkan manfaat dari abu terbang, terlebih dahulu kita harus mengetahui karakteristik atau sifat-sifat yang terkandung di dalamnya. Karakteristik abu terbang ini meliputi : Sifat fisik dan kimia. : [15]

1. Sifat Fisik

a). *Particle Morfology*

Bentuk partikel dan sifat permukaan berbagai macam abu terbang diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope (SEM)*. Penggambaran SEM menunjukkan bahwa partikel abu terbang tampak lebih berat dan terang dibandingkan dengan partikel carbon yang juga banyak terdapat dalam abu terbang. Semakin kecil partikel abu terbang maka bentuknya semakin bulat (*spherical*) dibandingkan dengan partikel yang besar. dilihatkan pada **gambar 2.3** partikel abu terbang



Gambar 2.3. Partikel abu terbang [13]

b). Warna

abu terbang tipe C berwarna lebih terang (putih) bila dibandingkan tipe F yang lebih gelap (abu-abu). Hal ini dikarenakan jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam abu terbang tipe C lebih banyak daripada tipe F.

Tabel 2.8. Komposisi kimia *fly ash* dari beberapa jenis batubara. [12].

<i>Component</i>	<i>Bituminous</i>	<i>Sub-bituminous</i>	<i>Lignite</i>
SiO ₂	20 – 50	40 – 60	15 – 45
Al ₂ O ₃	5 – 35	20 – 30	10 – 25
Fe ₂ O ₃	10 – 40	4 – 10	4 – 15
CaO	1 – 12	5 – 30	15 – 40
MgO	0 – 5	1 – 6	3 – 10
SO ₃	0 – 4	0 – 2	0 – 10
Na ₂ O	0 – 4	0 – 2	0 – 6
K ₂ O	0 – 3	0 – 4	0 – 4
LOI	0 – 15	0 – 3	0 – 5

c). *Specific Grafity*

Secara umum besarnya *specific grafity* abu terbang berkisar antara 1,3 - 4,8.

2. Sifat Kimia

Sifat kimia abu terbang sangat dipengaruhi oleh jenis batubara yang digunakan. Menunjukkan komponen kimia yang terkandung dalam abu terbang dari berbagai macam batubara yang ada. bahwa abu terbang yang berasal dari batubara jenis *sub-bituminous* dan *lignite* (abu terbang tipe C) mempunyai kandungan alumina, *calcium oxide* dan *magnesium oxide* lebih banyak bila dibandingkan dengan abu terbang yang berasal dari jenis *bituminous* (abu terbang tipe F). Sedangkan abu terbang tipe F memiliki kandungan *silica* dan *iron oxide* yang lebih banyak dibandingkan tipe C. Untuk nilai LOI (*Loss on ignition*), abu terbang tipe C memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan tipe F. LOI merupakan nilai besarnya jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam abu terbang. LOI ini digunakan sebagai indikator yang dapat menunjukkan apakah suatu abu terbang itu cocok digunakan sebagai pengganti *cement* di dalam *concrete*.

2.4 Komposit Matriks Logam

Komposit adalah perpaduan dari beberapa bahan yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat fisik masing-masing material penyusunnya untuk menghasilkan

material baru yang unik, dibandingkan dengan sifat material dasarnya sebelum dikombinasikan, terjadi ikatan antara masing-masing material penyusunnya [16]. Berdasarkan bahan matriks yang digunakan, maka komposit dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok, yaitu [16] :

- a. Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composite*)
- b. Komposit matriks polimer (*Polimer Matrix Composite*)
- c. Komposit matriks keramik (*Ceramics Matrix Composite*)

Sedangkan berdasarkan jenis penguatnya, maka material komposit dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Particulate composite*, penguatnya berbentuk partikel
2. *Fibre composite*, penguatnya berbentuk serat
3. *Structural composite*, penguatnya berbentuk lapisan

Material yang ulet tahan korosi, seperti: Al dan material yang kuat dan tangguh, seperti: keramik .Merupakan pemikiran yang tepat untuk menggabungkan kedua material tersebut menjadi material baru, yaitu: komposit. Material komposit yang diharapkan dengan proses pembuatannya mempunyai kekuatan mekanik yang tinggi, daya tahan vibrasi dan konduktivitas panas baik seperti: kekakuan, tahan aus dan stabil pada temperatur tinggi [17]

2.4.1 Metal Matrix Composites

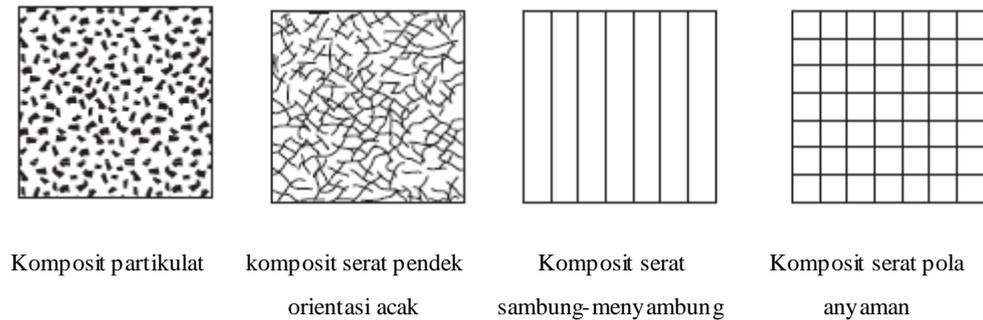
MMC pada dasarnya terdiri dari penguat *non-metallic* yang disatukan pada matriks *metallic*. Sifatnya yang ringan, tahan korosi, dan sifat mekanik nya yang sangat aplikatif, membuat paduan Aluminium begitu populer dan menjadikannya baik dalam pembuatan Aluminium MMCs. Titik leburnya yang cukup tinggi untuk berbagai persyaratan aplikasi, namun juga cukup rendah sehingga sesuai untuk proses pembuatan komposit. Aluminium juga dapat digabungkan dengan berbagai variasi material penguat. [18].

MMC merupakan material yang harus memenuhi kondisi persyaratan berikut. [19] :

1. MMC harus dibuat artifisial
2. Harus merupakan kombinasi dari paling tidak dua material yang berbeda secara kimiawi dimana material utama dan material pengikatnya berbeda.
3. Material terpisah yang membentuk komposit haruslah kombinasi tiga dimensi. (laminasi seperti pelapisan logam ataupun *honeycomb sandwiches* tidak bisa dianggap material komposit dasar jika logam sama digunakan secara menyeluruh).
4. Komposit tersebut haruslah dibuat dengan tujuan mempelajari sifat komposit tersebut, yang mana sifat ini tidak dapat dicapai oleh masing-masing material penyusunnya.

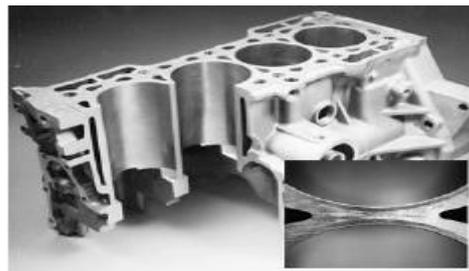
Material komposit dibentuk dari dua atau lebih material yang berbeda, yang mana material penyusun ini mempengaruhi sifat akhir dari material. Tidak seperti paduan logam, material pada komposit mempengaruhi material akhir dengan sifat yang jelas pada level makroskopis. Kebanyakan komposit terdiri dari dua material, material penguat disebut *filler* dan material matriks. Material *filler* memberikan kekakuan dan kekuatan, sedangkan material matriksnya menahan material bersama dan membantu perpindahan beban pada penguatan yang terputus. [20].

Dalam pembuatan komposit, matriks dan penguat dicampurkan bersama dan dapat dibedakan secara fisik. Jika dibandingkan dengan logam *monolithic*, MMC menawarkan keuntungan lebih, diantaranya memiliki sifat temperatur yang lebih baik, modulus dan kekuatan spesifik yang tinggi, ekspansi termal yang rendah dan konduktivitas termal yang baik. Akan tetapi MMC memiliki ketangguhan yang rendah dan biaya pembuatan yang tinggi. berdasarkan sifat ini, MMC bisa diaplikasikan pada komponen elektrik, industri otomotif dan industri penerbangan. [19]. Kebanyakan material penguat merupakan serat yang sambung-menyambung, baik itu serat yang berpola lurus maupun berpola anyaman. Selain itu penguat juga biasanya merupakan potongan serat pendek dan partikulat. Sementara itu, sebagian besar matriks merupakan plastik resin, selain itu material lain seperti logam juga banyak digunakan. [20].



Gambar 2.4 Penggolongan komposit berdasarkan tipe penguatnya

Kelompok penguat Al-MMCs meliputi continuous borron, Aluminium oksida, silikon karbid, dan serat grafit dan berbagai partikel lain, serat pendek, serta serat bersambung. Gambar 2.4 menunjukkan berbagai variasi produk Al-MMCs.



Gambar 2.5 Berbagai produk yang dibuat dengan Al-MMCs

2.4.2 Metode Pembentukan Komposit Matriks Logam

Proses pembentukan komposit dengan matriks Al pada skala industri diklasifikasikan dalam 2 (dua) kelompok utama yaitu: *solid state processes* (proses keadaan padat) dan *liquid state processes* (proses keadaan cair) [17]. Pada penelitian ini dipilih metode cair berupa *stir casting* untuk pembentukan berbahan Komposit matrik logam Al-Fe dan Al-Cu diperkuat dengan abu terbang. *Stir casting* seperti adalah proses pengecoran dengan cara menambahkan suatu logam murni (biasanya Al) dengan sebuah komposit, dengan cara melebur logam murni tersebut, kemudian logam murni yang sudah mencair tersebut diaduk-aduk secara terus menerus hingga berbentuk sebuah pusran, kemudian komposit (berupa serbuk) tersebut

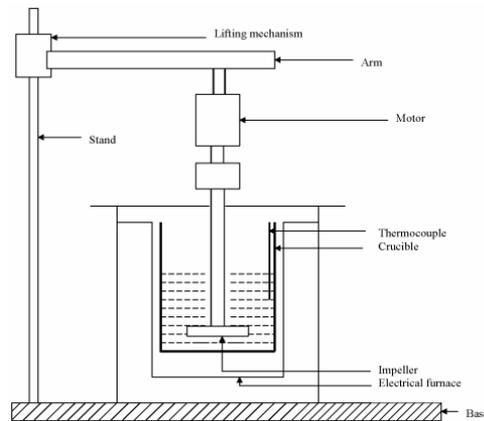
dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusaran yang telah terbentuk itu [8].

Keuntungan *stir casting* antara lain:

1. Proses ini mampu menggabungkan partikel penguat kedalam logam cair dikarenakan adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel padatan terperangkap dalam logam cair.
2. Dengan adanya proses pengadukan pada suhu diatas temperatur cair maka udara yang terperangkap memungkinkan untuk naik ke atas permukaan logam cair sehingga cacat yang diakibatkan oleh terperangkapnya udara dalam logam cair dapat dihindari.
3. Proses *stir casting* menghasilkan produk yang hasilnya relatif lebih baik dibandingkan hasil *casting* yang lainnya karena pencampuran logam dapat lebih homogen

Ada beberapa faktor yang harus dipertimbangkan dalam proses pembuatan komposit yang diperkuat partikel antara lain:

1. Penambahan partikel ke dalam logam cair
Semakin banyak partikel yang ditambahkan, menyebabkan peningkatan viskositas, yang perlu diperhatikan sifat mampu alir dalam tahap penuangan.
2. Adanya perbedaan berat jenis partikel dan logam cair
Semakin besar perbedaan berat jenis partikel dan matriks, semakin mudah untuk mengendap. Masalahnya menjadi sulit bila ukuran partikel relatif seragam dengan volume fraksi yang tinggi saat berlangsung pengendapan dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.6 Skema dapur peleburan stir casting [8]

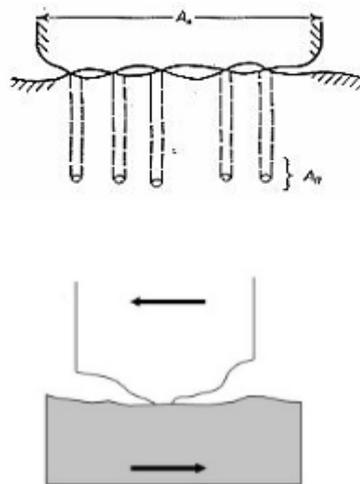
2.5 Keausan

Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Keausan telah menjadi perhatian praktis sejak lama, tetapi hingga beberapa saat lamanya masih belum mendapatkan penjelasan ilmiah yang besar sebagaimana halnya pada mekanisme kerusakan akibat pembebanan tarik, impak, puntir atau fatigue. Hal ini disebabkan masih lebih mudah untuk mengganti komponen/part suatu sistem dibandingkan melakukan disain komponen dengan ketahanan/umur pakai (life) yang lama. Saat ini, prinsip penggantian dengan mudah seperti itu tidak dapat diberlakukan lebih lanjut karena pertimbangan biaya (cost). Pembahasan mekanisme keausan pada material berhubungan erat dengan gesekan (friction) dan pelumasan (lubrication). Telaah mengenai ketiga subyek ini yang dikenal dengan nama ilmu Tribologi. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan response material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam.

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (revolving disc). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil

sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Sebagaimana telah disebutkan pada bagian Pengantar, material jenis apapun akan mengalami keausan dengan mekanisme yang beragam, yaitu: keausan adhesive, abrasi, lelah dan oksidasi. Di bawah ini diberikan penjelasan ringkas dari mekanisme-mekanisme tersebut:

1. **Keausan adhesive:** terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan satu sama lain dan pada akhirnya terjadi pelepasan/pengoyakan salah satu material, seperti diperlihatkan oleh **Gambar 2.7.**



Gambar 2.7 Ilustrasi skematis keausan adhesive

Faktor yang menyebabkan *adhesive wear* :

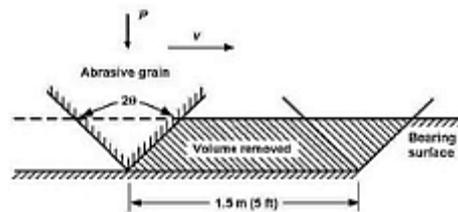
1. Kecenderungan dari material yang berbeda untuk membentuk larutan padat atau senyawa intermetalik.
2. Kebersihan permukaan.

Jumlah *wear debris* akibat terjadinya aus melalui mekanisme adhesif ini dapat dikurangi dengan cara, antara lain :

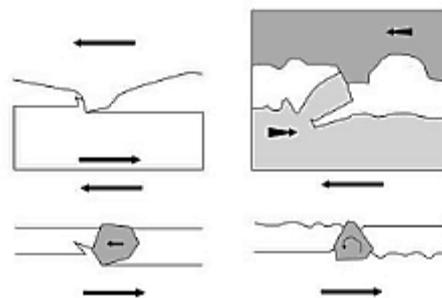
1. Menggunakan material keras.
2. Material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya

2. Keausan abrasif: terjadi bila suatu partikel keras (asperity) dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak, sebagaimana ditunjukkan oleh **Gambar 2.8**. Tingkat keausan pada mekanisme ini ditentukan oleh derajat kebebasan (degree of freedom) partikel keras atau sperity tersebut. Sebagai contoh partikel pasir silica akan menghasilkan keausan yang lebih tinggi ketika diikat pada suatu permukaan seperti pada kertas amplas, dibandingkan bila partikel tersebut berada di dalam sistem slury. Pada kasus pertama partikel tersebut kemungkinan akan tertarik sepanjang permukaan dan mengakibatkan pengoyakan sementara pada kasus terakhir partikel tersebut mungkin hanya berputar (rolling) tanpa efek abrasi. Faktor yang berperan dalam kaitannya dengan ketahananmaterial terhadapabrasive wear antara lain:

1. Material hardness
2. Kondisi struktur mikro
3. Ukuran abrasive
4. Bentuk abrasif

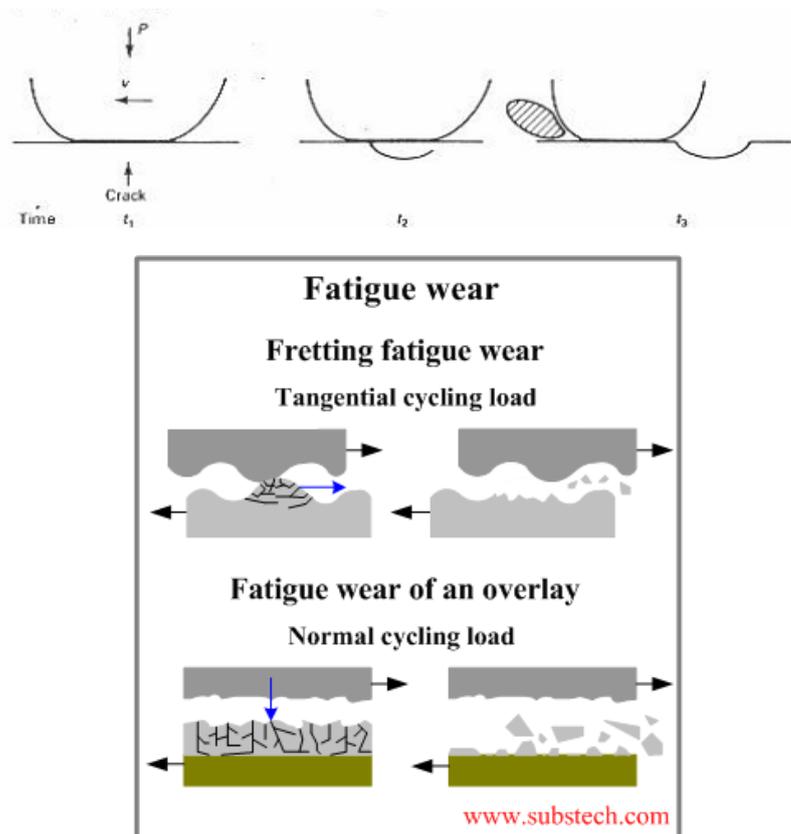


Gambar 4.4. Ilustrasi skematis keausan abrasif



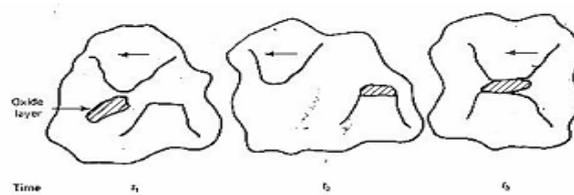
Gambar 2.8 Ilustrasi skematis keausan abrasif

3. **Keausan lelah:** merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adhesive maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi sementara pada keausan lelah dibutuhkan interaksi multi. **Gambar 2.9** memberikan skematis mekanisme keausan lelah. Permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro (t_1). Retak-retak tersebut pada akhirnya menyatu (t_2) dan menghasilkan pengelupasan material (t_3). Tingkat keausan sangat tergantung pada tingkat pembebanan.



Gambar 2.9 Ilustrasi skematis keausan lelah

konsekuensinya, material pada lapisan permukaan akan mengalami keausan yang berbeda. Hal ini selanjutnya mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut. Gambar 2.8 memperlihatkan skematis mekanisme keausan oksidasi/korosi ini.

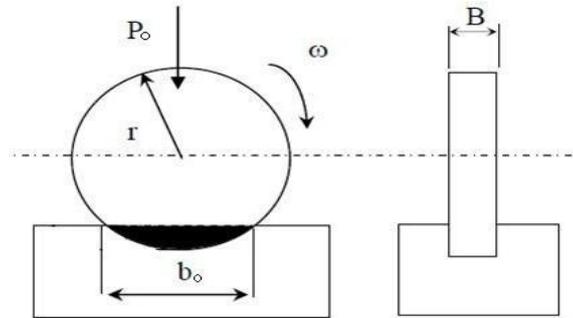


Gambar 2.10 Ilustrasi skematis keausan oksidasi

2.5.1 Pengujian keausan abrasif

Keausan merupakan hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan [21]. Keausan yang terjadi pada suatu material disebabkan oleh adanya beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang bervariasi meliputi, bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri permukaan yang terjadi keausan. Mekanisme keausan menurut Koji Kato, dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu keausan yang disebabkan perilaku mekanis (*mechanical*), keausan yang disebabkan perilaku kimia (*chemical*), dan keausan yang disebabkan perilaku panas (*thermal wear*) [22]. Keausan yang disebabkan perilaku mekanis digolongkan lagi menjadi *abrasive*, *adhesive*, *flow* dan *fatigue wear*. Pengujian keausan pada penelitian ini tipe keausan yang terjadi adalah *abrasive wear*. Keausan *abrasive* terjadi jika partikel keras atau permukaan keras yang kasar menggerus dan memotong permukaan sehingga mengakibatkan hilangnya material yang ada di permukaan tersebut (*earth moving equipment*) [22,23]. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari disk yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam

jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan oleh **Gambar 2.11**



Keterangan :

P_0 : Beban	h : Kedalaman bekas injakan
r : jari-jari <i>revolving disc</i>	b : Lebar bekas injakan
B : Tebal <i>revolving disc</i>	ω : Kecepatan putar

Gambar 2.11. Prinsip pengujian keausan dengan metode *Ogoshi* [24]

Uji keausan merupakan suatu uji karakteristik fisik yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar tingkat keausan benda (permukaan benda) terhadap gesekan atau goresan. Uji keausan dilakukan dengan cara menghitung lebar keausan dari sampel. Untuk pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan alat uji *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine (Type OAT-U)*. Keutamaan dari alat ini diantaranya :

1. Lama waktu abrasi dapat ditentukan dan daya tahan aus permukaan benda uji dengan berbagai variasi bahan dapat dengan mudah terdeteksi.
2. Pengujian dilakukan dengan mudah dan cepat.
3. Benda uji tidak harus berukuran besar.
4. Perubahan tekanan, kecepatan dan jarak penggosok dapat dibuat dengan mudah dengan jarak yang lebih lebar.

5. Berbagai macam bahan-bahan industri (karbon, baja, *harden steel*, *cast steel*, *super-hard alloys*, tembaga, kuningan, *synthetic resins*, nylon, dan lain-lain) dapat diuji.

Rumus nilai keausan spesifik:

$$W_s = \frac{B \times B_o^3}{8 \times r \times P_o \times l_o} \dots\dots\dots(2.1)$$

Di mana :

B = lebar piringan pengaus (mm)

B_o = lebar keausan pada benda uji (mm)

r = jari-jari piringan pengaus (mm)

P_o = gaya tekan pada proses keausan berlangsung (kg)

l_o = jarak tempuh pada proses pengausan (mm)

W_s = harga keausan spesifik (mm²/kg)

2.6 Uji Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical of properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material merupakan ketahanan material terhadap gaya penekanan atau deformasi dari material lain yang lebih keras, yang menjadi prinsip dalam suatu uji kekerasan adalah terletak pada permukaan material pada saat permukaan material tersebut diberi perlakuan penekanan sesuai dengan parameter (diameter, beban, dan waktu). Berdasarkan mekanisme penekanan yang dilakukan pada saat proses pengujian, uji kekerasan dapat dibedakan menjadi tiga jenis metode pengujian dalam menentukan kekerasan suatu material, yaitu : metode brinnel (HB/BHN), metode rockwell (HR/HRN), dan metode *vickers* (HV/VHN) [25].

2.6.1 Uji Kekerasan Metode *Rockwell* (HR/HRN)

Pengujian *Rockwell* merupakan pengujian kekerasan yang paling banyak digunakan karena sederhana dalam penggunaannya dan tidak memerlukan keahlian khusus. Indenter yang digunakan meliputi indenter berbentuk bola serta bola baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter (1/16, 1/8, 1/4, 1/2 in) dan juga indenter intan kerucut untuk material yang lebih keras.

Kekerasan ini diukur dengan alat penguji kekerasan *Rockwell*, dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan (kekerasan makro dengan metode *Rockwell* skala b) kemudian diketahui keseragaman sifat mekanik *tes bar*. Hal ini dilakukan karena *tes bar* yang dibuat cukup banyak. Bola baja keras atau kerucut intan ditekan ke permukaan yang diukur, kemudian dalamnya penekanan diukur. Kekerasan *Rockwell* adalah harga yang didapat dari pengukuran dalamnya penekanan, ditunjukkan oleh indikator jarum yang terpasang pada alat tersebut. tabel 2.9 berikut ini menunjukkan macam-macam skala dan standar *Rockwell*. [26]

Tabel 2.9 Skala kekerasan *Rockwell* [26]

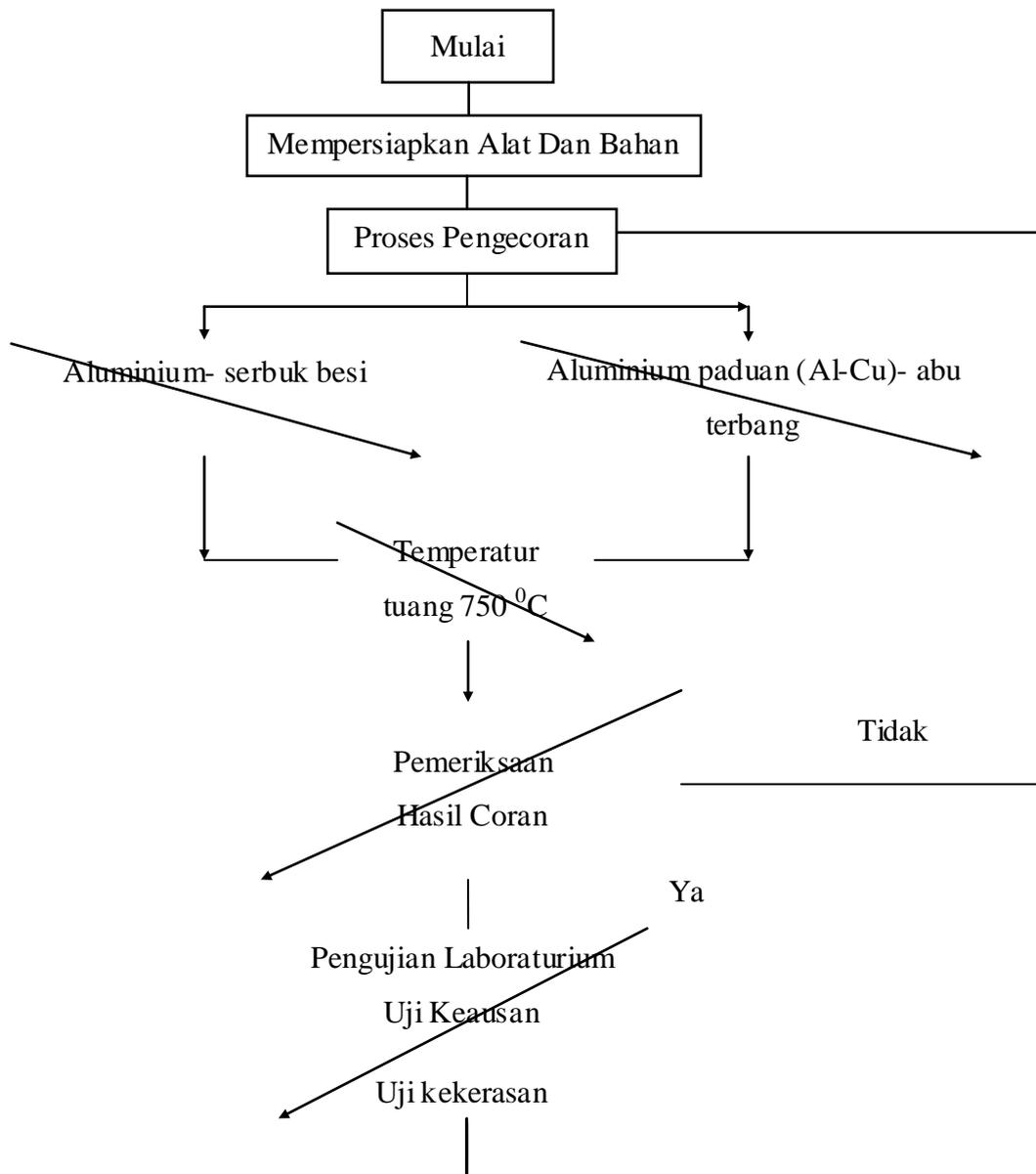
Scale	Priliminary Load kg	Total Load kg	Indenter	E
A	10	60	Diamond Cone	100
B	10	100	1/16" ball	130
D	10	100	Diamond Cone	100
E	10	100	1/8" ball	130
F	10	60	1/16" ball	130
H	10	60	1/8" ball	130
L	10	60	1/4" ball	130
M	10	100	1/4" ball	130
R	10	60	1/2" ball	130
S	10	100	1/2" ball	130

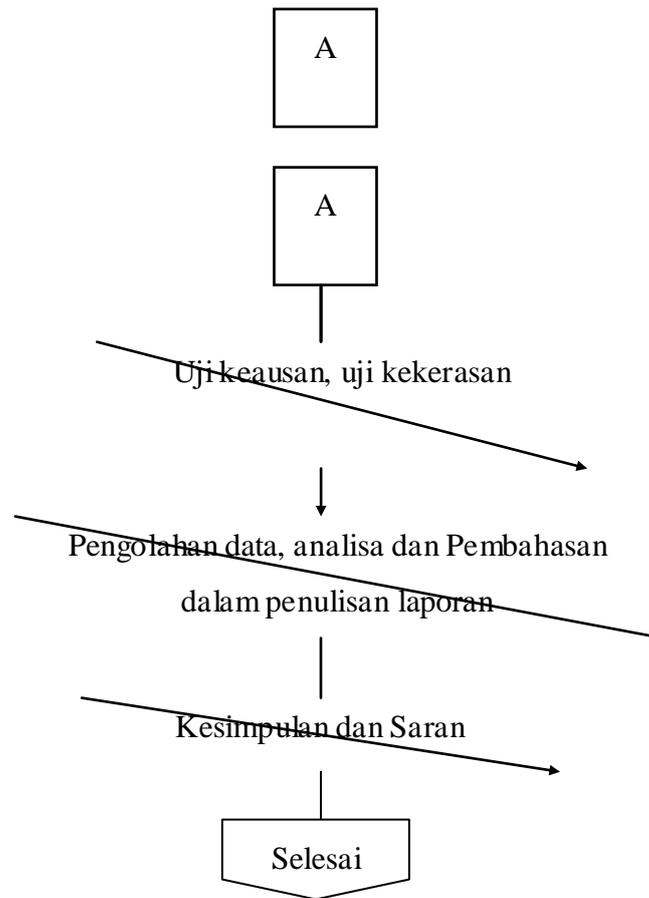
BAB III

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini langkah-langkah pengujian mengacu pada diagram alir berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Keterangan diagram alir penelitian :

1. Pembuatan cetakan
Pembuatan cetakan dilakukan untuk persiapan proses pengecoran, cetakan yang digunakan terbuat dari baja dan dibentuk dengan proses *machining*.
2. Persiapan dan pembuatan sampel
Pembuatan material komposit Aluminium diperkuat serbuk besi dan Aluminium diperkuat Tembaga dengan abu terbang.
3. Proses pengecoran
Membuat specimen dengan menggunakan proses pengecoran menggunakan *stir casting*.

4. Pemeriksaan cacat coran secara visual

Dilakukan untuk mengetahui ada tidaknya cacat pada permukaan coran.

5. Pengujian sepesimen

Untuk mengetahui uji keausan dari sampel untuk mengetahui seberapa besar keausan.

6. Pembuatan spesimen uji mikrografi

Membuat specimen hasil coran yang digunakan untuk uji mikrografi.

7. Analisa data dan pembahasan

Mengolah data-data yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi.

8. Kesimpulan

Menarik kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisa dan member saran untuk lanjutan dari penelitian ini.

3.2 Peralatan Yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Tungku *krusibel* dan *burner*

Tungku *krusibel* yang di gunakan untuk melebur aluminium serbuk besi dan aluminium tembaga dengan abu terbang. Tungku ini mempunyai kapasitas maksimal 2 kg dan *burner* di pasang pada tungku sebagai penghubung menggunakan bahan bakar LPG. Kontruksi dapur pada dasarnya terdiri atas *krusibel* sebagai tempat peleburan logam yang terletak di tengah-tengah dapur, sedangkan untuk dapur terbuat dari bahan tahan api yang sekaligus sebagai penyekat panas (*isolator* panas).



(a)



(b)

Gambar 3.2 (a) *Tungku Krusibel* dan (b) *Burner*

b. Kowi

Kowi digunakan sebagai tempat untuk melebur, mencampur, dan menuang coran. Kowi terbuat dari baja dan diberi tangkai untuk memudahkan proses penuangan ke dalam cetakan.



Gambar 3.3 Kowi

c. Pengaduk (*stir cast*)

Digunakan aluminium sekaligus untuk yang terdapat cair. Cawan untuk memudahkan pada saat penuangan logam cair ke dalam cetakan.



untuk mencampur dengan serbuk besi membuang kerak pada aluminium tuang digunakan

Gambar 3.4 Pengaduk (*Stir Cast*)

d. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital. Timbangan ini digunakan untuk mengukur masa dari aluminium, serbuk besi yang digunakan dalam proses pengecoran.



Gambar 3.5 Timbangan

e. *Thermocouple* dan *display*

Digunakan untuk mengukur temperature aluminium cair pada saat pengecoran dan temperature laju pendinginan setelah penuangan.

Thermocouple yang digunakan adalah tipe K dengan temperature pengukuran maksimal 1200°C.



(a)

(b)

Gambar 3.6 (a) *Thermocouple* dan (b) *display*

f. *Permanent mold* / cetakan coran

Cetakan coran yang digunakan adalah jenis *permanent mold* yang terbuat dari baja perkakas yang merupakan salah satu jenis baja karbon medium. *Permanent mold* dibuat berdasarkan jenis pola cetakan logam yaitu bentuk silinder. Ukuran dimensi pola cetakan yaitu :

Pola silinder, Diameter (\emptyset) = 20 mm.

Panjang = 200 mm.

Sedangkan jarak pola permukaan cetakan seragam yaitu 30 mm, tetapi dikurangi tinggi besi yang di gunakan untuk mengepres setelah penuangan 3 mm menjadi panjang total spesimen yaitu : 27 mm. *Permanent mold* di buat dengan melakukan proses machining daro dua buat plat baja yang kemudian akan disatukan untuk setiap jenis pola cetakan logamnya.



Gambar 3.7 Cetakan logam silinder

f. Alat Pres Sederhana

Digunakan untuk mengepres aluminium yang dicampur serbuk besi setelah dituang ke dalam cetakan. Alat pres ini menggunakan sistem dongkrak hidrolis dengan kekuatan maksimal 2 ton.



Gambar 3.8 Alat pres sederhana

g. *Vernier caliper*

Digunakan sebagai alat bantu untuk mengukur diameter dalam pembuatan spesimen uji tarik. Vernier yang digunakan yaitu *vernier caliper mitutoyo* dengan ketelitian 0,05 mm.



Gambar 3.9 Vernier caliper

h. Gergaji tangan

Digunakan untuk memotong Aluminium batangan dalam beberapa bagian sesuai dengan yang dibutuhkan. Agar aluminium batangan cepat melebur dalam kowi, maka mesin gergaji digunakan untuk memperkecil ukuran aluminium



Gambar 3.10 Gergaji tangan

i. *Sieving* (ayakan)

Digunakan untuk mendapatkan ukuran serbuk yang seragam. Ukuran *sieve* yang digunakan adalah *mesh 350*.



Gambar 3.11 Mesh 350

j. Mesin amplas dan poles

Mesin ini digunakan untuk proses pembuatan specimen untuk pengujian struktur mikro, ditunjukkan pada Gambar 3.12 dibawah ini.



Gambar 3.12 Mesin amplas dan poles

k. Mikroskop optik dan kamera

Digunakan untuk mengamati struktur mikro dari specimen dan kemudian mengambil foto setelah mendapatkan gambar yang diinginkan menggunakan kamera, ditunjukkan pada Gambar 3.13 dibawah ini.



(a)

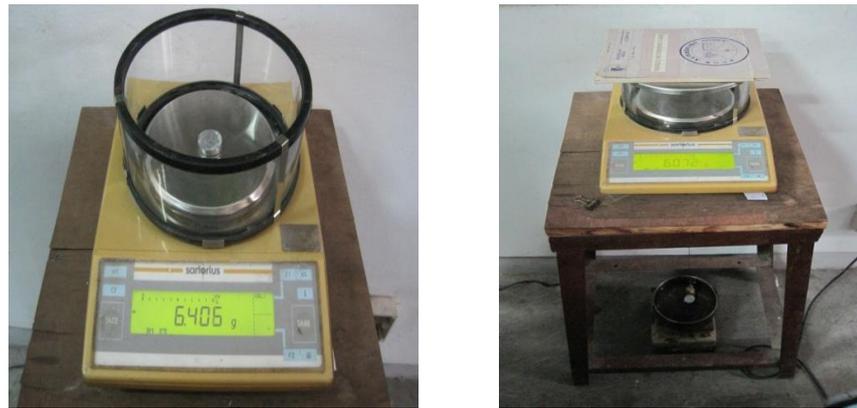


(b)

Gambar 3.13 (a) Mikroskop optik dan (b) kamera

l. Alat Uji Densitas

Alat uji densitas yang digunakan adalah neraca digital merk *sarforious* di Laboratorium S-1 Bahan Teknik Mesin UGM. Gambar 3.14 dillihatkan Pengujian dilakukan dengan dua cara yaitu dengan sampel kering dan dengan sampel basah yang diletakkan di dalam air.



Gambar 3.14 Neraca digital

m. *Ogoshi high speed universal wear testing machine*

Fungsi *ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U* adalah untuk menentukan laju keausan suatu material dimana benda uji memperoleh beban gesek dari disk yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan ini akan menghasilkan kontak yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material yang tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Pada Gambar 3.15 menunjukkan *ogoshi high speed universal wear testing machine*.



Gambar 3.15 *Ogoshi high speed universal wear testing machine type OAT-U*

n. Alat bantu lainnya

Alat bantu lain yang digunakan selama proses penelitian ini adalah :

1. Tang penjepit.
2. Obeng.
3. Kunci pas.
4. Sarung tangan tahan api.
5. Amplas.
6. Penumbuk.

3.3 Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang dipakai adalah:

1. Aluminium batangan

Aluminium yang digunakan adalah limbah dari bekas bangunan, hal ini sekaligus bertujuan untuk mendaur ulang sumber daya alam. Gambar 3.16 di bawah terlihat bahwa aluminium batangan telah dipotong agar mempercepat proses peleburan dan mempermudah untuk menimbang sesuai dengan massa yang diinginkan.



Gambar 3.16 Aluminium.

2. Serbuk besi

Gambar 3.17 di bawah memperlihatkan besi yang telah dikumpulkan dalam bentuk geram dari hasil pembubutan. Geram yang dihasilkan dibuat kecil dan tipis dengan cara ditumbuk setelah itu disaring menggunakan *mesh* 350 agar penyebaran serbuk besi bisa lebih merata kedalam aluminium.



Gambar 3.17 Serbuk besi.

3. Serbuk abu terbang

Gambar 3.18 di bawah memperlihatkan serbuk abu terbang yang telah dikalsinasi dalam temperatur 800°C selama 3 jam. Kalsinasi dilakukan untuk mengurangi kadar karbon dalam abu terbang.



Gambar 3.18 Serbuk abu terbang

3.4 Proses pembuatan spesimen dengan variasi komposisi serbuk besi dan serbuk abu terbang

Langkah – langkah dilakukan selama proses pengecoran yaitu:

1. Proses penimbangan
 - a. Penimbangan aluminium

Sebelum dicor aluminium dipotong kurang lebih 15 cm, kemudian ditimbang sesuai kebutuhan pengecoran. Paduan aluminium serbuk besi yang dibuat yaitu aluminium dengan fraksi massa Fe dan abu terbang 5%, 10%, 15%. Sehingga perhitungan adalah sebagai berikut :

Berat total coran yang diinginkan untuk sekali pengecoran adalah 1000 gr. Dengan massa aluminium adalah 1000 gr. Asumsi kerak yang terjadi saat pengecoran adalah 30 %. Kebutuhan aluminium + kerak = 1000 gr + 30 % x 1000 gr = 1300 gr

Massa aluminium yang akan digunakan

$$\text{I. } 95 \% \times 1300 \text{ gr} = 1235 \text{ gr}$$

$$\text{II. } 90 \% \times 1300 \text{ gr} = 1170 \text{ gr}$$

$$\text{III. } 85 \% \times 1300 \text{ gr} = 1105 \text{ gr}$$

b. Penimbangan serbuk besi

$$\begin{aligned} \text{Berat serbuk besi I yaitu } 5\% \times \text{berat total aluminium} &= 5\% \times 1000 \text{ gr} \\ &= 50 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat serbuk besi II yaitu } 10\% \times \text{berat total aluminium} &= 10\% \times 1000 \text{ gr} \\ &= 100 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat serbuk besi III yaitu } 15\% \times \text{berat total aluminium} &= 15\% \times 1000 \text{ gr} \\ &= 150 \text{ gr} \end{aligned}$$

c. Penimbangan massa tembaga

$$4\% \times 1000 \text{ gr} = 40 \text{ gr}$$

d. Penimbangan serbuk abu terbang.

$$\begin{aligned} \text{Berat abu terbang I yaitu } 5\% \times \text{berat total aluminium} &= 5\% \times 1000 \text{ gr} \\ &= 50 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat abu terbang II yaitu } 10\% \times \text{berat total aluminium} &= 10\% \times 1000 \text{ gr} \\ &= 100 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat abu terbang III yaitu } 15\% \times \text{berat total aluminium} &= 15\% \times 1000 \text{ gr} \\ &= 150 \text{ gr} \end{aligned}$$

2. Proses Peleburan

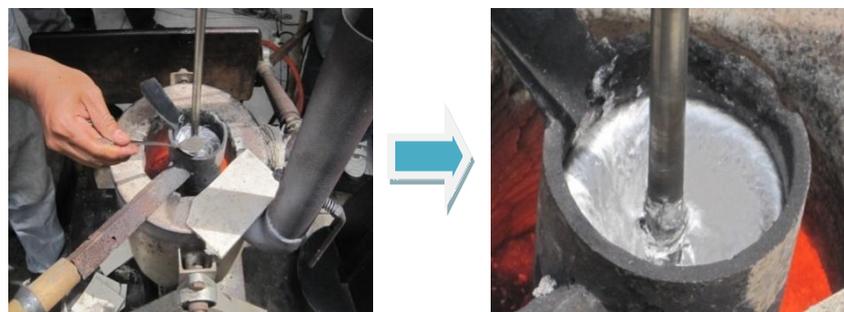
Aluminium yang sudah ditimbang sesuai massa di atas dimasukkan ke dalam kowi, dan kowi dimasukkan ke dalam tungku krusibel. *Burner* pada tungku dinyalakan dan kowi ditutup dapat dilihat proses pada gambar 3.19



Gambar 3.19 Proses peleburan menggunakan tungku krusibel.

3. Pengadukan (*stir cast*)

Setelah aluminium mencair pada suhu $660\text{ }^{\circ}\text{C}$, hidupkan pengaduk untuk mencampurkan serbuk besi kedalam aluminium yang sudah mencair. Kecepatan pengaduk yang digunakan sekitar 250 rpm. Tuang serbuk besi sesuai dengan ukuran secara perlahan-lahan kedalam cairan aluminium. Pengadukan dilakukan selama 5 menit, agar serbuk besinya benar-benar tercampur dan tidak banyak yang mengendap. Setelah itu siap untuk dituang ke dalam cetakan.



Gambar 3.20 Proses *stir casting*

4. Penuangan dan pengepresan

Sebelum penuangan, cetakan dipanaskan terlebih dahulu sampai suhu tertentu sehingga nantinya akan didapat laju pendinginan yang berbeda. Temperatur penuangan dibuat 3 (tiga) variasi yaitu 700 °C, 725 °C, dan 750 °C. Proses penuangan dilakukan dengan cepat dan berhati-hati untuk menghindari terjadi pembekuan setelah kowi diangkat dari tungku, setelah dituang ke dalam cetakan dipres menggunakan alat pres dengan maksud untuk meminimalisir porositas. Tetapi pada saat pengepresan menemui kendala yaitu aluminium cepat sekali membeku.



Gambar 3.21 Proses penuangan dan pengepresan.

5. Pendinginan

Setelah dituang di dalam cetakan tunggu sampai sekitar 30 menit untuk menurunkan suhu, baru setelah itu cetakan dibuka. Biarkan hasil coran dingin sesuai suhu ruangan. ditunjukkan pada Gambar 3.22

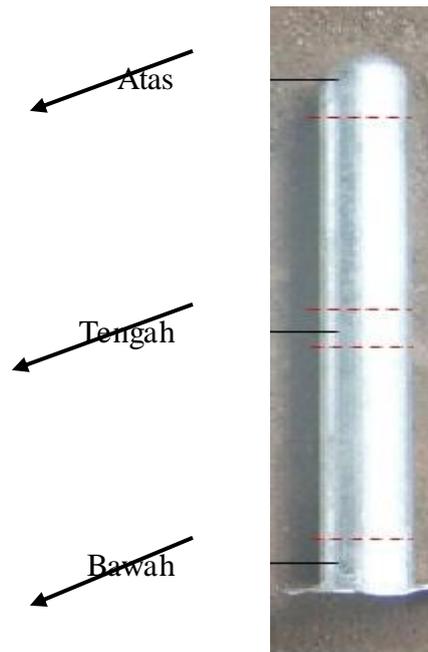


Gambar 3.22 Spesimen hasil pengecoran

3.3 Prosedur Pengujian

3.3.1 Pengujian material

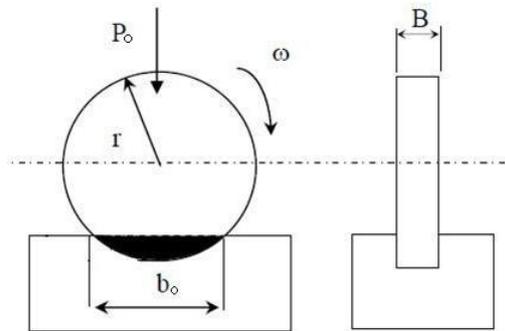
Pengambilan sampel uji dilakukan pada bagian atas, tengah dan bawah ditunjukkan pada **Gambar 3.23**.



Gambar 3.23 Pengambilan Sampel Uji Pada Bagian Atas, Tengah dan Bawah.

3.3.2 Pengujian keausan

Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode Ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari disk yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan oleh



Keterangan :

P_0 : Beban	h : Kedalaman bekas injakan
r : jari-jari <i>revolving disk</i>	b : Lebar bekas injakan
B : Tebal <i>revolving disk</i>	ω : Kecepatan putar

Gambar 3.24 Prinsip pengujian keausan dengan metode *Ogoshi* [20]

Uji keausan merupakan suatu uji karakteristik fisik yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar tingkat keausan benda (permukaan benda) terhadap gesekan atau goresan. Uji keausan dilakukan dengan cara menghitung lebar keausan dari sampel. Untuk pengujian keausan dilakukan dengan menggunakan alat uji *Ogoshi High Speed Universal Wear Testing Machine (Type OAT-U)*. Keutamaan dari alat ini diantaranya :

1. Lama waktu abrasi dapat ditentukan dan daya tahan aus permukaan benda uji dengan berbagai variasi bahan dapat dengan mudah terdeteksi.
2. Pengujian dilakukan dengan mudah dan cepat.
3. Benda uji tidak harus berukuran besar.
4. Perubahan tekanan, kecepatan dan jarak penggosok dapat dibuat dengan mudah dengan jarak yang lebih lebar.
5. Berbagai macam bahan-bahan industri (karbon, baja, *harden steel*, *cast steel*, *super-hard alloys*, tembaga, kuningan, *synthetic resins*, nylon, dan lain-lain) dapat diuji.

Pengujian keausan material dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Adapun prosedur pengujian keausan material dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

Langkah-langkah yang dilakukan selama proses uji keausan ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan pengujian
 - a. Menyiapkan sampel uji .
 - b. Menghaluskan permukaan sampel benda uji dengan menggunakan amplas dan kain bludru yang diberi autosol.
2. Pengoperasian
 - a. Menempatkan spesimen pada mesin rotating disk on plate
 - b. Mengatur gear rasio yang diinginkan untuk menentukan panjang langkah (mm) dan beban (kg)
 - c. Hidupkan Mesin dan dengan waktu yang bersamaan timer diaktifkan untuk menyesuaikan waktu yang kita butuhkan.
 - d. Matikan mesin dan ganti spesimen dengan yang spesimen yang selanjutnya yang akan diuji.
 - e. Mengulangi langkah (a) sampai langkah (d) sampai dengan semua specimen yang akan diuji.

3.3.3 Pengujian Kekerasan

Dalam pengujian kekerasan digunakan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Material uji
2. *Hand saw*
3. Kikir
4. *Abrasive paper* no. 400, 600, 800, 1000, dan 1500
5. Meja *polishing*
6. Alat uji *Emcotest tipe N3A000*
7. *Stopwacth*

Adapun prosedur pengujian kekerasan metode Rockwell sebagai berikut :

- a) Membersihkan dan mengamplas permukaan spesimen yang telah dipotong menjadi 3 bagian yaitu atas, tengah, dan bawah sehingga kedua permukaan rata dan sejajar.
- b) Mengkalibrasi alat uji kekerasan *Rockwell Hardness Tester model HR-150A*.
- c) Memasang benda uji pada kedudukannya (*anvil*) lalu putar *handwheel* searah jarum jam hingga spesimen menyentuh penetrator.
- d) Pasang benda uji pada kedudukannya (*anvil*) lalu kencangkan dengan memutar *handwheel* searah jarum jam hingga spesimen menyentuh penetrator dan jarum kecil pada dial indikator menuju titik merah.
- e) Mengatur dial indikator sehingga jarum besar berada di posisi garis C atau B tekan hendel pembebanan untuk pengetesan pembebanan utama. Pada saat itu jarum besar akan berputar *counter clockwise*.
- f) Tunggu setelah 60 detik, ketika jarum besar berhenti, tekan *handle* pelepas beban untuk menghilangkan pengetesan pembebanan utama. (tekan *handle* pembebanan dan pelepas beban secara perlahan dan hati-hati).
- g) Lakukan pembacaan pada indikator. Untuk pengujian dengan *diamond penetrator* yaitu HRB baca pada bagian dalam indikator (garis berwarna hitam), putar *handwheel* untuk menurunkan sampel.
- h) Melakukan pengujian di 7 titik (7 kali pengukuran) untuk masing-masing benda uji dengan jarak pengujian 3 mm antar titik lubang hasil pengujian.

