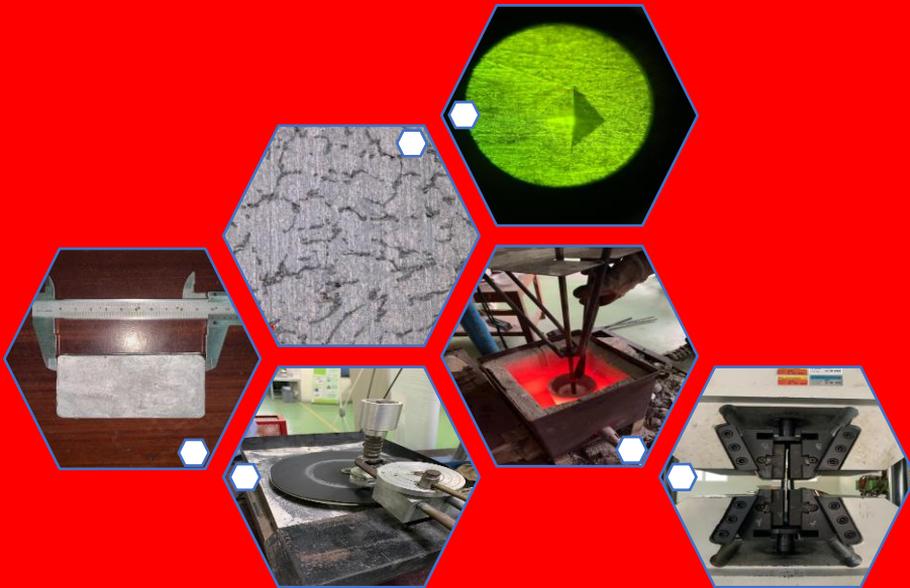


**PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL PADA
ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE (AMC) BERPENGUAT
SILIKON KARBIDA (SiC)**



**M. THORIQ IBNU SINA
D021 19 1149**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL PADA
ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE (AMC) BERPENGUAT
SILIKON KARBIDA (SiC)**

**M. THORIQ IBNU SINA
D021 19 1149**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGARUH PENAMBAHAN NIKEL PADA
ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE (AMC) BERPENGUAT
SILIKON KARBIDA (SiC)

M. THORIQ IBNU SINA

D021 19 1149

Skripsi,

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Sarjana Pada Tanggal 10 Desember
2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA

Mengesahkan :



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200511 1 001



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200511 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Pengaruh Penambahan Nikel Pada Aluminium Matrix Composite (AMC) Berpenguat Silikon Karbida (SiC)" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Dr. Muhammad Syahid, S.T.,M.T). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 10 Desember 2024



M. Thoriq Ibnu Sina

D021 19 1149

ABSTRAK

M. THORIQ IBNU SINA. *Pengaruh Penambahan Nikel Pada Aluminium Matrix Composite (AMC) Berpenguat Silikon Karbida (SiC)* (dibimbing oleh Dr. Muhammad Syahid, S.T.,M.T.)

Berlatar belakang Nikel yang mempunyai potensi sebagai wetting agent pada AMC (Aluminium Matrix Composite), penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan nikel terhadap sifat mekanik (kekerasan, kekuatan tarik, dan laju keausan) pada pengecoran Al 6061/SiC & Al 2024/SiC serta bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan nikel pada pengecoran Al 6061/SiC & Al 2024/SiC terhadap struktur mikro dari produk hasil pengecoran. Penelitian ini menggunakan Aluminium 6061 dan Aluminium 2024, konsentrasi 15 wt.% SiC (Silikon Karbida), konsentrasi 1 wt.%, 3 wt.% , 5 wt.% Nikel (Ni), menggunakan cetakan logam, suhu cetakan 400°C, stir casting 350 rpm, suhu penuangan 650°C, dan suhu peleburan aluminium 720°C. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan Nikel meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik, dan ketahanan keausan dibanding Magnesium yang dimana Nikel menghasilkan struktur mikro lebih seragam, butir lebih kecil, homogen, serta meningkatkan jumlah fasa eutektik. Sebagai wetting agent, Nikel efektif meningkatkan kualitas Aluminium Matrix Composite yang menggunakan Aluminium 6061 dan 2024, memberikan manfaat yang signifikan pada sifat mekanik dan mikrostrukturnya. Penambahan Nikel meningkatkan kekerasan, kekuatan tarik, dan ketahanan aus Aluminium Matrix Composite (AMC), dengan Al 2024 menunjukkan kekerasan dan ketahanan aus lebih tinggi serta Al 6061 menunjukkan kekuatan tarik lebih tinggi. Ni juga menghasilkan struktur mikro lebih seragam, butir kecil, homogen, dan meningkatkan fasa eutektik. Dibandingkan Magnesium, Nikel lebih efektif meningkatkan pembasahan, distribusi partikel, serta sifat mekanis AMC.

Kata Kunci: Nikel, Wetting agent, Aluminium Matrix Composite (AMC), Aluminium 6061, Aluminium 2024, Kekerasan, Kekuatan tarik, Ketahanan keausan, Struktur mikro.

ABSTRACT

M. THORIQ IBNU SINA. *The Effect of Nickel Addition on Silicon Carbide (SiC) Reinforced Aluminium Matrix Composite (AMC)* (supervised by Dr. Muhammad Syahid, S.T.,M.T.)

With the background of Nickel which has the potential to be a wetting agent in AMC (Aluminum Matrix Composite), this study aims to analyze the effect of nickel addition on mechanical properties (hardness, tensile strength, and wear rate) in Al 6061/SiC & Al 2024/SiC casting and aims to analyze the effect of nickel addition in Al 6061/SiC & Al 2024/SiC casting on the microstructure of the casting product. This study uses Aluminum 6061 and Aluminum 2024, a concentration of 15 wt.% SiC (Silicon Carbide), a concentration of 1 wt.%, 3 wt.%, 5 wt.% Nickel (Ni), using a metal mold, mold temperature of 400°C, stir casting of 350 rpm, pouring temperature of 650°C, and aluminum melting temperature of 720°C. The results of this study show that the addition of Nickel increases hardness, tensile strength, and wear resistance compared to Magnesium where Nickel produces a more uniform microstructure, smaller grains, homogeneous, and increases the number of eutectic phases. As a wetting agent, Nickel effectively improves the quality of Aluminum Matrix Composite using Aluminum 6061 and 2024, providing significant benefits to its mechanical and microstructural properties. The addition of Nickel improves the hardness, tensile strength and wear resistance of Aluminum Matrix Composite (AMC), with Al 2024 showing higher hardness and wear resistance and Al 6061 showing higher tensile strength. This also results in a more uniform, small-grained, homogeneous microstructure, and increases the eutectic phase. Compared to Magnesium, Nickel is more effective at improving the wetting, particle distribution, and mechanical properties of AMC.

Keywords: Nickel, Wetting agent, Aluminium Matrix Composite (AMC), Aluminium 6061, Aluminium 2024, Hardness, Tensile strength, Wear resistance, Microstructure.

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Aluminium	5
2.1.1 Aluminium dan Paduannya	5
2.1.2 Aluminium 6061	7
2.1.3 Aluminium 2024	10
2.2 Silikon Karbida.....	11
2.3 Nikel.....	12
2.4 <i>Aluminium Matrix Composites (AMC)</i>	14
2.4.1 AMC dengan tambahan nikel.....	16
2.4.2 AMC dengan tambahan magnesium.....	17
2.4.3 Pembuatan AMC dengan metode <i>stir casting</i>	19
2.5 Uji Mekanik	20
2.5.1 Pengujian Kekerasan.....	20
2.5.2 Pengujian Tarik.....	23

2.5.3 Pengujian Keausan.....	23
2.6 Pengujian Metalografi	27
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	28
3.1 Waktu dan Tempat.....	28
3.2 Alat dan Bahan	28
3.2.1 Alat.....	28
3.2.2 Bahan	34
3.3 Diagram Alir Penelitian	37
3.4 Prosedur Penelitian.....	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Data Produk Pengecoran.....	44
4.2 Hasil Pengujian Kekerasan.....	46
4.3 Hasil Pengujian Tarik.....	50
4.4 Hasil Pengujian Keausan.....	54
4.5 Hasil Pengujian Metalografi	55
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN	66

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
Gambar 1 Diagram fasa Aluminium-Silikon	8
Gambar 2 Diagram fasa Aluminium-Magnesium	9
Gambar 3 Diagram fasa Aluminium-Tembaga.....	10
Gambar 4 Geometri Indentor <i>Brinell</i>	20
Gambar 5 Geometri indentor <i>Vickers</i>	21
Gambar 6 Jejak hasil penekanan indentor.....	22
Gambar 7 Indentor <i>rockwell</i>	22
Gambar 8 Spesimen uji tarik ASTM E8	23
Gambar 9 Tampilan skematik pin pada tribosystem cakram untuk pengujian keausan	24
Gambar 10 Keausan metode adhesive.....	24
Gambar 11 Mekanisme keausan:	25
Gambar 12 Mekanisme alat uji keausan abrasif	26
Gambar 13 Mekanisme keausan oksidasi	27
Gambar 14 <i>Furnace</i>	28
Gambar 15 Cetakan logam.....	29
Gambar 16 Pengaduk dan dapur peleburan.....	29
Gambar 17 <i>Thermogun</i>	30
Gambar 18 Timbangan digital.....	30
Gambar 19 Gelas beker.....	30
Gambar 20 Sarung tangan	31
Gambar 21 Jangka sorong	31
Gambar 22 Gergaji tangan	31
Gambar 23 Alat uji kekerasan.....	32
Gambar 24 Alat uji tarik	32
Gambar 25 Alat uji keausan.....	33
Gambar 26 Mikroskop optic LEXT OLYMPUS-OLS4100	33
Gambar 27 Aluminium	34

Gambar 28 Serbuk silikon karbida	34
Gambar 29 Serbuk nikel	35
Gambar 30 Serbuk magnesium	35
Gambar 31 Gas argon	35
Gambar 32 Gas LPG	36
Gambar 33 Diagram alir penelitian	37
Gambar 34 ASTM E8/E8M – 16 a (<i>subsize tensile test specimen</i>).....	41
Gambar 35 Produk hasil cor (spesimen I).....	44
Gambar 36 (a) Spesimen uji kekerasan, (b) Titik pengujian	46
Gambar 37 Grafik nilai kekerasan.....	48
Gambar 38 Grafik pengujian tarik	50
Gambar 39 Grafik kekuatan tarik	52
Gambar 40 Grafik regangan	52
Gambar 41 Spesimen uji aus.....	54
Gambar 42 Nilai laju keausan.....	55
Gambar 43 Hasil uji struktur mikro (40 μ m)	56

DAFTAR TABEL

Nomor Urut	Halaman
Tabel 1 Sistem penomoran paduan aluminium.....	6
Tabel 2 Persentase penambahan Silikon Karbida dalam weight percent (wt%) pada berbagai penelitian AMC.....	15
Tabel 3 Persentase penambahan Nikel dalam weight percent (wt%) pada berbagai penelitian AMC.....	16
Tabel 4 Persentase penambahan Magnesium dalam weight percent (wt%) pada berbagai penelitian AMC.....	17
Tabel 5 Komposisi aluminium 6061	38
Tabel 6 Komposisi aluminium 2024	38
Tabel 7 Hasil pengujian XRF	45
Tabel 8 Nilai kekerasan <i>hardness vickers</i>	47
Tabel 9 Nilai kekuatan tarik dan regangan.....	51
Tabel 10 Nilai uji aus.....	54

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
Lampiran 1. Dokumentasi pengecoran	66
Lampiran 2. Dokumentasi produk cor	72
Lampiran 3. Dokumentasi pengujian XRF	74
Lampiran 4. Dokumentasi pengujian kekerasan	78
Lampiran 5. Dokumentasi pengujian tarik.....	80
Lampiran 6. Dokumentasi pengujian keausan	82
Lampiran 7. Dokumentasi pengujian metalografi	84
Lampiran 8. Data pengujian tarik	86

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, tak lupa pula Salawat serta salam semoga tetap tercurakan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW, beserta para keluarga dan sahabatnya. Berkat bantuan dan dorongan dari semua pihak sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan Judul "**Pengaruh Penambahan Nikel Pada Aluminium Matrix Composite (AMC) Berpenguat Silikon Karbida (SiC)**". Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Ucapan terimakasih yang tak terhingga penulis ucapkan kepada Ayahanda tercinta Dr. Ir. Suradi, S.T., M.T dan Ibunda Hj. Marhamah, S.T., M.Si untuk segala kasih sayang, doa, semangat dan dukungan yang begitu besar selama ini. Selesaiannya Tugas Akhir ini tak lepas dari restu dan segala pengorbanan kalian, semoga Allah senantiasa melindungi mereka.

Tugas akhir ini dapat diselesaikan bukan tanpa hambatan. Ada banyak hambatan serta masalah yang dilalui oleh penulis dalam proses penyelesaiannya. Namun berkat bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, akhirnya tugas akhir ini dapat terselesaikan. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Dr. Muhammad Syahid, S.T.,M.T, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin sekaligus dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis sehingga penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan .
3. Bapak Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T, selaku dosen penguji utama saya yang telah membantu dan memberikan arahan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T, selaku dosen penguji kedua saya yang juga telah membantu dan memberi arahan untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajar dan membimbing saya selama masa perkuliahan, serta Bapak dan Ibu Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu siap sedia membantu dalam penulisan dan penyelesaian skripsi ini.
6. Saudara dan saudari saya, Nasya Innayah, Syakieb Amir, dan Nadira Ramadhani.

7. Shanien Raihan Ilham, yang telah dengan tulus membantu dan mendukung penulis untuk terus berjuang menyelesaikan skripsi ini.
8. Kepada teman-teman Bruzhlezz'19, selaku kawan seperjuangan dari mahasiswa baru hingga sekarang yang telah memberikan saya banyak pelajaran hidup dan motivasi yang sangat baik.
9. Kepada teman-teman Teknik 2019, yang juga telah memberi banyak motivasi kepada penulis.
10. HMM FT-UH dan khususnya kepengurusan HMM FT-UH Periode 2021/2022, yang telah memberikan banyak pelajaran hidup dan juga wadah pengembangan diri sebagai mahasiswa.
11. OKFT-UH dan khususnya kepengurusan OKFT-UH Periode 2023, yang telah memberikan banyak pelajaran hidup dan juga wadah pengembangan diri sebagai mahasiswa serta memberikan warna di kehidupan mahasiswa akhir penulis.
12. Teman-teman asisten, adik-adik, dan kanda-kanda senior di Laboratorium Pengecoran dan Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah banyak membantu dan mendukung penulis dalam penelitian ini serta secara khusus kepada saudara-saudara seperjuangan tugas akhir penulis yaitu Rahmadien Fibrian Inayatullah YE dan Jufri.
13. Penghuni rumah Dinamiz09 selalu menemani dan memberikan dukungan pada pengerjaan skripsi ini.
14. Teman-teman Angel Family, Ahmad Faiq Dhialhaq, Rafly Ananda, Daffa Bathara, Agung Izzulhaq, Muh Andhika Anwar, Siti Nur Annisa, dan Sandy Rona Armala yang selalu memberikan dukungan dan doa pada pengerjaan skripsi ini.
15. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan walaupun telah menerima bantuan dari berbagai pihak, apabila terdapat kesalahan baik dalam penulisan maupun dalam pengambilan data sepenuhnya adalah tanggung jawab penulis. Karena itu, penulis memohon saran dan kritikan yang sifatnya membangun demi menyempurnakan skripsi ini.

Penulis, 1 Desember 2024

M. Thoriq Ibnu Sina

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium adalah salah satu logam yang umum digunakan sebagai matriks dalam pembuatan komposit logam, hal ini dikarenakan aluminium memiliki massa yang ringan. Selain itu komposit aluminium memiliki kelebihan dalam kekuatan, ketahanan aus, kekakuan, dan stabilitas dimensi yang baik (Rochmad Eko Prasetyaning Utomo, 2016). Bahan ini banyak dimanfaatkan pada peradaban era modern saat ini, baik dalam dunia otomotif, industri, maupun rumah tangga. Karakteristik yang menjadikan bahan ini sebagai bahan yang banyak dimanfaatkan diantaranya yaitu ringan, kuat, memiliki ketahanan korosi yang baik, memiliki tampilan yang menarik, konduktor listrik yang handal, konduktor panas yang baik, serta beberapa kelebihan lain yang dimiliki oleh material ini. Oleh karena itu, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi rekayasa material terus mengembangkan material komposit. Material komposit adalah kombinasi dari dua jenis material atau lebih yang berbeda fasa menjadi material baru yang memiliki sifat dari hasil gabungan kelebihan material penyusunnya (William D. Calister, 2007).

Agar aluminium mempunyai kekuatan yang baik biasanya logam aluminium dipadukan dengan unsur-unsur seperti: Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni dan sebagainya (Tjokorda Gde Tirta Nindhia, 2010). Akan tetapi, paduan aluminium masih dinilai sangat lunak dan memiliki sifat terbatas dalam hal kekerasan dan ketahanan aus, namun sifat ini dapat dibuat relatif sangat tahan dengan memasukkan partikel yang keras tetapi rapuh seperti SiC, Al₂O₃, dan B₄C (Bozic D, et. Al, 2010). Penambahan partikel pada paduan aluminium tersebut inilah yang merupakan Aluminium Matrix Composite (AMC).

Aluminium Matrix Composite (AMC) merupakan salah satu material komposit berbasis logam yang memanfaatkan aluminium sebagai bahan matriksnya. Material yang ditambahkan pada komposit untuk meningkatkan sifat-sifatnya disebut sebagai bahan penguat. Bahan penguat yang banyak digunakan pada proses produksi aluminium matrix composite adalah partikel silikon karbida (SiC) dan alumina (Al₂O₃) yang merupakan material keramik dengan keunggulan sifat mekanisnya yang tinggi. Penguat SiC dapat meningkatkan kekuatan tarik, kekerasan, densitas, dan ketahanan aus dari Aluminium serta paduannya (Widodo B, 2019). Pada pemanfaatannya AMC banyak digunakan dalam industri otomotif, penerbangan, pertahanan dan lain sebagainya. AMC banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan performa tinggi, seperti

aplikasi dalam permesinan pesawat terbang, juga aplikasi dalam industri otomotif (Sahin dan Murphy, 1996). Penelitian terbaru (Maleque M, Adebisi AA, et.al,2012) telah menunjukkan bahwa Aluminium Matrix Composite (AMC) memiliki sifat potensial yang diinginkan seperti kekuatan dan kekakuan spesifik yang tinggi, ketahanan aus yang diperlukan untuk menahan sifat abrasif dibandingkan dengan bahan monolitik yang diminta oleh industri otomotif dan kedirgantaraan untuk aplikasi tribologi. (K. Paramasivam, M. Vijay Anand, et.al 2021) menunjukkan bahwa silikon karbida (SiC) adalah kandidat penguat yang ideal untuk beberapa bahan matriks, termasuk aluminium karena signifikansinya.

Akan tetapi, *wettability* dari partikel keramik dan alloy aluminium cair sangatlah buruk. Akibatnya penggabungan dari penguat (keramik) ke dalam matriks cair sangatlah sulit. Banyak prosedur telah direkomendasikan untuk meningkatkan *wetting* dari partikel keramik dan metal cair, termasuk meningkatkan temperatur cair dari metal, perlakuan awal kepada partikel, *coating* atau *oxidizing* dari partikel keramik, dan dengan menambahkan beberapa elemen *surface-active* seperti magnesium dan lithium ke dalam matriks. Beberapa peneliti juga telah mempelajari sifat dan aplikasi peleburan paduan semi-padat, bukan sepenuhnya cair. Mereka menyimpulkan bahwa pengenalan partikel non-logam ke dalam paduan yang dipadatkan sebagian dengan viskositas tinggi, mencegah partikel mengendap, mengambang, atau menggumpal (*agglomerating*). Dengan bertambahnya waktu pencampuran, partikel dapat berinteraksi dengan matriks cair untuk mengembangkan ikatan. Dan dalam hal ini disimpulkan bahwa pengadukan mekanis sangat dibutuhkan untuk meningkatkan keterbasahan (*wettability*) dan juga berdasarkan penelitian ini penggunaan magnesium meningkatkan keterbasahan (*wettability*) (Hashim J, 2001). (H. Hanizam, dkk 2019) juga mencoba meneliti mengenai *wettability Carbon Nanotube* (CNT) dalam paduan aluminium dengan menambahkan surfaktan Magnesium murni. Hasilnya menunjukkan bahwa adanya tambahan magnesium ke dalam matriks paduan memiliki pengaruh yang positif terhadap kekuatan mekanik komposit.

Beranjak dari beberapa penelitian yang menunjukkan keterkaitan antara *wettability* dan juga magnesium, dapat disimpulkan bahwa magnesium merupakan *wetting agent* yang baik pada AMC. Nikel juga mempunyai potensi sebagai *wetting agent* dan penguat dari AMC. Hal ini dibuktikan oleh penelitian oleh (Yadav .D, 2010) yang dimana meneliti tentang menggabungkan serbuk nikel dengan aluminium matriks komposit menggunakan FSP dan mendapatkan bahwa serbuk nikel terdispersi dengan baik dengan dispersi nikel yang uniform (seragam). Hal ini dikarenakan nikel yang merupakan logam yang mudah dipadukan dengan berbagai logam lain. Logam nikel dapat menjadi base dari logam dan juga bisa menjadi paduan pada logam lain baik ferro maupun non ferro. Nikel juga memiliki sifat ketahanan dalam hal korosi, panas, *Stress-Corrosion Cracking*, *electrical*, dan

penstabil austenit. Nikel memberikan penambahan kekerasan dan ketahanan panas yang baik (ASM Metal Handbook vol.2, 1992).

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian penambahan nikel sebagai *wetting agent* alternatif pada AMC (Aluminium Matrix Composite) berpenguat silikon karbida. Dan untuk alasan itu, penulis mengangkat judul **“Pengaruh Penambahan Nikel pada Aluminium Matrix Composite (AMC) Berpenguat Silikon Karbida (SiC)”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan nikel terhadap sifat mekanik (kekuatan tarik, kekerasan, dan laju keausan) pada pengecoran Al 6061/SiC.
2. Bagaimana pengaruh penambahan nikel terhadap sifat mekanik (kekuatan tarik, kekerasan, dan laju keausan) pada pengecoran Al 2024/SiC.
3. Bagaimana pengaruh penambahan nikel pada pengecoran Al 6061/SiC & Al 2024/SiC terhadap struktur mikro dari produk hasil pengecoran.

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Setelah mengetahui latar belakang dan rumusan masalah di atas, adapun tujuan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan nikel terhadap sifat mekanik (kekerasan, kekuatan tarik, dan laju keausan) pada pengecoran Al 6061/SiC..
2. Menganalisis pengaruh penambahan nikel terhadap sifat mekanik (kekerasan, kekuatan tarik, dan laju keausan) pada pengecoran Al 2024/SiC.
3. Menganalisis pengaruh penambahan nikel pada pengecoran Al 6061/SiC & Al 2024/SiC terhadap struktur mikro dari produk hasil pengecoran.

1.4 Batasan Masalah

Berikut batasan-batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini:

1. Aluminium yang di pakai ialah aluminium 6061 dan aluminum 2024
2. Konsentrasi 15 wt.% Silicon Karbida (SiC)
3. Konsentrasi 1 wt.%, 3 wt.% , 5 wt.% Nikel (Ni)
4. Konsentrasi 3 wt% Magnesium (Mg)
5. Menggunakan cetakan logam
6. Pengujian mekanik menggunakan beberapa sampel dari spesimen untuk setiap

variasi

7. Suhu cetakan 400°C
8. *Stir casting* 350 rpm
9. Suhu penuangan 650°C
10. Suhu peleburan aluminium 720°C

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui sifat mekanik dan kualitas bahan disetiap variasi.
2. Mengembangkan metode baru dalam mensintesis logam aluminium komposit berpenguat SiC.
3. Dapat diaplikasikan untuk praktikum sintesis logam dalam skala laboratorium.
4. Diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi dunia kerja khususnya dalam mensintesis aluminium komposit berpenguat SiC.
5. Sebagai bahan referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

Aluminium ditemukan pada tahun 1825 oleh Hans Christian Oersted. Baru diakui secara pasti oleh F. Wohler pada tahun 1827. Sumber unsur ini tidak terdapat bebas, bijih utamanya adalah Bauksit. Penggunaan aluminium antara lain untuk pembuatan kabel, kerangka kapal terbang, mobil dan berbagai produk peralatan rumah tangga. Senyawanya dapat digunakan sebagai obat, penjernih air, fotografi serta sebagai ramuan cat, bahan pewarna, ampelas dan permata sintesis (Mujiyo, 2014).

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi yang baik, hantaran listrik yang baik dan sifat-sifat lainnya. Umumnya aluminium dicampur dengan logam lainnya sehingga membentuk aluminium paduan. Material ini dimanfaatkan bukan saja untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dipakai untuk keperluan industri, konstruksi, dan lain sebagainya (Surdia, 1992).

Aluminium murni sangat lunak, kekuatan rendah dan tidak dapat digunakan pada berbagai keperluan. Dengan memadukan unsur-unsur lainnya, sifat murni aluminium dapat diperbaiki. Adanya penambahan unsur-unsur logam lain akan mengakibatkan berkurangnya sifat tahan korosi dan kekuatannya dari aluminium tersebut. Dengan penambahan sedikit mangan, besi, timah putih dan tembaga sangat berpengaruh terhadap sifat tahan korosinya.

Aluminium merupakan bahan logam yang proses penambangan dan ekskrasinya cukup sulit bila dibandingkan dengan besi. Hal ini menjadi salah satu penyebab mengapa besi jauh lebih banyak dipakai dibandingkan aluminium. Selama 50 tahun terakhir, Aluminium telah menjadi logam yang luas penggunaannya setelah baja. Perkembangan ini didasarkan pada sifatnya yang ringan, tahan korosi kekuatan dan Ductility yang cukup baik (Mirnawati Dewi, 2016).

2.1.1 Aluminium dan Paduannya

Berdasarkan metode peleburannya, paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*wrought*) dan paduan tuang (*casting*). Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuat

sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasinya.

Paduan tempa yang dapat diperkuat lewat perlakuan panas adalah kelas 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan beberapa jenis dari kelas 8xxx. Beberapa kombinasi penambahan unsur pepadu, mekanisme penguatannya, serta perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai (Hatch, 1984).

Aluminium telah digunakan secara luas untuk komponen yang membutuhkan bobot ringan dan ketahanan korosi baik, termasuk dalam komponen industri pesawat terbang. Aluminium telah menjadi material pilihan untuk industri pesawat terbang sejak 1930. Umumnya, industri pesawat terbang menggunakan Al seri 2xxx dan 7xxx sebagai material untuk komponen pesawat terbang. (Subagyo, 2017).

Tabel 1 Sistem penomoran paduan aluminium

Paduan Tempa		
Nomor Seri	Paduan Utama	Perlakuan Panas
1XXX	Al \geq 99%	Tidak bisa
2XXX	Al-Cu-(Mg)	Bisa
3XXX	Al-Mn	Tidak bisa
4XXX	Al-Si	Beberapa bisa (misalnya Al4032)
5XXX	Al-Mg	Tidak bisa
6XXX	Al-Mg-Si	Bisa
7XXX	Al-Zn-(Mg)-(Cu)	Bisa
8XXX	Al-(unsur lain)	Beberapa bisa (misalnya Al8090)
9XXX	Belum terpakai	
Paduan Tuang		
1XX.X	Al \geq 99%	Tidak bisa
2XX.X	Al-Cu	Bisa
3XX.X	Al-Si (+Cu atau Mg)	Bisa
4XX.X	Al-Si	Tidak bisa
5XX.X	Al-Mg	Tidak bisa
6XX.X	Belum terpakai	
7XX.X	Al-Zn-(Mg)-(Cu)	Bisa
8XX.X	Al-Sn	Tidak bisa

9XX.X	Al-(unsur lain)
-------	-----------------

Sumber: Lumley, R. N. ,2011

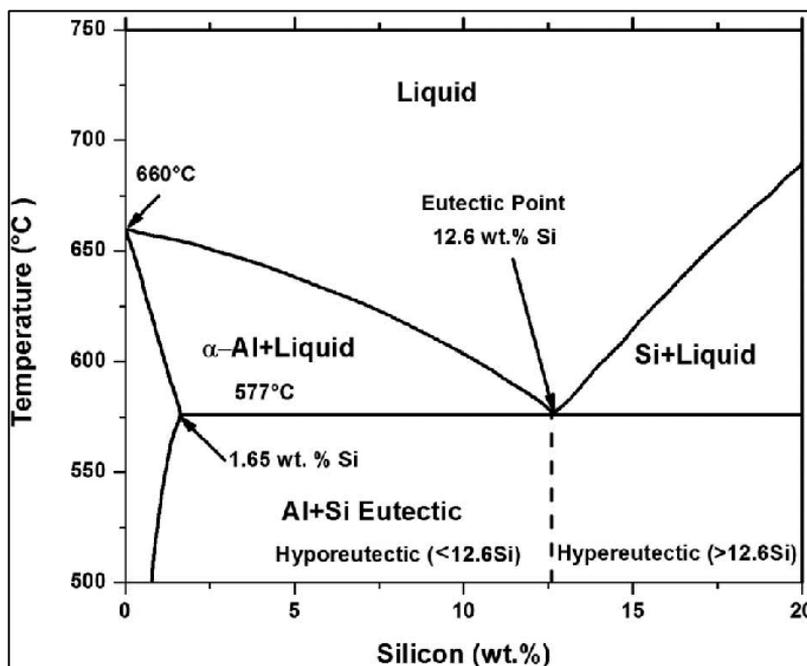
2.1.2 Aluminium 6061

Paduan aluminium dalam seri 6xxx (6061 dan 6063) mengandung silikon dan magnesium sekitar dalam proporsi yang diperlukan untuk pembentukan magnesium silisida (Mg_2Si), sehingga membuat paduan ini memiliki mampu perlakuan panas yang baik. Meskipun tidak sekuat pada paduan 2xxx dan 7xxx, paduan aluminium seri 6xxx memiliki sifat mampu bentuk yang baik, mampu las, mampu mesin, dan ketahanan korosi yang relatif baik dengan kekuatan sedang.

Untuk paduan aluminium seri 6xxx yang memiliki unsur paduan utama Al-Mg-Si, dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan–paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka–rangka konstruksi, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi. Sedangkan paduan aluminium seri 6061 adalah salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari berbagai sisi yaitu seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi. 6061 menjadi sebuah alternatif material untuk komponen pesawat terbang, dalam hal ini bagian yang cocok adalah skin pesawat terbang. Tetapi, kelemahan dari Al 6061 dibandingkan dengan Al seri 2xxx dan 7xxx adalah kekuatan yang jauh lebih rendah. Untuk itu, diperlukan prosedur untuk meningkatkan sifat mekanik Al 6061 (Subagyo, 2017).

Al 6061 memiliki sifat mekanik yang unggul antara lain bobot ringan, mampu las baik, ketahanan korosi baik serta harga yang murah, tetapi memiliki kelemahan dalam hal kekuatannya. Untuk dapat memenuhi kriteria sebagai komponen pesawat terbang, Al 6061 harus ditingkatkan kekuatannya. Salah satu metode efektif untuk meningkatkan kekuatan adalah dengan pengerolan dingin dan aging, sehingga memenuhi kriteria sebagai komponen pesawat, dalam hal ini bagian yang cocok adalah skin sayap pesawat terbang. Al 6061 dilakukan proses pengerolan pengerolan dingin dengan reduksi 50%, 60%, dan 70% kemudian dilanjutkan dengan aging pada temperatur 2000C selama 1800, 3600, 5400, 7200 dan 10.800 detik. Sifat mekanik dan mikrostruktur setelah proses pengerolan dingin dan aging dipelajari. Perubahan morfologi mikrostruktur terjadi pada Al 6061, dari mulai as-received, setelah proses pengerolan dingin dan setelah aging. Aluminium 6061 setelah proses pengerolan dingin menghasilkan elongated grains, semakin pipih pada reduksi

tertinggi 70%, dan mikrostruktur berubah menjadi equiaxial setelah proses aging. Pengujian X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan peak fasa Mg_2Si dan Al_2FeSi pada Al 6061 hasil pengerolan dingin dan aging. Fasa Mg_2Si dan Al_2FeSi merupakan fasa kedua (presipitat) pada Al 6061. Sifat mekanik diukur dengan uji kekerasan Brinell dan ketahanan aus. Kekerasan dan ketahanan ausnya meningkat. Nilai kekerasan tertinggi dicapai pada sampel dengan reduksi 70% dengan waktu aging 5400 detik yaitu sebesar 121 HBN dari nilai kekerasan as-received sebesar 65 HBN. Ketahanan aus meningkat dari semula $6,209951 \times 10^{-6}$ mm³/mm pada kondisi as-received menjadi $4,775436 \times 10^{-6}$ mm³/mm setelah aging. Peningkatan sifat mekanik ini disebabkan oleh strain hardening akibat proses pengerolan dingin dan fasa kedua (presipitat) yang dihasilkan setelah aging. Di sisi lain, fasa kedua (presipitat) berperan sebagai penghalang pergerakan dislokasi, sehingga menyebabkan meningkatnya sifat mekanik (Mirnawati Dewi, 2016).

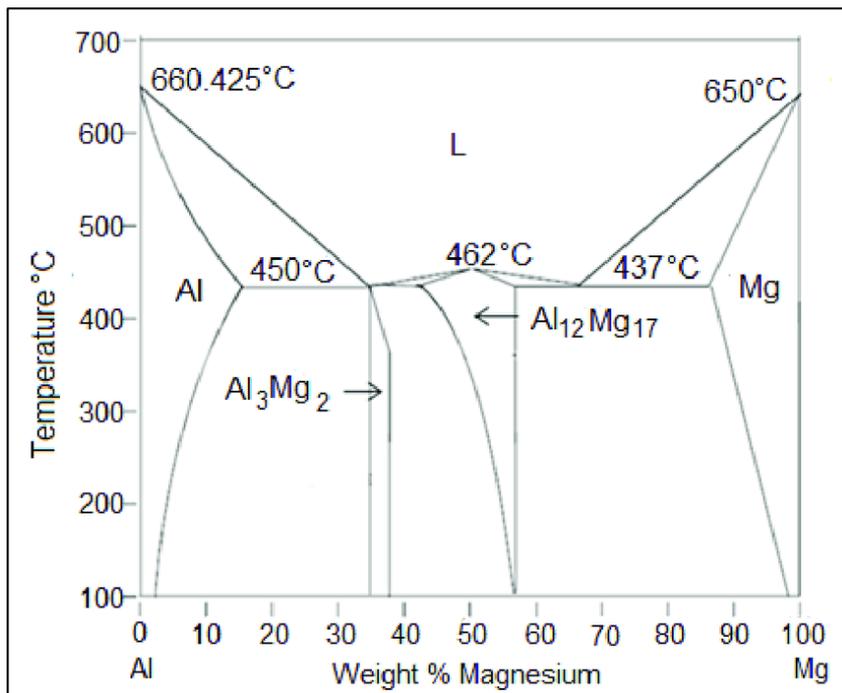


Gambar 1 Diagram fasa Aluminium-Silikon

Sumber: Biswas Prosanta, et al, 2020

Seperti yang terurai pada gambar 1, diagram fasa aluminium-silikon (Al-Si) menggambarkan hubungan antara suhu dan persentase berat silikon (%Si) dalam paduan tersebut. Pada suhu tinggi, paduan tetap berada dalam keadaan cair, dengan komposisi bervariasi mulai dari aluminium murni (0% Si) hingga silikon murni (100% Si) dan semua komposisi di antaranya. Saat suhu menurun, fase larutan padat muncul: larutan padat α -Aluminium, yang mampu melarutkan atom silikon, dan

larutan padat β -Silikon, yang dapat menampung atom aluminium. Titik eutektik, 12.6% (Si) berat, menandai suhu terendah di mana fase cair bersamaan dengan fase padat, menghasilkan reaksi eutektik di mana α -Aluminium dan β -Silikon membeku secara bersamaan dari cairan. Dan senyawa intermetalik seperti Al_4Si dan Al_7Si_2 dapat terbentuk pada komposisi spesifik. Batas fase menentukan wilayah keseimbangan fase, membantu memahami mikrostruktur dan sifat paduan dalam kondisi yang berbeda.



Gambar 2 Diagram fasa Aluminium-Magnesium

Sumber: Ang, 2017

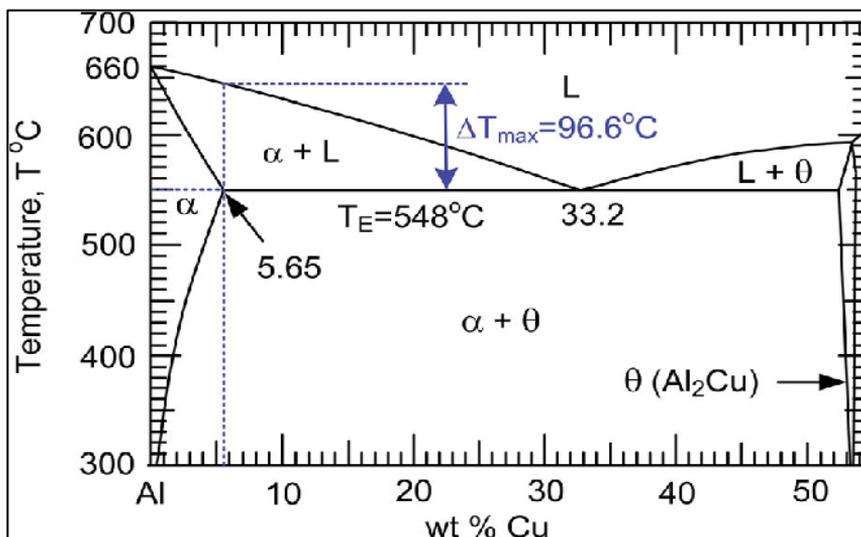
Pada gambar 2 diterangkan tentang diagram fasa aluminium-magnesium (Al-Mg) yang memberikan representasi grafis dari fase-fase yang ada dalam sistem paduan biner aluminium dan magnesium pada berbagai komposisi dan suhu. Diagram ini penting untuk memahami perilaku paduan aluminium-magnesium, yang banyak digunakan dalam industri seperti dirgantara, otomotif, dan konstruksi. Komponen kunci dari diagram fasa termasuk fase cair dan larutan padat seperti larutan padat α -Aluminium dan larutan padat β -Magnesium, bersama dengan senyawa intermetalik seperti Al_3Mg_2 dan Al_3Mg . Diagram tersebut menampilkan titik eutektik, yang menunjukkan komposisi dan suhu di mana paduan bertransisi dari cair ke campuran fase padat (α -Aluminium dan β -Magnesium), menandai titik lebur terendah dari sistem. Reaksi eutektik terjadi pada titik ini, menyebabkan pembekuan

simultan dari α -Aluminium dan β -Magnesium dari fase cair. Selain itu, diagram tersebut menunjukkan batas-batas kelarutan padat, wilayah senyawa intermetalik, dan batas-batas fase, semuanya penting dalam memahami mikrostruktur dan sifat paduan.

2.1.3 Aluminium 2024

Aluminium 2024 adalah aluminium paduan dengan tembaga sebagai unsur paduan utama. Aluminium jenis ini sering digunakan di bidang-bidang yang membutuhkan material dengan rasio kekuatan-massa yang tinggi dan juga memiliki ketahanan fatik yang baik. Aluminium ini hanya dapat dilas dengan las gesek dan sifat mampu mesinnya yang terbilang rata-rata (Kulkarni, 2015). Paduan aluminium seri 2024 mempunyai kandungan Cu sebesar 3,8~4,9%, Mn 0,3~0,9%, Si maksimal 0,5%, Cr maksimal 0,1% dan Fe maksimal 0,5% (Alcoa, USA), (Pujono, 2015).

Aluminium 2024 diperkenalkan pada tahun 1931 dengan sifat mampu mesin yang baik, ketahanan fatik, kekuatan dan kekerasan yang tinggi, dan digunakan secara luas di industri dirgantara dan otomotif. Walaupun demikian, Al2024 memiliki sifat tribologis yang rendah (ketahanan korosi rendah). Oleh karena itu, perlu pengembangan lebih lanjut agar komposisinya lebih tahan aus tanpa menghiraukan kekuatan keseluruhan komposisinya (Boopathi, et al., 2013).



Gambar 3 Diagram fasa Aluminium-Tembaga

Sumber: Soysal, 2020

Pada gambar 3 dijelaskan tentang diagram fasa aluminium-tembaga (Al-Cu) yang merupakan representasi visual dari fase-fase yang hadir dalam sistem paduan biner yang terdiri dari aluminium dan tembaga pada berbagai komposisi dan suhu. Diagram ini sangat penting untuk memahami perilaku paduan aluminium-tembaga, yang digunakan secara luas dalam industri seperti dirgantara, otomotif, dan rekayasa listrik. Komponen kunci dari diagram fasa meliputi fase cair dan larutan padat seperti larutan padat α -Aluminium dan larutan padat β -Tembaga, bersama dengan senyawa intermetalik seperti Al_2Cu , Al_3Cu , dan $AlCu$. Sumbu suhu umumnya terletak pada sumbu y, sedangkan sumbu komposisi, sering kali diindikasikan dalam persentase berat aluminium atau tembaga, terletak pada sumbu x. Titik eutektik, yang menandai titik lebur terendah dari sistem paduan, menunjukkan komposisi dan suhu di mana paduan beralih dari cair ke campuran fase padat (α -Aluminium dan β -Tembaga), memulai reaksi eutektik. Memahami batas-batas kelarutan padat, pembentukan senyawa intermetalik, dan batas-batas fase yang digambarkan dalam diagram ini sangat penting untuk memahami mikrostruktur dan sifat paduan dalam berbagai kondisi.

2.2 Silikon Karbida

Silikon karbida adalah material keramik yang memiliki kekerasan tinggi. Jika dibandingkan dengan material keramik lain, material SiC memiliki kekerasan yang tinggi namun berat jenisnya lebih ringan dibandingkan keramik dari alumina. Silikon karbida atau juga dikenal dengan carborundum adalah suatu turunan senyawa silikon dengan rumus molekul SiC, terbentuk melalui ikatan kovalen antara unsur Si dan C (Anonim, 2011).

Silikon karbida merupakan salah satu material keramik non-oksida paling penting, dihasilkan pada skala besar dalam bentuk bubuk (powder), bentuk cetakan, dan lapisan tipis. Sifat mekaniknya yang sangat baik, konduktivitas listrik dan termal tinggi, ketahanan terhadap oksidasi kimia sangat baik. SiC juga memiliki sifat-sifat penting sebagai berikut: unggul tahan oksidasi, unggul tahan rayapan, kekerasan tinggi, kekuatan mekanik baik, Modulus Young sangat tinggi, korosi baik dan tahan erosi, dan berat relatif rendah. Material mentah SiC relatif murah, dan dapat dibuat dalam bentuk-bentuk kompleks, dimana memungkinkan disiasati melalui proses fabrikasi konvensional.

Silikon karbida berkelanjutan digunakan dalam serat untuk monofilamen berdiameter besar dan benang multifilamen halus. Silikon karbida serat secara inheren lebih ekonomis dari serat boron, dan sifat serat silikon karbida umumnya baik atau lebih baik dari pada boron. Komposit partikulat pada umumnya diberi penguat material keramik seperti SiC, dan material keramik yang lainnya. Keunggulan dari

material MMC, mempunyai sifat kekakuan yang tinggi, densitas yang rendah, kekerasan yang tinggi dan biaya produksi yang cukup rendah.

Butiran silikon karbida (SiC) merupakan salah satu diantara keramik yang sangat keras. Silikon karbida (SiC) dengan struktur tetrahedra dari karbon dan atom silikon dengan ikatan yang kuat dalam kisi kristal. Hal ini menghasilkan bahan yang sangat keras dan kuat. Butiran silikon karbida tahan terhadap asam atau basa serta garam sampai 1800-1900°C. Di udara, silikon karbida membentuk oksida pelindung pada 1100° C dan dapat digunakan mencapai 1700 ° C dan sangat efektif sebagai bahan tahan peluru. Ukurannya yang kecil, dan memiliki derajat kekuatan yang tinggi kesempurnaan kristal dan yang hampir tidak ada cacat yang memberikan kekuatan yang sangat tinggi.

SiC yang termasuk dalam bahan keramik memiliki beberapa kelebihan yang dapat digunakan pada bidang industri dan otomotif. Pada kondisi tertentu dapat lebih memenuhi kriteria yang diperlukan bila dibandingkan dengan logam, karena keunggulannya yang tahan korosi, gesekan, dan temperatur tinggi.

Aplikasi silikon karbida (SiC) dalam industri karena sifat mekaniknya yang sangat baik, konduktivitas listrik dan termal tinggi, ketahanan terhadap oksidasi kimia sangat baik, dan SiC berpotensi untuk fungsi keramik atau semikonduktor temperatur tinggi. SiC juga memiliki sifat-sifat penting sebagai berikut: unggul tahan oksidasi, unggul tahan rayapan, kekerasan tinggi, kekuatan mekanik baik, Modulus Young sangat tinggi, korosi baik dan tahan erosi, dan berat relatif rendah. Material-material mentah SiC relatif murah, dan dapat dibuat dalam bentuk-bentuk kompleks, dimana memungkinkan disiasati melalui proses fabrikasi konvensional. Hasil akhir mempunyai harga kompetitif disamping menawarkan keuntungan – keuntungan teknis yang unggul dan berdaya guna lebih dari material – material penyusunnya (Suparman, 2010).

2.3 Nikel

Nikel merupakan logam serbaguna yang banyak dipakai di dunia industry. Nikel merupakan komponen penting untuk paduan Stainless steel (kebanyakan pada austenitic stainless steel dengan jumlah 8-10% Ni). Logam ini banyak digunakan tergantung pada jenis paduannya. Biasanya nikel dalam pasaran mempunyai kemurnian 99.95%. dengan kadar tersebut dirasa cukup memuaskan, tetapi untuk sifat-sifat tertentu seperti *electrical resistivity*, sangat sensitive terhadap impurities pada solid solution (ASM International, 2000).

Nikel memiliki nomor atom 28 dengan berat masa 58,6394. Nikel memiliki struktur FCC (Face-Centered Cubic). Sampai saat ini penggunaan nikel masih di dominasi pada stainless steel. Sebagai bahan paduan logam nikel menempati urutan ke-4 dengan 9,5 %. Data penggunaan nikel (ASM Handbook Vol.2, 1990). Nikel ditambahkan ke campuran logam serbuk besi untuk meningkatkan sifat mekanik pada bagian PM yang disinter, seperti kekuatan tarik dan keuletan tertinggi. Kekuatan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan nikel, terutama pada kondisi perlakuan panas. Nikel dapat ditambahkan baik dalam bentuk pra-paduan, dimana nikel dicairkan sebelum atomisasi, atau lebih disukai, untuk menghindari pengerasan bubuk besi dasar, sebagai bubuk nikel murni dicampur dengan bubuk besi. Pencampuran serbuk nikel dan besi dapat dilakukan dengan mencampurkan atau mengikat serbuk besi melalui proses ikatan kimia atau difusi. Ketika ditambahkan dalam bentuk bubuk, fase kaya nikel menstabilkan aus-tenit dan meningkatkan ketangguhan dan sifat kelelahan baja sinter. Bubuk nikel yang dicampur atau diikat juga menyebabkan penyusutan pada bagian yang disinter. Penyusutan meningkatkan kepadatan bagian, yang pada gilirannya, sangat mempengaruhi sifat mekanik. (Samal P, 2015).

Paduan Aluminium-silikon-nikel merupakan paduan yang jarang digunakan. Paduan Al-Si menunjukkan fluiditas yang baik, Castability, dan ketahanan korosi yang baik. Tetapi paduan ini memiliki kekuatan rendah dan kekerasan rendah. Ductility yang dimiliki oleh paduan ini cukup baik, oleh karena itu banyak paduan ini digunakan untuk piston. Untuk menaikkan kekerasan dan kekuatan, biasanya paduan ini di tambahkan magnesium (J.G.Kaufmann, 2011). Penambahan nikel pada paduan Aluminium-Silicon menaikkan angka kekerasan dan ketahanan panas. Penambahan 5%, 10 %, 15% Ni meningkatkan ductility (Hashem dkk, 2014).

Pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Saifullah yang dimana melakukan penelitian dengan menambahkan nikel pada paduan aluminium dan silikon, pada penambahan 0,2-0,8 %wt Ni membuat silikon masuk kedalam matrik dan mengecilkan ukuran dari silikon primer. Dengan masuknya silikon ke dalam matriks maka matriksnya akan menjadi lebih keras, hal tersebut disebabkan karena silikon sendiri lebih keras dari pada aluminium, disamping itu juga disebabkan dengan masuknya silikon maka akan diperlukan energi yang lebih besar untuk mendeformasikan material tersebut. Fasa eutektik dalam struktur mikro semakin banyak dengan adanya penambahan Nikel. Penambahan nikel dalam jumlah sedikit yaitu 0,2 – 0,8 persen dari berat total tidak memberikan pembentukan fasa baru. Penambahan nikel memberikan efek semakin mengecilnya ukuran dari Silikon primer. Silikon larut dalam matriks dan memberikan kekerasan pada paduan Al-Si-Ni (Ahmad Saifullah, 2015).

2.4 Aluminium Matrix Composites (AMC)

Metal matrix composite atau MMC adalah material komposit dengan setidaknya dua bagian konstituen, di mana salah satunya adalah logam. Material yang lain bisa jadi logam lain atau material lain seperti keramik atau bahan organik. Saat tiga atau lebih material digabungkan, sebutannya menjadi komposit hibrid.

MMC dibuat dengan menyebarkan material penguat ke logam matriks. Permukaan dari partikel penguat dapat dilapisi untuk mencegah terjadinya reaksi kimia dengan matriks. Contohnya, serat karbon sering digunakan untuk membuat AMC dengan densitas rendah dan kekuatan tinggi. Akan tetapi, karbon dapat bereaksi dengan aluminium membentuk Al_4C_3 di permukaan serat. Senyawa ini sifatnya getas dan dapat larut di air. Maka, untuk mencegah hal ini, serat karbon dapat dilapisi dengan nikel atau titanium oksida (Kulkarni, 2015).

Penelitian terbaru (Mohamad M, Marzuki HFA et.al 2014) telah menunjukkan bahwa komposit matriks aluminium (AMC) memiliki sifat potensial yang diinginkan seperti kekuatan dan kekakuan spesifik yang tinggi, yang diperlukan ketahanan aus untuk menahan sifat abrasif dibandingkan dengan bahan monolitik yang diminta oleh industri otomotif dan kedirgantaraan untuk aplikasi tribologi. Peneliti lain (Khan MAR et.al 2011) menunjukkan bahwa silikon karbida (SiC) adalah penguat yang ideal kandidat yang ideal untuk beberapa bahan matriks, termasuk aluminium karena sifatnya yang kemampuan untuk meningkatkan kekuatan, modulus, stabilitas termal, dan ketahanan aus abrasif dari bahan matriks.

Pada review tentang hybrid aluminium metal matrix yang dilakukan oleh (Yadav, 2019) mempunyai konklusi bahwa banyak yang dapat dijadikan penguat pada AMC seperti silikon karbida, alumina, ghrapite, boron karbida, RHA (abu sekam padi), *fly ash*, nitrida silikon, karbida titanium, oksida titanium, dan lain-lain. Akan tetapi diantara semua penguat yang telah disebutkan hanya silikon karbida yang banyak digunakan secara konvensional karena mudah didapatkan dan mempunyai kepadatan yang rendah. Pada beberapa tahun terakhir, AAMC dengan penguat SiC digunakan di industri kedirgantaraan, sipil, militer, dan manufaktur karena kekuatannya yang tinggi, modulus, ketahanan lelah, dan ketahanan aus.

Akan tetapi walaupun begitu pada AMC dengan penguat silikon karbida mempunyai permasalahan seperti yang telah disebutkan pada latar belakang yaitu keterbasahan dari partikel keramik dengan aluminium cair sangatlah buruk. Dari buruknya keterbasahan antar dua partikel tersebut dapat menimbulkan dampak berupa porositas dan agglomerasi maka dari itu. Langkah solutif untuk meningkatkan keterbasahan yaitu dengan menggunakan *wetting agent* pada AMC dengan penguat silikon karbida. Dalam kasus ini juga demi meningkatkan keterbasahan dilakukannya

pengecoran dengan menggunakan stir casting. Seperti yang disimpulkan oleh (Hashim, 2001) bahwa *Mechanical stirring* sangat diperlukan untuk meningkatkan *wettability* (keterbasahan), selain itu juga disebutkan bahwa penggunaan magnesium sebagai *wetting agent* meningkatkan keterbasahan.

Tabel 2 Persentase penambahan Silikon Karbida dalam weight percent (wt%) pada berbagai penelitian AMC

Peneliti dan Tahun Penelitian	Jenis Aluminium	Persentase Aluminium (wt%)	Persentase Silikon Karbida (wt%)	Persentase Unsur Lain (wt%)
Basuki Widodo, Anang Subardi (2019)	Al1100	100%	0%	0% AL ₂ O ₃ + 0% Mg
		95,5%	1,5%	2% AL ₂ O ₃ + 1% Mg
		92%	3%	4% AL ₂ O ₃ + 1% Mg
		88,5%	4,5%	6% AL ₂ O ₃ + 1% Mg
Vandana Yadav, Dr. P. Sudhakar Rao (2019)	Al6061	98%	2%	0% Ni
		97,5%	2%	0,5% Ni
		97%	2%	1% Ni
		96,5%	2%	1,5% Ni
Iman Saefuloh, Agus Pramono, Ricki Hikmatullah (2018)	Al6061	68%	15%	5% Cu + 12% Mg

Pada tabel 2 dapat ditinjau beberapa penambahan silikon karbida pada berbagai penelitian AMC dalam satuan weight percent (wt%). Dan teruntuk penelitian yang dilakukan oleh (Iman Saefuloh et. Al, 2018) mempunyai penambahan silikon karbida tertinggi daripada tinjauan literatur yang telah dilakukan yaitu sebesar 15% (wt%).

2.4.1 AMC dengan tambahan nikel

(Yadav, 2019) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa Al6061-T6 hybrid composite yang mengandung serbuk nikel dan silikon karbida berhasil dibuat dengan metode *stir casting*. Diamati bahwa kekerasan mikro material komposit meningkat dengan penambahan kandungan wt% dalam komposit. Dengan peningkatan kandungan bahan pengisi (tetap 2% berat silikon Karbida dan peningkatan persentase bubuk nikel (0-1,5%) berat) kekerasan meningkat dari 115Hv menjadi 165Hv. Kenaikan persentase berat serbuk nikel (0, 0,5, 1%) kuat tariknya meningkat 131,31 menjadi 152,80 Mpa setelah itu pada 1,5%wt serbuk nikel kuat tariknya menurun. Kekuatan dampak meningkat secara perlahan dengan penambahan bahan pengisi hingga 0,5 persen berat bubuk nikel dan 2% berat silikon karbida. Setelah itu kekuatan tumbukan meningkat tajam seiring dengan peningkatan persentase berat kandungan bahan pengisi.

Kemudian dari peneliti yang sama, juga mengemukakan bahwa sebagai antarmuka, ikatan antara partikel Al matrix dan Ni baik, beban secara efektif ditransfer dari matriks Al ke partikel Ni yang lebih kuat melalui antarmuka dan karenanya mengarah pada peningkatan kekuatan. Penghalusan butiran juga berkontribusi terhadap kekuatan peningkatan. Sifat ulet partikel FCC Ni dan ketidakhadirannya intermetalik rapuh apa pun mempertahankan keuletan keseluruhan komposit. (Yadav, 2010)

Pada penelitian yang dilakukan oleh (Kumar et al. ,2017) pada AMC yang dalam hal ini Al-7075 yang ditambahkan serbuk nikel. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa kandungan void, kekuatan dampak, kekuatan tekan dan kekerasan Vickers komposit meningkat seiring dengan peningkatan persentase penguat nikel, sedangkan kekuatan lentur komposit menurun seiring dengan penambahan penguat. SEM juga digunakan untuk memahami mekanisme keausan komposit. Komposit tersebut dibuat dengan metode *stir casting* dengan empat persentase serbuk nikel yang berbeda. Penulis menyarankan aplikasi komposit ini pada material roda gigi.

Tabel 3 Persentase penambahan Nikel dalam weight percent (wt%) pada berbagai penelitian AMC

Peneliti dan Tahun Penelitian	Jenis Aluminium	Persentase Aluminium (wt%)	Persentase Silikon Karbida (wt%)	Persentase Nikel (wt%)
Vandana Yadav, Dr. P. Sudhakar Rao (2019)	Al6061	98%	2%	0%
		97,5%		0,5%
		97%		1%

		96,5%		1,5%
Ashiwani Kumar, Amar Patnaik & I. K. Bhat (2017)	Al7075	100%		0%
		99,5%	0%	0,5%
		99%		1%
		98,5%		1,5%
		98%		2%

Pada tabel 3 tertera beragam variasi penambahan nikel dalam satuan weight percent (wt%) dari beberapa penelitian yang telah dikutip pada sub-bab ini yang dimana dari tabel inilah yang dijadikan referensi untuk menentukan besaran weight percent (wt%) pada batasan masalah dalam penelitian ini.

2.4.2 AMC dengan tambahan magnesium

Penambahan Magnesium dan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik dari komposit. Dari pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan bahwa penambahan magnesium dan perlakuan panas T6 berpengaruh dalam merubah struktur mikro komposit menjadi struktur mikro yang lebih halus dengan susunan butir berubah dari kolumnar menjadi bentuk struktur equiaxial. (Fathurrozi, M. A, 2019).

Berdasarkan hasil penelitian pembuatan komposit Al6061/nano-Al₂O₃ dengan penambahan Al₂O₃ sebanyak (1% dan 3%) yang diikuti penambahan magnesium sebanyak (1%, 3%, dan 5%) memberikan peningkatan pada kekerasan komposit Al6061/nano-Al₂O₃ dengan nilai kekerasan tertinggi yang dicapai adalah 44 BHN pada penambahan 5% magnesium. Penambahan 5% magnesium juga menghasilkan peningkatan pada sifat ketahanan aus yang ditandai dengan semakin kecilnya nilai laju keausan komposit Al6061/nano-Al₂O₃ dengan nilai laju aus terendah $2.86 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{m}$ (Rochmad Eko Prasetyaning Utomo, 2016).

Sifat mekanik kekerasan dan kekuatan tarik tertinggi yang dimiliki komposit paduan MWCNT-Al356 juga menunjukkan pentingnya jumlah surfaktan yang optimal dalam komposit untuk mencapai kekuatan tertinggi. Dengan hanya menggandakan jumlah Magnesium ke dalam komposit dari 0,25% berat menjadi 0,5% berat, signifikan peningkatan lebih dari 1,4% dan 5,1% pada kekerasan dan UTS dari komposit paduan (H. Hanizam, dkk 2019).

Tabel 4 Persentase penambahan Magnesium dalam weight percent (wt%) pada berbagai penelitian AMC

Peneliti dan Tahun Penelitian	Jenis Aluminium	Persentase Aluminium (wt%)	Persentase Silikon Karbida (wt%)	Persentase Magnesium (wt%)			
Fathurrozi, M. A, (2019)	Al-nano ZnO	100%	0%	0%			
		99%		1%			
		97%		3%			
		95%		5%			
Rochmad Eko Prasetyaning Utomo, Salahuddin Yunus, FX Kristianta (2016)	Al6061/Al ₂ O ₃ (1%)	100%	0%	0%			
		99%		1%			
		97%		3%			
		95%		5%			
		Al6061/Al ₂ O ₃ (3%)		100%	0%	0%	
				99%		1%	
	97%		3%				
	95%		5%				
	H. Hanizam, M.S. Salleh, M.Z. Omar, A.B. Sulong, S.H.Yahaya dan N. Siswanto (2019)		A356/MWCNT (0,5%)	99,75%		0%	0,25%
				99,5%			0,5%
		99,75%		0,25%			
		A356/MWCNT (1%)	99,75%	0%	0,25%		
99,5%			0,5%				
99,75%			0,25%				

Tabel 4 diterangkan beragam variasi penambahan magnesium dalam satuan weight percent (wt%) dari beberapa penelitian yang telah dikutip pada sub-bab ini yang dimana dari tabel inilah juga yang dijadikan referensi untuk menentukan besaran weight percent (wt%) pada batasan masalah dalam penelitian ini.

Kehadiran magnesium dalam matriks paduan aluminium komposit tidak hanya memiliki efek menguntungkan paduan dan pengurangan tegangan permukaan, tetapi juga membantu dalam pembasahan dan dispersi yang lebih baik. Magnesium berperan sebagai penghilang oksigen yang baik, magnesium bereaksi dengan oksigen yang ada dipermukaan dari dispersoid, menipiskan lapisan gas, dan meningkatkan kebasahan dan mengurangi kecenderungan agglomerasi. (Pai. B. C, 1995)

2.4.3 Pembuatan AMC dengan metode *stir casting*

Proses Pengecoran Stir Casting adalah salah satu teknik pembuatan material komposit aluminium yang membutuhkan biaya yang cukup murah. Cara ini juga memiliki kelebihan dari jenis material yang akan dibuat, dan bisa membuat komposit hingga 30% volume fraksi penguat dengan ikatan matriks logam dan penyebaran partikel penguat yang lebih baik karena proses pengadukan yang dilakukan selama pembuatan komposit.

Proses *stir casting* merupakan salah satu proses pembuatan komposit dalam kondisi cair yang paling sederhana. Prinsip dari proses *stir casting* adalah penyatuan partikel penguat ke dalam logam cair dengan pengadukan secara mekanik diatas garis *liquidus*, lalu dituangkan ke dalam cetakan. Keuntungan dari proses ini adalah mampu menggabungkan partikel penguat yang tidak dibasahi oleh logam cair. Bahan yang tidak dibasahi tersebut terdistribusi oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel penguat terperangkap dalam logam cair (Mathur and Barnawal, 2013).

Metode pembuatan ini merupakan metode yang paling sederhana, relative lebih murah dan tidak memerlukan peralatan tambahan. Namun proses *stir casting* ini kadangkala mengalami beberapa kendala diantaranya adalah distribusi partikel yang kurang homogen dan *wettability* aluminium terhadap beberapa jenis keramik yang kurang baik. Ketidakhomogenan mikrostruktur disebabkan oleh penggumpalan partikel penguat (*clustering*) dan pengendapan selama pembekuan berlangsung akibat perbedaan densitas matrik dan penguat, terutama pada fraksi volume partikel tinggi. Secara umum fraksi volume penguat hingga 30% dan ukuran partikel 5 – 100 μm dapat disatukan kedalam logam cair dengan metode *stir casting*. Parameter yang dapat mempengaruhi dalam proses *stir casting* yaitu: kecepatan pengadukan, temperature pengadukan, perlakuan panas terhadap penguatnya, waktu pengadukan dan kecepatan penuangan serbuk (Khairil, R, A., 2005).

Dalam pembuatan AMC bahan yang digunakan adalah matrik aluminium sebagai matrik dan serbuk Cu, Mg dan SiC sebagai reinforced. Serbuk Cu, Mg dan SiC dengan variasi persentase 5%, 12%, 15% dicampur dengan matrik aluminium. Matrik aluminium dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan sampai suhu 7000°C, 7500°C dan 8000°C pada saat aluminium sudah mencair turunkan masukkan Cu, Mg dan SiC kedalam *furnace* dan diaduk seiring suhu dinaikkan sampai 7000°C, 7500°C dan 8000°C kemudian di tuang ke dalam cetakan. Dari hasil pengecoran kemudian diuji kekuatan tarik, kekerasan *brinnell* , kekuatan impak dan pengamatan struktur mikro (Saefulloh Iman, 2018).

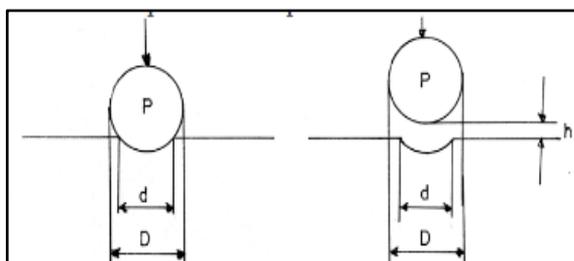
2.5 Uji Mekanik

2.5.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan adalah jenis pengujian mekanik yang penting untuk logam *ferrous* dan *non ferrous*. Tujuan pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui ketahanan dari deformasi plastis, bila diberikan beban/gaya dari luar. Prinsip pengujian kekerasan terhadap spesimen uji yang permukaannya telah dipreparasi dilakukan penekanan dengan indenter. Beban yang digunakan untuk setiap jenis logam adalah berbeda, tergantung terhadap metode pengujian dan pengukuran yang digunakan. Ada tiga metode pengujian yang paling sering digunakan untuk logam yaitu, Metode *Brinell*, Metode *Vickers* dan Metode *Rockwell*.

a. Metode *Brinell*

Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan indenter yang berbentuk bola dengan beban dan waktu tertentu, seperti terlihat pada Gambar Harga kekerasan diperoleh dari persamaan berikut ini :



Gambar 4 Geometri Indentor *Brinell*

$$H = \frac{2P}{[\pi D(-\sqrt{D^2 - d^2})]} = \frac{P}{D \cdot h} \quad (1)$$

dengan:

P = Beban bola penekanan yang diberikan (Kgf),

D = Diameter bola penekanan (mm),

d = Diameter jejak (mm).

Pemilihan diameter bola dan besar beban tergantung pada jenis logam serta ketebalannya. Perubahan indenter akan diikuti dengan perubahan beban akan didapatkan Hb yang sama.

$$\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = \frac{P_3}{D_3^2} \quad (2)$$

Jika D terlalu besar dan P terlalu kecil, maka bekas lekukan akan terlalu kecil sehingga sukar diukur dan akan memberi informasi yang keliru. Jika D

terlalu kecil dan P terlalu besar dapat berakibat amblasnya bola, sehingga memberikan harga kekerasan yang keliru.

Beberapa parameter penting yang mempengaruhi harga kekerasan *Brinell*:

- 1) Kekerasan permukaan.
- 2) Posisi spesimen saat pengujian.
- 3) Kebersihan permukaan spesimen.

b. Metode *Vickers*

Pengujian dengan metode ini prosesnya sama dengan metode *Brinell* yang berbeda hanya pada bentuk indentor yaitu berbentuk piramida bujur sangkar dengan sudut puncak 136° terbuat dari intan, seperti terlihat pada Gambar 12.

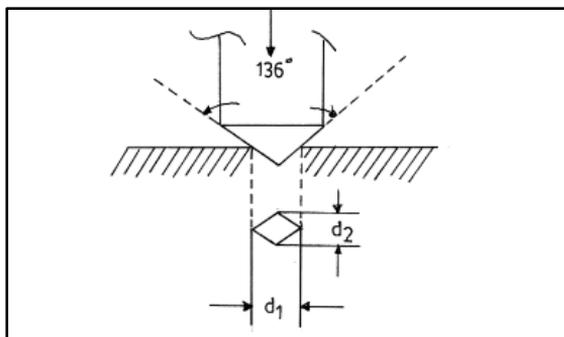
Harga kekerasan *Vickers* diperoleh dengan rumus:

$$H_v = \frac{2P \sin\left(\frac{O}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,854 \cdot P}{L^2} \quad (3)$$

dengan :

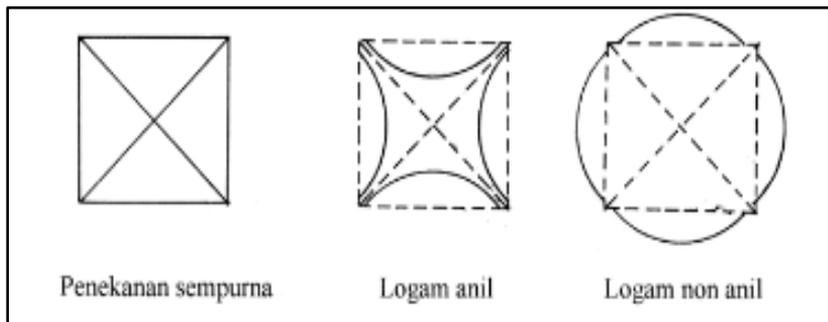
- P = Beban yang diberikan (kg),
- L = Diagonal rata-rata (mm) = $(d_1 + d_2)/2$,
- O = Sudut puncak 136° .

Uji kekerasan *Vickers* mempunyai kelebihan dalam jangkauan pemeriksaan yang luas dengan pemakaiannya beban tunggal (HV5–HV1500). Beban yang dipakai biasanya antara 1 (satu)–120 kg.



Gambar 5 Geometri indentor *Vickers*

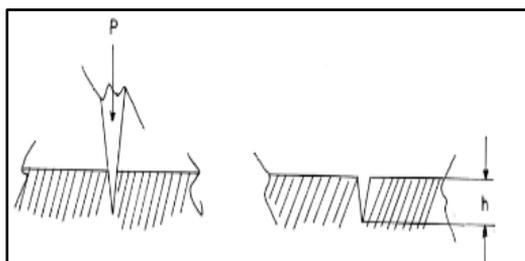
Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mikroskop, seperti dalam Gambar.



Gambar 6 Jejak hasil penekanan indenter

c. Metode *Rockwell*

Pada metode ini digunakan indenter intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 14. Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “h” dari permukaan. Jarak “h” menentukan kekerasan dari logam uji.



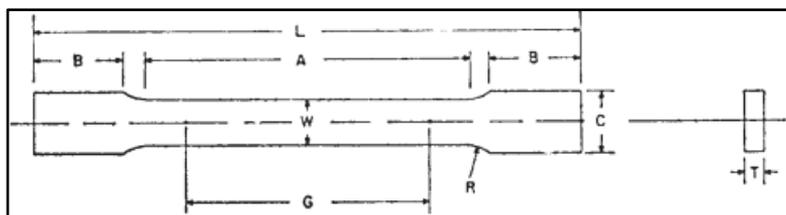
Gambar 7 Indentor *rockwell*

Harga kekerasan diperoleh dari pembacaan langsung pada skala alat pengujian *Rockwell* antara lain:

1. Metode *Rockwell C* (HRC), menggunakan indenter kerucut intan sudut 120° dengan diameter ujung 0,2 mm. Beban yang dipakai 150 kg dengan *pre-load* 10 kg. Pengujian untuk *steel* dan *hardened steel* dengan $h > (0,6-0,7)$ mm.
2. Metode *Rockwell A* (HRA), menggunakan indenter sama dengan *Rockwell C* dan beban yang sama pula 150 kg. pengujian untuk material $h < (0,4-0,6)$ mm.
3. Metode *Rockwell B* (HRB), menggunakan indenter baja bentuk bola dengan diameter $1/16''$ dan beban 100kg dipakai untuk material *unhardened steel* dan *non ferrous*.

2.5.2 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian material yang paling banyak dilakukan di dunia industri. Karena pengujian ini terbilang yang paling mudah dan banyak data yang bias diambil dari pengujian ini. Diantaranya yang bisa didapat dari pengujian tarik ini adalah Kekuatan tarik (Ultimate Tensile Strenght), Kekuatan mulur (Yield Strenght or Yield Point), Elongasi (Elongation), Elastisitas (Elasticity) dan Pengurangan luas penampang (Reduction of Area). Seiring dengan berkembangnya teknologi, maka pada saat ini mesin uji tarik dilengkapi dengan perangkat-perangkat elektronik untuk memudahkan dalam menganalisa data yang diperoleh. Load Cell merupakan salah satu perangkat elektronik yang digunakan sebagai perangkat tambahan pada mesin uji tarik. Load Cell menggunakan system perangkat pengolahan data. Karena bagaimanapun juga faktor manusia sangat dominan untuk memperoleh hasil dari pengujian ini.

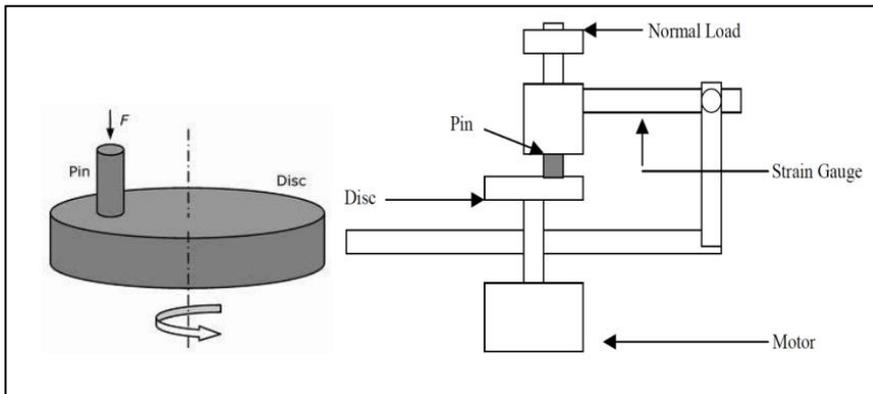


Gambar 8 Spesimen uji tarik ASTM E8

Sumber: ASTM

2.5.3 Pengujian Keausan

Keausan merupakan suatu kondisi dimana material mengalami kerusakan permukaan secara permanen. Kerusakan permukaan mengakibatkan hilangnya material akibat dari gesekan (friksi) antara permukaan satu dengan permukaan lain yang merupakan, permukaan yang dimaksud merupakan permukaan padatan. Keausan bukanlah sifat dasar dari material, melainkan sebuah respon yang diberikan material terhadap sistem yang ada disekitarnya ketika mengalaih kontak permukaan. Keausan secara garis besar dikelompokkan menjadi keausan adesif, keausan abrasif, keausan korosif dan surface fatigue (Rabinowicz, 1995). Pengujian dilakukan menurut ASTM Prosedur standar G4 (MA. Maleque, 2015).

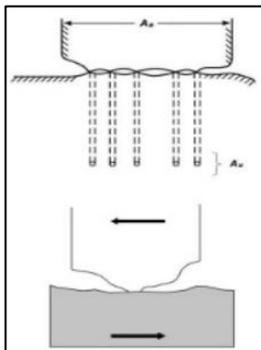


Gambar 9 Tampilan skematik pin pada tribosystem cakram untuk pengujian keausan

Sumber: MA. Maleque, 2015

a. Keausan adhesive (*Adhesive wear*)

Terjadi bila kontak permukaan dari dua material atau lebih mengakibatkan adanya perlekatan satu sama lainnya (adhesif) serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pelepasan/pengoyakan salah satu material, seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini :



Gambar 10 Keausan metode adhesive

Faktor yang menyebabkan *adhesive wear*:

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

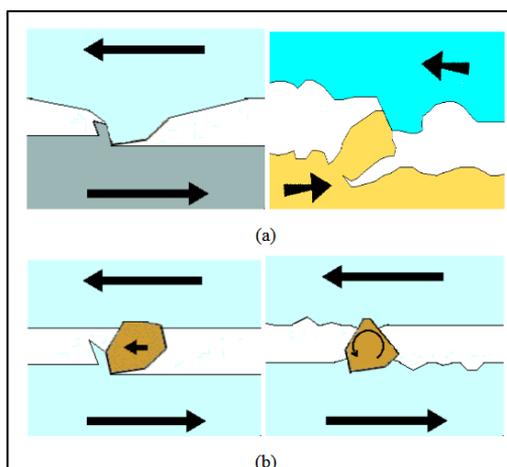
Jumlah *wear debris* akibat terjadinya aus melalui mechanism adhesif ini dapat dikurangi dengan cara, antara lain :

1. Menggunakan material keras.

2. Material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya.

b. Keausan abrasif

Keausan abrasif timbul ketika permukaan yang keras, kasar meluncur pada permukaan yang lebih lunak, menusuk ke dalam dan menghasilkan alur-alur. Material dapat hilang dalam bentuk fragmen atau jika tidak, material membentuk sepasang timbunan sepanjang tiap alur. Material dalam timbunan kemudian mudah untuk lepas dari permukaan. Keausan abrasif meliputi partikel yang bergerak di atas permukaan (*two body abrasion*) dan partikel keras yang bergerak di atas dua permukaan yang bergerak (*three body abrasion*).



Gambar 11 Mekanisme keausan:

(a) Keausan abrasif: *two body abrasion*, (b) Keausan abrasif: *three body abrasion*

Pada penelitian ini difokuskan masalah pada keausan abrasif, dengan metode pengujian yang digunakan mengikuti metode yang diajukan oleh Bataev (1996) yaitu interaksi antara material padat (*block*) sebagai benda uji yang digesekkan pada disk berputar yang dilapisi kertas abrasif. Laju keausan pada pengujian ini dinyatakan sebagai berkurangnya massa atau volume benda uji setelah mengalami penggesekan (penggerusan akibat kontak antara disk yang berputar dan benda uji) tiap satuan waktu, yang dinyatakan dengan:

$$W = \frac{w}{s} \left(\frac{mg}{detik} \right) \quad (4)$$

dengan :

W = laju keausan

w = berat material yang hilang (mg)

S = waktu total pengujian (detik)

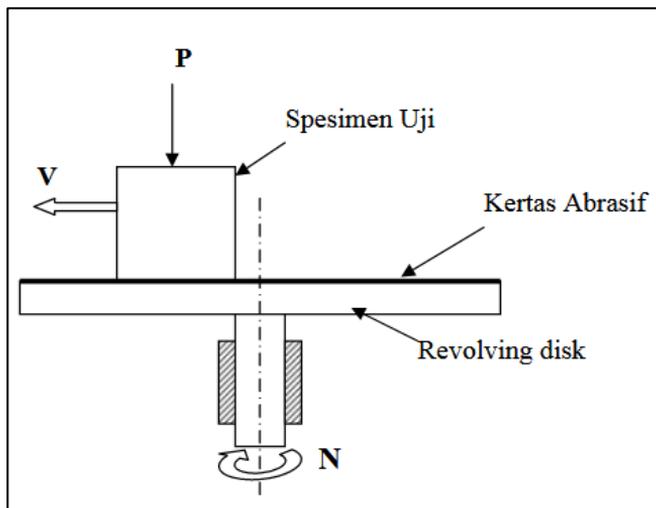
Sedangkan intensitas keausan dinyatakan dengan (Sofanov and Aleksenko,1998):

$$I = \frac{h_1}{L} \frac{mg}{\text{meter}} \quad (5)$$

dengan:

H = keausan linier yang ditentukan dari perubahan massa spesimen setelah pengujian keausan (mg)

L = jalur lintasan gesek (meter).



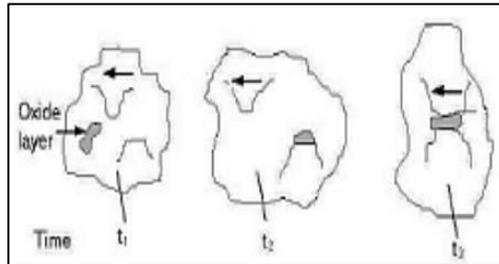
Gambar 12 Mekanisme alat uji keausan abrasif

keterangan: P = Beban pengausan, V = Kecepatan perpindahan spesimen, N = Putaran disk

c. Keausan Oksidasi/Korosif (*Corrosive wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh faktor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk.

Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan *interface* antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut.



Gambar 13 Mekanisme keausan oksidasi

2.6 Pengujian Metalografi

Metalografi adalah suatu cabang ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan struktur dan keadaan, serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya. Tujuan utama pengujian metalografi adalah untuk mengetahui keadaan/kondisi suatu logam dan paduannya ditinjau dari strukturnya dengan menggunakan mikroskop. Dengan pengujian metalografi, dapat diketahui kondisi suatu logam/paduannya (ulet/rapuh), geometri kristal, susunan atom dan lain-lain. Serta dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk mengetahui kerusakan kegagalan suatu komponen. Ruang lingkup yang dibahas hanya mencakup dasar-dasar metalografi yang menggunakan berkas kasat mata (terlihat mata). Oleh karena itu disebut juga metalografi cahaya kasat mata atau metalografi optik.

Peralatan yang umum digunakan untuk kegiatan metalografi sebagai berikut:

1. Mesin Gerinda ukuran 100 – 1200 grid untuk meratakan dan menghaluskan.
2. Mesin poles ukuran 600 – 1200 grid untuk menghaluskan
3. Mikroskop optik ukuran 1000X untuk mengetahui struktur mikro dan makro.