

SKRIPSI

**PENGARUH DIAMETER *ROD* TERHADAP PELAPISAN
ALUMINIUM 6061 DENGAN *FRICTION SURFACING*
PROCESS MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING*
TIPE LC-40 A**

OLEH :

GAFFAR AL-QADRI

D211 16 021



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

SKRIPSI

**PENGARUH DIAMETER *ROD* TERHADAP PELAPISAN ALUMINIUM
6061 DENGAN *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN
MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40 A**

OLEH :

GAFFAR AL-QADRI

D211 16 021

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan Mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

JUDUL :

**PENGARUH DIAMETER ROD TERHADAP PELAPISAN ALUMINIUM 6061
DENGAN FRICTION SURFACING PROCESS MENGGUNAKAN MESIN
DRILLING-MILLING TIPE LC-40 A**

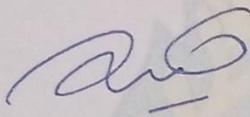
GAFFAR AL-QADRI

D211 16 021

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

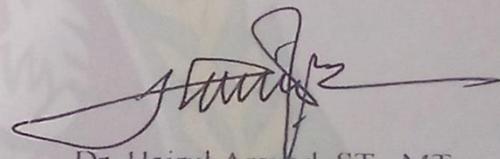
Hari / tanggal : Selasa, 30 Maret 2021

Dosen Pembimbing I



Dr.Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT.
NIP. 19740415 199903 1 001

Dosen Pembimbing II

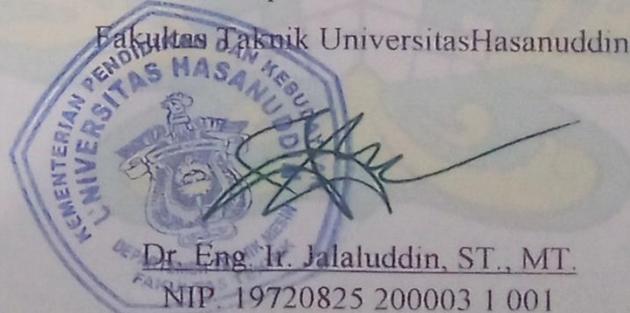


Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.
NIP. 19750322 200212 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : GAFFAR AL-QADRI
NIM : D211 16 021
Program Studi : TEKNIK MESIN
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

PENGARUH DIAMETER *ROD* TERHADAP PELAPISAN ALUMINIUM
6061 DENGAN *FRICITION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN
MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40 A

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 Maret 2021



GAFFAR AL-QADRI

ABSTRAK

Gaffar Al-Qadri (D211 16 021). Pengaruh Diameter *Rod* Terhadap Pelapisan Aluminium 6061 dengan *Friction Surfacing Proses* Menggunakan Mesin *Drilling-Milling* Tipe LC-40 A. (Dibimbing oleh Lukmanul Hakim Arma dan Hairul Arsyad).

Dalam dunia industri saat ini pemilihan bahan dan proses dalam pembuatan sebuah produk yang diproduksi oleh sebuah perusahaan, harus sesuai dengan fungsi dan tujuan diproduksinya produk tersebut. Material produk yang paling banyak digunakan dalam industri adalah aluminium seri 6061 dengan paduan utama (Al-Mg-Si) dan seri 7075 dengan paduan utama (Zn). Paduan jenis ini digunakan dalam industri karena mempunyai sifat mampu bentuk, kekuatan dan daya tahan korosi yang cukup baik namun memiliki kelemahan pada proses pelapisannya. Salah satu solusinya adalah melakukan pelapisan material dengan metode *friction surfacing process* dimana *rod* berputar dan bergesekan pada permukaan *substrate* yang akan menimbulkan panas dan menghasilkan lapisan *viscoplastic*. Penelitian ini menggunakan mesin *drilling-milling* LC-40A dengan variasi diameter *rod* 12, 15, 17 mm, putaran mesin 3000 RPM, laju travel speed 6 cm/men dan penambahan beban 2 kg yang bertujuan untuk mengetahui kualitas rekat dan kekerasan lapisan hasil *friction surfacing* dari setiap variasi diameter *rod*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter *rod* maka semakin rendah kekuatan *bendingnya* namun semakin tinggi nilai kekerasan permukaan lapisannya.

Kata Kunci : Aluminium 6061, *friction surfacing*, distribusi *thermal*, diameter *rod*

ABSTRACT

Gaffar Al-Qadri (D211 16 021). Effect of Rod Diameter on Aluminum 6061 Coating with Friction Surfacing Process Using Drilling-Milling Machine Type LC-40A. (Supervised by Lukmanul Hakim Arma and Hairul Arsyad).

Today's in industrial world, the selection of materials and processes in the manufacture of a product produced by a company must be in accordance with the function and purpose of producing the product. The most widely used product materials in the industry are aluminum series 6061 with the main alloy (Al-Mg-Si) and series 7075 with the main alloy (Zn). This type of alloy is used in industry because it has good formability, strength and corrosion resistance but has weaknesses in the coating process. One solution is to coat the material with the friction surfacing process method where the rod rotates and rubs against the substrate surface which will cause heat and produce a viscoplastic layer. This study uses a LC-40A drilling-milling machine with a variation of rod diameter 12, 15, 17 mm, engine speed of 3000 RPM, travel speed of 6 cm / min and an additional load of 2 kg which aims to determine the quality of the adhesion and the hardness of the coating as a result of friction surfacing. of each rod diameter variation. The results showed that the larger the rod diameter, the lower the bending strength but the higher the surface hardness value of the coating.

Keyword : Aluminium 6061, friction surfacing, thermal distribution , rod diameter

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas Berkah, Rahmat dan Karunia-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“PENGARUH DIAMETER ROD TERHADAP PELAPISAN ALUMINIUM 6061 DENGAN *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING TIPE LC-40 A*”** dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam tak lupa di haturkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta seluruh keluarga dan sahabatnya yang telah menghantarkan kita dari zaman jahiliyyah menuju zaman yang modern seperti sekarang ini.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis banyak mendapatkan saran, arahan, dukungan serta motivasi yang sifatnya membangun dari berbagai pihak baik dalam tahap penelitian hingga tahap penyusunan skripsi. Dengan terselesaikannya skripsi ini, penulis mengucapkan terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Orang tua tercinta ayahanda Abdul Rifaid dan ibunda Hadijah yang telah menjadi orang tua terhebat sejagad raya yang selalu memberikan motivasi, nasehat, do'a serta kasih sayang yang tak terhingga dan tentu takkan bisa penulis balas. Hanya skripsi dan gelar ini yang bisa ananda persembahkan.
2. Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, ST.,MT. selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST.,MT. selaku pembimbing I atas segala kesabaran, bantuan, arahan, masukan, dan bimbingan yang luar biasa selama penyusunan tugas akhir.
5. Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT. selaku pembimbing II atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.

6. Dr. Muhammad Syahid, ST., MT. dan Dr.Ir Ahmad Yusran Aminy.,MT. selaku penguji atas segala masukan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak Edi Iskandar selaku laboran laboratorium metalurgi fisik yang telah banyak membantu dalam pengerjaan spesimen dan alat penelitian dan telah banyak menghibur serta memberikan masukan dan saran yang mendidik.
8. Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membimbing dan memberikan ilmunya selama Penulis mengenyam pendidikan di Kampus.
9. Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu segala urusan administrasi.
10. Saudara tercinta Faizal Al-Habsy, Alfiansyah dan Deva-Devina yang selalu menyemangati setiap kegiatan yang dilalui.
11. Anindyka Mentary S. Selaku yang selalu ada dan setia menemani serta yang selalu mengorbankan waktu dan pikiran dalam hal apapun, termaksud juga dalam membantu penyelesaian skripsi ini.
12. Muhammad Fadilah V dan Muhammad Muchlis selaku sahabat karib yang selalu menghibur, membantu dan menemani dikala suka maupun duka di perantauan.
13. Teman-teman seperjuangan, Teknik Mesin 2016 / COMPREZZOR16, yang telah berproses bersama di Fakultas Teknik Unhas semoga kesuksesan selalu menyertai kita semua.

Tentunya dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Maka dari itu penulis memohon maaf atas segala kesalahan, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

Gowa, 26 Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
I.4 Batasan Masalah	3
I.5 Manfaat Penelitian	4
I.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Pengertian <i>Friction Surfacing</i> (FS)	6
II.1.1 Prinsip Kerja <i>Friction Surfacing</i> (FS)	6
II.1.2 Parameter pada <i>Friction Surfacing</i>	7
II.1.3 Hasil Lapisan <i>Friction Surfacing</i>	8
II.2 Aluminium	9
II.2.1 Aluminium dan Paduannya	9
II.2.2 Pengaplikasian Aluminium	15
II.2.3 Uji Mekanik (<i>Mechanical Test</i>)	17
BAB III METODE PENELITIAN	23
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	23
III.2 Alat dan Bahan	23
III.2.1 Alat	23
III.2.2 Bahan	27
III.3 Prosedur Penelitian	29

III.4 Diagram Alir Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
IV.1 Proses <i>Friction Surfacing</i>	34
IV.2 Bentuk dan Ukuran Lapisan serta Volume <i>Rod</i>	35
IV.3 Pengujian kekuatan <i>Bending</i> /Tekuk dan Kekerasan	45
BAB V PENUTUP	53
V.1 Kesimpulan	53
V.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proses <i>Friction Surfacing</i>	6
Gambar 2.2. Foto mikro lapisan hasil <i>friction surfacing</i>	7
Gambar 2.3. Hasil lapisan <i>friction surfacing</i> dengan kecepatan <i>rod feed rate</i> 2 cm/menit	8
Gambar 2.4. Diagram fasa paduan Al-Mg ₂ Si	13
Gambar 2.5. KRL Tokyo Metro SERI 6000	16
Gambar 2.6. Geometri identor <i>brinell</i>	18
Gambar 2.7. Geometri identor vickers	19
Gambar 2.8. Jejak hasil penekanan identor	20
Gambar 2.9. Identor <i>rockwell</i>	20
Gambar 2.10. Penampang uji <i>bending</i> (Standar ASTM 790-20)	21
Gambar 3.1. Mesin bubut konvensional <i>GEDEE WEILER LZ-330 G</i>	23
Gambar 3.2. <i>Thermogun</i>	24
Gambar 3.3. <i>Milligram electric</i>	24
Gambar 3.4. Sarung tangan	24
Gambar 3.5. Jangka sorong	25
Gambar 3.6. Gergaji tangan	25
Gambar 3.7. <i>Drilling – Milling</i>	25
Gambar 3.8. Mesin uji <i>bending</i>	26
Gambar 3.9. Mesin uji kekerasan	26
Gambar 3.10. Mikroskop <i>optic</i>	27
Gambar 3.11. <i>Thermal image camera</i>	27
Gambar 3.12. Aluminium 6061	28
Gambar 3.13. Plat aluminium 7075	28
Gambar 3.14. Kertas amplas	28
Gambar 3.15. Batu hijau	29
Gambar 3.16. Kelengkapan cairan etsa	29

Gambar 3.17. Plat aluminium 7075	30
Gambar 3.18. Spesimen uji <i>bending</i>	32
Gambar 3.19. <i>Flow chart</i> penelitian	33
Gambar 4.1. Proses <i>friction surfacing</i>	34
Gambar 4.2. Lapisan hasil <i>friction surfacing</i> (a) Tebal, lebar lapisan dan <i>substrate</i> (b) Bentuk sirip/sayap lapisan	35
Gambar 4.3. Perbandingan tebal maksimum dan minimum lapisan dan <i>substrate</i> terhadap variasi diameter <i>rod</i> hasil proses <i>friction surfacing</i>	36
Gambar 4.4. Pengukuran tebal sepanjang lapisan dan <i>substrate</i> (a) Grafik nilai tebal lapisan dan <i>substrate</i> (b) Titik/daerah pengukuran ketebalan	37
Gambar 4.5. Perbandingan lebar maksimum dan minimum lapisan terhadap variasi diameter <i>rod</i> hasil proses <i>friction surfacing</i>	38
Gambar 4.6. Pengukuran lebar sepanjang lapisan (a) grafik lebar lapisan setiap variasi diameter <i>rod</i> (b) Titik/daerah pengukuran lebar	39
Gambar 4.7. Perbandingan ukuran diameter <i>rod</i> dan lapisan yang terbentuk (a) Variasi <i>rod</i> 12 mm (b) Variasi <i>rod</i> 15 mm (c) Variasi <i>rod</i> 17 mm	40
Gambar 4.8. Bentuk <i>rod</i> sebelum dan setelah proses <i>friction surfacing</i>	41
Gambar 4.9. Distribusi <i>thermal</i> yang terjadi selama proses <i>friction surfacing</i> (1) <i>Rod</i> 12 mm, (2) <i>Rod</i> 15 mm dan (3) <i>Rod</i> 17 mm	43
Gambar 4.10. Rata-rata kekuatan <i>bending</i> (MPa) terhadap variasi diameter <i>rod</i>	45
Gambar 4.11. Spesimen uji <i>bending</i> (a) Sebelum pengujian (b) Saat pengujian (c) Setelah pengujian	46
Gambar 4.12. Nilai kekerasan lapisan variasi diameter <i>rod</i>	47
Gambar 4.13 Distribusi kekerasan lapisan, <i>interface</i> dan <i>substrate</i> (a) Grafik distribusi kekerasan (b) Titik/daerah pengambilan nilai kekerasan	49
Gambar 4.14. Struktur mikro hasil <i>friction surfacing</i> perbesaran 500x (a) <i>Rod</i> 12 mm (b) <i>Rod</i> 15 mm (c) <i>Rod</i> 17 mm	52

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Daftar seri paduan aluminium tempa	9
Tabel 2.2. Daftar seri paduan aluminium tuang	10
Tabel 2.3. Sifat aluminium paduan Al-Mg-Si seri 6061	14
Tabel 2.4. Unsur-unsur pada AA7075	15
Tabel 4.1. Hasil pengukuran tebal awal sampai akhir sepanjang lapisan dan <i>substrate</i>	36
Tabel 4.2. Hasil pengukuran lebar awal sampai akhir lapisan	39
Tabel 4.3. Volume <i>rod</i> sebelum dan sesudah proses <i>friction surfacing</i>	42
Tabel 4.4. Nilai kekerasan lapisan, <i>interface</i> dan <i>substrate</i>	49

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam dunia industri saat ini pemilihan bahan dan proses dalam pembuatan sebuah produk yang diproduksi oleh sebuah perusahaan, harus sesuai dengan fungsi dan tujuan diproduksinya produk tersebut. Dengan demikian konsumen akan merasa puas dalam menggunakan produk hasil produksi perusahaan tersebut karena kualitas yang dicapai sesuai (Subagyo, 2017). Aluminium merupakan salah satu logam yang umum digunakan sebagai matrik dalam pembuatan komposit logam pada industri, hal ini dikarenakan aluminium memiliki massa yang ringan serta memiliki kelebihan dalam kekuatan, ketahanan aus, kekakuan, dan stabilitas dimensi yang baik (Utomo, 2016).

Jenis aluminium yang sering digunakan dalam industri yaitu aluminium seri 6061 dan seri 7075. Aluminium 6061 tergolong aluminium seri 6xxx dengan elemen padu magnesium dan silikon, paduan jenis ini digunakan dalam industri karena mempunyai sifat mampu bentuk dan daya tahan korosi yang cukup baik dan dapat dilakukan *heat treatment* sedangkan aluminium 7075 adalah aluminium seri 7xxx dengan elemen padu yaitu Al-Zn-Mg-Cu, paduan ini banyak digunakan di bidang industri pesawat terbang karena kompromi yang baik antara kekuatan, tahan korosi dan toleransi kerusakan (Setyawan dkk., 2014; Budiarti dan Ilman, 2018).

Aluminium 7075 merupakan jenis Aluminium Alloy yang sangat kuat, namun untuk ketahanan terhadap erosi 6061 jauh lebih unggul daripada Alloy 7075. Aluminium seri 6061 juga termasuk salah satu jenis material yang banyak penerapannya pada industri maju karena memiliki keunggulan dari berbagai sisi seperti kemampuan permesinan yang baik, penyelesaian permukaan sempurna, kekuatan yang tinggi dan ringan, serta tahan terhadap korosi (Zuhaimi dan Husaini, 2006).

Walaupun aluminium seri 6061 dan 7075 mempunyai banyak kelebihan namun aluminium ini memiliki kendala pada proses penyambungan dan pelapisannya. Salah satu solusi yang ditawarkan untuk memecahkan

permasalahan dalam teknik penyambungan logam yaitu penyambungan dengan pengelasan gesek (*friction welding*). Metode pengelasan gesek termasuk dalam jenis pengelasan bertekanan, proses pengelasan gesek dilakukan dalam keadaan *solid state* dimana tidak ada listrik atau sumber energi lain yang digunakan, energi panas dihasilkan dengan memanfaatkan adanya gesekan pada permukaan dari bagian yang akan dilas (Setyawan dkk., 2014). Pada penelitian ini kami menggunakan metode yang hampir sama dengan *friction welding* yaitu *friction surfacing*. Perbedaan dari dua metode ini yaitu *friction welding* digunakan untuk menyambungkan dua logam atau lebih sedangkan *friction surfacing* digunakan untuk melapisi material atau logam.

Ada beberapa parameter dari *friction surfacing* yang mempengaruhi hasil dan karakteristik lapisan yaitu tekanan (*axial force*), kecepatan rotasi (*rotational speed*) dan kecepatan gesekan (*travel speed*). Hubungan antara kecepatan pengelasan dan input panas selama proses pengelasan sangat kompleks, tetapi umumnya dapat dikatakan bahwa meningkatnya kecepatan rotasi dan berkurangnya kecepatan melintas akan mengakibatkan titik las lebih panas. Jika material tidak cukup panas maka arus pelunakan tidak akan optimal sehingga dimungkinkan akan terjadi cacat rongga atau cacat lain pada stir zone, dan kemungkinan tool akan rusak. Pada proses tersebut pengoptimalan dari parameter ini sangat menunjang tingkat kelekatan lapisan terhadap media lapisan. Sugandhi dan Ravishankar pada tahun 2012 telah mengembangkan proses optimasi untuk parameter pada *friction surfacing*, namun parameter yang digunakan belum terseleksi. Sehingga tingkat kualitas (*confidence*) yang dihasilkan belum 99 %. Analisis data merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan *confidence* tersebut (Amin, 2018).

Penelitian terkait dengan aluminium yang dimanfaatkan sebagai bahan pelapis (*coating*) pada material menggunakan metode *friction surfacing* telah dilakukan oleh Nurhudaedah dan Asruddin pada tahun 2019. Mesin yang digunakan untuk proses ini yaitu *Drilling/Milling Machine* tipe LC-40 A dengan kecepatan spindel maksimal 3000RPM. Penelitian tersebut fokus pada pengaruh *rod feed rate* dan *travel speed* terhadap material aluminium CNT Komposit, dan

menggunakan *substrate* baja. Namun terdapat beberapa kendala atau kekurangan dari hasil pengujian ini yaitu tebal dan lebar daerah bahan pelapis (*coating*) tidak seragam meskipun pada nilai *travel speed* yang sama dan daya rekatnya juga kurang bagus pada daerah pelapis yang tebal. Seharusnya yang diharapkan pada proses *friction surfacing* yaitu lapisan yang tebal dan daya rekatnya yang kuat serta kekerasannya meningkat oleh karena itu penulis mencurigai bahwa ada faktor lain yang mempengaruhinya, salah satunya adalah diameter *rod* yang dimaksimalkan dengan pembebanan yang konstan.

Berdasarkan latar belakang berikut, penulis mengadakan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Diameter Rod Terhadap Pelapisan Aluminium 6061 dengan *Friction Surfacing Process* Menggunakan Mesin *Drilling-Milling Tipe LC-40 A*”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah dalam penelitian ini, yakni:

1. Bagaimana bentuk dan ukuran lapisan aluminium 6061 hasil proses *friction surfacing*, serta berapa volume *rod* yang terpakai?
2. Bagaimana nilai kekerasan dan kekuatan *bending*/tekuk dari spesimen hasil proses *friction surfacing*?
3. Bagaimana penampakan struktur mikro hasil proses *friction surfacing*?
4. Bagaimana pengaruh diameter *rod* terhadap kualitas lapisan hasil proses *friction surfacing*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar rumusan masalah yang telah dikemukakan diatas, maka dibuatlah tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menganalisa dimensi lapisan yang terbentuk, serta volume *rod* yang terpakai pada setiap variasi diameter *rod*.
2. Menganalisa pengaruh variasi diameter *rod* terhadap kekerasan dan kekuatan tekuk hasil *friction surfacing*.

3. Menganalisa struktur mikro lapisan hasil proses *friction surfacing* melalui pengujian metalografi.
4. Menganalisa pengaruh diameter *rod* terhadap *interface* AA6061-AA7075 hasil proses *friction surfacing*.

1.4 Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan penelitian ini adalah:

1. Jenis material *rod* pembentuk lapisan adalah Aluminium tipe AA6061 berdiameter 12, 15 dan 17 mm.
2. Jenis material *substrate* adalah Aluminium tipe AA7075 ketebalan 3 mm.
3. Mengatur putaran mesin pada kecepatan 3000 RPM, laju *travel speed* 6 cm/menit serta pembebanan 2 kg pada proses *Friction Surfacing*.
4. Mesin yang digunakan untuk proses ini yaitu *Drilling/Milling Machine* tipe LC-40 A.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui sifat mekanik dan kualitas material dengan metode *friction surfacing*.
2. Mengembangkan metode baru dalam proses pelapisan material dalam ilmu metalurgi.
3. Diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi untuk penelitian selanjutnya.
4. Dapat diaplikasikan untuk praktikum pelapisan material dalam skala laboratorium.
5. Menambah referensi sebagai pengembangan ilmu di bidang material logam.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I : Pendahuluan

Pada bab ini penulis menjelaskan tentang definisi dan pentingnya aluminium dalam perkembangan dunia industri serta memaparkan metode-metode yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya tentang cara

meningkatkan kualitas pelapisan dengan menggunakan proses *friction surfacing*, kemudian penulis mengemukakan kekurangan yang terdapat pada penelitian tersebut dan menawarkan solusi dengan tujuan, batasan, serta manfaat penelitian seperti yang telah dituliskan pada poin-poin sebelumnya.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini penulis memaparkan landasan teori dan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya mengenai metode pelapisan logam dengan proses *friction surfacing* dan teori-teori dasar untuk mendukung penelitian ini.

BAB III : Metode Penelitian

Pada bab ini penulis menjelaskan metode pengumpulan data yang dilaksanakan pada bulan Agustus 2020 – Januari tahun 2021 di Laboratorium Metalurgi Fisik Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan alat dan bahan yang digunakan yaitu mesin bubut konvensional *Geede Weiler LZ-330 G*, mesin *Drilling-Milling LC 40-A*, *thermogun*, miligram, sarung tangan, jangka sorong, gergaji besi, *thermal image camera*, aluminium 6061 dan aluminium 7075. Bab ini juga menjelaskan tentang langkah kerja dan diagram alir serta proses penelitian ini dilakukan.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini berisikan tentang pembahasan dari hasil penelitian disertai dengan tabel dan grafik yang didapat selama melakukan pengambilan data. Semuanya menjelaskan hasil lapisan dari variasi diameter *rod*, volume *rod* yang digunakan serta hasil pengujian kekerasan dan tekuk dari spesimen hasil proses *friction surfacing*.

BAB V : Penutup

Pada bab ini penulis memaparkan kesimpulan dari hasil pengamatan, pengukuran serta pengujian yang dilakukan pada proses *friction surfacing* dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya maupun untuk laboratorium.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

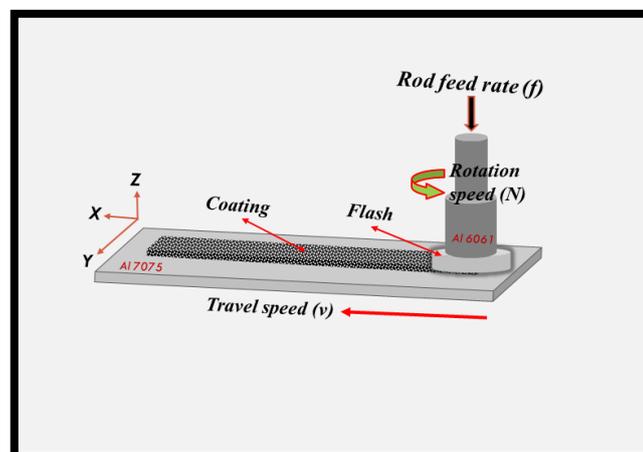
II.1 Pengertian *Friction Surfacing* (FS)

Friction surfacing (FS) adalah sebuah proses membuat lapisan pada keadaan yang padat dengan cara pendeformasian batang logam kedalam bentuk setipis dan sehalus mungkin (Voutchkov dkk, 2001).

II.1.1 Prinsip Kerja *Friction Surfacing* (FS)

Dalam *friction surfacing*, *consumable rod* yang berputar yang mengarah terhadap media (beban axial). Pada proses FS, panas akan timbul akibat gesekan, hal itu akan menghasilkan suatu lapisan *viscoplastic* (sebuah lapisan yang padat, tetapi mengalir seperti cairan yang kental). Kondisi suhu dan tekanan yang menyebabkan proses difusi menghasilkan lapisan logam antara bahan dan media. Proses konduksi ke dalam media memungkinkan pembentukan lapisan dan lapisan *viscoplastic* terbentuk bersamaan. Proses konduksi dilakukan dari awal untuk menambah ketebalan dari lapisan. Lapisan *viscoplastic* akan tersimpan untuk melapisi media permukaan pada proses selanjutnya.

Proses kerja *friction surfacing* dapat dilihat pada gambar 2.1 hal penting dalam proses *friction surfacing* adalah gabungan gesekan permukaan dan proses deformasi sebagai penghasil panas.

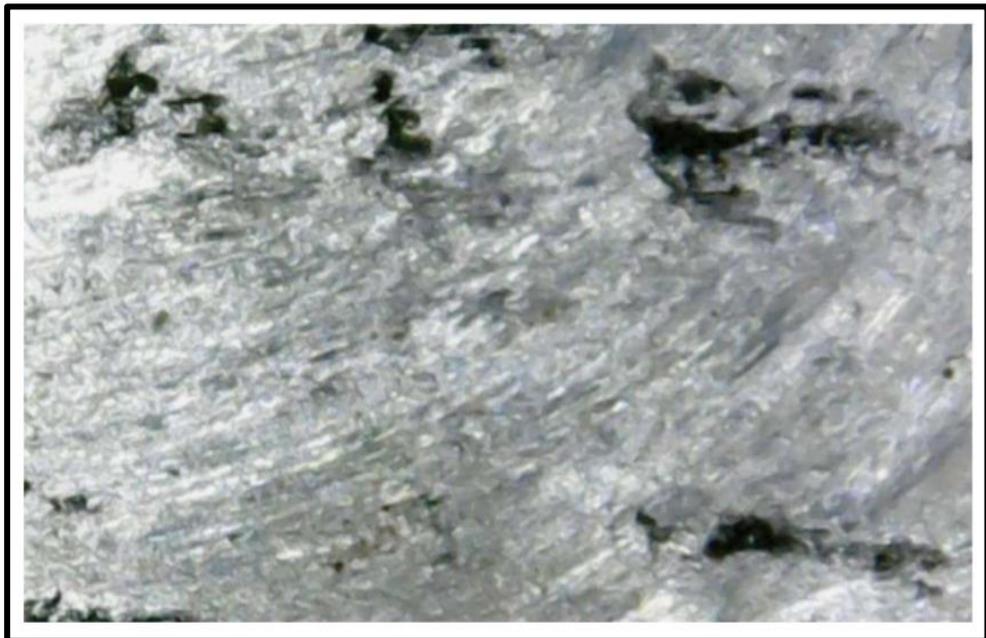


Gambar 2.1. Proses *friction surfacing*

Proses termomekanikal adalah suatu proses dimana terdapat dua perlakuan pada suatu material. Proses termomekanikal digunakan untuk proses pelapisan yang bertujuan untuk memberikan suatu lapisan yang mempunyai mikrostruktur yang baik (Barnabas, Godwin. 2014).

II.1.2 Parameter pada *Friction surfacing*

Terdapat 3 variabel atau parameter pada pengujian metode *friction surfacing* yaitu *axial force*, *travel speed*, dan *rotational speed*. Dari ketiga parameter ini masing-masing akan memberi pengaruh dari hasil *friction surfacing* yang dilakukan. Sebelumnya Al Amin telah melakukan penelitian dengan melakukan variasi pada 3 parameter tersebut dan terdapat 18 sampel penelitian yang berbeda-beda. Pada penelitian tersebut telah mendekati nilai minimum yang diinginkan hal ini ditunjukkan pada gambar 2.2.



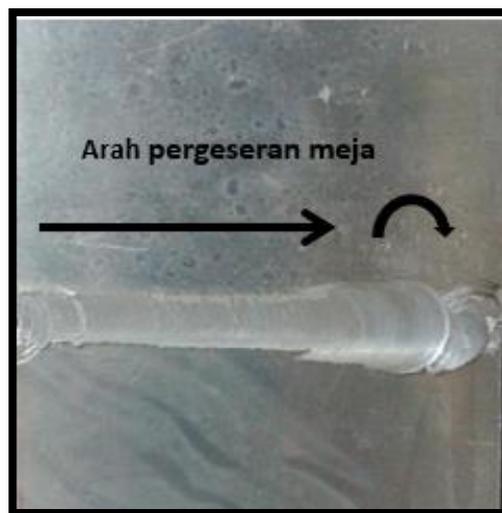
Gambar 2.2. Foto micro lapisan hasil *friction surfacing* (Amin, 2018)

Gambar 2.2 memperlihatkan sutruktur mikro lapisan hasil *friction surfacing*, dengan nilai pada variabel *axial force* = 8,5 kN, *travel speed* = 60 mm/min, dan *rotational speed* = 1500 rpm. Dengan nilai-nilai parameter demikian, maka tingkat ketebalan lapisan rata-rata sudah masuk

dalam kisaran tingkat minimum yang diinginkan (kisaran 0,17-0,18). Dengan error dibawah 0,02.

II.1.3 Hasil Lapisan *Friction Surfacing*

Setelah dilakukan proses *friction surfacing*, maka akan terlihat lapisan hasil *friction surfacing* pada permukaan *substrate*. Pelapisan dengan metode *friction surfacing* merupakan pelapisan yang terjadi pada kondisi padat (*solid state joining*) dengan memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar (*rod*) dengan benda kerja lain yang diam (*substrate*) sehingga mampu melelehkan benda kerja yang berputar tersebut dan akhirnya membentuk lapisan. Dengan kecepatan *rod feed rate* yang berbeda, maka akan menghasilkan penampakan lapisan yang berbeda pula pada permukaan material (Wicaksono, 2016)



Gambar 2.3 Hasil lapisan *friction surfacing* dengan kecepatan *rod feed rate* 2 cm/menit (Wicaksono, 2016).

Pada Gambar 2.3 hasil permukaan proses FS sisi atas *face* dengan *rod feed rate* 2 cm/menit terlihat halus karena *rod feed rate* yang lambat akan menghasilkan panas yang menyebar luas ke material aluminium. Panas lokal yang terjadi akibat gesekan *rod* dengan material ini akan melelehkan *rod* dengan baik (Wicaksono, 2016)

II.2 Aluminium

Aluminium adalah logam yang memiliki kekuatan yang relatif rendah dan lunak. Aluminium merupakan logam yang ringan dan memiliki ketahanan korosi dan hantaran listrik yang baik. 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 (Mujiyo, 2014).

II.2.1 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. Salah satu penamaan paduan standar AA, seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daftar Seri Paduan Aluminium Tempa

Paduan Tempa	Penandaan
Aluminium (min.) 99.00%	1XXX
Tembaga	2XXX
Mangan	3XXX
Silikon	4XXX
Magnesium	5XXX
Magnesium dan Silikon	6XXX
Seng	7XXX

(Sumber: Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000)

Paduan aluminium tempa, seri 1xxx digunakan untuk aluminium murni, paduan aluminium diidentifikasi dengan sistem empat digit berdasarkan elemen paduan utamanya. Untuk paduan tempa (*wrought*, yang mengalami perubahan bentuk) digit pertama mengidentifikasi kelompok

paduan dan digit kedua menunjukkan modifikasi paduan asli yang diidentifikasi dengan dua digit terakhir.

Untuk paduan tuang (*casting*) sistem penamaan agak berbeda. Di sini digit pertama mengidentifikasi kelompok, dua digit berikutnya mengidentifikasi paduan dan digit terakhir yang didahului desimal mengacu bentuk produk (misalnya, 0 untuk hasil coran dan 1 untuk ingot) (Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000).

Tabel 2.2 Daftar Seri Paduan Aluminium Tuang

Paduan Tuang	Penandaan
Aluminium (min.) 99.00%	1XX.X
Tembaga	2XX.X
Silikon, Tembaga dan Magnesium	3XX.X
Silikon	4XX.X
Magnesium	5XX.X
Seng	7XX.X
Timah Putih	8XX.X

(Sumber: Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000)

Berdasarkan metode pengerasannya, aluminium dapat dibagi menjadi dua kelompok, *heat treatable alloys* dan *non-heat treatable alloys*. *Heat treatable alloys* adalah paduan aluminium yang dapat diperkeras dengan penuaan (*aging*). Sementara *non-heat treatable alloys* tidak dapat diperkuat dengan penuaan melainkan dengan penguatan larutan-padat (*solid solution strengthening*), pengerasan butir (*strain hardening*), atau pengerasan dispersi (*dispersion strengthening*).

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 dapat dilihat dalam Tabel 2.2 . (Hatch, 1984).

a. Grade aluminium Seri 1xxx

Grade dari aluminium ini (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350 dan lain-lain) ditandai dengan ketahanan korosi yang sangat baik, konduktivitas termal dan elektrik yang tinggi, sifat mekanik yang rendah, dan kemampuan kerja yang sangat baik. *Grade* aluminium ini memiliki kandungan Besi dan silikon yang besar.

b. Grade aluminium Seri 2xxx

Paduan aluminium ini (2011, 2014, 2017, 2018, 2124, 2219, 2319, 201,0; 203,0; 206,0; 224,0; 242,0 dll) memerlukan *solution heat treatment* untuk mendapatkan sifat yang optimal, didalam kondisi *solution heat treatment* , sifat mekanik yang mirip dengan baja karbon rendah dan kadang-kadang melebihi sifat mekanik baja karbon rendah. Dalam beberapa contoh, proses perlakuan panas (aging) digunakan untuk lebih meningkatkan sifat mekanik. Paduan aluminium dalam seri 2xxx tidak memiliki ketahanan korosi yang baik ketimbang kebanyakan paduan aluminium lainnya, dan dalam kondisi tertentu paduan ini mungkin akan terjadi korosi pada antar butir. *Grade* aluminium dalam seri 2xxx ini baik untuk bagian yang membutuhkan kekuatan yang bagus yaitu pada suhu sampai 150°C (300°F). Kecuali untuk kelas 2219, paduan aluminium ini sudah memiliki mampu las tetapi masih terbatas. beberapa paduan dalam seri ini memiliki kemampuan mesin yang baik (Surdia & Saito, 2000)

c. Grade aluminium Seri 3xxx

Paduan aluminium ini (3003, 3004, 3105, 383,0; 385,0; A360; 390,0) umumnya memiliki ketidakmampuan panas tetapi memiliki kekuatan sekitar 20% lebih dari paduan aluminium seri 1xxx karena hanya memiliki presentase mangan yang sedikit (sampai sekitar 1,5%) yang dapat ditambahkan ke aluminium. Mangan digunakan sebagai elemen utama dalam beberapa paduan

d. Grade aluminium Seri 4xxx

Unsur paduan utama dalam paduan seri 4xxx (4032, 4043, 4145, 4643 dll) adalah silikon, yang dapat ditambahkan dalam jumlah yang cukup

(hingga 12%) menyebabkan substansial menurunkan rentang lebur. Untuk alasan ini, paduan aluminium-silikon yang digunakan dalam kawat las dan sebagai paduan untuk menyolder digunakan untuk menggabungkan aluminium, di mana titik lebur lebih rendah dari logam dasar yang digunakan.

e. *Grade aluminium Series 5xxx*

Unsur paduan utama *grade* aluminium ini adalah magnesium, bila digunakan sebagai elemen paduan utama atau digabungkan dengan mangan, hasilnya adalah paduan yang memiliki kekerasan sedang hingga kekuatan yang tinggi. Magnesium jauh lebih efektif daripada mangan sebagai penguat - sekitar 0,8% Mg sama dengan 1,25% Mn dan dapat ditambahkan dalam jumlah yang jauh lebih tinggi. Paduan aluminium dalam seri ini (5005, 5052, 5083, 5086, dll) memiliki karakteristik pengelasan yang baik dan ketahanan yang relatif baik terhadap korosi dalam atmosfer laut. Namun, pada pekerjaan dingin harus dilakukan pembatasan dan suhu operasi (150°) diperbolehkan untuk paduan aluminium yang memiliki magnesium tinggi untuk menghindari kerentanan terhadap korosi retak.

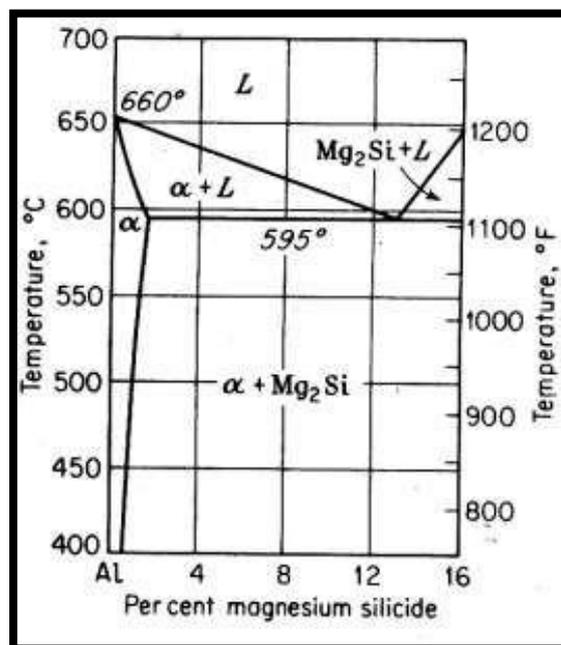
f. *Grade aluminium Seri 6xxx*

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.

Magnesium dan silica menjadi unsur paduan yang sangat penting bagi paduan aluminium seri 6061 karena magnesium dan silica akan membentuk karbida Mg_2Si yang menyebabkan paduan seri 6061 ini bisa diberikan perlakuan panas untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Hal ini disebabkan karena senyawa Mg_2Si berkelakuan panas sebagai komponen murni dan membuat keseimbangan dari sistem biner semu dengan. Gambar 2.4 menunjukkan fasa paduan Al- Mg_2Si . Penambahan dari unsur paduan Mg dan Si dibatasi 0,03% - 0,1% untuk menghindari agar paduan ini tidak menjadi getas (Sugianto, 2016).



Gambar 2.4 Diagram fasa paduan Al- Mg_2Si (Sugianto, 2016)

Pada diagram terlihat bahwa kelarutan Mg_2Si semakin menurun terhadap larutan padat Al dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih

rendah. Kelarutan Mg₂Si dalam Aluminium/fasa α terjadi sampai 16% pada 5950 C. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur 5950 C dengan komposisi 13% Mg₂Si dan 87% Al. Beberapa sifat yang dimiliki paduan Al-Mg-Si seri 6061 ditunjukkan dalam tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si seri 6061

Paduan	Keadaan	Kekuatan tarik (kgf/mm ²)	Kekuatan mulur (kgf/mm ²)	Perpanjangan (%)	Kekuatan geser (kgf/mm ²)	Kekerasan brinell	Batas leleh (kgf/mm ²)
6061	O	12,6	5,6	30	8,4	30	6,3
	T4	24,6	14,8	28	16,9	65	9,5
	T6	31,6	28,0	15	21,0	95	9,5

(Sumber : Sugianto, 2016)

g. Grade aluminium Seri 7xxx

Aluminium tipe ini merupakan jenis terkuat dengan komposisi utama yaitu 5,6 (Zn) dan 6.1% (Mn) 2,2 - 2,5%, Tembaga (Cu) 1,2 - 1,6%, dan kurang dari 1,5% Silikon (Si), Besi (Fe), Magnesium (Mg), Titanium (Ti), Chromium (Cr) dan logam lainnya. Aluminium seri 7000 adalah material terkuat dalam paduan aluminium. Paduan aluminium 7075 memiliki reaksi mekanik dan anodik yang baik. Keunggulan aluminium 7075 antara lain memiliki daya pantul yang baik dari cahaya serta panas dengan berat yang ringan sehingga cocok untuk reflektor. Aluminium 7075 dapat dibentuk dalam kondisi panas dengan rentang suhu 94 – 122OC (200 hingga 250OF). Aluminium seri ini memiliki nilai kuat tarik yang lebih besar dari pada aluminium murninya. Setiap material memiliki masing – masing sifat khas. Salah satu sifat dari material tersebut adalah sifat mekanik. Sifat mekanik terdiri dari kekuatan, kekerasan, regangan, keelastisan, dll. Dalam penelitian ini lebih di arahkan pada sifat mekanik kekuatan, regangan, dan keelastisan dari bahan.

Zinc jumlah dari 1% sampai 8%) merupakan unsur paduan utama dalam paduan aluminium seri 7xxx (7075, 7050, 7049, 710,0; 711,0 dll) dan ketika digabungkan dengan persentase magnesium yang lebih kecil didalam

perlakuan panas yang cukup maka paduan ini akan memiliki kekuatan yang sangat tinggi. Biasanya unsur-unsur lain, seperti tembaga dan kromium, juga ditambahkan dalam jumlah kecil. Paduan seri 7xxx digunakan dalam struktur badan pesawat, peralatan besar yang bergerak dan bagian lainnya memiliki tekanan yang sangat tinggi (Subagyo, 2017).

Penelitian ini berfokus pada penggunaan aluminium Paduan 7075 sebagai substrate. Chen dkk., (2014) melakukan penelitian pengujian tarik untuk mengetahui sifat dari aluminium 7075 yang mempunyai sifat kekuatan yang tinggi, banyak digunakan pada bahan bangunan dan bahan kedirgantaraan seperti sayap dan badan pesawat (Chen dkk., 2014). Al-Zn-Mg-Cu merupakan suatu paduan yang memiliki kekuatan tinggi, kepadatan rendah, sifat mekanik yang baik (Fang dkk., 2015).

Paduan aluminium 7075 merupakan paduan yang terdiri dari unsur Al, Zn, Mg, Cu dan unsur unsur lain seperti yang terlihat pada tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Unsur-unsur pada AA7075

Component	Wt, %
Al	87,1-91-4
Cr	0,18 – 1,28
Cu	1,2 – 2
Fe	Max 0,5
Mg	2,1 – 2,9
Mn	Max 0,3
Si	Max 0,4
Ti	Max 0,2
Zn	5,1 – 6,1
Other, each	Max 0,05
Other, Total	Max 0,15

(Sumber: Permadani, 2018)

II.2.2 Pengaplikasian Aluminium

Aluminium adalah logam non-besi yang paling banyak digunakan di seluruh dunia. Produksi global dunia pada tahun 2005 mencapai 31,9 juta

ton, melebihi produksi semua logam non-besi lainnya (Hetherington dkk., 2007). Ada beberapa kegunaan umum dari aluminium yaitu sebagai berikut:

- a. Aluminium 7075 memiliki rasio kekuatan terhadap massa yang paling tinggi, sehingga banyak digunakan sebagai bahan pembuat pesawat dan roket. Aluminium juga dapat menjadi reflektor yang baik; lapisan aluminium murni dapat memantulkan 92% cahaya.
- b. Rangka sepeda. Umumnya rangka sepeda terbuat dari baja, kromo, titanium, serat karbon, ataupun Aluminium Alloy. Untuk Aluminium Alloy, biasa digunakan Aluminium Alloy kelas 6XXX atau 7XXX. Penggunaan Alloy 6061 pada sepeda akan mewujudkan sepeda dengan bobot yang ringan, lentur, ulet, dan tahan terhadap korosi.
- c. Aluminium alloy digunakan pada bodi gerbong Kereta Rel Listrik (KRL) Tokyo Metro Seri 6000.



Gambar 2.5 KRL Tokyo Metro Seri 6000

- d. Pada kereta api terdapat *Rigid Overhead Conductor*, mempunyai kawat kontak yang ditopang pada sebuah batangan kaku yang disebut “*rigid bar*“, dan bukan oleh sebuah kawat penggantung. *Rigid bar* ini umumnya terbuat dari *aluminium alloy* 6063 dengan tinggi 110 mm dan luas permukaan 2.220 mm persegi.
- e. Paduan aluminium-magnesium-silikon (Al 6061) umumnya digunakan sebagai bahan pembuat badan kapal. Paduan lainnya akan mudah

mengalami korosi ketika berhadapan dengan larutan alkali seperti air laut.

- f. Paduan aluminium-tembaga-lithium digunakan sebagai bahan pembuat tangki bahan bakar pada pesawat ulang-alik milik NASA.
- g. Uang logam juga terbuat dari aluminium yang diperkeras. Hingga saat ini, sulit dicari apa bahan paduan uang pembuat uang logam berwarna putih keperakan ini, kemungkinan dirahasiakan untuk mencegah pemalsuan uang logam.
- h. Velg mobil juga menggunakan bahan aluminium yang dipadu dengan magnesium, silicon, atau keduanya, dan dibuat dengan cara ekstrusi atau dicor.
- i. Beberapa jenis roda gigi menggunakan paduan Al-Cu. Penggunaan paduan Cu untuk mendapatkan tingkat kekerasan yang cukup dan memperpanjang usia benda akibat fatigue.
- j. Sektor pembangunan perumahan; untuk kusen pintu dan jendela.
- k. Sektor industri makanan, untuk kemasan berbagai jenis produk.
- l. Sektor lain, misal untuk kabel listrik, perabotan rumah tangga dan barang kerajinan.
- m. Membuat termit, yaitu campuran serbuk aluminium dengan serbuk besi (III) oksida, digunakan untuk mengelas baja ditempat, misalnya untuk menyambung rel kereta api.
- n. Pembuatan Aluminium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) digunakan untuk industri kertas dan karton, pewarna pada industri tekstil, dan pemadam kebakaran jenis busa. (bila dicampur dengan $NaHCO_3$ dan zat pengemulsi).

II.2.3 Uji Mekanik (*Mechanical Test*)

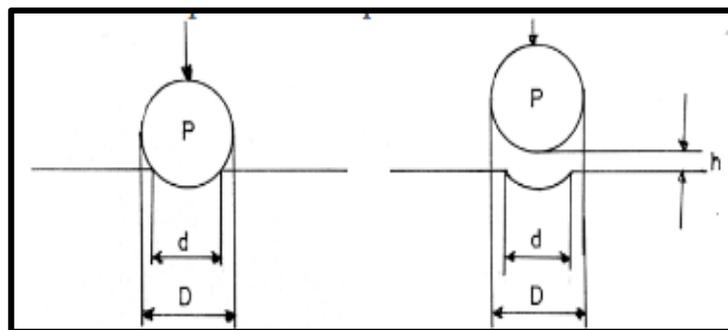
1. Pengujian Kekerasan atau *Hardness Test*

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 indentor. 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 *Rockwel*.

a. Metode *Brinell*

Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan indentor yang berbentuk bola dengan beban dan waktu tertentu, seperti terlihat pada Gambar 2.6. Harga kekerasan diperoleh dari persamaan berikut ini:



Gambar 2.6 Geometri Indentor *Brinell* (Asruddin, 2019)

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

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 indentor akan diikuti dengan perubahan beban akan didapatkan H_b yang sama.

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

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 2.6. Harga kekerasan *Vickers* diperoleh dengan rumus:

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

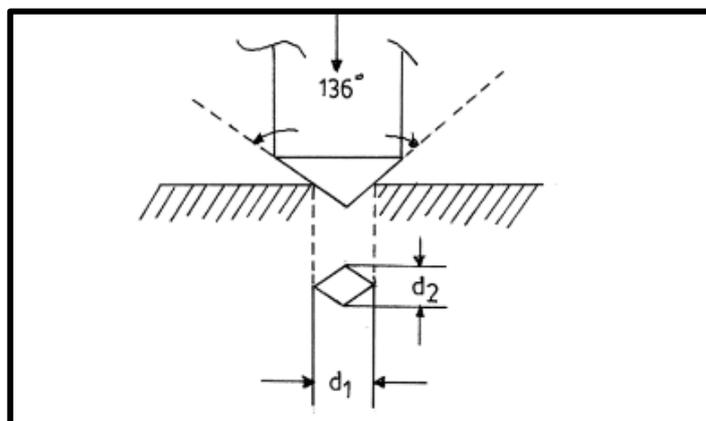
dengan:

P = Beban yang diberikan (kg),

L = Diagonal rata-rata (mm) = (d1+d2)/2,

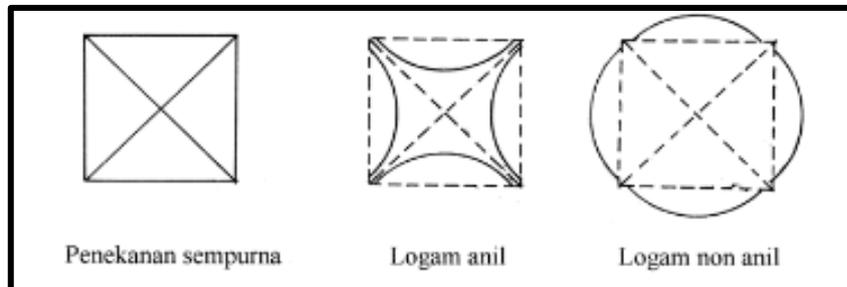
O = Sudut puncak 136.

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 2.7 Geometri Indentor Vickers (Asruddin, 2019)

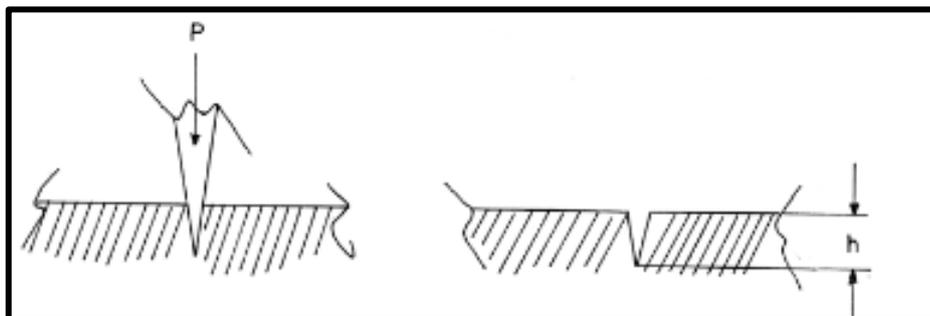
Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mikroskop, seperti dalam Gambar 2.8



Gambar 2.8 Jejak Hasil Penekanan Identor (Asruddin, 2019)

c. Metode Rockwell

Pada metode ini digunakan identor intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 2.9. Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “h” dari permukaan. Jarak “h” menentukan kekerasan dari logam uji.



Gambar 2.9 Identor Rockwell (Asruddin, 2019)

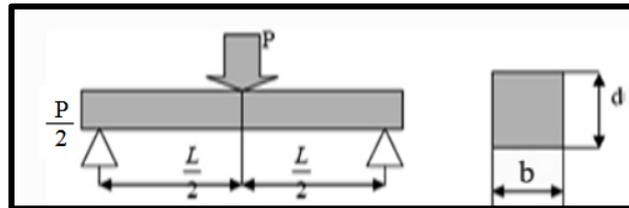
Harga kekerasan diperoleh dari pembacaan langsung pada skala alat pengujian *Rockwell* antara lain:

1. Metode *Rockwell C* (HRC), menggunakan identor 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 identor sama dengan *Rockwell C* dan beban yang sama pula 150 kg. pengujian untuk material $h < (0,4-6)$ mm.

3. Metode *Rockwell B* (HRB), Menggunakan indentor baja bentuk bola dengan diameter 1116” dan beban 100 kg dipakai untuk material *unhardened steel* dan *non ferrous*.

2 Uji *bending* (Tekuk)

Material komposit mempunyai sifat tekan lebih baik dibanding tarik, pada perlakuan uji bending spesimen, bagian atas spesimen terjadi proses tekan dan bagian bawah terjadi proses tarik sehingga kegagalan yang terjadi akibat uji bending yaitu mengalami patah bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik. Dimensi balok dapat kita lihat pada gambar 2.10 berikut ini: (Standart ASTM D 790-02)



Gambar 2.10 Penampang Uji Bending (Standart ASTM D 790-20)

Momen yang terjadi pada komposit dapat dihitung dengan persamaan:

$$M = \frac{p}{2} \cdot \frac{L}{2} \dots \dots \dots (4)$$

Menentukan kekuatan bending menggunakan:

$$\sigma_b = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2} \dots \dots \dots (5)$$

Sedangkan untuk menentukan modulus elastisitas bending menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Eb = \frac{L^2 \cdot P}{4 \cdot b \cdot d^2 \delta} \dots \dots \dots (6)$$

dimana:

- σ_b = kekuatan bending (MPa)
- P = beban yang diberikan(N)
- L = jarak antara titik tumpuan (mm)
- B = lebar spesimen (mm)
- d =tebal spesimen (mm)

δ = defleksi (mm)

E_b = modulus elastisitas (MPa)

3. 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.