

SKRIPSI

**PENGARUH *TRAVEL SPEED* TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061  
HASIL *FRICTION SURFACING* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-  
MILLING* TIPE LC-40 A**



Oleh:

**ADITYA RIZKI KARAMBE BULO'**

**D21116302**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

SKRIPSI

**PENGARUH *TRAVEL SPEED* TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061  
HASIL *FRICTION SURFACING* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-  
MILLING* TIPE LC-40 A**

Oleh:

**ADITYA RIZKI KARAMBE BULO'  
D21116302**

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin  
pada 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 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

**JUDUL :**

**PENGARUH *TRAVEL SPEED* TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061  
HASIL *FRICTION SURFACING* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-  
MILLING* TIPE LC-40 A**

**ADITYA RIZKI KARAMBE BULO'**

**D211 16 302**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Hari / tanggal : Selasa, 6 April 2021

Dosen Pembimbing I



Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT.

NIP. 19740415 199903 1 001

Dosen Pembimbing II

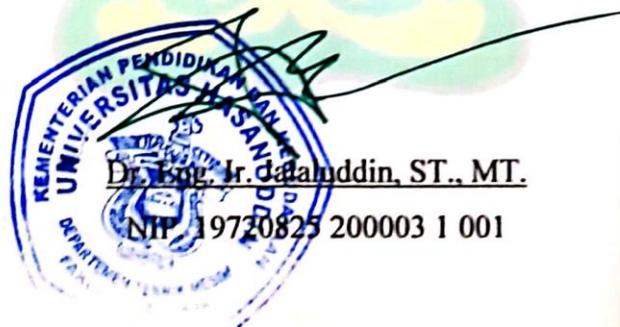


Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.

NIP. 19750322 200212 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : Aditya Rizki Karambe Bulo'  
NIM : D211 16 302  
JUDUL SKRIPSI : Pengaruh *Travel Speed* Terhadap Lapisan Aluminium  
6061 Hasil *Friction Surfacing* Menggunakan Mesin  
Drilling-Milling Tipe LC-40 A

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Gowa, 06 / 04 / 2021

Yang membuat pernyataan,



Aditya Rizki Karambe Bulo'

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“PENGARUH *TRAVEL SPEED* TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061 HASIL *FRICTION SURFACING* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40 A”** yang mana merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) bagi mahasiswa program S-1 di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta ayahanda Samuel Bulo' dan ibunda Asmawati Karambe Pakolo' juga kepada saudara(i) Adityo Aksel Karambe Bulo' dan Adinta Rara Karambe Bulo' yang selalu mendukung baik dengan materil juga dengan doa dan semangat.
2. Bapak Dr.Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membantu baik dalam penulisan maupun pemikiran pada skripsi ini.
3. Bapak Dr.Eng Jalaluddin, ST.,MT dan kepada Bapak Dr Muhammad Syahid, ST.,MT selaku Ketua Departemen dan Sekertaris Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta staff dalam membantu administrasi dalam pengurusan tugas akhir ini.
4. Yth. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membimbing dan membagikan ilmu kepada penulis.
5. Pak Edi Iskandar Sebagai Laboran di Laboratorium Metalurgi Fisik yang membantu penulis dalam pengambilan data penelitian.
6. Teman-teman Teknik Mesin 2016 (COMPRESSOR 16) yang telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
7. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah banyak membantu dan mendukung dalam penelitian ini

8. Gaffar dan Muchlis yang membantu dalam pengambilan data dan pengerjaan skripsi Penulis.
9. Teman-teman KONTRAKAN 09 yang selalu memberikan dukungan pada pengerjaan penelitian ini.
10. Erlis Estri Lestari yang selalu memberi dukungan dan doa di dalam penyelesaian skripsi penulis.
11. Teman saya Revansi Junarto yang selalu membantu saya di saat pengerjaan dan setiap seminar saya.
12. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir 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.

Gowa, 6 April 2021

Penulis

## ABSTRAK

Pada Rel ketiga kereta api biasanya digunakan material aluminium dan dilapisi dengan stainless steel. Penelitian kali ini digunakan material Aluminium 6061 sebagai bahan pelapis dan Aluminium 7075 sebagai bahan yang akan dilapisi. Untuk melapisi aluminium ini digunakan metode *friction surfacing* yang didalamnya digunakan 3 variasi kecepatan hantaran meja yaitu 6 cm/menit, 7 cm/menit dan 8 cm/menit dengan beban 40 kg serta diameter (bahan pelapis) 12 mm. Hasil dari proses *friction surfacing* dibentuk sesuai dengan dimensi standar pengujian yang dilakukan dengan dua metode yaitu pengujian kekerasan dan pengujian tekuk serta dilakukan pengamatan distribusi panas. Pada pengujian kekerasan, nilai terbesar didapatkan pada hantaran meja 8 cm/menit sedangkan pada hantaran meja 6 cm/menit mendapatkan nilai kekerasan yang terkecil. Pada pengujian tekuk bertolak belakang dengan pengujian kekerasan dimana didapatkan kekuatan tekuk tertinggi pada hantaran meja 6 cm/menit sedangkan untuk hantaran meja 8 cm/menit tidak dapat dilakuakn pengujian tekuk dikarenakan hantaran yang terlalu cepat mengakibatkan temperatur yang tidak mencapai 200<sup>0</sup>C dan membentuk lapisan yang terputus-putus. Untuk distribusi panas yang paling baik berada pada hantaran meja 7 cm/menit dengan temperatur 190<sup>0</sup>C hingga 210<sup>0</sup>C.

Kata Kunci: *Friction Surfacing*, Rel Ketiga kereta api, Aluminium, distribusi panas

## **ABSTRACT**

On the third rail, aluminum material is usually used and coated with stainless steel. This research uses Aluminum 6061 as the coating material and Aluminum 7075 as the material to be coated. To coat this aluminum, a friction surfacing method is used in which 3 variations of the conveying speed of the table are used, namely 6 cm/minute, 7 cm/minute and 8 cm/minute with a load of 40 kg and a diameter (coating material) of 12 mm. The results of the friction surfacing process are formed in accordance with the dimensions of the test standards carried out by two methods, namely hardness testing and bending testing and then heat distribution observations. In the hardness test, the greatest value was obtained at the table conduction 8 cm/minute, while the table conduction 6 cm/minute obtained the smallest hardness value. In the bending test it is contrary to the hardness test where the highest bending strength is obtained at 6 cm/minute table conduction while for 8 cm/minute table conduction the bending test cannot be done because the conduction is too fast resulting in temperatures not reaching 200<sup>0</sup>C and forming a broken layer. For the best heat distribution is at a table conduction of 7 cm / minute with a temperature of 190<sup>0</sup>C to 210<sup>0</sup>C.

Keywords: Friction Surfacing, Third Railroad, Aluminum, heat distribution

## DAFTAR ISI

<b>LEMBARAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBARAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI'</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Aluminium .....	7
2.1.1 Aluminium 6061 .....	11
2.1.2 Aluminium 7075 .....	13
2.1.3 Pengaplikasian Aluminium pada Kereta Api .....	15
2.2 Friction Surfacing .....	16
2.2.1 Prinsip Kerja Friction Surfacing (FS) .....	16
2.2.2 Parameter pada Friction surfacing.....	17
2.2.3 Hasil Lapisan Friction Surfacing.....	18
2.3 Pengujian sifat mekanik .....	21
2.3.1 Pengujian Kekerasan atau Hardness Test.....	21
2.3.2 Uji bending (tekuk) .....	24
2.4 Pengamatan Struktur Mikro .....	25
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>27</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	27
3.2 Alat dan Bahan.....	27

3.3	Diagram Alir Penelitian .....	31
3.4	Prosedur Penelitian .....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>35</b>
4.1	Data Hasil Penelitian.....	35
4.2	Volume Rod, Bentuk Ukuran dan Lapisan yang Terbentuk.....	36
4.2.1	Volume Rod .....	36
4.2.2	Bentuk dan Ukuran Lapisan.....	37
4.3	Distribusi Panas .....	43
4.4	Uji Bending.....	48
4.5	Uji Kekerasan.....	51
4.6	Pengamatan Struktur Mikro .....	56
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>59</b>
5.1	Kesimpulan .....	59
5.2	Saran .....	60
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>63</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Kereta Light Rail Transit (LRT) (Ameidyo Daud, 2018).....	16
<b>Gambar 2.2</b> Proses friction surfacing .....	17
<b>Gambar 2.3</b> Struktur Micro .....	17
<b>Gambar 2.4</b> Geometri Indentor Brinell.....	21
<b>Gambar 2.5</b> Geometri Indentor Vickers .....	23
<b>Gambar 2.6</b> Jejak Hasil Penekanan Indentor.....	23
<b>Gambar 2.7</b> Indentor Rockwell .....	23
<b>Gambar 2.8</b> Penampang Uji Bending (Standart ASTM D 790-20).....	24
<b>Gambar 2.9</b> (a) penampang batas butir, (b) foto mikro permukaan spesimen. ....	26
<b>Gambar 3.1</b> Thermogun.....	27
<b>Gambar 3.2</b> Jangka Sorong.....	27
<b>Gambar 3.3</b> timbangan miligram.....	28
<b>Gambar 3.4</b> sarung tangan .....	28
<b>Gambar 3.5</b> alat uji kekerasan .....	28
<b>Gambar 3.6</b> Drilling Milling.....	29
<b>Gambar 3.7</b> Alat Uji Bending.....	29
<b>Gambar 3.8</b> Alat Uji Bending.....	29
<b>Gambar 3.9</b> Mesin Gergaji Potong .....	30
<b>Gambar 3.10</b> Aluminium 6061 silinder.....	30
<b>Gambar 3.11</b> plat aluminium 7075 .....	30
<b>Gambar 3.12</b> flow chart penelitian .....	31
<b>Gambar 3.13</b> Plat .....	32
<b>Gambar 3.14</b> Main display screen .....	34
<b>Gambar 4.1</b> Proses friction surfacing .....	35
<b>Gambar 4.2</b> Rod sebelum friction surfacing.....	36

<b>Gambar 4.3</b> Rod setelah friction surfacing .....	37
<b>Gambar 4.4</b> Lapisan hasil friction surfacing a. Travel Speed 6 cm/menit, b.Travel speed 7 cm/menit dan c. Travel Speed 8 cm/menit.....	38
<b>Gambar 4.5</b> Bentuk lapisan hasil friction surfacing a. Tampak samping b. Tampak depan .....	38
<b>Gambar 4.6</b> Perbandingan antara ketebalan minimum dan maksimum hasil friction surfacing terhadap variasi Travel Speed dengan diameter rod 12 cm.....	39
<b>Gambar 4.7</b> Perbandingan Tebal hasil friction surfacing terhadap panjang lapisan setiap 1 cm .....	40
<b>Gambar 4. 8</b> Perbandingan lebar minimum dan maksimum lapisan terhadap variasi Travel Speed hasil proses friction surfacing diameter rod 12 cm. ....	41
<b>Gambar 4.9</b> Perbandingan lebar lapisan hasil friction surfacing terhadap panjang lapisan setiap 1 cm .....	42
<b>Gambar 4.10</b> Rod yang terbentuk Flash .....	43
<b>Gambar 4.11</b> Distribusi panas Antara Rod dan Substrate .....	43
<b>Gambar 4.12</b> Distribusi panas Travel speed 6 cm/menit (a) distribusi panas sebelum penghantaran meja, (b) distribusi panas setelah 15 detik penghantaran meja, (c) distribusi panas setelah 30 detik penghantaran meja, (d) distribusi panas setelah 45 detik penghantaran meja, (e) distribusi panas setelah 60 detik penghantaran meja, (f) lapisan hasil friction surfacing.....	44
<b>Gambar 4.13</b> Distribusi panas Travel speed 7 cm/menit (a) distribusi panas sebelum penghantaran meja, (b) distribusi panas setelah 15 detik penghantaran meja, (c) distribusi panas setelah 30 detik penghantaran meja, (d) distribusi panas setelah 45 detik penghantaran meja, (e) distribusi panas setelah 60 detik penghantaran meja, (f) lapisan hasil friction surfacing.....	45
<b>Gambar 4.14</b> Distribusi panas Travel speed 8 cm/menit (a) distribusi panas sebelum penghantaran meja, (b) distribusi panas setelah 15 detik penghantaran meja, (c) distribusi panas setelah 30 detik penghantaran meja, (d) distribusi panas setelah 45 detik penghantaran meja, (e) distribusi panas setelah 60 detik penghantaran meja, (f) lapisan hasil friction surfacing.....	46

<b>Gambar 4.15</b> Nilai rata-rata kekuatan bending hasil friction surfacing dan kekuatan bending substrate terhadap variasi Travel speed .....	48
<b>Gambar 4.16</b> Pengujian bending (a) Sebelum bending (b) setelah bending .....	50
<b>Gambar 4.17</b> Proses uji bending (a) Awal uji bending, (b) proses uji bending setelah 3 menit, (c) Gambar lapisan slip setelah 3 menit, (d) proses uji bending setelah 6 menit, (e) Gambar lapisan slip setelah 6 menit, (f) hasil uji bending .....	50
<b>Gambar 4.18</b> Spesimen hasil uji kekerasan (a) Spesimen sebelum dibentuk (b) pemotongan spesimen sesuai standar pengujian kekerasan (c) bentuk spesimen sebelum pengujian (d) bentuk spesimen setelah pengujian kekerasan .....	51
<b>Gambar 4.19</b> Nilai kekerasan vickers lapisan dan rod terhadap variasi travel speed.....	52
<b>Gambar 4.21</b> Nilai kekerasan vickers substrate sebelum dan setelah friction surfacing terhadap variasi travel speed .....	54
<b>Gambar 4.22</b> Titik ordinat hasil uji Kekerasan Vickers .....	54
<b>Gambar 4.23</b> Ordinat terhadap Kekerasan Vickers setelah friction surfacing .....	55
<b>Gambar 4.24</b> Struktur mikro hasil friction surfacing Travel speed 6 cm/menit...	57
<b>Gambar 4.25</b> Struktur mikro hasil friction surfacing pada Travel speed 7 cm/menit.....	57
<b>Gambar 4.26</b> Struktur mikro hasil friction surfacing pada Travel speed 8 cm/menit.....	58

## DAFTAR TABEL

<b>Table 2.1</b> Urutan Penggunaan Berbagai Jenis Pada Logam (Sonawan, 2003). .....	7
<b>Table 2.2</b> Seri paduan aluminium tempa (Anonim, 2016) .....	10
<b>Table 2.3</b> Seri paduan aluminium cor (Anonim, 2016).....	10
<b>Table 2.4</b> Komposisi kimia aluminium ADC12-JIS .....	11
<b>Table 2.5</b> Komposisi kimia aluminium 6061 (Mirnawati Dewi, 2016). .....	13
<b>Table 2.6</b> Komposisi kimia aluminium 7075 (Permadani, 2018) .....	14
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan Travel Speed terhadap massa, panjang dan volume rod sebelum dan sesudah friction surfacing .....	36
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Travel Speed terhadap perubahan massa, perubahan panjang dan perubahan Volume rod sebelum dan sesudah friction surfacing .....	36
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Tebal minimum dan maksimum hasil friction surfacing.....	38
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Tebal hasil friction surfacing setiap 1 cm.....	40
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Lebar minimum dan maksimum lapisan hasil friction surfacing .....	41
<b>Tabel 4.6</b> Perbandingan Travel Speed terhadap lebar lapisan hasil friction surfacing setiap 1 cm.....	42
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Kekuatan bending Hasil Friction surfacing.....	48
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Kekuatan bending Substrate Al-7075.....	48
<b>Tabel 4.9</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Panjang Lapisan sebelum dan setelah di bending.....	50
<b>Tabel 4.10</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Kekerasan Vickers Lapisan .....	52
<b>Tabel 4.11</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Kekerasan Vickers Rod .....	52
<b>Tabel 4.12</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Kekerasan Vickers substrate setelah friction surfacing .....	53

<b>Tabel 4.13</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Kekerasan Vickers substrate sebelum friction surfacing.....	53
<b>Tabel 4.14</b> Perbandingan Travel Speed terhadap Kekerasan Vickers setelah friction surfacing .....	55

## NOMENKLATUR

<b>Simbol</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Satuan</b>
D	Diameter bola penekanan	mm
d	Diameter Jejak	mm
L	Diagonal rata-rata	mm
$m_0$	Massa Awal	gr
$m_1$	Massa Akhir	gr
O	Sudut Puncak	0
P	Beban bola penekanan yang diberikan	Kgf
$p_0$	Panjang Awal	cm
$p_1$	Panjang Akhkir	cm
TS	Travel Speed	cm/menit
v	Kecepatan	cm/menit
$V_0$	Volume Awal	$\text{cm}^3$
$V_1$	Volume Akhir	$\text{cm}^3$

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam dunia industri penggunaan material aluminium sudah sangat familiar terdengar dalam pembuatan komposit logam, hal ini dikarenakan aluminium memiliki massa yang ringan serta memiliki kelebihan dalam kekuatan, ketahanan aus, kekakuan, dan stabilitas dimensi yang baik (Rochmad Eko Prasetyaning Utomo, 2016).

Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis  $2.7 \text{ gram/cm}^3$ . Konduktivitas listriknya 60 % lebih dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas dan sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dan lain-lain (Yudi dkk., 2008).

Aluminium juga 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. Namun sejak Al 6061 menjadi semakin luas aplikasinya dengan banyak keunggulan yang dimiliki seperti mampu bentuk baik, ketahanan korosi baik, mampu las baik, dan harga yang murah, Al 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. Dalam rangka mencapai sifat mekanik maksimum, dibutuhkan prosedur perlakuan panas yang cocok. Salah satu metode yang efektif adalah dengan proses Perlakuan panas atau heat treatment.

*Friction surfacing* (FS) adalah sebuah proses membuat lapisan pada keadaan yang padat dengan cara pendeformasian batang logam ke dalam bentuk setipis dan sehalus mungkin. Ada beberapa parameter dari *friction surfacing* yang mempengaruhi hasil dan karakteristik lapisan yaitu tekanan (*axial force*), kecepatan rotasi (*rotational speed*) dan kecepatan gesekan (*traverse speed*). Hubungan antara kecepatan pelapisan dan input panas selama proses pelapisan 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. Salah satu yang menyebabkan hal itu adalah belum adanya proses atau metode untuk meningkatkan kualitas dan kesensitifan pada proses parameter-parameter yang ada (Voutchkov, 2001). Untuk mengatasi hal itu maka pengoptimalan parameter menjadi salah satu solusinya.

Penelitian tentang aluminium sebagai bahan pelapis (*coating*) telah dilakukan oleh Asruddin dengan variasi *Rod Feed Rate* dan Nurhudaedah dengan variasi *travel speed* dan menggunakan CNT sebagai material kompositnya pada tahun 2019 yang telah membuktikan bahwa hasil dari uji untuk melapisi logam ini memiliki sifat kekerasan yang baik serta memiliki nilai spesifikasi keausan yang meningkat. Akan tetapi penelitian tersebut hanya berfokus pada penggunaan logam baja sebagai substrat yang akan dilapisi serta hasil pengujian ini yaitu tebal dan lebar dari daerah bahan pelapis (*coating*) tidak seragam meskipun pada nilai *travel speed* yang sama dan daya rekatnya juga kurang bagus pada daerah pelapis yang tebal serta tidak menunjukkan berapa beban yang diberikan rod terhadap substrat karena hanya menunjukkan kecepatan jatuhnya rod saja.

Penelitian tersebut membuat kami tertarik untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai Aluminium yang akan dipakai sebagai bahan pelapis (*coating*) pada Plat Aluminium 7075 yang berbeda dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode *friction surfacing* kemudian menguji kekerasan dan kekuatan tekuk dengan alat uji Hardness dan alat uji Bending. Kami juga melakukan perubahan pada mesin *Drilling-Milling Tipe Lc-40 A* yaitu pada *Rod Feed Rate* yang digantikan dengan pembebanan yang konstan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis menuangkannya dalam bentuk tugas akhir dengan judul **“PENGARUH TRAVEL SPEED TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061 HASIL FRICTION SURFACING MENGGUNAKAN MESIN DRILLING-MILLING TIPE LC-40 A”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah, yaitu

1. Bagaimana nilai kekerasan spesimen yang dilapisi Aluminium 6061 dengan variasi *Travel Speed* menggunakan metode *friction surfacing* pada *Substrate* Aluminium 7075?
2. Bagaimana kekuatan tekuk spesimen yang dilapisi Aluminium 6061 dengan variasi *Travel Speed* menggunakan metode *friction surfacing* pada *Substrate* Aluminium 7075?
3. Bagaimana penyebaran panas pada Aluminium 6061 dengan variasi *Travel Speed* menggunakan metode *friction surfacing* pada *substrate* Aluminium 7075?
4. Bagaimana struktur mikro spesimen dengan variasi *Travel Speed* menggunakan metode *friction surfacing*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai peneliti adalah

1. Mengetahui nilai kekerasan spesimen yang dilapisi Aluminium 6061 dengan variasi *Travel Speed* menggunakan metode *friction surfacing* pada *Substrate* Aluminium 7075
2. Mengetahui kekuatan tekuk spesimen yang dilapisi Aluminium 6061 dengan variasi *Travel Speed* menggunakan metode *friction surfacing* pada *Substrate* Aluminium 7075
3. Mengetahui penyebaran panas pada Aluminium 6061 dengan variasi *Travel Speed* menggunakan metode *friction surfacing* pada *substrate* Aluminium 7075
4. Mengetahui struktur mikro spesimen dengan variasi *Travel Speed* menggunakan metode *friction surfacing*

## 1.4 Batasan Masalah

Agar dalam penulisan penelitian ini lebih terarah, maka penulis memberikan beberapa batasan masalah yaitu

1. Jenis spesimen yang digunakan sebagai bahan pelapis adalah Aluminium 6061.
2. Jenis spesimen yang digunakan sebagai bahan yang akan dilapisi adalah Aluminium 7075
3. Menjaga putaran (3000 rpm) dan tekanan (2kg) pada meja agar tetap konstan pada proses *friction surfacing*
4. Pada pengujian mekanik, terdapat 3 spesimen disetiap variasi laju *travel speed* (6 cm/menit, 7 cm/menit dan 8 cm/menit)
5. Mesin yang digunakan untuk proses ini yaitu *Drilling/Milling Machine* tipe LC-40 A.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Dapat mengetahui sifat mekanik material yang telah dilapisi Aluminium 6061 dengan metode *friction surfacing* dan menambah ilmu pengetahuan mengenai ilmu metalurgi.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi dunia kerja khususnya pengetahuan bahan, perlakuan panas, dan juga pengujian bahan.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

#### **BAB I : Pendahuluan**

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II : Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini berisikan tentang landasan teori dan tinjauan pustaka dari penelitian penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan tema penelitian dan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian.

#### **BAB III : Metode Penelitian**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode pengumpulan data, alat dan bahan yang digunakan, diagram alir penelitian serta langkah dan proses penelitian.

#### **BAB IV : Hasil dan Pembahasan**

Dalam bab ini berisikan tentang pembahasan dari hasil penelitian disertai dengan table dan grafik yang didapat selama melakukan pengambilan data.

#### **BAB V : Penutup**

Pada bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya dan lampiran.

## BAB II

### 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).

Pada tabel 2.1 Menunjukkan berbagai jenis unsur logam dan jumlah pada masing– masing unsur logam tersebut.

**Table 2.1** Urutan Penggunaan Berbagai Jenis Pada Logam (Sonawan, 2003).

Unsur logam	Jumlah (ton)
Fe	700.000
Al	18.000
Cu	85.000
Zn	6.000
Pb	4.500
Ni	600
Sn	250
Mg	250
Ti	40
Plastik	65.000

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 berkurangnya keuletan 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 ekskresinya 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.

Aluminium paduan mudah diproduksi dan cukup ekonomis. Aluminium daur ulang yang paling terkenal adalah penggunaan aluminium sebagai bahan pembuat pesawat terbang yang memanfaatkan sifat ringan dan kuatnya, resistan terhadap korosi akibat fenomena pasifasi, yaitu terbentuknya lapisan aluminium oksidasi ketika aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan aluminium oksidasi ini mencegah terjadi oksidasi lebih jauh. Aluminium paduan dengan tembaga kurang tahan terhadap korosi akibat reaksi Galvanik dengan paduan tembaga, beberapa penggunaan aluminium antara lain:

1. Sektor industri otomotif, untuk membuat bak truk dan komponen kendaraan bermotor.
2. Untuk membuat badan pesawat terbang.
3. Sektor pembangunan perumahan, untuk kusen pintu dan jendela.
4. Sektor industri makanan, untuk kemasan berbagai jenis produk.
5. Sektor lain, misal untuk kabel listrik, perabotan rumah tangga dan barang kerajinan.
6. Membuat termit, yaitu campuran serbuk aluminium dengan serbuk besi (III) oksida, digunakan untuk mengelas baja di tempat, misalnya untuk menyambung rel kereta api.

Aluminium merupakan logam *non-ferrous* yang paling banyak digunakan di dunia, dengan pemakaian tahunan sekitar 24 juta ton. Aluminium dengan densitas  $2.7 \text{ g/cm}^3$  sekitar sepertiga dari densitas baja ( $8.83 \text{ g/cm}^3$ ), tembaga ( $8.93 \text{ g/cm}^3$ ), atau kuningan ( $8.53 \text{ g/cm}^3$ ), mempunyai sifat yang unik, yaitu: ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi pada lingkungan luas termasuk udara, air (termasuk air garam), petrokimia, dan beberapa sistem kimia.

Pemakaian aluminium dalam dunia industri yang semakin tinggi, menyebabkan pengembangan sifat dan karakteristik aluminium terus menerus ditingkatkan. Aluminium dalam bentuk murni memiliki kekuatan yang rendah dan tidak cukup baik digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan deformasi dan patahan, maka dari itu perlu ditambahkan unsur lain untuk meningkatkan kekuatannya. Aluminium dalam bentuk paduan yang sering dikenal dengan istilah *aluminium alloy* merupakan jenis aluminium yang digunakan cukup besar saat ini.

Berdasarkan metode peleburannya, paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*wrought*) dan paduan cor (*casting*). Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuatlah sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasiannya. Salah satu penamaan paduan aluminium adalah dengan standar AA, seperti pada Tabel 1.

Pada aluminium tempa, seri 1xxx digunakan untuk aluminium murni. Digit kedua dari seri tersebut menunjukkan komposisi aluminium dengan limit pengotor alamiahnya, sedangkan dua digit terakhir menunjukkan persentase minimum dari aluminium tsb. Digit pertama pada seri 2xxx sampai 7xxx menunjukkan kelompok paduannya berdasarkan unsur yang memiliki persentase komposisi terbesar dalam paduan.

**Table 2.2** Seri paduan aluminium tempa (Anonim, 2016)

No. Seri	Komposisi Paduan
1xxx	99% minimum aluminium
2xxx	Tembaga
3xxx	Mangan
4xxx	Silikon
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium dan silicon
7xxx	Seng
8xxx	Unsur-unsur lain

Paduan aluminium cor penamaannya memakai sistem tiga digit diikuti dengan satu bilangan desimal. Tabel 2.3 menunjukkan seri paduan aluminium cor berdasarkan unsur paduannya.

**Table 2.3** Seri paduan aluminium cor (Anonim, 2016)

No. Seri	Komposisi Paduan
1xx.x	99% minimum aluminium
2xx.x	Tembaga
3xx.x	Silikon + Tembaga atau Magnesium
4xx.x	Silikon
5xx.x	Magnesium
6xx.x	Seri ini tidak digunakan
7xx.x	Seng
8xx.x	Timah putih
9xx.x	Unsur-unsur lain

Dalam standar AA, angka pertama menunjukkan kelompok paduan. Jadi, untuk paduan Si-Cu dinyatakan dengan angka 3xx.x, angka kedua dan ketiga menunjukkan kemurnian minimum untuk aluminium tanpa paduan dan sebagai nomor identifikasi untuk paduan tersebut, angka keempat menandakan bentuk produk (.0 = spesifikasi coran, .1 = spesifikasi ingot, .2 = spesifikasi

ingot yang lebih spesifik)

ADC12 merupakan paduan aluminium cor yang mengikuti tata nama JIS (*Japan Industrial Standart* ). Paduan aluminium ADC12 ini memiliki kesetaraan dengan paduan aluminium 384.0-F, paduan aluminium ini digunakan sebagai bahan untuk pembuatan piston pada kendaraan bermotor (Zulaina Sari Rahmawati, 2010).

Pada Tabel 2.4 diperlihatkan komposisi kimia aluminium ADC12-JIS. Dilihat dari komposisi kimianya, aluminium ADC 12.

**Table 2.4** Komposisi kimia aluminium ADC12-JIS

Si	Cu	Mg Max.	Zn Max.	Mn Max.	Fe Max.	Ni Max.	Sn Max.
9,6-12,0	1,5-3,5	0,3	1,0	0,5	0,9	0,5	0,2

Pelapisan aluminium merupakan suatu proses metalurgi yang banyak melibatkan proses kimia. Pada umumnya korosi yang terjadi pada aluminium diakibatkan oleh reaksi yang terjadi antara logam dengan oksigen. Jadi prinsip dari pelapisan ini adalah mencegah oksigen bereaksi dengan logam.

Macam-macam cara pelapisan aluminium dapat dikelompokkan menjadi:

- a) Pelapisan aluminium dengan logam lain secara listrik;
- b) Pelapisan aluminium dengan logam lain tanpa listrik;
- c) Pelapisan aluminium dengan bahan oksida secara listrik;
- d) Pelapisan aluminium dengan bahan oksida tanpa listrik.

### **2.1.1 Aluminium 6061**

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. Namun sejak Al 6061 menjadi semakin luas aplikasinya dengan banyak keunggulan yang dimiliki seperti mampu bentuk baik, ketahanan korosi baik, mampu las baik, dan harga yang murah, Al

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 (Mirnawati Dewi, 2016).

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 canai dingin dan *aging*, sehingga memenuhi kriteria sebagai komponen pesawat, dalam hal ini bagian yang cocok adalah *skin* sayap pesawat terbang. Al 6061 dilakukan proses canai dingin dengan reduksi 50%, 60%, dan 70% kemudian dilanjutkan dengan *aging* pada temperatur 200°C selama 1800, 3600, 5400, 7200 dan 10.800 detik. Sifat mekanik dan mikrostruktur setelah proses canai dingin dan *aging* dipelajari. Perubahan morfologi mikrostruktur terjadi pada Al 6061, dari mulai *as-received*, setelah proses canai dingin dan setelah *aging*. Aluminium 6061 setelah proses canai 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<sub>2</sub>Si dan Al<sub>2</sub>FeSi pada Al 6061 hasil canai dingin dan *aging*. Fasa Mg<sub>2</sub>Si dan Al<sub>2</sub>FeSi 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  $6,209951 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm pada kondisi *as-received* menjadi  $4,775436 \times 10^{-6}$  mm<sup>3</sup>/mm setelah *aging*. Peningkatan sifat mekanik ini disebabkan oleh *strain hardening* akibat proses canai 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).

Pada Tabel 2.5 memperlihatkan komposisi kimia aluminium 6061.

**Table 2.5** Komposisi kimia aluminium 6061 (Mirnawati Dewi, 2016).

Si	Mg	Fe	Cu	Cr	Zn	Ti	Unsur lain	Al
0,63	0,98	0,19	0,18	0,05	0,10	0,08	0,15	<i>Balance</i>

### 2.1.2 Aluminium 7075

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 diarahkan 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 di dalam 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 2.6 berikut.

**Table 2.6** Komposisi kimia aluminium 7075 (Permadani, 2018)

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

Aplikasi aluminium seri 7075 pada industri pesawat seperti pada fuselage (skin), empennage (tail), dan wing upper skin (Ringer, 1995). Aluminium paduan 7075 merupakan material yang digunakan untuk pesawat karena selain ringan juga tahan terhadap korosi. Namun, logam tetap akan mengalami korosi terlebih apabila berada pada lingkungan yang

korosif seperti lingkungan garam (air laut) atau pada lingkungan atmosfer (Callister, 2001).

Aluminium 7075 ini merupakan perpaduan antara aluminium dengan seng, dimana setiap material memiliki masing – masing sifat khas, salah satu sifat dari material tersebut adalah sifat mekanik. Sifat mekanik terdiri dari kekuatan, kekerasan, regangan, keelastisan dan sebagainya. Aluminium pada dasarnya memiliki sifat yang tahan akan korosi dan sangat elastis. Dengan penambahan seng, aluminium paduan 7075 tersebut memiliki nilai mekanik yang lebih besar dari pada aluminium murninya.

### **2.1.3 Pengaplikasian Aluminium pada Kereta Api**

#### **1. Blok rem Kereta Api**

Blok rem adalah salah satu komponen Kereta Api yang habis pakai. Umumnya material blok rem KA yang digunakan adalah besi cor kelabu. Blok rem yang materialnya menggunakan besi cor mempunyai berat 11-12 kg, umur pemakaian hanya mencapai satu bulan. Sehingga mengakibatkan banyaknya pengeluaran untuk perawatan rutin khususnya penggantian blok rem KA yang sudah aus. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan material yang memiliki sifat keras dan ringan untuk menggantikan besi cor kelabu.

Material yang memiliki sifat keras dan ringan biasanya menggunakan material berbasis komposit antara lain: Aluminium Silicon Carbide (Al-SiC), Aluminium Oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Boron Carbide (B<sub>4</sub>C), dll. Penelitian ini akan menggunakan komposit Al- SiC, dimana Al sebagai matrik atau material utama dan SiC sebagai penguatnya. Proses yang digunakan adalah proses stir casting yaitu proses pembentukan logam dengan mencairkan aluminium sampai ke titik lelehnya, lalu dicampur dengan SiC serbuk, selanjutnya dituang ke dalam cetakan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat kekerasan komposit Al-SiC melalui proses stir casting yang divariasikan kecepatan putarnya (Wilastari s, 2011).

## 2. Body Kereta Light Rail Transit (LRT) PT INKA

Badan kereta terbuat dari material aluminium double skin atau ekstrusi.



**Gambar 2. 1** Kereta Light Rail Transit (LRT) (Ameidyo Daud, 2018)

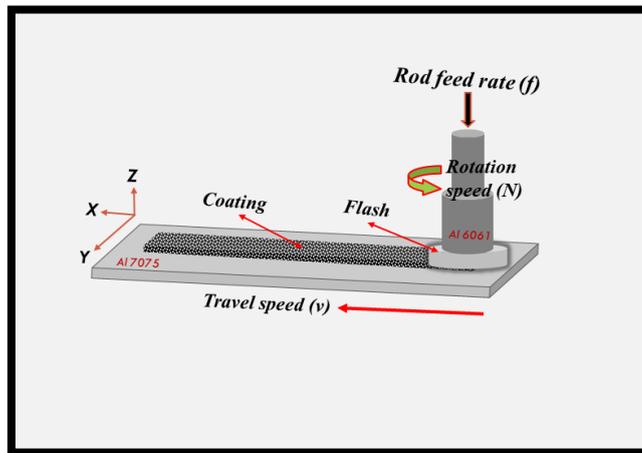
### 2.2 Friction Surfacing

Friction surfacing (FS) adalah sebuah proses membuat lapisan pada keadaan yang padat dengan cara pendeformasian batang logam ke dalam bentuk setipis dan sehalus mungkin.

#### 2.2.1 Prinsip Kerja *Friction Surfacing* (FS)

Dalam *friction surfacing*, *consumable* yang berputar yang mengarah terhadap media (beban axial). Pada proses FS, panas akan timbul akibat gesekan, hal itu akan menghasilkan suatu lapisan *viscoplastis* (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 *viscoplastis* terbentuk bersamaan. Proses konduksi dilakukan dari awal untuk menambah ketebalan dari lapisan. Lapisan viscoplastis akan tersimpan untuk melapisi media permukaan pada proses selanjutnya.

Proses kerja FS dapat dilihat pada gambar 2.2 hal penting dalam proses *friction surfacing* adalah gabungan gesekan permukaan dan proses deformasi sebagai penghasil panas.



**Gambar 2. 2** 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).

### 2.2.2 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 2.3

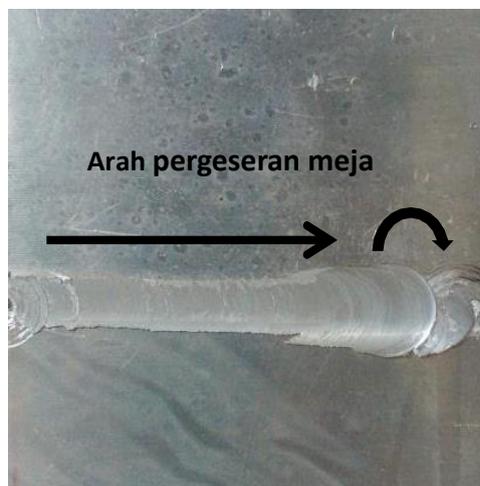


**Gambar 2. 3** Struktur Micro

Gambar 2.3 memperlihatkan struktur mikro lapisan hasil friction surfacing, dengan nilai pada variabel axial force = 8,5 kN, traverse 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.

### 2.2.3 Hasil Lapisan *Friction Surfacing*

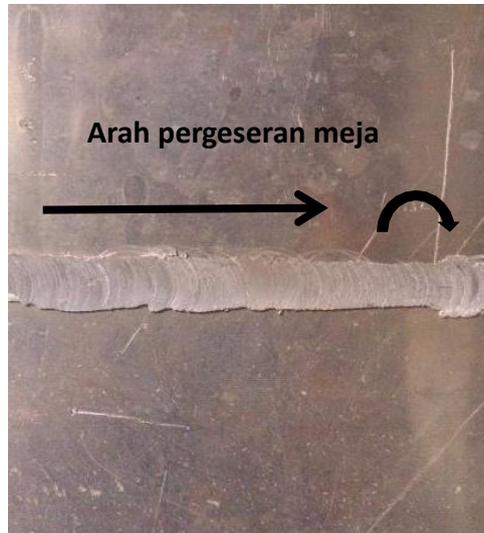
Setelah dilakukan proses friction surfacing, maka akan terlihat lapisan hasil friction surfacing pada permukaan substrate. Pelapisan dengan metode friction surfacing merupakan pelapisan yang terjadi pada kondisi padat (solid state joining) dengan memanfaatkan gesekan dari benda kerja yang berputar (rod) 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.



**Gambar 2. 4** Hasil lapisan friction surfacing dengan kecepatan rod feed rate 2 cm/menit (Lukito Adi Wicaksono,2016).

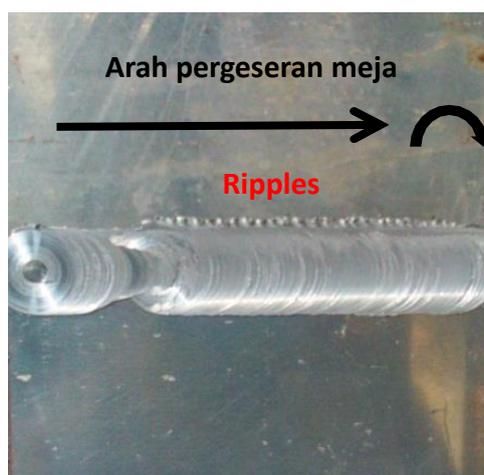
Pada Gambar 2.4 hasil permukaan proses FS sisi atas/face dengan rod feed rate 2 cm/menit terlihat halus karena rod feed rate yang lambat akan menghasilkan panas yang menyebar luas ke material aluminium.

Panas lokal yang terjadi akibat gesekan rod dengan material ini akan melelehkan rod dengan baik.



**Gambar 2.5** Hasil lapisan friction surfacing dengan kecepatan rod feed rate 6 cm/menit (Lukito Adi Wicaksono,2016).

Pada Gambar 2.5 hasil permukaan proses FS sisi atas/face dengan rod feed rate 6 cm/menit terlihat cukup halus karena rod feed rate dengan kecepatan sedang akan menghasilkan panas yang menyebar ke material aluminium. Panas lokal yang terjadi akibat gesekan rod dengan material ini akan melelehkan aluminium dengan baik. Percobaan ini menggunakan pergerakan meja dan perputaran rod ke arah kanan.



**Gambar 2.6** Hasil lapisan friction surfacing dengan kecepatan rod feed rate 12 cm/menit (Lukito Adi Wicaksono,2016).

Pada Gambar 2.6 hasil permukaan proses FS sisi atas/face dengan rod feed rate 12 cm/menit terlihat adanya ripples kecil di sekitar ujung daerah lapisan karena feed rate yang kencang akan mengurangi penyebaran panas di sekitar material aluminium. Panas lokal yang terjadi akibat gesekan rod dengan material dengan kecepatan translasi yang kencang ini akan berakibat pada pelelehan aluminium yang kurang baik. Percobaan ini menggunakan pergerakan meja dan perputaran tool ke arah kanan.



**Gambar 2. 7** Hasil pengelasan friction stir welding dengan kecepatan feed rate 18 cm/menit (Lukito Adi Wicaksono,2016).

Pada Gambar 2.7 hasil permukaan proses FS sisi atas/face dengan rod feed rate 18 cm/menit terlihat kasar dan muncul adanya ripples di sekitar ujung daerah lapisan karena rod feed rate yang sangat kencang akan mengurangi penyebaran panas di sekitar material aluminium. Panas lokal yang terjadi akibat gesekan rod dengan material dengan kecepatan translasi yang sangat kencang ini akan berakibat pada pelelehan aluminium yang tidak baik. Percobaan ini menggunakan pergerakan meja dan perputaran rod ke arah kanan.

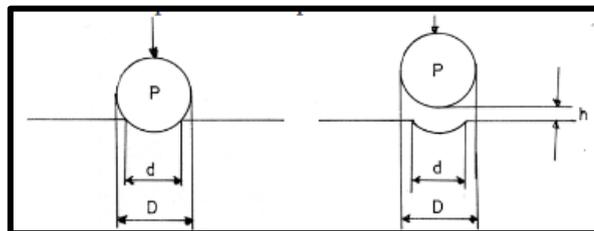
## 2.3 Pengujian sifat mekanik

### 2.3.1 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 2.4 Harga kekerasan diperoleh dari persamaan berikut ini:



Gambar 2. 8 Geometri Indentor Brinell

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

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 HB 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 2.5 Harga kekerasan *Vickers* diperoleh dengan rumus:

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

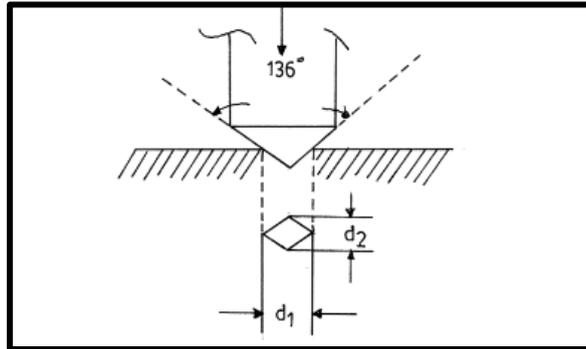
dengan :

P=Beban yang diberikan (kg),

L= Diagonal rata-rata (mm) = (d<sub>1</sub>+d<sub>2</sub>)/2,

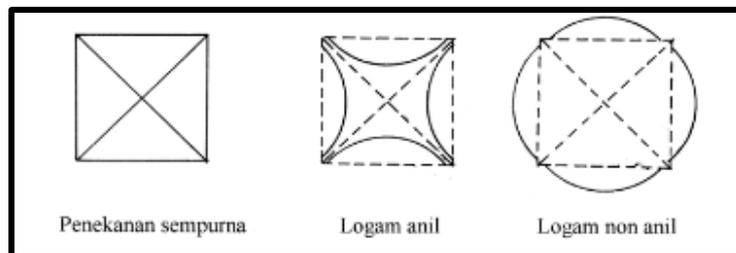
O = Sudut puncak 136 .

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. 9** Geometri Indentor Vickers

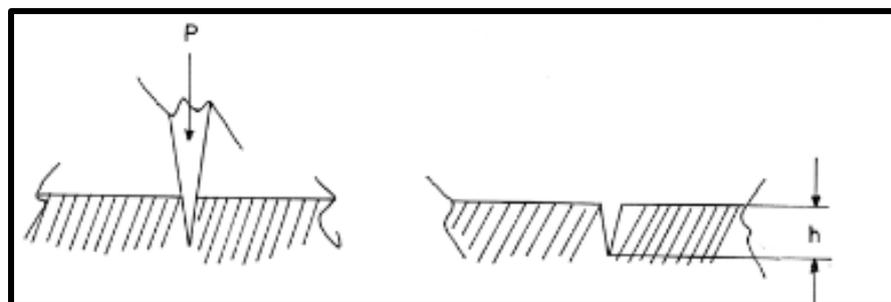
Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mikroskop, seperti dalam Gambar 2.6



**Gambar 2. 10** Jejak Hasil Penekanan Indentor

**c. Metode Rockwell**

Pada metode ini digunakan indentor intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 2.7 Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “h” dari permukaan. Jarak “h” menentukan kekerasan dari logam uji.



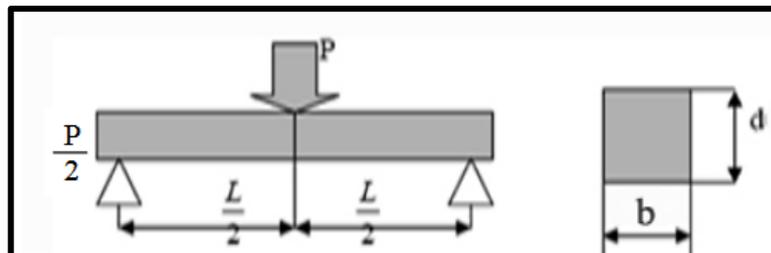
**Gambar 2. 11** Indentor Rockwell

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

- a. 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.
- b. Metode *Rockwell A* (HRA), Menggunakan indenter sama dengan *Rockwell C* dan beban yang sama pula 150 kg. pengujian untuk material  $h < (0,4-6)$ mm.
- c. Metode *Rockwell B* (HRB), Menggunakan idendor baja bentuk bola dengan diameter 1116” dan beban 100 kg dipakai untuk material *unhardened steel* dan *non ferrous*.

**2.3.2 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 2.8 berikut ini : (Standart ASTM D 790-02 )



**Gambar 2. 12** 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:

$\sigma_b$ = kekuatan bending (MPa)

P= beban yang diberikan(N)

L= jarak antara titik tumpuan (mm)

b= lebar spesimen (mm)

d =tebal spesimen (mm)

$\delta$ = defleksi (mm)

Eb= modulus elastisitas (MPa)

## 2.4 Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro digunakan untuk mengetahui keadaan atau kondisi suatu logam Aluminium ditinjau dari strukturnya dengan menggunakan mikroskop. Serta dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk mengetahui kerusakan suatu komponen. Berdasarkan hasil metalografi yang dilakukan dapat diketahui bahwa tidak ditemukan adanya cacat pada permukaan, sehingga material masih layak digunakan (Pancatatva 2016).

Sifat-sifat fisis dan mekanik dari material tergantung dari struktur mikro material tersebut. Struktur mikro dalam logam (paduan) di tunjukkan dengan besar, bentuk dan orientasi butirnya, jumlah fasa, proporsi dan kelakuan dimana mereka tersusun atau terdistribusi. Struktur mikro dari paduan tergantung dari beberapa faktor seperti, elemen paduan, konsentrasi dan perlakuan panas yang diberikan. Pengujian struktur mikro atau metalografi dilakukan dengan bantuan mikroskop dengan koefisien pembesaran dan metode kerja yang bervariasi.

Adapun beberapa tahap yang perlu dilakukan sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah:

- a) Sectioning (Pemotongan)

Pemotongan ini dipilih sesuai dengan bagian yang akan diamati struktur mikronya. Spesimen uji dipotong dengan ukuran seperlunya.

- b) Grinding (Pengamplasan kasar)

Tahap ini untuk menghaluskan dan meratakan permukaan spesimen uji yang ditujukan untuk menghilangkan retak dan goresan. Grinding dilakukan secara bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar.

c) Polishing (Pemolesan)

Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan. Hasil yang baik dapat diperoleh dengan memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

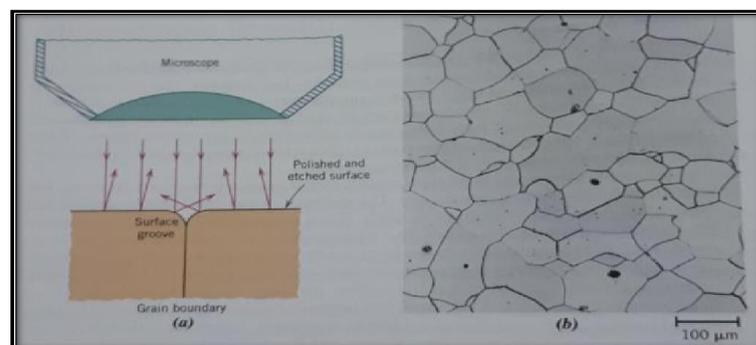
- a. Pemolesan, sebaiknya dilakukan dengan satu arah agar tidak terjadi goresan.
- b. Penekanan, Pengamplasan pada mesin amplas jangan terlalu ditekan, apabila terlalu ditekan maka arah dan posisi pemolesan dapat berubah dan kemungkinan terjadi goresan-goresan yang tidak teratur.

d) Etching (Pengetsaan)

Hasil dari proses pemolesan akan berupa permukaan yang mengkilap seperti cermin. Agar struktur terlihat jelas maka permukaan tersebut dietsa. Dalam pengetsaan jangan terlalu kuat karena akan terjadi kegosongan pada benda uji.

e) Pemotretan

Pemotretan digunakan untuk mendapatkan gambar dari struktur mikro dari spesimen uji setelah difokuskan dengan mikroskop. Pada Gambar 2.20. B terlihat contoh A melalui mikroskop.



**Gambar 2. 13** (a) penampang batas butir, (b) foto mikro permukaan spesimen.  
(Sumber: Wiliam D. Callister, JR. 2012)