

SKRIPSI

**PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061  
DENGAN *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN  
*DRILLING-MILLING* TIPE LC-40 A**

**OLEH**

**MUHAMMAD MUCHLIS**

**D211 16 005**



**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2021**

SKRIPSI

**PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061  
DENGAN *FRICION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN  
*DRILLING-MILLING* TIPE LC-40 A**

Oleh:

**MUHAMMAD MUCHLIS**

**D21116005**

**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 PEMBEBANAN TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061  
DENGAN *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN  
*DRILLING-MILLING* TIPE LC-40 A**

**MUHAMMAD MUCHLIS**

**D211 16 005**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Hari / tanggal : 02 Oktober 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

NIP. 19740415 199903 1 001

Azwar Hayat, ST., M.Sc., Ph.D

NIP. 19840126 201212 1 002001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT.

NIP. 19720825 200003 1 001

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : MUHAMMAD MUCHLIS  
NIM : D211 16 005  
JUDUL SKRIPSI : PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061 DENGAN *FRICTION SURFACING PROCESS* 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, 24 / 08 / 2021

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Muchlis

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis hantarkan kehadiran Allah SWT, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“PENGARUH VARIASI PEMBEBANAN TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM 6061 HASIL *FRICITION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40 A”** yang terselesaikan dengan baik dan lancar, 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. Dan tak lupa pula penulis haturkan Shalawat serta salam atas junjungan nabi Muhammad SAW beserta para sahabatnya yang telah menghantarkan kita dari zaman jahiliyah menuju zaman terang benderang yang masih kita rasakan hingga saat ini .

Selama proses pengerjaan skripsi ini penulis menerima begitu banyak bantuan, saran, hingga motivasi dari berbagai pihak mulai dari awal hingga akhir. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua saya tercinta ayahanda Jumaedi Wapa dan ibunda Ruhani juga kepada saudari Nur Fadhilah yang selalu memberikan do'a yang tak henti-hentinya kepada penulis, nasehat, semangat, hingga motivasi selama penulis menyelesaikan skripsi ini hingga akhir.
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 dan Azwar Hayat, ST.,M.Sc.,Ph.D selaku pembimbing II atas segala arahan, masukan, dan bimbingan yang luar biasa selama penyusunan tugas akhir.
5. Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT dan Dr.Ir Ahmad Yusran Aminy.,MT. selaku penguji atas segala masukan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.
6. Pak Edi Iskandar Sebagai Laboran di Laboratorium Metalurgi Fisik yang membantu penulis memberikan arahan dan bantuan selama di Laboratorium.

7. Yth. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama mengenyam pendidikan di kampus.
8. Seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu segala urusan administrasi.
9. Teman-teman Teknik Mesin 2016 (COMPRESSOR 16) yang telah memberi bantuan dan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
10. Teman-teman seperjuangan Laboratorium Metalurgi Fisik yang telah banyak membantu dan mendukung dalam penelitian ini.
11. Teman-teman dari Tim *Friction Surfacing* yaitu kakanda Ismail, Gaffar Al-Qadri dan Aditya Rizki Karambe Bulu' yang telah banyak membantu memberikan bantuan hingga motivasi kepada penulis.
12. Gaffar Al-Qadri selaku sahabat seperjuangan yang selalu membimbing serta memotivasi dalam menyelesaikan tugas akhir penulis.
13. Muh. Irvan Aldiansyah dan St. Suci Mulyati Magfirah S yang selalu memberi dukungan motivasi dan do'a di dalam penyelesaian skripsi penulis.
14. Al-Mudassir, selaku sahabat teman seperjuangan selama menempuh pendidikan di kampus.
15. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dalam penulisan skripsi ini tentunya penulis menyadari bahwa masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila terdapat kesalahan dalam penulisan skripsi ini, penulis memohon saran dan kritikan yang sifatnya membangun demi menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 24, Agustus 2021

Penulis

## ABSTRAK

Muhammad Muchlis (D211 16 005). Pengaruh Pembebanan Terhadap Lapisan Aluminium 6061 Dengan *Friction Surfacing Process* Menggunakan Mesin *Drilling-Milling* Tipe Lc-40 A. (Dibimbing oleh Lukmanul Hakim Arma dan Azwar hayat).

Persaingan dalam dunia industri sangat ketat dalam menghasilkan kualitas produk yang tinggi terutama dalam bidang permesinan. Produk yang berkualitas dihasilkan dengan material yang mempunyai kualitas yang baik pula. Jenis aluminium yang sering digunakan dalam industri yaitu aluminium seri 6061 dengan paduan utama (Al-Mg-Si) dan seri 2021 dengan paduan utama (Al-Cu-Mg). Aluminium jenis ini banyak digunakan pada industri karena memiliki banyak keunggulan seperti mampu bentuk baik, kekuatan, dan ketahanan korosi yang baik namun memiliki kelemahan pada pelapisannya. Salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan ini yaitu melakukan pelapisan menggunakan metode *friction surfacing Process* dimana *rod* berputar dan bergesekan pada permukaan *substrate* yang akan menimbulkan distribusi *thermal* pada *rod* dan menghasilkan lapisan *viscoplastic*. Penelitian ini menggunakan mesin *Drilling-Milling* Tipe Lc-40 A dengan variasi pembebanan 1,5, 2, 2,5 kg, kecepatan putaran mesin 3000 RPM, laju *travel speed* 6 cm/men dan menggunakan *rod* berdiameter 15 mm yang bertujuan untuk mengetahui kualitas rekat dan kekerasan pada lapisan hasil *friction surfacing* pada setiap variasi pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar variasi pembebanan maka nilai kekuatan *bending* akan semakin meningkat namun semakin menurun nilai kekerasan permukaan lapisannya.

Kata Kunci: Aluminium 6061, *Friction Surfacing*, variasi pembebanan, distribusi *thermal*

## ABSTRACT

Muhammad Muchlis (D211 16 005). Effect of Loading on 6061 Aluminum Layer with *Friction Surfacing Process* Using Machine *Drilling-Milling* Type Lc-40 A. (Supervised by Lukmanul Hakim Arma and Azwar Hayat).

Competition in the industrial world is very tight in producing high quality products, especially in the field of machinery. Quality products are produced with materials that have good quality as well. The types of aluminum that are often used in industry are the 6061 series aluminum with the main alloy (Al-Mg-Si) and the 2021 series with the main alloy (Al-Cu-Mg). This type of aluminum is widely used in industry because it has many advantages such as good formability, strength, and good corrosion resistance but has a weakness in the coating. One solution to solve this problem is to do a coating using the method *friction surfacing Process* where the *rod* rotates and rubs against the surface *substrate* which will cause a distribution *thermal* on the *rod* and produce layer *viscoplastic*. This study uses a machine *Drilling-Milling* Type Lc-40 A with variations in loading of 1.5, 2, 2.5 kg, engine rotation speed of 3000 RPM, *travel speed* of 6 cm/and using a *rod* diameter of 15 mm which aims to determine the quality adhesion and hardness of the layer *friction surfacing* at each load variation. The results of the study show that the greater the variation in loading, the value of the strength *bending* will increase but the value of the surface hardness of the layer decreases.

Keywords: Aluminum 6061, *Friction Surfacing*, variation of loading, *thermal* distribution

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiv</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 dan paduannya .....	7
2.1.2. Pengaplikasian aluminium .....	15
2.2. <i>Friction Surfacing</i> .....	15
2.2.1. Prinsip Kerja <i>Friction Surfacing</i> (FS).....	15
2.2.2. Parameter pada <i>Friction surfacing</i> .....	16
2.2.3. Hasil Lapisan <i>Friction Surfacing</i> .....	17
2.3. Uji mekanik ( <i>mechanikal test</i> ).....	19
2.3.1 Pengujian Kekerasan atau Hardness Test .....	19
2.3.2 Uji bending (tekuk) .....	23
2.4. Pengamatan Struktur Mikro.....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1. Waktu dan Tempat.....	26

3.2. Alat dan Bahan.....	26
3.2.1. Alat.....	26
3.2.2. Bahan.....	31
3.3. Diagram Alir Penelitian .....	34
3.4. Prosedur Penelitian .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>38</b>
4.1. Data Hasil Penelitian.....	38
4.2. Ukuran dan Bentuk pada lapisan serta volume <i>Rod</i> .....	39
4.2.1 Pengukuran tebal dan lebar lapisan.....	39
4.2.2 Volume <i>rod</i> dan Lapisan.....	47
a Volume <i>rod</i> .....	47
b Volume lapisan .....	49
4.2.3 Distribusi <i>thermal</i> pada proses <i>friction surfacing</i> .....	51
4.3. Pengujian Kekuatan <i>Bending</i> .....	57
4.4. Pengujian Kekerasan.....	60
4.4.1 Pengujian kekerasan lapisan hasil <i>friction surfacing</i> .....	60
4.4.2 Distribusi Kekerasan .....	62
4.5. Pengamatan Struktur Mikro .....	64
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>68</b>
5.1. Kesimpulan .....	68
5.2. Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>70</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>73</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> KRL Tokyo Metro Seri 6000.....	14
<b>Gambar 2.2</b> Proses <i>friction surfacing</i> .....	16
<b>Gambar 2.3</b> Foto micro lapisan hasil <i>friction surfacing</i> (Al Amin, 2018) .....	17
<b>Gambar 2.4</b> Hasil lapisan <i>friction surfacing</i> dengan kecepatan <i>rod feed rate</i> 2cm/menit (Lukito Adi Wicaksono, 2016) .....	18
<b>Gambar 2.5</b> Hasil lapisan <i>friction surfacing</i> dengan kecepatan <i>rod feed rate</i> 6cm/menit (Lukito Adi Wicaksono, 2016) .....	18
<b>Gambar 2.6</b> Hasil lapisan <i>friction surfacing</i> dengan kecepatan <i>rod feed rate</i> 12cm/menit (Lukito Adi Wicaksono, 2016) .....	19
<b>Gambar 2.7</b> Hasil lapisan <i>friction surfacing</i> dengan kecepatan <i>rod feed rate</i> 18cm/menit (Lukito Adi Wicaksono, 2016) .....	19
<b>Gambar 2.8</b> Geometri Indentor <i>Brinnel</i> .....	20
<b>Gambar 2.9</b> Geometri Indentor <i>Vickers</i> .....	22
<b>Gambar 2.10</b> Jejak Hasil Penekanan Indentor .....	22
<b>Gambar 2.11</b> Indentor Rockwell .....	22
<b>Gambar 2.12</b> Penampang Uji Bending (Standart ASTM D 790-20).....	23
<b>Gambar 2.13</b> Penampang batas butir, (b) foto mikro permukaan spesimen. (Sumber: William D. Calister, JR. 2012).....	25
<b>Gambar 3.1</b> <i>Drilling Milling</i> .....	26
<b>Gambar 3.2</b> <i>Thermogun</i> .....	26
<b>Gambar 3.3</b> Mesin bubut/ <i>Turning Machine</i> ERM-1640 .....	27
<b>Gambar 3.4</b> <i>Miligram electric</i> .....	27
<b>Gambar 3.5</b> Sarung tangan .....	28
<b>Gambar 3.6</b> Jangka Sorong.....	28
<b>Gambar 3.7</b> Gergaji tangan.....	28
<b>Gambar 3.8</b> Universal Testing Machine, autograph 5 kN, Shimadzu .....	29
<b>Gambar 3.9</b> Mesin Uji Kekerasan .....	29
<b>Gambar 3.10</b> <i>Microscop Optic</i> .....	29

<b>Gambar 3.11</b> <i>Thermal Image</i> camera .....	30
<b>Gambar 3.12</b> Alat pembebanan .....	31
<b>Gambar 3.13</b> Aluminium 6061 .....	31
<b>Gambar 3.14</b> Plat Aluminium 2021.....	31
<b>Gambar 3.15</b> Kertas amplas.....	32
<b>Gambar 3.16</b> Kelengkapan cairan etsa .....	32
<b>Gambar 3.17</b> Batu hijau.....	33
<b>Gambar 3.18</b> <i>Flow chart</i> penelitian.....	34
<b>Gambar 3.19</b> Plat Aluminium 2021.....	35
<b>Gambar 3.20</b> Pemotongan bentuk spesimen uji <i>bending</i> (a) Bentuk arah pemotongan (b) Hasil pemotongan .....	37
<b>Gambar 3.21</b> Posisi spesimen saat dilakukan pengujian Uji <i>Bending</i> .....	37
<b>Gambar 4.1</b> Proses <i>friction surfacing</i> .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Lapisan hasil <i>friction surfacing</i> (a). Variasi pembebanan 1,5 Kg, (b). Variasi pembebanan 2 Kg dan (c). Variasi pembebanan 2,5 Kg .....	39
<b>Gambar 4.3</b> Bentuk lapisan hasil <i>friction surfacing</i> (a). Tampak samping (b). Tampak depan .....	40
<b>Gambar 4.4</b> Pengukuran daerah <i>interface</i> setiap variasi pembebanan (a) bagian <i>interface</i> secara keseluruhan (b) Pengukuran daerah <i>interface</i> pada bagian yang melekat.....	40
<b>Gambar 4.5</b> Perbandingan antara ketebalan minimum dan maksimum hasil <i>friction surfacing</i> terhadap variasi pembebanan dengan diameter rod 15 mm...	41
<b>Gambar 4.6</b> Perbandingan Tebal hasil <i>friction surfacing</i> terhadap panjang lapisan setiap 1 cm.....	43
<b>Gambar 4.7</b> Perbandingan lebar minimum dan maksimum lapisan terhadap variasi pembebanan hasil <i>friction surfacing</i> diameter rod 15 mm.....	44
<b>Gambar 4.8</b> Perbandingan lebar hasil <i>friction surfacing</i> terhadap panjang lapisan setiap 1 cm.....	45
<b>Gambar 4.9</b> Bentuk <i>rod</i> yang terdapat <i>flash</i> .....	46
<b>Gambar 4.10</b> <i>Rod</i> sebelum <i>friction surfacing</i> .....	47

<b>Gambar 4.11</b> Rod setelah <i>friction surfacing</i> .....	48
<b>Gambar 4.12</b> Kondisi rod yang terdapat <i>flash</i> pada saat dilakukan <i>friction surfacing</i> .....	51
<b>Gambar 4.13</b> Distribusi panas variasi pembebanan 1,5 Kg (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 <i>friction surfacing</i> .....	52
<b>Gambar 4.14</b> Distribusi panas variasi pembebanan 2 Kg (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 <i>friction surfacing</i> .....	53
<b>Gambar 4.15</b> Distribusi panas variasi pembebanan 2,5 Kg (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 <i>friction surfacing</i> .....	54
<b>Gambar 4.16</b> Peningkatan temperatur setiap 15 detik pada setiap variasi pembebanan hasil <i>friction surfacing</i> .....	56
<b>Gambar 4.17</b> Rata-rata kekuatan <i>bending</i> (MPa) hasil <i>friction surfacing</i> terhadap variasi pembebanan .....	57
<b>Gambar 4.18</b> Spesimen uji <i>bending</i> (a) Spesimen sebelum melakukan pengujian (b) saat melakukan uji <i>bending</i> (c) setelah pengujian .....	59
<b>Gambar 4.19</b> Spesimen hasil uji <i>bending</i> lapisan <i>friction surfacing</i> (a) variasi pembebanan 1,5 Kg (b) variasi pembebanan 2 Kg (c) variasi pembebanan 2,5 Kg .....	59
<b>Gambar 4.20</b> Nilai rata-rata kekerasan lapisan hasil <i>friction surfacing</i> terhadap variasi pembebanan .....	60
<b>Gambar 4.21</b> Titik ordinat hasil uji Kekerasan <i>Vickers</i> .....	62

<b>Gambar 4.22</b> Distribusi kekerasan lapisan hasil <i>friction surfacing</i> terhadap variasi pembebanan pada daerah <i>coating</i> , <i>interface</i> , dan <i>substrate</i> .....	63
<b>Gambar 4.23</b> Struktur mikro hasil <i>friction surfacing</i> variasi pembebanan 1,5Kg.....	65
<b>Gambar 4.24</b> Struktur mikro hasil <i>friction surfacing</i> variasi pembebanan 2 Kg	65
<b>Gambar 4.25</b> Struktur mikro hasil <i>friction surfacing</i> variasi pembebanan 2,5Kg.....	66

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Daftar Seri Paduan Aluminium Tempa.....	8
<b>Tabel 2.2</b> Daftar Seri Paduan Aluminium Tuang.....	9
<b>Tabel 2.3</b> Komposisi kimia aluminium 2021 (H. MÖLLER, et al, 2010). .....	10
<b>Tabel 2.4</b> Komposisi kimia aluminium 6061 (Mirnawati Dewi, 2016) .....	12
<b>Tabel 2.5</b> Komposisi kimia aluminium 7075 (Permadani, 2018) .....	13
<b>Tabel 4.1</b> Perbandingan variasi pembebanan terhadap Tebal minimum dan maksimum hasil <i>friction surfacing</i> .....	40
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan variasi pembebanan terhadap tebal hasil <i>friction surfacing</i> setiap 1 cm .....	41
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Variasi Pembebanan terhadap Lebar minimum dan maksimum lapisan hasil <i>friction surfacing</i> .....	43
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan variasi pembebanan terhadap lebar lapisan hasil <i>friction surfacing</i> setiap 1 cm. ....	44
<b>Tabel 4.5</b> Perbandingan Variasi Pembebanan terhadap massa, panjang dan volume <i>rod</i> sebelum dan sesudah <i>friction surfacing</i> .....	46
<b>Tabel 4.6</b> Perbandingan Variasi Pembebanan terhadap perubahan massa, perubahan panjang dan perubahan Volume <i>rod</i> sebelum dan sesudah <i>friction surfacing</i> .....	47
<b>Tabel 4.7</b> Perbandingan Variasi Pembebanan terhadap tebal, lebar minimal dan maksimal serta volume lapisan <i>friction surfacing</i> . ....	48
<b>Tabel 4.8</b> Perbandingan Variasi Pembebanan terhadap perubahan tebal, lebar minimal dan maksimal serta volume lapisan <i>friction surfacing</i> . ....	49
<b>Tabel 4.9</b> Peningkatan temperatur setiap variasi pembebanan setiap 15 detik pada saat proses <i>friction surfacing</i> berlangsung .....	55
<b>Tabel 4.10</b> Nilai distribusi kekerasan hasil <i>friction surfacing</i> terhadap variasi pembebanan pada daerah <i>coating, interface, dan substrate</i> . ....	63

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Persaingan dalam dunia industri sangat ketat dalam menghasilkan kualitas produk yang tinggi terutama dalam bidang permesinan. Produk yang berkualitas dihasilkan dengan material yang mempunyai kualitas yang baik pula. Aluminium merupakan salah satu logam yang umum digunakan sebagai matrik dalam pembuatan komposit logam dalam industri, 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).

Jenis aluminium yang sering digunakan dalam industri yaitu aluminium seri 6061. Aluminium 6061 tergolong aluminium seri 6xxx dengan elemen pepadu magnesium dan silikon, paduan jenis ini termasuk dalam mempunyai sifat mampu potong dan daya tahan korosi yang cukup baik dan dapat dilakukan *heat treatment* (Pungky Eka Setyawan dkk, 2014).

Bahan dasar jenis aluminium telah menjadi material pilihan untuk industri pesawat terbang sejak 1930. Aluminium juga telah digunakan secara luas untuk komponen yang membutuhkan bobot ringan dan ketahanan korosi baik, termasuk dalam komponen industri pesawat terbang. 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.

Ditinjau dengan sifat mampu bentuk yang baik dari aluminium terdapat pula kelemahan yaitu mudah terdeformasi dan memiliki nilai kekerasan yang rendah. Sifat-sifat tersebut dapat menurunkan masa pakai komponen jika komponen tersebut beroperasi pada kondisi yang harus bergesekan dengan komponen lainnya (Febrianti,2015). Berdasarkan sifat tersebut aluminium sulit digunakan sebagai bahan baku utama pada komponen yang diaplikasikan pada kondisi tertentu, salah satunya adalah pengelasan cair, hal ini disebabkan karena aluminium mempunyai lapisan aluminium oksida pada permukaannya, sehingga untuk dapat dilas lapisan aluminium oksida tersebut harus dihancurkan terlebih dahulu. Salah satu solusi dalam memecahkan permasalahan dalam teknik penyambungan logam yang sulit dilakukan dengan pengelasan cair 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 (Pungky Eka 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.

Dalam proses *friction surfacing* terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi hasil dan karakteristik lapisan yaitu tekanan (*axial force*), kecepatan rotasi (*rotational speed*) dan kecepatan gesekan (*traverse 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. Pada tahun 2012 Sugandhi dan Ravishankar 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 dengan metode *friction surfacing* telah dilakukan oleh Nurhudaedah dan Asruddin (2019) dengan aluminium yang dimanfaatkan sebagai bahan pelapis (*coating*) pada material. Mereka menggunakan CNT sebagai material kompositnya dan telah membuktikan bahwa hasil dari uji untuk melapisi logam ini memiliki sifat kekerasan yang baik serta memiliki nilai ketahanan aus yang meningkat. Mesin yang mereka gunakan untuk proses ini yaitu *Drilling/Milling Machine* tipe LC-40 A dengan kecepatan spindle maksimal 3000RPM. Penelitian tersebut membatasi lingkup pada penggunaan logam baja sebagai *substrate* yang akan dilapisi tanpa melakukan perbandingan dengan substrat lain. Namun hasil dari pengujian ini terdapat kekurangan 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. Dari penelitian ini parameter yang digunakan pada *axial force* atau pembebanan hanya mengandalkan tekanan dari berat *spindel* mesin itu sendiri yang tidak konstan. Hal ini menyulitkan untuk menganalisis kontribusi beban yang menjadi *axial force* terhadap kualitas lapisan yang terbentuk, Oleh karena itu penulis berfikir untuk memberikan pembebanan agar tekanan dari parameter *axial force* menjadi konstan dan mencari nilai pembebanan terbaik ditinjau dari efisiensi pembebanan tersebut dalam menghasilkan lapisan jika menggunakan mesin *Drilling-Milling* tersebut.

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik mengadakan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Pembebanan 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, yakni

1. Bagaimana ukuran dan bentuk lapisan aluminium 6061 terhadap pengaruh variasi pembebanan hasil *friction surfacing*, serta berapa volume rod yang terpakai?
2. Bagaimana kualitas hasil uji bending pada variasi pembebanan dari Aluminium 6061 dengan metode *friction surfacing*?
3. Bagaimana kualitas hasil uji kekerasan pada variasi pembebanan dari Aluminium 6061 dengan metode *friction surfacing*?
4. Bagaimana penampakan struktur mikro spesimen dari variasi pembebanan pada Aluminium 6061 dengan menggunakan metode *friction surfacing*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis dimensi lapisan yang terbentuk, serta volume rod yang terpakai pada setiap variasi pembebanan.
2. Menganalisis daya rekat lapisan hasil *friction surfacing* dengan uji bending pada untuk setiap variasi pembebanan.
3. Menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap kekerasan lapisan *friction surfacing*.
4. Menganalisis struktur mikro pada lapisan dan *interface* melalui pengujian metalografi.

## 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, hal – hal yang dibatasi adalah :

1. Jenis bahan spesimen *rod* yang digunakan sebagai bahan pembentuk lapisan adalah Aluminium tipe AA6061.
2. Jenis material *substrate* adalah aluminium tipe AA2021 dengan ketebalan 3 mm.
3. Mengatur kecepatan putaran mesin pada 3000 RPM dan laju *travel speed* pada 6 cm/menit pada proses *Friction Surfacing*.
4. Terdapat 3 variasi pembebanan, yaitu: 1,5 , 2 , 2,5 kg.
5. Mesin yang digunakan untuk proses ini yaitu *Drilling/Milling Machine* tipe LC-40 A.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

1. Diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi untuk penelitian selanjutnya.
2. Mengembangkan metode baru dalam proses pelapisan material dalam ilmu metalurgi.
3. Dapat diaplikasikan untuk praktikum pelapisan material dalam skala laboratorium.
4. Menambah referensi sebagai pengembangan ilmu di bidang material logam.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

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

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, mamfaat 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 serta saran.

## **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 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.

##### **2.1.1 Aluminium dan Paduannya**

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.

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

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

Paduan aluminium tempa, seri 1xxx digunakan untuk aluminium murni, paduan aluminium diidentifikasi dengan sistem empat digit berdasarkan elemen paduan utamanya. Untuk paduan tempa (*wrough*, 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).

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).

**Tabel 2.2** Daftar Seri Paduan Aluminium Tuang  
(Sumber: Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000)

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

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 pemadu, mekanisme penguatannya, serta perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai dapat dilihat dalam Tabel 2.4 . (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, 2021, 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. Untuk paduan aluminium seri 2xxx memiliki unsur paduan utama Al-Cu-Mg. 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. Pada Tabel 2.3 memperlihatkan komposisi kimia aluminium 2021.

**Table 2.3** Komposisi kimia aluminium 2021 (H. MöLLER, et al, 2010).

Allow	Zn	Mg	Cu	Si	Mn	Cr	Fe	Ag
2021	0,60	1,07	4,14	0,07	0,60	0,01	0,15	-

c. *Grade* aluminium Seri3xxx

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 ( $150^{\circ}$ ) 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.

Pada Tabel 2.4 memperlihatkan komposisi kimia aluminium 6061.

**Table 2.4** 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>

g. *Grade* aluminium Seri 7xxx

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). (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 2.5 berikut.

**Table 2.5** 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).

### **2.1.2 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 et. all, 2007). Ada beberapa kegunaan umum dari aluminium yaitu sebagai berikut:

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. Aluminium *alloy* digunakan pada bodi gerbong Kereta Rel Listrik (KRL) Tokyo Metro Seri 6000.



**Gambar 2.1** KRL Tokyo Metro Seri 6000

3. Paduan aluminium-magnesium umumnya digunakan sebagai bahan pembuat badan kapal. Paduan lainnya akan mudah mengalami korosi ketika berhadapan dengan larutan alkali seperti air laut.
4. Paduan aluminium-tembaga- lithium digunakan sebagai bahan pembuat tangki bahan bakar pada pesawat ulang-alik milik NASA.
5. Velg mobil juga menggunakan bahan aluminium yang dipadu dengan magnesium, silicon, atau keduanya, dan dibuat dengan cara ekstrusi atau dicor.
6. Sektor pembangunan perumahan; untuk kusen pintu dan jendela.
7. Sektor industri makanan , untuk kemasan berbagai jenis produk.
8. Sektor lain, misal untuk kabel listrik, perabotan rumah tangga dan barang kerajinan.
9. Membuat termit, yaitu campuran serbuk aluminium dengan serbuk besi (III) oksida, digunakan untuk mengelas baja ditempat, misalnya untuk menyambung rel kereta api.
10. 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)

## 2.2 Pengertian *Friction Surfacing* (Fs)

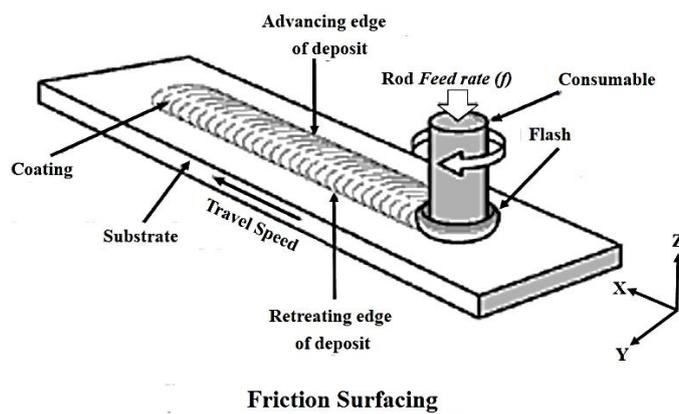
*Friction surfacing* (FS) adalah sebuah proses membuat lapisan pada keadaan yang padat dengan cara pendeformasian batang logam kedalam bentuk setipis dan sehalus mungkin.

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

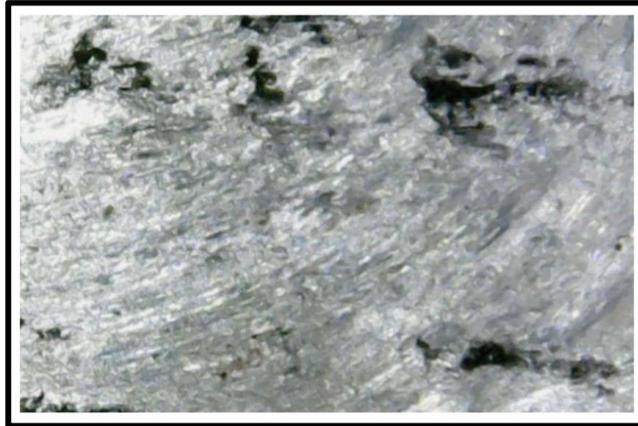


**Gambar 2.2** Proses *friction surfacing*

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

Gambar 2.3 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.

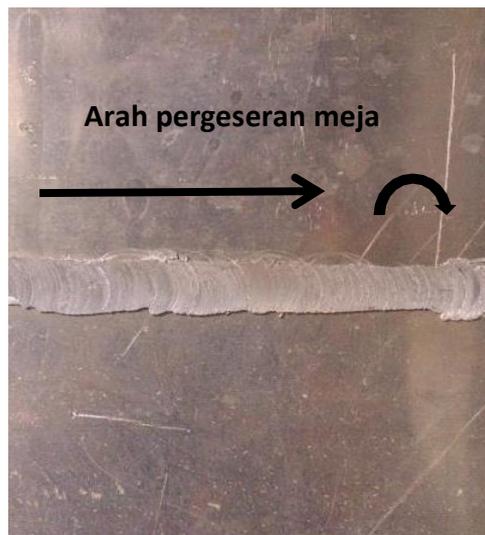
### 2.2.3 Hasil Lapisan *Friction Surfacing*

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).

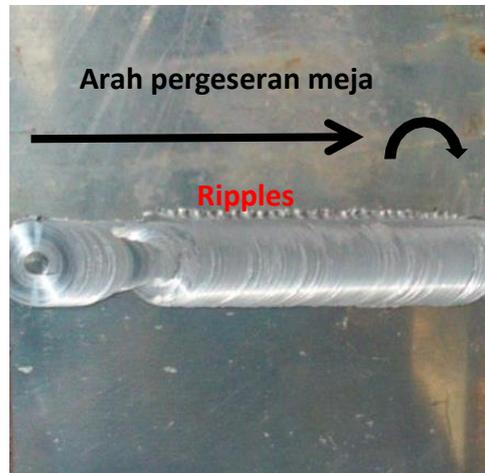
Pada Gambar 2.4 hasil permukaan proses FS sisi atas *face* dengan *rod feed rate* 2 cm/menit terlihat halus karena *rod feed rate* yang lambat akan menghasilkan panas yang menyebar luas ke material aluminium. Panas lokal yang terjadi akibat gesekan *rod* dengan material ini akan melelehkan *rod* dengan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

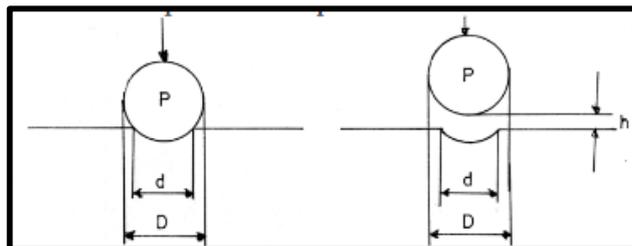
## 2.3 Uji Mekanik (*Mechanical Test*)

### 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 2.8. 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 ambblasnya 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 2.22. Harga kekerasan *Vickers* diperoleh dengan rumus:

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

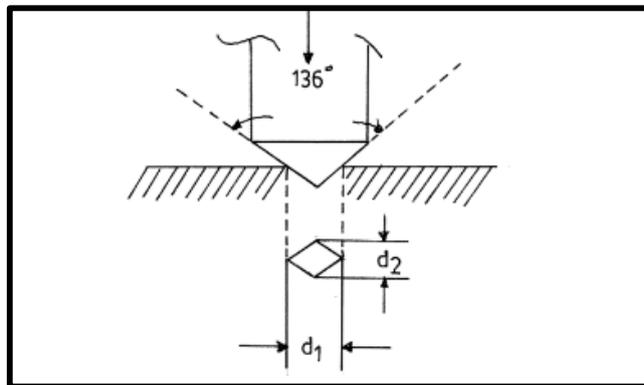
dengan :

P=Beban yang diberikan (kg),

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

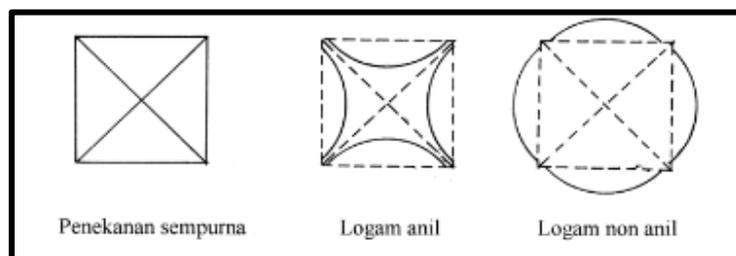
O = Sudut puncak 136 .

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 2.9** Geometri Indentor Vickers

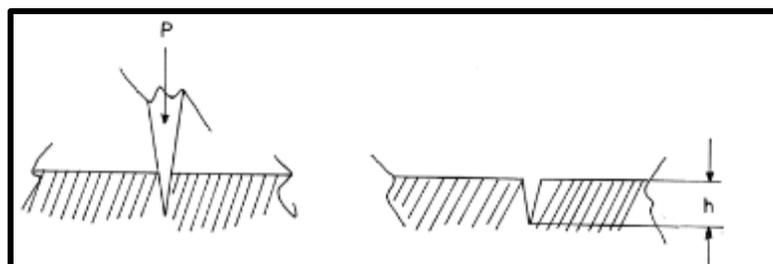
Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mikroskop, seperti dalam Gambar 2.10



**Gambar 2.10** Jejak Hasil Penekanan Indentor

### c. Metode *Rockwell*

Pada metode ini digunakan indentor intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 2.11. Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “h” dari permukaan. Jarak “h” menentukan kekerasan dari logam uji.



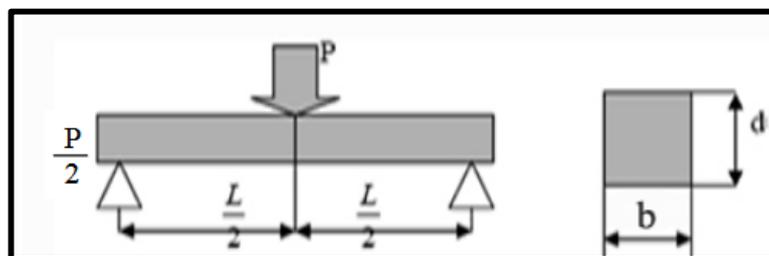
**Gambar 2.11** Indentor *Rockwell*

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

- a. Metode *Rockwell C* (HRC), menggunakan indentor 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 indentor 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 indentor 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 2.12 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)

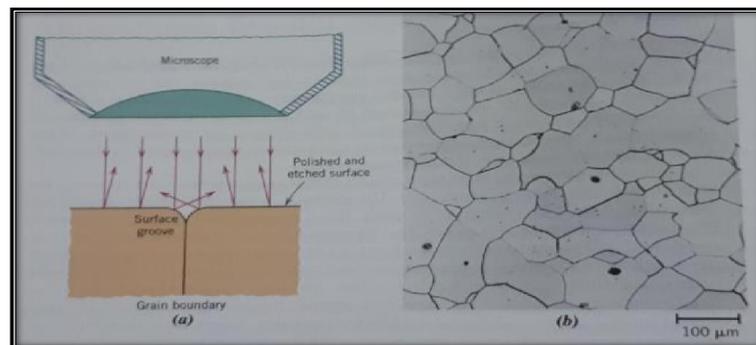
Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan permukaan spesimen yang mengkilap, tidak boleh ada goresan.

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 kekosongan 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).