

SKRIPSI

**PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN *SUBSTRATE*
TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM-1,5%*CNT* DENGAN
PROSES *FRICTION SURFACING* MENGGUNAKAN MESIN
DRILLING-MILLING TIPE LC 40 A**

OLEH:

INDRA ARVITO ARMAN

D02117 1303



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

SKRIPSI

**PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN *SUBSTRATE*
TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM-1,5%*CNT* DENGAN
PROSES *FRICTION SURFACING* MENGGUNAKAN MESIN
DRILLING-MILLING TIPE LC 40 A**

OLEH:

INDRA ARVITO ARMAN

D02117 1303

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Pada tanggal 23 Agustus 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

JUDUL:

PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN *SUBSTRATE* TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM-1,5%*CNT* DENGAN PROSES *FRICTION SURFACING* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC

40 A

INDRA ARVITO ARMAN

D021171303

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

NIP. 19740415 199903 1 001

Dr. Hairul Arsyad, ST., MT

NIP. 19750322 200212 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Indra Arvito Arman

Nim : D02117303

Program Studi : Teknik Mesin

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN *SUBSTRATE* TERHADAP
LAPISAN ALUMINIUM-1,5%*CNT* DENGAN PROSES *FRICTION*
SURFACING MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC**

40 A

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengembalian alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 24 Agustus, 2022



Indra Arvito Arman

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : **Indra Arvito Arman**

Tempat Tanggal Lahir : **Bandoa, 13 Desember 1999**

Alamat : **Jln. Poros malino Bontomarannu, Gowa**

Jenis Kelamin : **Laki-Laki**

Agama : **Islam**

Telepon : **0851 7103 6634**

E-mail : **Indrarvt@gmail.com**

Riwayat Pendidikan : **SMA N 1 BURAU**
SMP N 1 BURAU
SDN 109 MAJALEJE

Riwayat Organisasi : **OKFT**
HMM FT UH

Pengalaman Magang (*Internship*) : **PDAM TIRTA JENEBERANG**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akbir ini dengan judul **“PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN *SUBSTRATE* TERHADAP LAPISAN ALUMINIUM-1,5%*CNT* DENGAN PROSES *FRICTION SURFACING* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC 40A”** 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. Tak lupa pula penulis haturkan salawat 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 Arman P. dan Ibunda Marni juga kepada saudara Haliz Arman yang selalu memberikan doa yang tak henti-hentinya kepada penulis, nasihat, semangat hingga motivasi selama penulis menyelesaikan skripsi hingga akhir.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammar Isran Ramli, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Dr. Ir. Eng. Jalaluddin, S.T., M.T. selaku Ketua Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, S.T., M.T. selaku pembimbing pertama dan Dr. Hairul Arsyad, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua atas segala arahan, masukan, dan bimbingan yang luar biasa selama penyusunan tugas akhir.
5. Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy, M.T. dan Dr. Muhammad Syahid, S.T., M.T. selaku penguji atas segala masukan dan arahan selama penyusunan tugas akhir ini.

6. Bapak Edi Iskandar, S.T. sebagai Laboran di Laboratorium Metalurgi Fisik yang membantu penulis memberikan arahan dan bantuan selama di Laboratorium.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama mengeyam pendidikan di kampus.
8. Seluruh Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu segala urusan administrasi.
9. Teman-teman Teknik Mesin 2017 (ZYNCROMEZH'17) 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 Muh Algifary Haska dan Zulfadli yang telah banyak membantu memberikan bantuan dan motivasi kepada penulis.
12. 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 kritik yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.

Gowa, ,2022

Penulis

ABSTRAK

Indra Arvito Arman (D021171303). Pengaruh Kekasaran Permukaan *Substrate* Terhadap Komposit Lapisan Aluminium CNT (AL+CNT) Dengan *Friction Surfacing Process* Menggunakan Mesin Drilling-Milling Tipe LC-40 A (Dibimbing oleh Lukmanul Hakim Arma dan Hairul Arsyad).

Teknologi rekayasa permukaan telah memungkinkan untuk menggabung jenis aluminium berbeda dengan cara pelapisan. Dengan sifat tahan korosi dan mampu bentuk yang baik, Al 6061 biasa dipilih sebagai bahan pelapis untuk menutupi jenis aluminium lainnya. Penelitian ini bertujuan mendapatkan pengaruh kekasaran permukaan *substrate* terhadap kualitas lapisan *friction surfacing*. Kualitas lapisan ditandai dengan meningkatnya kekuatan bending dan kekerasan lapisan pada *substrate*. Lapisan *friction surfacing* dibentuk di atas permukaan *substrate* aluminium (Al2021) menggunakan rod dari material Al6061+1.5%CNT. Rod berdiameter 12 mm berputar dengan kecepatan 3400 RPM di permukaan *substrate* yang bergerak dengan *travel speed* 9 cm/men, dan *axial force* 2 kg. Kekasaran permukaan *substrate* terdiri dari 2.21, 5.45, 14.34 μm . *Substrate* yang telah terlapis diuji dengan kekerasan Vickers dan uji *three point bending*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar variasi kekasaran maka nilai kekuatan *bending* menurun namun semakin meningkat nilai kekerasan permukaan lapisannya. Hasil pengamatan struktur mikro memperlihatkan bahwa semakin tinggi kekasaran *substrate* maka hasil *friction surfacing* kurang baik karena terdapat retakan pada *interface* mengakibatkan kekuatan rekat lapisan berkurang sedangkan pada kekasaran yang lebih rendah tidak terdapat retakan pada *interface*.

Kata Kunci: CNT, Aluminium 6061, Variasi Kekasaran, *Friction Surfacing Process*,

ABSTRACT

Indra Arvito Arman (D021171303). Effect of Substrate Surface Roughness on CNT (AL+CNT) Aluminium Layer Composite With Friction Surfacing Process Using Drilling-Milling Machine Type LC-40 A (Supervised by Lukmanul Hakim Arma and Hairul Arsyad)

Surface engineering technology has made it possible to join different aluminium types by means of coatings. With good corrosion resistance and formability, Al 6061 is commonly chosen as a coating material to cover other types of aluminium. This study aims to determine the effect of the surface roughness of the substrate on the quality of the friction surfacing layer. The quality of the coating is characterized by an increase in the bending strength and hardness of the coating on the substrate. The friction surfacing layer is formed on the surface of the aluminium substrate (Al2021) using a rod made of Al6061+1.5%CNT material. A 12 mm diameter rod rotates at a speed of 3400 RPM on a substrate surface that moves at a travel speed of 9 cm/min, and an axial force of 2 kg. The surface roughness of the substrate consists of 2.21, 5.45, 14.34 μm . The coated substrate was tested with Vickers hardness and three point bending test. The results showed that the greater the variation of roughness, the lower the bending strength value, but the higher the surface hardness value of the layer. The results of microstructure observations show that the higher the substrate roughness, the less good the friction surfacing results because there are cracks at the *interface* resulting in reduced layer adhesive strength while at lower roughness there is no cracks at the *interface*.

Keywords: CNT, Aluminium 6061, Roughness Variation, *Friction Surfacing Process*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Friction Surfacing (FS).....	5
2.1.1 Parameter proses dalam <i>Friction Surfacing</i>	5
2.2 Aluminium.....	6
2.2.1 Aluminium dan Paduannya.....	6
2.3 CNT (<i>Carbon nanotube</i>)	8
2.3.1 Struktur CNT (<i>Carbon Nanotube</i>)	9
2.3.2 Metode Pencampuran CNT(<i>Carbon Nanotube</i>)	9

2.3.3	Sifat-Sifat Carbon Nanotubes	11
2.4	Proses Pengecoran	12
2.4.1	Cetakan logam dan cetakan pasir	13
2.4.2	Kekerasan Produk Cor Aluminium	14
2.5	Kekasaran Permukaan	15
2.5.1	Parameter Kekerasan	16
2.5.2	Cara Pengukuran Permukaan	17
2.6	Uji Mekanik (Mechanical Test)	19
2.6.1	Pengujian Kekerasan atau <i>Hardness Test</i>	19
2.6.2	Uji <i>bending</i> (Tekuk)	22
2.6.3	Metalografi	23
BAB III	METODE PENELITIAN	24
3.1	Waktu dan Tempat	24
3.2	Alat dan Bahan	24
3.3	Diagram Alir Penelitian	33
3.4	Prosedur Penelitian	34
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1	Data Hasil Penelitian	38
4.2	Pengujian Kekuatan Bending/Tekuk dan Kekerasan	44
4.3	Struktur Mikro Aluminium 6061+CNT	49
BAB V	PENUTUP	52
5.1	Kesimpulan	52
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Foto micro lapisan hasil <i>friction surfacing</i> (Al Amin, 2018).....	5
Gambar 2.2 (A) <i>High energy ball milling</i> (B) <i>Low energy ball milling</i> (C) Dengan teknik pencampuran <i>polyester binder assisted</i> (PBA)	10
Gambar 2.3 Perbandingan sifat mekanik dari carbon dan grafit fiber	12
Gambar 2.4 Hasil coran cetakan pasir (b) Hasil coran cetakan logam	13
Gambar 2.5 Grafik hasil pengujian kekerasan coran aluminium menggunakan cetakan logam dengan menggunakan metode brinell (Diah Kusuma Pratiwi, 2012).....	14
Gambar 2.6 Grafik hasil pengujian kekerasan coran aluminium menggunakan cetakan pasir dengan menggunakan metode brinell (Diah Kusuma Pratiwi, 2012).....	15
Gambar 2.7 <i>Surface Texture Features</i>	16
Gambar 2.8 Kurva Kekasaran	16
Gambar 2.9 <i>Hight of Roughness Curve</i>	17
Gambar 2.10 Kurva ketidakrataan ketinggian sepuluh titik (Rz).....	17
Gambar 2.11 Geometri Indentor <i>Brinell</i>	19
Gambar 2.12 Geometri Indentor Vickers.....	20
Gambar 2.13 Jejak Hasil Penekanan Indentor	21
Gambar 2.14 Indentor <i>Rockwell</i>	21
Gambar 2.15 Penampang Uji Bending (Standar ASTM D 790-20)	22
Gambar 3.1 Cetakan logam.....	24
Gambar 3.2 Pengaduk dan dapur peleburan	25
Gambar 3.3 Pahat sisipan karbida.....	25
Gambar 3.4 Kikir	25
Gambar 3.5 Stopwatch.....	26
Gambar 3.6 Tachometer.....	26
Gambar 3.7 <i>Miligram electirc</i>	26
Gambar 3.8 Gelas beaker dengan volume 50 MI.....	27
Gambar 3.9 Sarung tangan.....	27
Gambar 3.10 Jangka sorong.....	27

Gambar 3.11 Gergaji tangan	28
Gambar 3.12 <i>Drilling milling</i>	28
Gambar 3.13 Alat uji kekerasan.....	29
Gambar 3.14 Mikroskop <i>optic</i> LEXT OLYMPUS-OLS4100	29
Gambar 3.15 Aluminium 6061	30
Gambar 3.16 <i>Carbon nanotube</i>	30
Gambar 3.17 Plat aluminium 6061	31
Gambar 3.18 Kertas amplas	31
Gambar 3.19 Cairan etsa	31
Gambar 3.20 Gas argon.....	32
Gambar 3.21 Tabung Gas	32
Gambar 3.22 <i>Flow chart</i> penelitian	33
Gambar 3.23 Spesimen plat aluminium.....	35
Gambar 3.24 Spesimen uji <i>bending</i>	37
Gambar 4.1 Proses <i>Friction Surfacing</i>	38
Gambar 4.2 Distribusi panas pada kekasaran permukaan Ra=2,21 μm	39
Gambar 4.3 Distribusi panas pada kekasaran permukaan Ra=5,45 μm	40
Gambar 4.4 Distribusi panas pada kekasaran permukaan Ra=14,43 μm	41
Gambar 4.5 Peningkatan temperatur setiap 15 detik pada setiap variasi kekasaran hasil <i>friction surfacing</i>	43
Gambar 4.6 Rata-rata kekuatan bending (MPa) terhadap Kekasaran permukaan .44	
Gambar 4.7 (a) Proses pengujian banding (b) Spesimen setelah pengujian banding	45
Gambar 4.8 (a) Lapisan hasil <i>friction surfacing</i> (b) Specimen rod (c) Titik pengujian kekerasan hasil <i>friction</i> (d) Titik pengujian kekerasan rod	46
Gambar 4.9 Titik hasil pengujian kekerasan Vickers Error! Bookmark not defined.	
Gambar 4.10 Grafik kekerasan setiap titik.....	48
Gambar 4.11 Struktur mikro hasil <i>Friction Surfacing</i> kekasaran 14,34 μm	49
Gambar 4.12 Struktur mikro hasil <i>Friction Surfacing</i> kekasaran 5,45 μm	50
Gambar 4.13 Struktur mikro hasil <i>Friction Surfacing</i> kekasaran 2,21 μm	50

Gambar A.1 grafik pengujian banding lapisan dengan kekasaran 14,34.....	60
Gambar A.2 grafik pengujian banding lapisan dengan kekasaran 5,45.....	60
Gambar A.3 grafik pengujian banding lapisan dengan kekasaran 2,21	61
Gambar A.4 Proses pembuatan <i>rod</i> (a) pemotongan batang aluminium 6061 (b) penuangan cairan aluminium 6061+CNT 1,5% (c) spesimen <i>rod</i>	61
Gambar A.5 hasil pengujian kekasaran amplas grit 240.....	62
Gambar A.6 hasil pengujian kekasaran amplas grit 120.....	63
Gambar A.7 hasil pengujian kekasaran amplas grit 60.....	64
Gambar A.8 Proses <i>friction</i> surfacing (a) mesin <i>Drilling-Milling Lc-40 A</i> (b) proses <i>friction surfacing</i> (c) Hasil <i>friction surfacing</i>	65
Gambar A.9 Pengujian banding (a) Mesin uji banding Testing (b) computer input data banding (c) pengambilan data uji banding (d) Hasil spesimen setelah uji banding.....	66
Gambar A.10 Pengujian kekerasan (a) spesimen uji kekerasan (b) jejak indentor(c) alat pengujian kekerasan	67
Gambar A.11 Pembuatan spesimen pengujian struktur mikro (a) pembuatan spesimen menggunakan resin avian <i>evoxy</i> (b) Spesimen pengujian struktur mikro (c) melakukan pengetesan spesimen menggunakan etsa Keller Reagent (d) alat pengujian struktur mikro.....	68
Gambar A.12 Hasil Pengujian Struktur Mikro (a) Pengamatan mikro variasi kekasaran 14,43 μm (b) pengamatan mikro variasi kekasaran 5,45 μm (c) Pengamatan mikro struktur variasi kekasaran 2,21 μm	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar Seri Paduan aluminium Tempa.....	7
Tabel 2.2 Daftar Seri Paduan aluminium Tuang.....	7
Tabel 3.1 Sifat mekanik komposit matrik logam.....	8
Tabel 4.1 Peningkatan temperatur setiap variasi kekasaran setiap 15 detik pada saat proses <i>friction surfacing</i> berlangsung.....	42
Tabel 4.2 hasil pengujian kekerasan vickers.....	48
Tabel A.1 Uji Banding Pengujian <i>Friction Surfacing</i>	57
Tabel A.2 Hasil pengujian kekerasan.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Aluminium adalah salah satu logam yang umum digunakan sebagai matriks dalam pembuatan komposit logam, hal ini dikarenakan aluminium memiliki massa yang ringan. Selain itu komposit aluminium memiliki kelebihan dalam kekuatan, ketahanan aus, kekakuan, dan stabilitas dimensi yang baik (Rochmad Eko Prasetyaning Utomo, 2016).

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. Teknologi rekayasa permukaan telah memungkinkan untuk menggabung jenis aluminium berbeda dengan cara pelapisan. Dengan sifat tahan korosi dan mampu bentuk yang baik, Al 6061 biasa dipilih sebagai bahan pelapis untuk menutupi jenis aluminium lainnya.

Penelitian tentang aluminium sebagai bahan pelapis menggunakan metode *friction surfacing* telah dilakukan oleh Aditya (2020) dengan pengaruh *travel speed* terhadap lapisan Al 6061 yang menunjukkan hasil dari uji pelapisan aluminium ini memiliki sifat kekerasan meningkat seiring bertambahnya kecepatan *travel speed* namun nilai kekuatan bending menurun mengindikasikan daya rekat yang berkurang seiring bertambahnya *travel speed*. Kekerasan lapisan ditingkatkan dengan penambahan penguat *carbon nanotubes* (CNT) dalam matriks Al 6061. Penelitian mengenai penggunaan rod komposit Al-CNT telah dilakukan oleh Nurhudedah dan Asruddin (2019). Mereka berhasil meningkatkan kekerasan rod

dan lapisan serta ketahanan aus lapisan sangat tinggi yang mengindikasikan kontribusi CNT sangat besar. Pelapisan tersebut diterapkan pada *substrate* baja. Penulis tertarik untuk menerapkan lapisan Al-CNT pada *substrate* aluminium dengan metode *friction surfacing*. Tetapi, kekerasan material rod dari Al-CNT yang jauh lebih tinggi daripada material *substrate* berpotensi merusak *substrate* serta menghalangi terbentuknya lapisan. Untuk itu, kekasaran permukaan *substrate* perlu ditingkatkan dimana dimaksudkan untuk menaikkan efek gesekan yang menimbulkan panas pada *rod* lebih cepat sehingga rod akan cepat mencapai keadaan *viscoplastis*.

Berdasarkan alasan-alasan di atas yang mendorong penulis untuk mengadakan penelitian sebagai tugas akhir dengan judul **“Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Lapisan Aluminium-1,5% CNT Dengan Proses *Friction Surfacing* Menggunakan Mesin *Drilling-Milling* ”**.

1.2 Rumusan masalah

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

1. Bagaimana kekasaran permukaan *substrate* mempengaruhi mampu rekat lapisan aluminium CNT ?
2. Bagaimana kekasaran permukaan *substrate* mempengaruhi kekerasan lapisan aluminium CNT ?
3. Bagaimana penampakan struktur mikro spesimen tersebut ?

1.3 Tujuan penelitian

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

1. Menganalisa mampu rekat lapisan hasil *friction surfacing* dengan uji *bending* pada setiap variasi kekasaran permukaan.
2. Menganalisa pengaruh kekasaran permukaan terhadap kekerasan lapisan *friction surfacing*.

3. Menganalisa struktur mikro pada lapisan dan *interface* melalui pengujian metalografi.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, hal – hal yang dibatasi adalah:

1. Menjaga putaran dan pergerakan meja kerja tetap konstan pada proses *friction surfacing*.
2. Berat penambahan CNT yang dipilih yakni 1.5% wt CNT terhadap Aluminium 6061.
3. Terdapat 3 variasi *kekasaran permukaan*, yaitu: 2.21 μm , 5.45 μm , 14.43 μm .
4. Pada pengujian mekanik, terdapat 3 spesimen disetiap variasi *kekasaran permukaan* pada proses pelapisan spesimen dengan metode *friction surfacing*.
5. Proses *friction surfacing* menggunakan mesin *Drilling-Milling* tipe Lc-40 A dengan putaran 3300 rpm, *travel speed* 9 mm/menit, dan *axial force* 2 kg.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengembangkan metode baru dalam proses pelapisan material
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan kajian atau informasi bagi dunia kerja khususnya pengetahuan bahan, perlakuan panas, dan juga pengujian bahan.
3. Dapat diaplikasikan untuk praktikum pelapisan material dalam skala laboratorium.
4. Menambah referensi sebagai pengembangan ilmu di bidang pelapisan logam, khususnya pelapisan permukaan material.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I : Pendahuluan

Pendahuluan berisi tentang apa yang melatarbelakangi penulis tertarik untuk melakukan penelitian terkait dengan rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian serta tujuan dan manfaat penelitian dengan beberapa Batasan masalah.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Tinjauan Pustaka berisi tentang defenisi, proses dan parameter *Friction Surfacing*, paparan teori tentang aluminium dan paduannya, carbon nanotubes, pengecoran, pengujian mekanik, pengujian kekasaran, dan metalografi.

BAB III : Metode Penelitian

Metode penelitian barisi tentang prosedur yang dilakukan penulis dimulai dari persiapan alat dan bahan penelitian serta pengujian yang akan dilakukan,

BAB IV : Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan berisi tentang data hasil penelitian mulai dari grafik dan tabel pengujian bending dan kekerasan hingga pembahasan struktur mikro.

BAB V : Penutup

Penutup berisi tetang kesimpulan dari hasil penelitian mulai dari pengujian bending,kekerasan dan struktur mikro.

BAB II

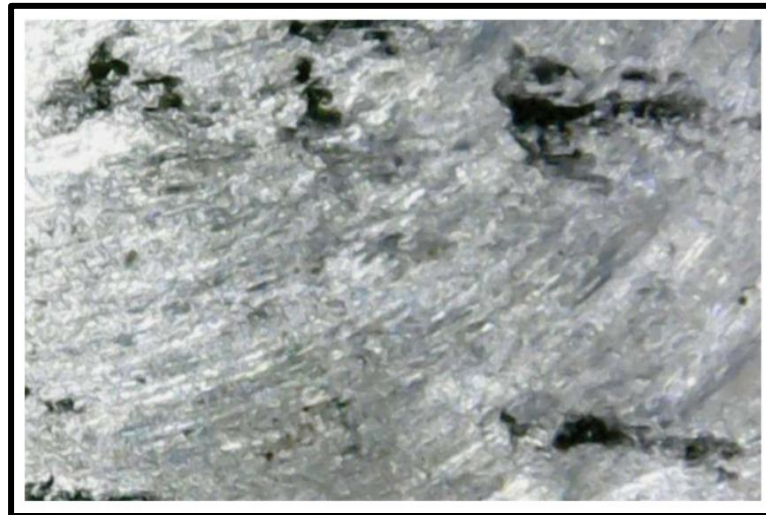
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Friction Surfacing (FS)

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

2.1.1 Parameter proses dalam *Friction Surfacing*

Terdapat 3 parameter proses pada pelapisan permukaan metode *friction surfacing* yaitu *axial force*, *travel speed*, dan *rotational speed*. Ketiga parameter tersebut memberi pengaruh terhadap hasil atau lapisan permukaan yang diperoleh. Sebelumnya Al Amin (2018) 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 2.1



Gambar 2.1 Foto micro lapisan hasil *friction surfacing* (Al Amin, 2018)

Gambar 2.1 memperlihatkan struktur 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).

2.2 Aluminium

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

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, amplas dan permata sintesis.

2.2.1 Aluminium dan Paduannya

Berdasarkan metode peleburannya, paduan aluminium dikelompokkan menjadi dua kelompok utama yaitu paduan tempa (*wrought*) dan paduan tuang (*casting*). Jenis paduan aluminium saat ini sangat banyak dan tidak menutup kemungkinan ditemukannya lagi jenis paduan aluminium baru, oleh karena itu dibuat sistem penamaan sesuai dengan komposisi dan karakteristik paduan aluminium tersebut untuk memudahkan pengklasifikasinya. Salah satu penamaan paduan standar AA, seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Daftar Seri Paduan aluminium Tempa

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

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

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

Tabel 2.2 Daftar Seri Paduan aluminium Tuang

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

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

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

Paduan tempa yang dapat diperkuat lewat perlakuan panas adalah kelas 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan beberapa jenis dari kelas 8xxx. Beberapa kombinasi penambahan unsur pepadu, mekanisme penguatannya, serta perkiraan nilai kekuatan yang dapat dicapai dapat dilihat dalam Tabel 2.3 (Hatch, 1984).

Tabel .3 Sifat mekanik komposit matrik logam

<i>Fiber</i>	<i>Matrix</i>	<i>Fiber content (vol %)</i>	<i>Density (g/cm³)</i>	<i>Longitudinal tensile modulus (GPa)</i>	<i>Longitudinal tensile strength (MPa)</i>
Carbon	6061 Al	41	2.44	320	620
Boron	6061 Al	48	-	207	1515
SiC	6061 Al	50	2.93	230	1480
Alumina	380.0 Al	24	-	120	340
Carbon	AZ31 Mg	38	1.83	300	510
Borsic	Ti	45	3.68	220	1270

2.3 CNT (*Carbon nanotube*)

CNT merupakan material yang terbuat dari struktur karbon berskala nanometer dan mempunyai karakteristik mekanik dan dielektrik yang baik. Struktur CNT ditemukan pertama kali oleh Sumio Iijima pada tahun 1991 ketika mempelajari permukaan elektroda graphite dengan menggunakan mikroskop elektron beresolusi tinggi, mempunyai struktur yang terbentuk dari setidaknya dua lapisan graphene (grafit berbentuk lembaran) dan secara umum mempunyai diameter berorde nanometer.

2.3.1 Struktur CNT (*Carbon Nanotube*)

CNT adalah salah satu struktur *carbon* yang berbentuk seperti silinder dengan diameter dalam orde nanometer. Salah satu keunikan dalam struktur ini adalah kelebihanannya dalam hal kekuatan, sifat keelektrikannya, dan juga sifat dalam penghantaran panas yang baik. Struktur ini memiliki bermacam bentuk turunan yang masing-masing memiliki sifatnya tersendiri. Keistimewaan *carbon nanotube* membuatnya menjadi harapan baru dalam perkembangan teknologi nano.

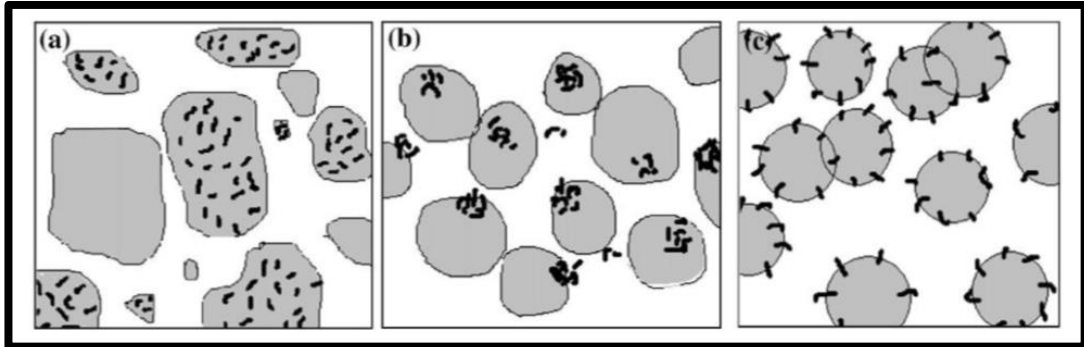
CNT merupakan turunan dari struktur *carbon* yang dideskripsikan sebagai lembaran grafit setebal 1 atom yang digulung menyerupai silinder dan memiliki diameter dengan orde nanometer. Lembaran ini memiliki struktur seperti sarang lebah (*honeycomb*) yang terdiri dari ikatan-ikatan atom carbon.

Struktur CNT yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur carbon lainnya. Kelebihan ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat, struktur kendaraan yang aman, dan lainnya. Hal ini dikarenakan CNT memiliki ikatan sp³ menyerupai struktur di grafit. Ikatan ini lebih kuat dibandingkan dengan struktur ikatan sp² yang dimiliki oleh intan. Dengan demikian secara alami *carbon nanotube* akan membentuk ikatan yang sangat kuat.

2.3.2 Metode Pencampuran CNT (*Carbon Nanotube*)

Sejak ditemukannya pada tahun 1991, CNT telah menjadikan penguat yang menjanjikan untuk nano komposit, karena sifat mekanik dan fisik yang luar biasa dari nanotube, yaitu *high strength* yang luar biasa untuk rasio berat, aspek rasio yang tinggi, dan *high fracture strain* dan fleksibilitas yang tinggi. Serbuk aluminium dipilih sebagai matriks untuk campuran CNT. Terdapat tiga metode pencampuran yang berbeda, yaitu *high energy ball milling*, *low energy ball milling* dan dengan teknik pencampuran Polyester Binder Assisted (PBA). Dalam penelitian Jinzhi Liao ini fraksi massa yang digunakan 0,5% dari CNT ditambahkan pada serbuk aluminium, dengan perbedaan metode *mixing*, yaitu *high energy ball milling*, *low energy ball milling* dan dengan teknik

pencampuran *Polyester Binder Assisted* (PBA). Didapat gambaran skema dari CNTs dan Serbuk aluminium setelah di *mixing* dengan teknik yang berbeda.



Gambar 2 2 (A) *High energy ball milling* (B) *Low energy ball milling* (C) Dengan teknik pencampuran *polyester binder assisted* (PBA)

Skema dari CNTs dan Serbuk aluminium setelah di *mixing* dengan teknik yang berbeda. (a) *high energy ball milling*, CNT efektif tersebar meskipun kurang merata pada serbuk Al; dan pada (b) *low energy ball milling*, CNT tersebar pada serbuk Al akan tetapi masih ada gumpalan; dan pada (c) dengan teknik pencampuran *Polyester Binder Assisted* (PBA), CNT melapisi serbuk aluminium akan tetapi masih terdapat gumpalan (Alif Maulana, 2012).

Dikutip dari artikel yang ditulis Esawi A.M.K dkk, berisi tentang komposit matrik aluminium yang diperkuat CNT menghasilkan komposit dengan persen berat CNT yang semakin banyak menunjukkan peningkatan kekuatan tariknya. Kemajuan yang sama dapat diamati pada pengukuran *Young modulus* dengan peningkatan maksimum (+23%), pada sample 2%wt CNT. Tidak seperti pada kekuatan tarik, pada *Young modulus* terjadi penurunan sedikit sebesar 5%, akan tetapi masih melampaui kekakuan aluminium murni 20%.

Peningkatan yang signifikan terjadi pada komposit dengan 2% wt CNT. Kekuatan tarik yang diterima mencapai 250 MPa dibandingkan dengan aluminium murni hanya 175 MPa, akan tetapi tidak pada penambahan 5% wt CNT. Tidak terjadi kenaikan kekuatan tarik sesuai dengan estimasi.

Dari kutipan jurnal tersebut diketahui bahwa sifat mekanik yang dihasilkan meningkat secara signifikan dengan meningkatnya kandungan CNT

dan baik melebihi atau yang dekat dengan nilai-nilai diprediksi berdasarkan teori komposit kecuali pada penambahan 5% wt.

2.3.3 Sifat-Sifat Carbon Nanotubes

a. Konduktivitas Listrik dan Panas

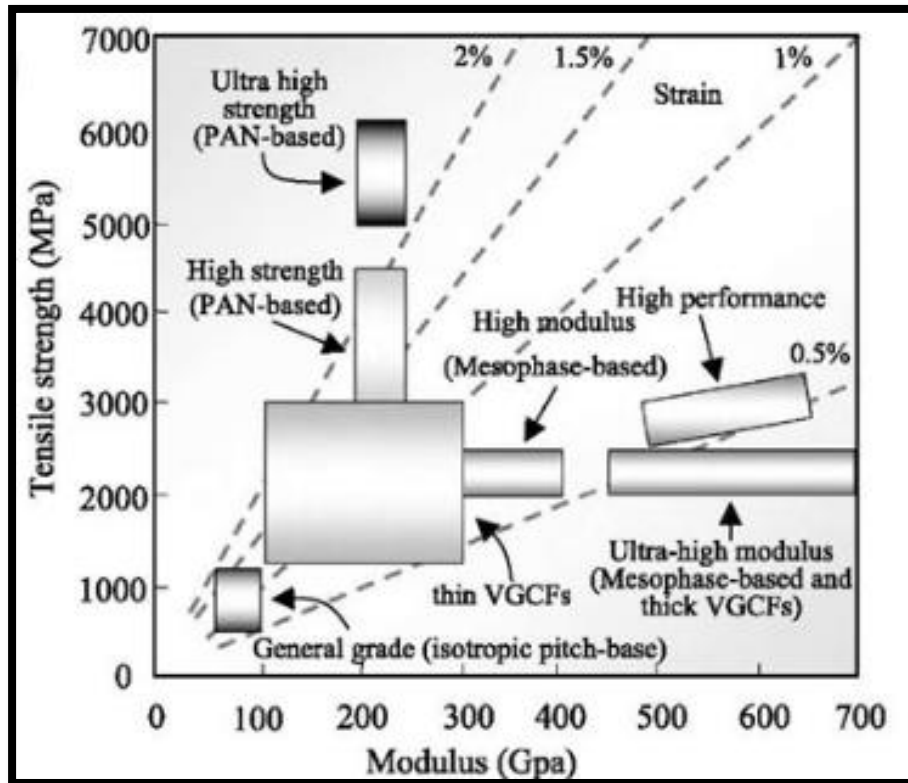
Sifat keelektrikan yang dimiliki oleh *carbon nanotube* ditentukan oleh struktur yang dimilikinya. Struktur ini menyangkut diameter dan bagaimana *tube*” digulung” menjadi *nanotube*. Bilamana mengacu pada gambar 2.7, maka untuk *nanotube* (n,m), bila n-m adalah kelipatan dari 3 maka *nanotube* tersebut bersifat konduktor, dan selain itu bersifat semikonduktor. Sehingga untuk struktur armchair akan selalu bersifat logam (n=m). *Nanotube* memiliki densitas arus listrik 1000 kali lebih besar daripada logam seperti perak dan tembaga.

Ketika nanotube bersifat sebagai konduktor, *nanotube* memiliki konduktivitas yang sangat tinggi. Diperkirakan pada saat *nanotube* bersifat sebagai konduktor maka ia mempunyai konduktivitas listrik sebesar 1 milyar Ampere per 1 cm². Hal ini tidak mungkin terjadi pada bahan tembaga karena akan terjadi panas yang dapat melelehkan tembaga. Pada nanotube tidak akan terjadi panas yang tinggi karena hambatan yang rendah. *Nanotube* juga memiliki konduktivitas panas yang baik. Hal ini yang kemudian nanotube diberi sebutan *ballistic conduction*. *Nanotube* memiliki kemampuan untuk mentransmisikan 6000 W/m/K di suhu ruangan (pada tembaga hanya 385 W/m/K). Selain itu nanotube tetap stabil hingga suhu 2800°C di ruang hampa udara dan sekitar 750°C di udara bebas.

b. Kekuatan Mekanik

Nanotube memiliki modulus elastik dan sifat peregangan yang sangat baik. Sifat ini karena ikatan sp² yang dimiliki oleh *carbon nanotube* ini. Pada gambar 2.3 nampak bahwa tipe MWNT dapat menangani hingga 63 GPa regangan yang diberikan padanya (pada baja karbon terbaik saat ini hanya mampu menahan peregangan hingga 1.2 GPa). Sedangkan modulus elastik yang dimiliki oleh *nanotube* dapat mencapai 1 TPa. Saat ini telah diketahui

pula nanotube memiliki kekuatan hingga 48462 kN.m/kg (dibandingkan baja *carbon* terbaik hanya 154 kN.m/kg).



Gambar 2.3 Perbandingan sifat mekanik dari carbon dan grafit fiber

c. Sifat Vibrasi

Atom memiliki pola getaran yang kontinue dan periodik. Pada MWNT, dimana beberapa nanotube saling terpolas satu di dalam yang lain, memperlihatkan bahwa pada lapisan yang di dalam akan bergetar sedemikian hingga mendekati pola gerakan yang berputar sempurna tanpa adanya gesekan dengan lapisan di atasnya. Pendekatan ini kemudian dapat dikembangkan menjadi motor dalam skala nanometer. Pergetaran ini sangat ditentukan oleh diameter dari *nanotube* (Mc Kelvey, 1986).

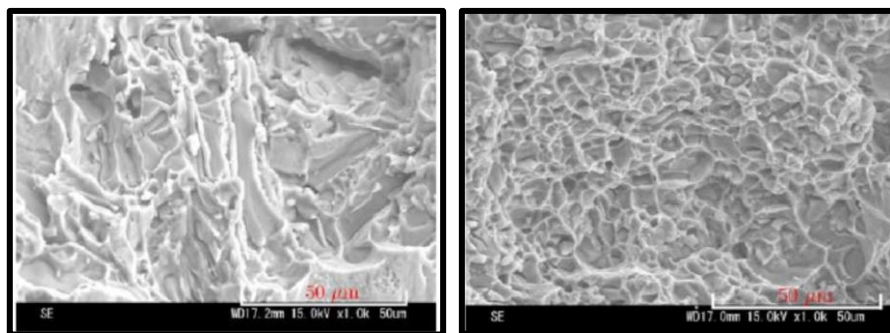
2.4 Proses Pengecoran

Pengecoran adalah proses pembentukan logam dengan cara dicairkan, lalu dituang ke dalam cetakan dan dibiarkan sampai membeku.

2.4.1 Cetakan logam dan cetakan pasir

Bahan cetakan bervariasi. Beberapa diantaranya dibuat dari bahan pasir, semen, keramik, dan logam. Masing-masing bahan cetakan ini akan memberikan pengaruh terhadap kualitas logam cair. Kualitas ini terutama mengenai sifat mekanik dan cacat yang terbentuk selama proses penuangan dan pembekuan. Hal ini berpengaruh sangat penting terutama pada komponen-komponen mesin yang bergerak dan memerlukan keamanan yang tinggi.

Cetakan logam dan cetakan pasir sering digunakan karena untuk mengontrol kecepatan pembekuan logam cair. Pada cetakan logam, proses pembekuan berlangsung cepat sehingga meningkatkan kekuatan dan kekerasan logam. Sedangkan pada cetakan pasir, proses pembekuan lebih lambat, sehingga meningkatkan keuletan logam. Kecepatan pembekuan ini amat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan besar butir. Pada Gambar 2.4 ditunjukkan perbedaan besar butir dan yang mengalami patah transgranular aluminium coran yang dicetak dengan menggunakan cetakan pasir dan cetakan logam.



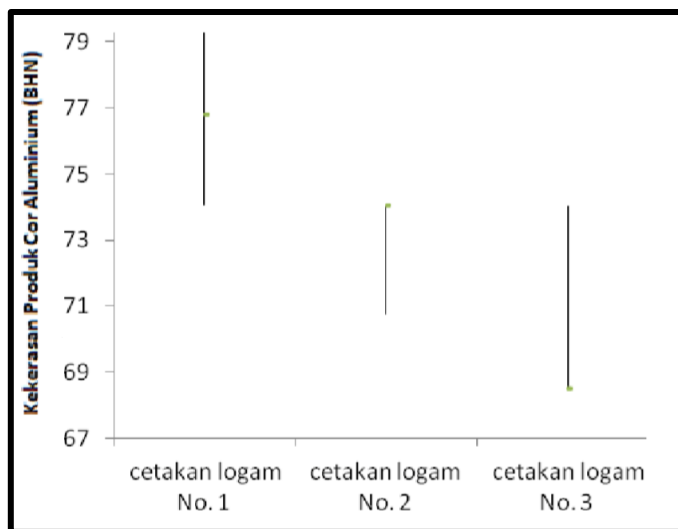
Gambar 2.4 Hasil coran cetakan pasir (a) Hasil coran cetakan logam

Gambar 2.4 permukaan patahan aluminium coran yang dikenai kombinasi tegangan tarik dan tegangan geser pada spesimen *butterfly* pada sudut $\alpha+20^\circ$. Hasil menunjukkan bahwa kekerasan dan porositas produk cor yang menggunakan cetakan pasir dan cetakan logam bervariasi. Porositas ini terjadi karena pengaruh proses penuangan dan jenis cetakan yang digunakan. Porositas ini berasal dari gelembung-gelembung gas yang larut dan terperangkap selama proses pencairan dan penuangan. Bagian permukaan

aluminium cair akan mereduksi uap air yang terdapat dalam atmosfer (Diah Kusuma Pratiwi, 2012).

2.4.2 Kekerasan Produk Cor Aluminium

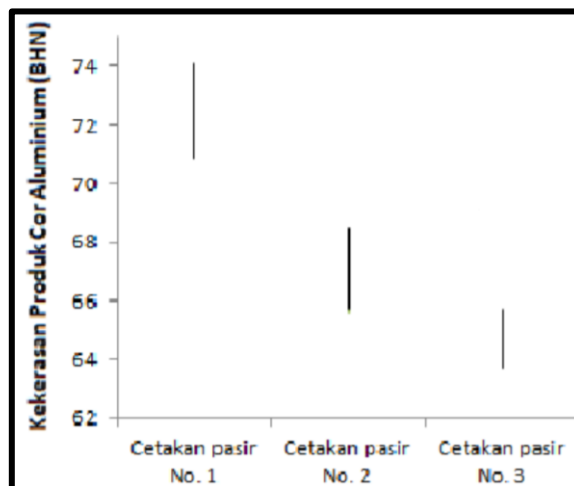
Pengujian kekerasan untuk produk cor aluminium yang menggunakan cetakan logam menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran cetakan kekerasan semakin tinggi. Grafik hasil pengujian kekerasan ini di tujukkan pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.5 Grafik hasil pengujian kekerasan coran aluminium menggunakan cetakan logam dengan menggunakan metode brinell (Diah Kusuma Pratiwi, 2012)

Semakin besar ukuran spesimen, kekerasan menurun. Hal ini berhubungan dengan besar butir. Pada spesimen yang lebih kecil proses pembekuan berlangsung cepat, sehingga pembesaran butir sangat lambat. Sedangkan pada spesimen yang lebih besar mengalami pembesaran butir yang cepat, sehingga ukuran butir menjadi lebih besar. Pada butir yang berukuran kecil, luas permukaan yang menghalangi deformasi plastis akibat gaya dari luar lebih besar. Sehingga kekerasan menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan butir yang masih sempat tumbuh pada spesimen nomor 2 dan nomor 3 yang lebih besar. Kekerasan produk cor aluminium yang menggunakan cetakan logam berkisar antara 79,61–68,49 BHN.

Grafik hasil uji keras pada produk cor aluminium yang menggunakan cetakan pasir menunjukkan bahwa angka kekerasan yang paling tinggi adalah 74,67 BHN dan yang paling rendah adalah 63,69 BHN. Hal ini disebabkan karena konduktivitas panas pasir yang hanya 1,93–2,90 W/m.K menyebabkan proses pembekuan lebih lambat dibandingkan dengan cetakan baja yang mempunyai konduktivitas panas 36–55W/m.K. Selain itu, semakin besar ukuran cetakan maka proses perpindahan kalor selama pembekuan menjadi lebih lambat lagi. Sehingga semakin besar ukuran spesimen, kekerasan semakin menurun. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.6 berikut ini.



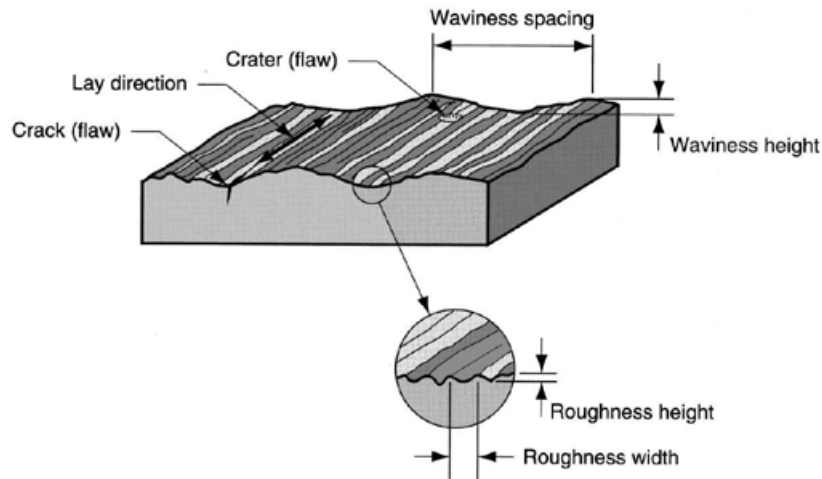
Gambar 2.6 Grafik hasil pengujian kekerasan coran aluminium menggunakan cetakan pasir dengan menggunakan metode brinell (Diah Kusuma Pratiwi, 2012)

Pada penelitian ini kami akan menggunakan cetakan logam karena mengacu pada uraian di atas dan penelitian yang telah ada sebelumnya.

2.5 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah karakteristik terukur yang mengacu pada penyimpangan kekasaran sebagaimana uraian di atas. Permukaan akhir (surface finish) adalah suatu istilah hubungan yang mencerminkan kehalusan atau mutu umum suatu permukaan. Di dalam pemakaian kata yang umum, permukaan akhir sering digunakan sebagai suatu kata lain untuk kekasaran permukaan. Tekstur permukaan seperti yang ditampilkan pada gambar 1 terdiri dari penyimpangan acak yang berulang pada permukaan normal dari suatu objek permukaan. Kekasaran

mengacu pada jarak penyimpangan dari permukaan yang nominal yang ditentukan oleh karakteristik material dan cara memproses hingga diperoleh bentuk permukaan itu. *Waviness* menggambarkan besar penyimpangan pengaturan jarak sayatan saat pengerjaan, kondisi ini dapat diakibatkan oleh getaran, lenturan, perlakuan panas dan factor lain (Karmin dkk, 2013).



Gambar 2.7 Surface Texture Features

2.5.1 Parameter Kekerasan (Ra)

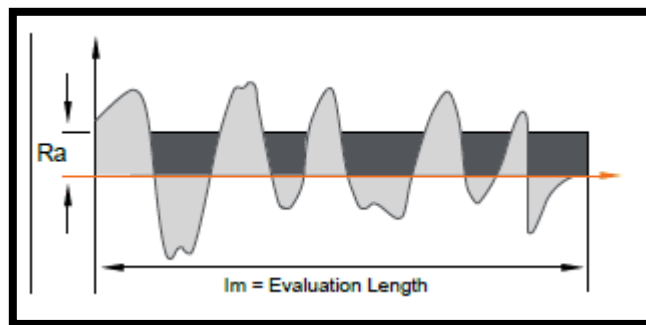
a. Penyimpangan Rata-rata Aritmatik dari Garis Rata-rata Profil (Ra)

Ra adalah rata-rata absolut penyimpangan yang diukur dari garis rata-rata (*center line*) profil efektif.

$$Ra = M / l$$

M = Luas keseluruhan (arsiran) diatas dan di bawah *center line*

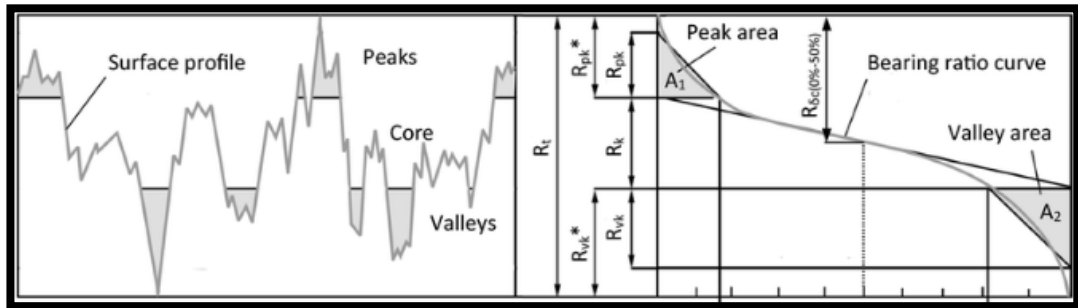
L = Panjang bagian yang diuji (*evaluation length*)



Gambar 2.8 Kurva Kekasaran

b. Hight of Roughness Curve (Rt)

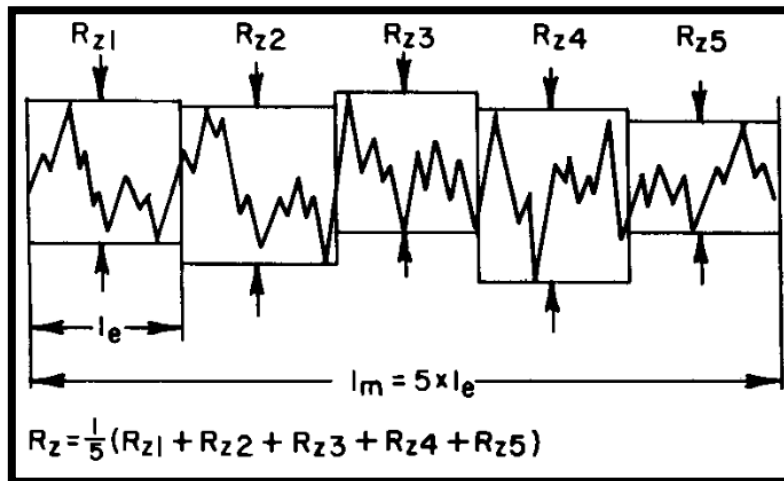
Ketidakrataan ketinggian maksimum adalah jarak antara dua garis sejajar yang menyinggung profil pada titik tertinggi dan terendah antara panjang bagian yang diuji



Gambar 2.9 Hight of Roughness Curve

a. Ketidakrataan Ketinggian Sepuluh Titik (Rz)

Ketidakrataan ketinggian sepuluh titik (Rz) adalah jarak rata-rata antara lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam di sepanjang bagian yang diuji, yang diukur dari garis sejajar dengan garis rata-rata di sepanjang “evolution length”



Gambar 2.10 Kurva ketidakrataan ketinggian sepuluh titik (Rz)

2.5.2 Cara Pengukuran Permukaan

Banyak cara yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kekerasan permukaan. Cara yang paling sederhana dengan meraba atau menggeruk permukaan yang diperiksa. Cara ini sudah pasti ada kelemahannya, karena sifat

hanya membandingkan saja. Dan dasar pengambilan keputusan baik tidaknya suatu permukaan adalah berdasarkan perasaan si pengukur belak, yang tentu antara pengukuran satu dengan pengukuran lainnya akan berbeda. Berikut beberapa cara pengukuran permukaan yang lebih teliti;

- a. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan Mikroskop (*Microscopic Inspection*), Keterbatasan pemeriksaan permukaan dengan mikroskop ini adalah pengambilan bagian permukaan yang sempit setiap kali akan melakukan pengukuran. Maka dari itu, dalam pemeriksaan kekasaran permukaan harus dilakukan berulang-ulang untuk kemudian dicari harga rata-ratanya. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan mikroskop ini termasuk juga salah satu pengukuran dengan cara membandingkan, yaitu membandingkan hasil pemeriksaan permukaan yang diukur dengan permukaan dari pembanding yang kedua-duanya dilihat dengan mikroskop. Pertama melihat permukaan ukur dengan mikroskop, kemudian ganti melihat permukaan pembanding. Dengan membandingkan kedua permukaan yang dilihat dengan mikroskop ini maka dapat dianalisis bagaimana keadaan yang sesungguhnya dari permukaan yang diperiksa.
- b. Pemeriksaan kekasaran permukaan dengan foto (*surface photograph*) Pengukuran dengan cara ini adalah mengambil gambar atau memotret permukaan yang akan diperiksa. Kemudian foto permukaan tersebut diperbesar dengan perbesaran yang berbeda-beda. Perbesaran yang diambil adalah perbesaran secara vertikal. Dengan membandingkan hasil perbesaran foto permukaan yang berbeda-beda ini maka dapat dianalisis ketidakrataan dari permukaan yang diperiksa.
- c. Pemeriksaan Kekasaran dengan peralatan Kekasaran secara Mekanik *Mechanical Roughness Instrument* yang disingkat dengan *MECRIN* adalah peralatan untuk memeriksa kekasaran permukaan yang merupakan perkembangan dari cara perabaan atau penggarukan permukaan. Alat ini bekerja dengan sistem mekanik dan diproduksi oleh *Messrs.*

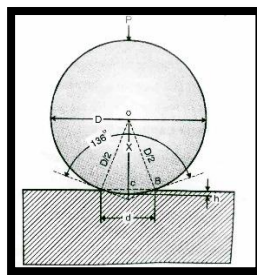
2.6 Uji Mekanik (Mechanical Test)

2.6.1 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 indenter. Beban yang digunakan untuk setiap jenis logam adalah berbeda, tergantung terhadap metode pengujian dan pengukuran yang digunakan. Ada tiga metode pengujian yang paling sering digunakan untuk logam yaitu, Metode *Brinell*, Metode *Vickers* dan Metode *Rockwell*.

a. Metode *Brinell*

Pengujian dengan metode ini dilakukan dengan indenter yang berbentuk bola dengan beban dan waktu tertentu, seperti terlihat pada Gambar 2.21. Harga kekerasan diperoleh dari persamaan berikut ini :



Gambar 2.11 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 indenter akan diikuti dengan perubahan beban akan didapatkan Hb yang sama.

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

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 2.22. Harga kekerasan *Vickers* diperoleh dengan rumus:

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

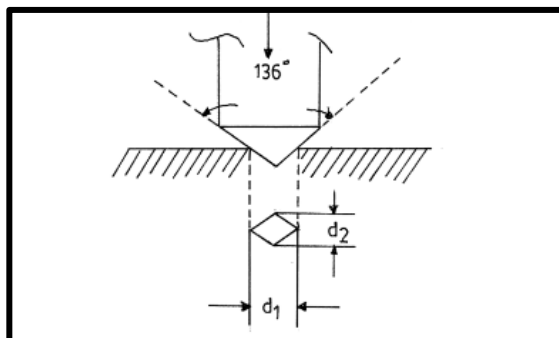
dengan :

P=Beban yang diberikan (kg),

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

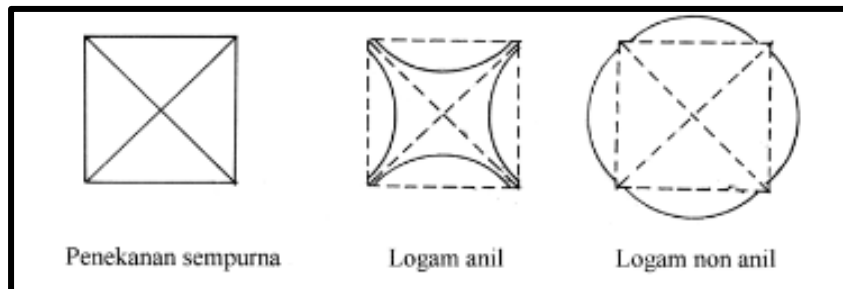
O = Sudut puncak 136 .

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



Gambar 2.12 Geometri Indentor *Vickers*

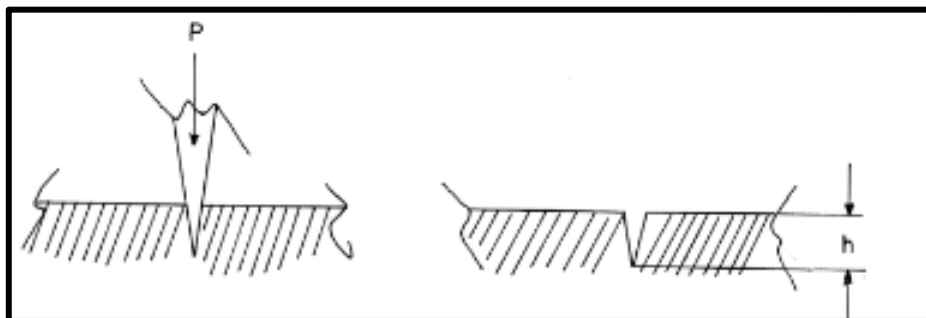
Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mikroskop, seperti dalam Gambar 2.23



Gambar 2.13 Jejak Hasil Penekanan Indentor

c. Metode *Rockwell*

Pada metode ini digunakan indentor intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 2.24. Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “h” dari permukaan. Jarak “h” menentukan kekerasan dari logam uji.



Gambar 2.14 Indentor *Rockwell*

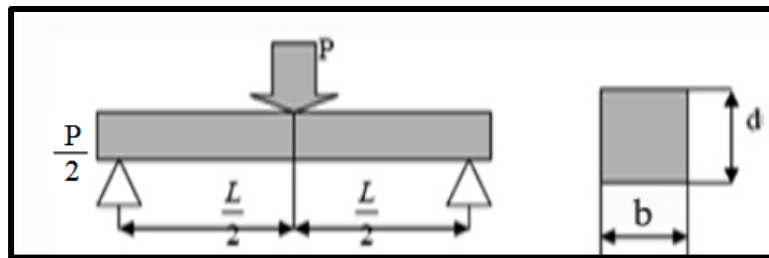
Harga kekerasan diperoleh dari pembacaan langsung pada skala alat pengujian *Rockwell* antara lain:

1. 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.
2. 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.

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

2.6.2 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 2.21 berikut ini : (Standart ASTM D 790-02)



Gambar 2.15 Penampang Uji Bending (Standar ASTM D 790-20)

Momen yang terjadi pada komposit dapat dihitung dengan persamaan:

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

Menentukan kekuatan bending menggunakan:

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

Sedangkan untuk menentukan modulus elastisitas bending menggunakan rumus sebagai berikut:

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

dimana:

σ_b = kekuatan bending (MPa)

P= beban yang diberikan(N)

L= jarak antara titik tumpuan (mm)

b= lebar spesimen (mm)

d =tebal spesimen (mm)

δ = defleksi (mm)

E_b = modulus elastisitas (MPa)

2.6.3 Metalografi

Metalografi adalah suatu cabang ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan struktur dan keadaan, serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya. Tujuan utama pengujian metalografi adalah untuk mengetahui keadaan/kondisi suatu logam dan paduannya ditinjau dari strukturnya dengan menggunakan mikroskop. Dengan pengujian metalografi, dapat diketahui kondisi suatu logam/paduannya (ulet/rapuh), geometri kristal, susunan atom dan lain-lain. Serta dapat digunakan sebagai salah satu sarana untuk mengetahui kerusakan kegagalan suatu komponen.

Ruang lingkup yang dibahas hanya mencakup dasar-dasar metalografi yang menggunakan berkas kasat mata (terlihat mata). oleh karena itu disebut juga metalografi cahaya kasat mata atau metalografi optik. Peralatan yang umum digunakan untuk kegiatan metalografi sebagai berikut:

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