SKRIPSI

ANALISIS LAJU KEAUSAN LAPISAN ALUMINIUM-CNT DAN ALUMINIUM-KARBON HASIL *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40A

OLEH:

ZULFADLI

D021 17 1027

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

ANALISIS LAJU KEAUSAN LAPISAN ALUMINIUM-CNT DAN ALUMINIUM-KARBON HASIL *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40A

OLEH:

ZULFADLI

D211 17 1027

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

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 26 Agustus 2022 dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

JUDUL :

ANALISIS LAJU KEUASAN LAPISAN ALUMINIUM-CNT DAN ALUMINIUM-KARBON HASIL *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40A

ZULFADLI

D021 17 1027

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbimg II
Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT.	Dr. Hairul Arsyad, ST., MT.
NIP. 19740415 199903 1 001	NIP. 19750322 200212 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

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

NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	: Zulfadli
Nim	: D021 17 1027
Program Studi	: Teknik Mesin
Jenjang	: S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

ANALISIS LAJU KEUASAN LAPISAN ALUMINIUM-CNT DAN ALUMINIUM-KARBON HASIL *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40A

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

Gowa ,26 Agustus 2022

Yang Menyatakan

Zulfadli

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama lengkap `	:	ZULFADLI
Nama Panggilan	:	FADLI
Tempat / Tanggal Lahir	:	BANA, 05 FEBRUARI 1999
Jenis Kelamin	:	Laki-Laki
Agama	:	Islam
Golongan Darah	:	AB
Alamat	:	Panyangkalang, Kec. Bajeng, Kab. Gowa
Telepon / No. HP	:	085298721812
E-mail	:	zulfadli0205@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- SD INP 5/81 BANA	(2004-2010)
- SMP ISLAM DARUL ISTIQAMAH	(2010-2013)
- SMA INSAN KAMIL	(2013-2017)
- Universitas Hasanuddin	(2017-2022)

RIWAYAT ORGANISASI

- HMM FT-UH

ABSTRAK

Zulfadli (D021 17 1027). Analisis laju keausan lapisan aluminium-CNT dan aluminium-karbon hasil *friction surfacing process* menggunakan mesin *drilling-milling* tipe LC-40A. (Dibimbing oleh Lukmanul Hakim Arma dan Hairul Arsyad).

Saat ini banyak kita jumpai permukaan yang membutuhkan sebuah lapisan tahan terhadap gesekan serta dapat melindungi permukaan tersebut dari korosi. Diantara beberapa permukaan, terjadi gesekan setiap saat yang dapat menyebabkan terjadinya keausan. Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengetahui perubahan nilai kekerasan rod hasil pengecoran dari material aluminium-karbon dan aluminium-CNT masing-masing pada komposisi berat 0,5%, 1%, 1,5%. 2) menganalisa perubahan kekerasan lapisan hasil *friction surfacing* dari material rod aluminium-karbon dan rod aluminium-CNT pada beberapa komposisi berat. 3) membandingkan dan menganalisa laju keausan antara aluminium-karbon dan aluminium-CNT hasil *friction surfacing* pada beberapa komposisi berat. Penelitian ini menggunaka rod aluminium 6061+CNT dan karbon dengan komposisi 0,5%, 1%, 1,5% dan aluminium 2021 sebagai substrate. Proses *friction surfacing* dengan suhu awal 130°C, *travel speed* sebesar 9cm/menit. Suhu mencapai 240°C pada putaran 3400 rpm. Pengujin kekerasan menunjukkan aluminium 6061 apabila ditambahkan CNT atau karbon dapat meningkatkan nilai kekerasan rod hasil pengecoran dan kekerasan AL+CNT dan AL+C mengalami peningkatan kekerasan seiring dengan penambahan kadar CNT maupun karbon pada hasil lapisan *friction surfacing.* Pada AL+CNT menunjukkan bahwa adanya penurunan nilai keausan seiring dengan penambahan kadar CNT keausan terendah pada CNT 1,5% yaitu 0,18 mg/s. Sedangakan pada AL+C juga mengalami penuran nilai keuasan, tapi nilai laju keausan terendah pada komposisi AL+C 1% dengan nilai 0,32 mg/s. Struktur mikro menunjukkan adanya penggumpalan (aglomerasi) pada 1,5% AL+CNT dan AL+C sehingga distribusi CNT dan karbon yang tidak merata tersusun secara acak.

Kata kunci : Aluminium 6061, Aluminium 2021, CNT, karbon, kekerasan, keuasan, Foto mikro.

ABSTRACT

Zulfadli (D021 17 1027). Analysis of the wear rate of the aluminum-CNT and aluminum-carbon layers resulting from the friction surfacing process using a drilling-milling machine type LC-40A. (Supervised by Lukmanul Hakim Arma and Hairul Arsyad).

Today, we encounter many surfaces that require a layer that is resistant to friction and can protect the surface from corrosion. Between several surfaces, friction occurs at any time, which can cause wear. This study aims to 1) determine the changes in the value of the hardness of the casting rods from aluminum-carbon and aluminum-CNT materials, respectively, at a composition of 0.5%, 1%, and 1.5% by weight. 2) analyze the changes in the hardness of the friction surfacing layer of the aluminum-carbon rod and aluminum-CNT rod materials at several weight compositions. 3) Compare and analyze the wear rates caused by friction surfacing on several heavy compositions of aluminum-carbon and aluminum-CNT. This research uses 6061+CNT aluminum rod and carbon with a composition of 0.5%, 1%, 1.5% and 2021 aluminum as substrate. With an initial temperature of 130 °C and a travel speed of 9 cm/minute, the process begins. The temperature reaches 240°C at 3400 rpm. The hardness tester shows that aluminum 6061 when added with CNT or carbon can increase the hardness value of the casting rod and the hardness of AL+CNT and AL+C increases in hardness along with the addition of CNT and carbon levels in the friction surfacing layer. The results show that there is a decrease in the value of wear and tear along with the addition of CNT levels. The lowest wear was at 1.5% CNT, which was 0.18 mg/s. Meanwhile, AL+C also experienced a decrease in wear value, but the lowest wear rate was at 1% AL+C composition, with a value of 0.32 mg/s. The microstructure showed agglomeration of 1.5% AL+CNT and AL+C so that the uneven distribution of CNT and carbon was arranged randomly.

Key words : Aluminum 6061, Aluminum 2021, CNT, carbon, hardness, wear, Micro photo.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas banyaknya Berkah, Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Salam dan shalawat kepada Nabi Muhammad SAW sebagai tauladan kami yang menghantarkan kita selalu menuntut ilmu untuk bekal akhirat dan duniawi.Akhir penyusunan skripsi **"ANALISIS LAJU KEAUSAN LAPISAN ALUMINIUM-CNT DAN ALUMINIUM-KARBON HASIL *FRICTION SURFACING PROCESS* MENGGUNAKAN MESIN *DRILLING-MILLING* TIPE LC-40A"** sudah ada dihadapan pembaca. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua dan saudara. Kepada Almarhum Ayah Amir dan Almarhuma Ibu Nurlia tercinta yang telah memberikan rasa sayang, didikan, materi, serta doa yang selalu di panjatkan pada Allah kepada penulis. serta doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Tak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada :

1. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma, ST., MT., selaku pembimbing pertama atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir.
2. Bapak Dr. Hairul Arsyad, ST.,MT., selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Jalaluddin, ST, MT, selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Bapak Edi selaku laboran lab metalurgi fisik yang telah banyak membantu dalam pengerjaan specimen penelitian dan telah memberikan masukan dan saran yang mendidik.
5. Bapak Dr. Muhammad Syahid, ST., MT., selaku kepala Laboratorium Pengecoran logam Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Bapak dan ibu dosen serta Staff Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Keluarga penulis yang senantiasa terus memberikan semangat serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
8. Kepada Teman-teman ZYCROMEZH'17, yang telah memberikan saya banyak pelajaran hidup dan motivasi yang sangat baik serta telah menjadi wadah dan tempat saya berlindung.
9. Teman seperjuangan judul Indra Arvito Arman dan Muh Algifari haska, selaku teman yang senangtiasa ada pada saat dibutuhkan dan juga selalu menghibur selama pengerjaan tugas akhir ini.
10. Teman-teman lab pengecoran logam Eko Julianto Perwira dan Anjasdir yang telah banyak membantu dan memberikan semangat serta do'a untuk kelancaran pengerjaan tugas akhir.
11. Kepada seluruh saudara-saudari yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, terima kasih telah memberi warna kehidupan penulis sebagai mahasiswa.

Akhir kata, *jazakumullah khairan katsiran* atas semuanya dan penulis berharap, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya dalam ilmu material dan permesinan. Karenanya, masukan dan kritik rekan-rekan sekalian kiranya dapat membantu pengembangan penelitian ini selanjutnya.

Gowa,26 juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
DAFTAR RIWAYAT HIDUP
LEMBAR PENGESAHAN
PERNYATAAN KEASLIAN
KATA PENGANTAR
ABSTRAK
DAFTAR ISI
DAFTAR TABEL
DAFTAR GAMBAR
BAB I 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar belakang 1
1.2 Rumusan masalah 2
1.3 Tujuan penelitian 3
1.4 Batasan masalah 3
1.5 Manfaat penelitian 3
BAB II 4
2.1 Aluminium 4
2.1.1 Aluminum dan paduanya 5
2.1.2 Aluminium 6061 7
2.2 Carbon 8
2.2.1 Macam bentuk karbon 8
2.2.2 Kegunaan karbon 9
2.3 CNT (*carbon nanotube*) 10
2.3.1 Struktur CNT (*Carbon Nanotube*) ....

2.3.2 Metode Pencapuran CNT(*Carbon Nanotube*) 12
2.3.3 Sifat-Sifat Carbon Nanotubes 14
2.4 Proses pengecoran.. 15
2.4.1 Cetakan logam dan cetakan pasir.. 16
2.5 Pengertian *Friction surfacing* 18
2.5.1 Prinsip Kerja *Friction Surfacing* (FS)... 18
2.5.2 Parameter pada Friction surfacing 19
2.6 Uji mekanik (*mechanical test*) 20
2.6.1 Pengujian kekerasan atau *Hardnes test*.. 20
2.6.2 Pengujian keuasan... 24
2.7 Metalografi.. 28
BAB III 30
3.1 Waktu dan Tempat 30
3.2 Alat dan bahan... 30
3.2.1 Alat... 30
3.2.2 Bahan 36
3.3 Diagram alir penelitian.. 40
3.4 Prosedur penelitian.. 42
BAB IV 46
4.1 Data hasil penelitian.. 46
4.2 Pembahasan hasil penelitian 46
4.2.1 Hasil Pengujian Kekerasan / *Hardness Tes* 46
4.2.2 Hasil pengujian keusan 49
4.2.3 Foto mikro lapisan *friction* AL+CNT dan AL+C 50
BAB V... 53

5.1. KESIMPULAN 53

5.2 Saran.. 53

DAFTAR PUSTAKA 54

LAMPIRAN………………………………………………………..…………68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Urutan penggunaan berbagai jenis pada logam 15
Tabel 2.2 Daftar seri paduan aluminium tempa... 17
Tabel 2.3 Perbandingan sifat mekanik dari konsolidifikasi AL dan kompo
Sit Al/CNT 0,5 wt% 24
Tabel A.1 Tabel uji kekerasan rod AL+CNT dan AL+C 56
Tabel A.2 Tabel uji kekerasan lapisan AL+CNT dan AL+C 56
Tabel A.3 Uji keausan lapisan AL+CNT... 57
Tabel A.4 Uji keausan lapisan AL+C 57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur SWNT 11

Gambar 2.2 Struktur MWNT 12

Gambar 2.3 (A) *high energy ball milling* (B) *low energy ball milling* (C) *polyester binder assisted* (PBA) 13

Gambar 2.4 (a) perbandingan sifat mekanik dari karbon dan grafit fiber (b) perbandingan langsung sifat mekanik untuk kekuatan tinggi dan serat modulus tinggi, modulus rendah 15

Gambar 2.5 (a) hasil coran cetakan pasir (b) hasil coran cetakan logam......... 17

Gambar 2.6 Grafik hasil pengujian kekerasan hasil coran aluminium menggunakan metode brinnel 18

Gambar 2.7 Proses *friction surfacing* 20

Gambar 2.8 Foto struktur mikro lapisan *friction surfacing* 21

Gambar 2.9 Geometri indentor *brinnel* 22

Gambar 2.10 Geometri indentor vicker 23

Gambar 2.11 Jejak hasil penekanan indentor 24

Gambar 2.12 Indentor *rockwell* 24

Gambar 2.13 Keausan metode *adhesive* 25

Gambar 2.14 mekanisme keausan (a) keausan abrasif : *two body abrassion* (b) keausan abrasif : *three body abrassion* 26

Gambar 2.15 Mekanisme alat uji keuasan abrasif keterangan : P = beban pengausan, V = kecepatan perpindahan spesimen, N = putaran disk 27

Gambar 2.16 Mekanisme keausan oksidasi 28

Gambar 3.1 Cetakan Logam 30

Gambar 3.2 Pengaduk dan Dapur Peleburan 31

Gambar 3.3 Kikir 31

Gambar 3.4 Stopwatch 32

Gambar 3.5 Tachometer 32

Gambar 3.6 *Miligram electric* 33

Gambar 3.7 Gelas beaker dengan volume 50 Ml 33
Gambar 3.8 Sarung tangan 33
Gambar 3.9 Jangka sorong 34
Gambar 3.10 Gergaji tangan 34
Gambar 3.11 *Drilling-milling* 34
Gambar 3.12 Alat uji kekerasan 35
Gambar 3.13 Mikroskop *optic* LEXT OLYMPUS-OLS4100 35
Gambar 3.14 Aluminium 6061 36
Gambar 3.15 Karbon serbuk 36
Gambar 3.16 *Carbon nanotube* 37
Gambar 3.17 Plat aluminium 37
Gambar 3.18 Kertas amplas 37
Gambar 3.19 Kelengkapan cairan eksa 38
Gambar 3.20 Gas argon 38
Gambar 3.21 Tabung gas LPG 39
Gambar 3.22 Diagram alir penelitian 41
Gambar 3.23 Spesimen plat aluminium 43
Gambar 4.1 (a) spesimen rod (b) lapisan hasil *friction* (c) titik pengujian kekerasan 47
Gambar 4.2 Nilai kekerasan rod AL+CNT dan lapisan hasil *friction surfacing* AL+CNT pada beberapa konsentasi CNT 47
Gambar 4.3 Nilai kekerasan rod AL+C dan lapisan *friction surfacing* pada beberapa konsentasi karbon. 48
Gambar 4.4 Nilai kekerasan lapisan AL+CNT dan lapisan AL+C 49
Gambar 4.5 Perbandingan niali keausan lapisan AL+CNT dan lapisan AL+C 50
Gambar 4.6 Spesimen hasil uji struktur mikro lapisan AL+CNT (a) AL+CNT 0,5% (b) AL+C 0,5% (c) AL+CNT 1% (d) AL+C 1% (e) AL+CNT 1,5% (f) AL+C 51

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Saat ini banyak kita jumpai permukaan yang membutuhkan sebuah lapisan tahan terhadap gesekan serta dapat melingdungi permukaan tersebut dari korosi. Diantara beberapa permukaan, terjadi gesekan setiap saat yang dapat menyebabkan terjadinya keausan, selain itu juga rentang mengalami korosi karena pengaruh lingkungan seiring meningkatnya kemajuan teknologi mengakibatkan kebutuhan akan penelitian dan pengembangan dalam segala bidang semakin meningkat pesat, terutama dalam bidang material aluminium komposit (Robinson, M., et all, 2005).

Aluminium 6061 memiliki ketahanan korosi yang tinggi, karena logam ini sangat reaktif dan terbentuk lapisan oksida tipis pada permukaannya, salah satu keuntungan yang paling signifikan dari aluminium adalah penerapan ekstrusi berongga besar yang kaku secara internal dibandingkan dengan baja konvensional, jenis ini memungkinkan dibuat dengan bagian yang lebih kecil, mengurangi tingkat pengelasan yang diperlukan, dan secara signifikan lebih ringan, yang memiliki keuntungan lebih lanjut bahwa lapisan dapat dimanipulasi oleh satu pekerja, sehingga menghemat tenaga kerja. Paduan seri 6xxx (aluminium-magnesium-silikon) dapat diolah panas dan dapat menawarkan kekuatan yang lebih tinggi, kinerja korosi yang baik, dan kemampuan las yang baik. Dari sifat tersebut saya memilih Al6061 sebagai bahan coating karena dianggap mampu sebagai coating atau pelapis permukaan untuk meningkatkan sifat permukaan material tahan terhadap korosi dan keausan serta memiliki bobot yang ringan.

Friction surfacing process (FSP) adalah proses pelapisan solid-state berdasarkan deformasi plastik dari material pelapis/*consumable rod*. *Consumable rod* (CR) yang digunakan dalam FSP dikonsumsi selama proses (Kalken, 2001). CR digesekkan secara kontinyu di bawah tekanan pada

permukaan/*substrate* yang akan dilapisi. Deformasi *viscoplastic* material pelapis/*consumable rod* terjadi selama proses. *Travel speed* dan *axial force* yang digunakan selama proses adalah suatu parameter penting yang mempengaruhi proses pelapisan permukaan/*substrate* (Shinoda, 1998). Proses penting lainnya yang harus dikontrol untuk menghasilkan ikatan yang baik di atas material *substrate* adalah diameter batang konsumsi, kecepatan pelapisan/*travel speed*, *axial force,* dan kecepatan rotasi rod (Kalken, 2001).

Pelapisan aluminium dengan menggunakan komposit aluminium CNT sebagai CR yang membentuk lapisan. Dan telah dibuktikan bahwa lapisan tersebut memiliki sifat kekerasan yang baik serta memiliki nilai ketahahan aus yang meningkat. Nilai kekerasan semakin meningkat seiring dengan penambahan CNT dan pengujian keausan menunjukkan bahwa laju keausan meningkat seiring dengan lama waktu yang digunakan dalam proses pengausan. Mesin yang digunakan untuk proses ini yaitu Mesin *Drilling/Milling* tipe LC-40A dengan kecepatan spindel maksimal 3000RPM (Nurhudaeda & Asruddin 2019).

Berdasarkan latar belakang tersebut tersebut diatas, penulis kemudian tertarik untuk melakukan penelitian yang membandingkan laju keausan, jika lapisan aluminium menggunakan komposit aluminium Carbon saja. apakah dengan menggunakan karbon tanpa nanotube bisa membuat sifat kekerasan yang baik dan nilai ketahanan keausan yang meningkat sama halnya dengan menggunakan CNT sebagai material kompositnya.

1.2 Rumusan masalah

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

1. Bagaimana perubahan nilai kekerasan rod hasil pengecoran dari material aluminium-karbon dan aluminium-CNT masing-masing pada komposisi berat 0,5%, 1%, dan 1,5%.
2. Bagaimana perubahan kekerasan lapisan hasil friction surfacing dari material rod aluminium-karbon dan rod aluminium-CNT pada beberapa komposisi berat.

3. Bagaimana perbandinagan laju keausan antara aluminium-karbon dan aluminium CNT hasil friction surfacing pada beberapa komposisi berat.

1.3 Tujuan penelitian

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

1. Mengetahui perubahan nilai kekerasan rod hasil pengecoran dari material aluminium-karbon dan aluminium-CNT masing-masing pada komposisi berat 0,5%, 1%, dan 1,5%.
2. Menganalisa perubahan kekerasan lapisan hasil *friction surfacing* dari material rod aluminium-karbon dan rod aluminium-CNT pada beberapa komposisi berat.
3. Membandingkan dan menganalisa laju keausan antara aluminium-karbon dan aluminium CNT hasil *friction surfacing* pada beberapa komposisi berat.

1.4 Batasan masalah

Dalam penelitian, hal-hal yang dibatasi :

1. Menjaga putaran gerakan meja kerja dan gaya tekan aksial tetap konstan pada proses *friction surfacing*
2. Bahan dasar rod adalah aluminium 6061 sedangkan *substrate* adalah aluminium 2024.
3. Beban *on disc* pada uji keausan adalah 225 mg.

1.5 Manfaat penelitian

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium

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

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

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

Table 2.1 Urutan Penggunaan Berbagai Jenis Pada Logam

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

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

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

2.1.1 Aluminum dan paduanya

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

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

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 perlakukan 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.

Tabel 2.2 Daftar Seri Paduan Aluminium Tempa

Paduan Tuang	**Penandaaan**
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

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.

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

2.1.2 Aluminium 6061

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.

Al 6061 memiliki sifat mekanik yang unggul antara lain bobot ringan, mampu las baik, ketahanan korosi baik serta harga yang murah, tetapi memiliki kelemahan dalam hal kekuatannya. Untuk dapat memenuhi kriteria sebagai komponen pesawat terbang, Al 6061 harus ditingkatkan kekuatannya. Salah satu metode efektif untuk meningkatkan kekuatan adalah dengan canai dingin dan aging, sehingga memenuhi kriteria sebagai komponen pesawat, dalam hal ini bagian yang cocok adalah skin sayap pesawat terbang. Al 6061 dilakukan proses canai dingin dengan reduksi 50%, 60%, dan 70% kemudian dilanjutkan dengan aging pada temperatur 2000C selama 1800, 3600, 5400, 7200 dan 10.800 detik. Sifat mekanik dan mikrostruktur setelah proses canai dingin dan aging dipelajari. Perubahan morfologi mikrostruktur terjadi pada Al 6061, dari mulai as-received, setelah proses canai dingin dan setelah aging. Aluminium 6061 setelah proses canai dingin menghasilkan elongated grains, semakin pipih pada reduksi tertinggi 70%, dan mikrostruktur berubah menjadi equaxial setelah proses aging. Pengujian X- Ray Diffraction (XRD) menunjukkan peak fasa Mg2Si dan Al2FeSi pada Al 6061 hasil canai dingin dan aging. Fasa Mg2Si dan Al2FeSi merupakan fasa kedua (presipitat) pada Al 6061. Sifat mekanik diukur dengan uji kekerasan Brinell dan ketahanan aus. Kekerasan dan ketahanan ausnya meningkat. Nilai kekerasan tertinggi dicapai pada sampel dengan reduksi 70% dengan waktu aging 5400 detik yaitu sebesar 121 HBN dari nilai kekerasan as-received sebesar 65 HBN. Ketahanan aus meningkat dari semula 6,209951 x 10-6 mm3/mm pada kondisi as-received menjadi 4,775436 x 10-6 mm3/mm setelah aging. Peningkatan sifat mekanik ini disebabkan oleh strain hardening akibat proses canai dingin dan fasa kedua (presipitat) yang dihasilkan setelah aging. Di sisi

lain, fasa kedua (presipitat) berperan sebagai penghalang pergerakan dislokasi, sehingga menyebabkan meningkatnya sifat mekanik (Mirnawati Dewi, 2016).

2.2 Carbon

Karbon, suatu unsur yang telah ditemukan sejak jaman pra-sejarah sangat banyak ditemukan di alam. Karbon juga banyak terkandung di matahari, bintang-bintang, komet dan amosfir kebanyakan planet. Karbon dalam bentuk berlian mikroskopik telah ditemukan di dalam beberapa meteor yang jatuh ke bumi. Berlian alami juga ditemukan di kimberlite pipa gunung berapi, di Afrika Selatan, Arkansas dan beberapa tempat lainnya. Berlian sekarang ini diambil dari dasar samudera di lepas pantai Cape of Good Hope. Sekitar 30% berlian industri yang dipakai di AS sekarang ini merupakan hasil sintesis.

Karbon merupakan zat yang telah ada semenjak proses terbentuknya bumi. Karbon terdapat pada semua benda mati dan makhluk hidup. Karbon terdapat di udara dalam bentuk gas karbondioksida. Pada tumbuhan, karbon terdapat pada batang, daun, akar, buah, juga pada daun-daun kering yang telah berguguran. Sebagian karbon pada tumbuhan membentuk suatu zat yang disebut hidrat arang atau karbohidrat. Hidrat arang merupakan zat yang sangat dibutuhkan oleh manusia maupun hewan sebagai sumber tenaga dan pertumbuhan. Karbon dari tumbuhan berpindah ke tubuh manusia dan hewan ketika mereka memakannya. Maka karbon pun menyebar ke seluruh bagian tubuh menjadi bagian-bagian dari tulang, kuku, daging dan kulit. Karbon juga tersimpan dalam perut bumi sebagai batu kapur, grafit, intan, minyak bumi, gas alam, batu bara dan tanah gambut (Adinugroho,dkk., 2012).

2.2.1 Macam bentuk karbon

Karbon ditemukan di alam dalam tiga bentuk alotropik: amorphous, grafit dan berlian. Diperkirakan ada bentuk keempat. Ceraphite (serafit) merupakan bahan terlunak, sedangkan belian bahan yang terkeras. Grafit ditemukan dalam dua bentuk: alfa dan beta. Mereka memiliki sifat identik., kecuali struktur kristal mereka. Grafit alami dilaporkan mengandung sebanyak 30% bentuk beta, sedangkan bahan sintesis memiliki bentuk alfa. Bentuk alfa

hexagonal dapat dikonversi ke beta melalui proses mekanikal, dan bentuk beta kembali menjadi bentuk alfa dengan cara memanaskannya pada suhu di atas 1000 derajat Celcius. Pada tahun 1969, ada bentuk alotropik baru karbon yang diproduksi pada saat sublimasi grafit pirolotik (pyrolytic graphite) pada tekanan rendah (Adinugroho,dkk., 2012).

2.2.2 Kegunaan karbon

Manfaat Kegunaan Senyawa karbon ada beberapa jenis molekul yang terbentuk hanya dari dari unsur karbon saja yakni :

- Grafit ini adalah bentuk senyawa karbon yang amorf dengan sifat kekerasan tergolong lunak Kegunaan : isi pencil, elektroda
- Intan ini adalah bentuk senyawa karbon yang kristalin dengan sifat kekerasan tergolong paling keras
  Kegunaan perhiasan batu mulia, alat pemotong kaca, alat pengebor
- Carbon nanotube
  Kegunaan adsorben, molekul aktif untuk elektroda dan sensor
- Senyawa-senyawa fullerene (bucky ball)

Elemen bebas memiliki banyak kegunaan, termasuk tujuan dekorasi berlian dalam perhiasan atau pigmen hitam pada pelek mobil dan tinta printer. Bentuk karbon lain, grafit, digunakan untuk cawan lebur suhu tinggi, sel kering dan elektroda lengkung ringan, untuk tip pensil dan sebagai pelumas. Karbon vegetatif, bentuk amorf karbon, digunakan sebagai penyerap gas dan zat pemutih

Senyawa karbon memiliki banyak kegunaan. Karbon dioksida digunakan dalam minuman carbonatation, dalam alat pemadam kebakaran dan, dalam keadaan padat, sebagai pendingin (es kering). Karbon monoksida digunakan sebagai zat reduksi dalam banyak proses metalurgi. Karbon tetraklorida dan disulfida karbon adalah pelarut industri yang penting. Freon digunakan dalam sistem pendingin. Kalsium karbida digunakan untuk menyiapkan asetilena; Ini digunakan untuk pengelasan dan pemotongan logam, serta untuk persiapan

senyawa organik lainnya. Karbida metalik lainnya memiliki kegunaan penting sebagai penghambat panas dan pemotong logam (Adinugroho,dkk., 2012).

2.3 CNT (*carbon nanotube*)

CNT merupakan salah satu jenis karbon yang bentuk strukturnya berskala nanometer dan mempunyai karakteristik mekanik dan dielektrik yang baik. Sejak ditemukannya pada tahun 1991, *carbon nanotube* (CNT) telah menjadi 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.

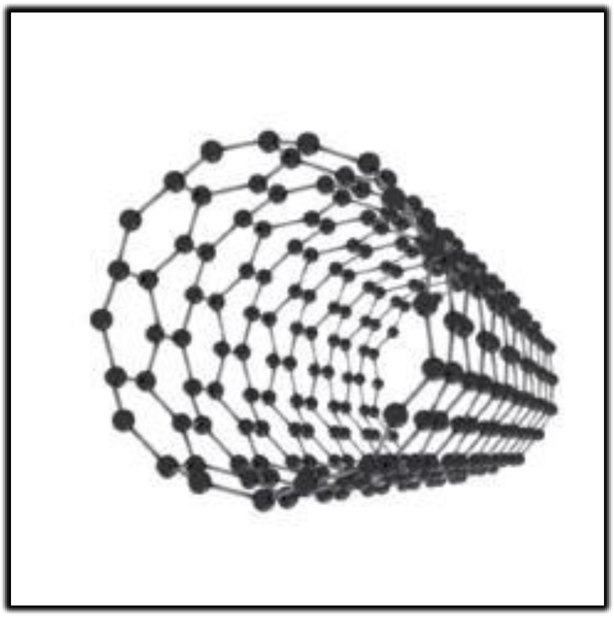
2.3.1 Bentuk struktur CNT (*carbon nanotube*)

CNT adalah salah satu struktur carbon yang berbentuk seperti silinder engan diameter dalam orde nanometer. Salah satu keunikan dalam struktur ini adalah kelebihannya 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.

Berdasarkan jumlah dindingnya, CNT dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu *Single walled Carbon Nanotube* (SWNT) dan *Multiwalled Carbon Nanotube* (MWNT).

a. *Single walled Carbon Nanotube* (SWNT)

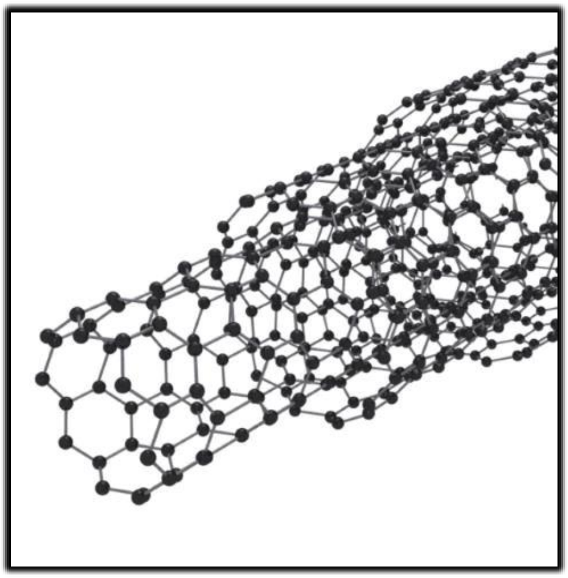
Struktur ini memiliki diameter kurang lebih 1 nanometer dan memiliki panjang hingga ribuan kali dari diameternya. Struktur SWNT dapat dideskripsikan menyerupai sebuah lembaran panjang struktur grafit (disebut *graphene*) yang tergulung. Umumnya SWNT terdiri dari dua bagian dengan properti fisik dan kimia yang berbeda. Bagian pertama adalah bagian sisi dan bagian kedua adalah bagian kepala. SWNT memiliki beberapa bentuk struktur berbeda yang dapat dilihat bilamana struktur tube dibuka.



Gambar 2.1 Struktur SWNT

b. *Multiwalled Carbon Nanotube* (MWNT).

MWNT dibentuk dari beberapa lapisan struktur grafit yang digulung membentuk silinder. Atau dapat juga dikatakan MWNT tersusun oleh beberapa SWNT dengan berbeda diameter. MWNT jelas memiliki sifat yang berbeda dengan SWNT. Pada MWNT yang hanya memiliki 2 lapis dinding (*Double-Walled Carbon Nanotubes* -DWNT) memiliki sifat yang penting karena memiliki sifat yang menyerupai SWNT dengan *chemical resistance* yang lebih baik. Hal ini dikarenakan pada SWNT hanya memiliki 1 lapis dinding sehingga bilamana terdapat ikatan C=C yang rusak maka akan menghasilkan lubang di SWNT dan hal ini akan mengubah sifat mekanik dan elektrik dari ikatan SWNT tersebut. Sedangkan pada DWNT masih terdapat 1 lapisan lagi di dalam yang akan mempertahankan sifatnya.



Gambar 2.2 Struktur MWNT

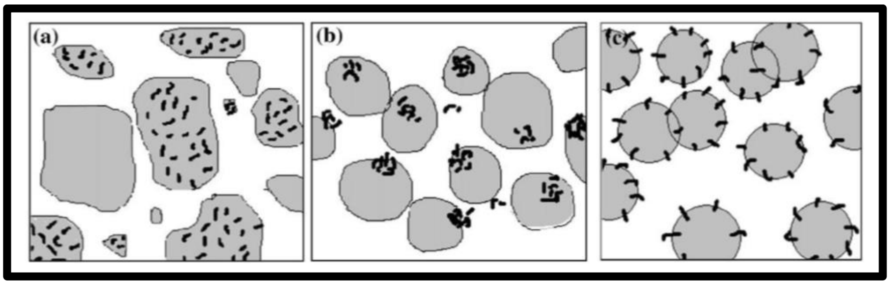
CNT merupakan turunan dari struktur carbon yang dideskripsikan sebagai lembaran grafit setebal 1 atom yang digulung menyerupai silinder dan memiliki diameter dengan orde nanometer. Lembaran ini memiliki struktur seperti sarang lebah (*honeycomb*) yang terdiri dari ikatan-ikatan atom carbon.

Struktur CNT yang unik memungkinkannya memiliki sifat kenyal, daya regang, dan stabil dibandingkan struktur carbon lainnya. Kelebihannya ini dapat dimanfaatkan dalam pengembangan struktur bangunan yang kuat, struktur kendaraan yang aman, dan lainnya. Hal ini dikarenakan CNT memiliki ikatan sp 3 menyerupai struktur di grafit. Ikatan ini lebih kuat dibandingkan dengan struktur ikatan sp 2 yang dimiliki oleh intan. Dengan demikian secara alami *carbon nanotube* akan membentuk ikatan yang sangat kuat (Adinugroho,dkk., 2012).

2.3.2 Metode Pencapuran *Carbon Nanotube*

Terdapat tiga metode pencampuran yang berbeda, yaitu *high energy bal*l milling*,* *low energy ball milling* dan dengan teknik pencampuran *Polyester Binder Assisted* (PBA). *high energy ball milling*, CNT efektif tersebar meskipun kurang merata pada serbuk Al; dan pada *low energy ball milling*, CNT tersebar pada serbuk Al akan tetapi masih ada gumpalan; dan

pada dengan teknik pencampuran *Polyester Binder Assisted* (PBA), CNT melapisi serbuk aluminium akan tetapi masih terdapat gumpalan.



Gambar 2.3 (A) *High energy ball milling* (B) *Low energy ball milling (*C) *polyester binder assisted* (PBA)

Sedangkan untuk perbandingan sifat mekanik dari teknik mixing yang berbeda didapatkan hasil sesuai Tabel 2.3.

Tabel.2.3 perbandingan sifat mekanik dari konsolidifikasi Al dan komposit Al/CNT 0,5 wt%

Material	Pure Al		Al-0.5 wt.% CNT	
	Tensile strength (MPa)	HV hardness	Tensile strength (MPa)	HV hardness
PBA	132	40	165 (↑25%)	48 (↑20%)
Low energy ball milling	153	45	174 (↑14%)	50 (↑11%)
High energy ball milling	166	48	206 (↑24%)	58 (↑21%)

Hasil dari sifat mekanik menunjukkan bahwa mixing serbuk berhasil. Selain itu penambahan CNT yang sedikit (0,5%wt.), ternyata bisa meningkatkan kekuatan dan kekerasan komposit dibandingkan dengan matriks yang murni.

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 Kelebihan CNT (*Carbon Nanotube*)

a. Konduktivitas Listrik dan Panas

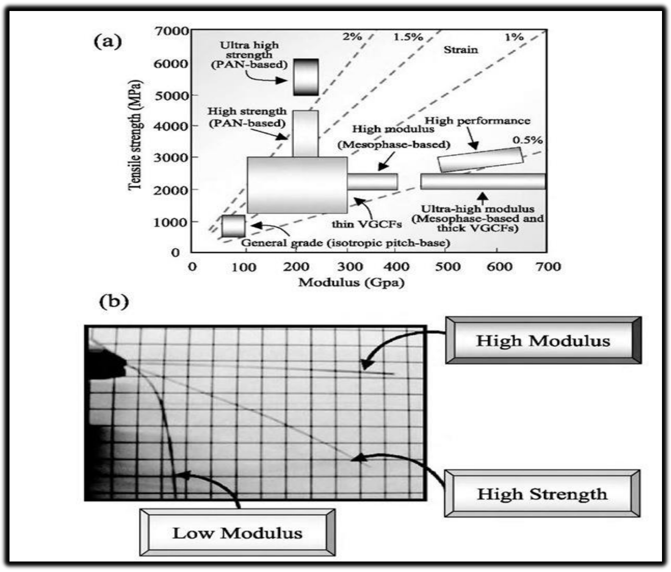
nanotube memiliki konduktivitas yang sangat tinggi. Diperkirakan pada saat *nanotube* bersifat sebagai konduktor maka ia mempunyai konduktivitas listrik sebesar 1 milyar Ampere per 1 cm^2. Hal ini tidak mungkin terjadi pada bahan tembaga karena akan terjadi panas yang dapat melelehkan tembaga. Pada nanotube 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 sp^2 yang dimiliki oleh *carbon nanotube* ini. Pada gambar 2.10 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 2.4 (a) Perbandingan sifat mekanik dari carbon dan grafit fiber (b) perbandingan langsung sifat mekanik untuk kekuatan tinggi dan serat modulus tinggi, modulus rendah.

c. Sifat Vibrasi

Atom memiliki pola getaran yang kontinue dan periodik. Pada MWNT, dimana beberapa nanotube saling terpola 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

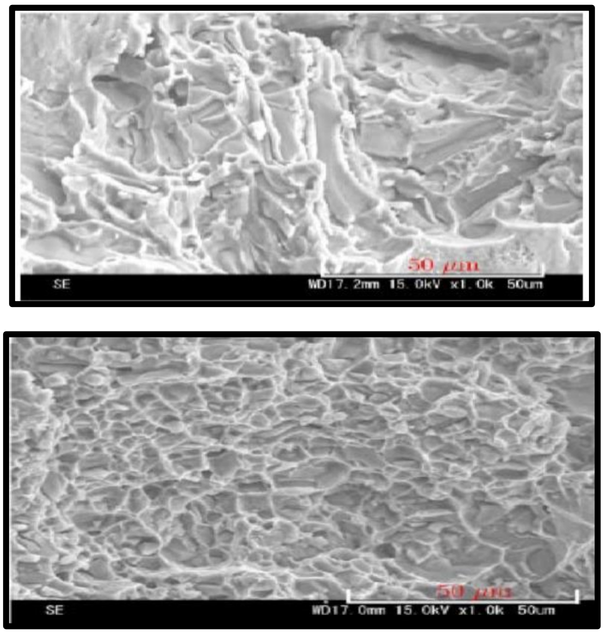
Pengecoran adalah proses manufaktur untuk membuat bentuk kompleks dari material logam dalam produksi massal. Ada dua tahap utama proses pengecoran yaitu proses penuangan dan proses pemadatan. *Gating system* pada proses penuangan logam terdiri dari *pouring cup, runner, sprue, sprue well,* dan *ingate* yang dirancang untuk membantu penuangan logam cair. Sistem

riser digunakan untuk meminimalisir penyusutan yang terjadi pada saat *casting* tersolidifikasi (Nimbulkar & Dalu, 2016).

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.



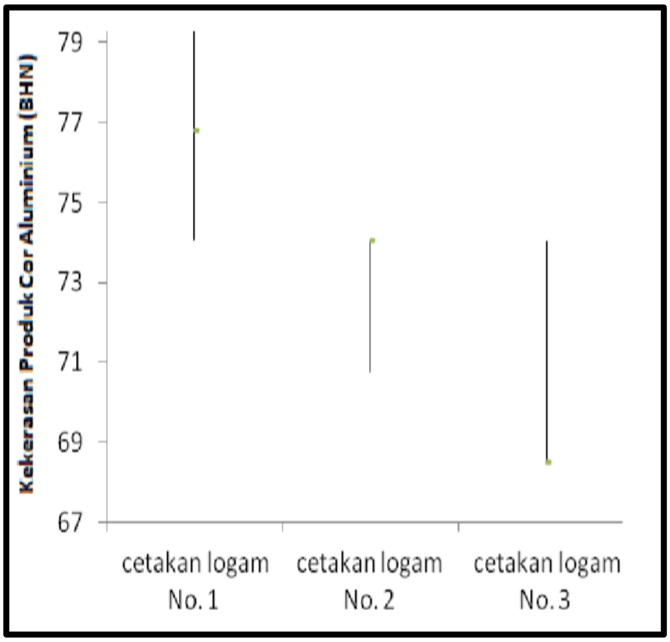
Gambar 2.5 (a) Hasil coran cetakan pasir (b) Hasil coran cetakan logam

Pada Gambar 2.5 ditunjukan perbedaan besar butir dan yang mengalami patah transgranular aluminium coran yang dicetak dengan menggunakan cetakan pasir dan cetakan logam

Gambar 2.5 permukaan patahan aluminium coran yang dikenai kombinasi tegangan tarik dan tegangan geser pada spesimen *butterfly* pada sudut α+20°. 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 atmosfir (Diah Kusuma Pratiwi, 2012).

1. 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 ditujukkan pada Gambar 2.5 berikut ini.



Gambar 2.6 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 konduktifitas panas pasir yang hanya 1,93–2,90 W/m.K menyebabkan proses pembekuan lebih lambat dibandingkan dengan cetakan baja yang mempunyai konduktifitas 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 (Diah Kusuma Pratiwi, 2012).

2.5 Pengertian *Friction surfacing*

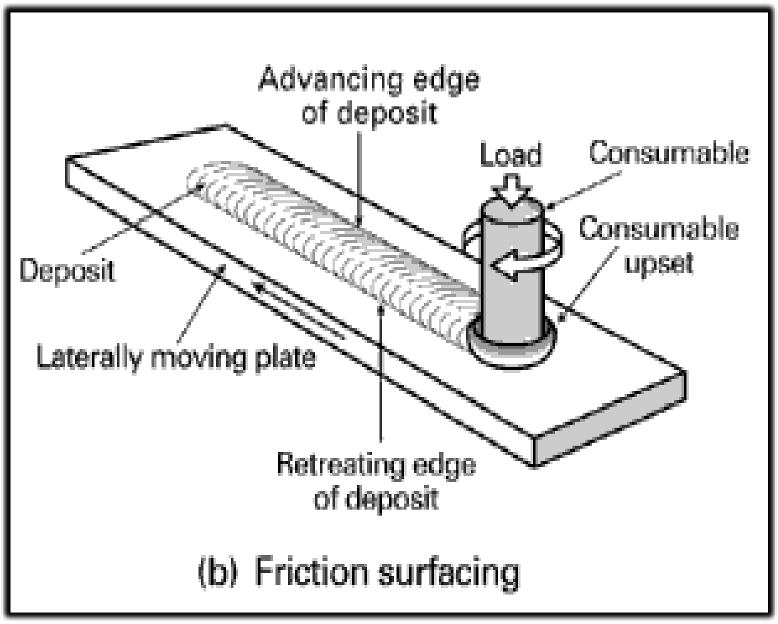
Friction surfacing process (FSP) adalah proses pelapisan solid-state berdasarkan deformasi plastik dari material pelapis/consumable rod. *Consumable rod* (CR) yang digunakan dalam FSP dikonsumsi selama proses (Kalken, 2001). CR digesekkan secara kontinyu di bawah tekanan pada permukaan/*substrate* yang akan dilapisi. Deformasi *viscoplastic* material pelapis/*consumable rod* terjadi selama proses. Travel speed dan axial force yang digunakan selama proses adalah suatu parameter penting yang mempengaruhi proses pelapisan permukaan/*substrate* (Shinoda, 1998).

2.5.1 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 2.7 hal penting dalam proses *friction surfacing* adalah gabungan gesekan permukaan dan proses deformasi sebagai penghasil panas.



Gambar 2.7 Proses *friction surfacing*

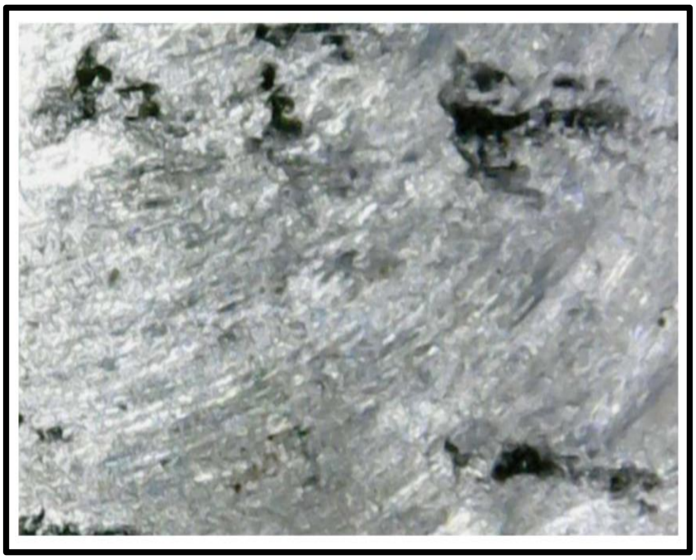
Proses termomekanikal adalah suatu proses dimana terdapat dua perlakuan pada suatu material. Proses termomekanikal digunakan untuk proses pelapisan yang bertujuan untuk memberikan suatu lapisan yang mempunyai mikrostruktur yang baik (Barnabas, Godwin. 2014).

2.5.2 Parameter pada Friction surfacing

Terdapat 3 variabel atau parameter pada pengujian metode *friction surfacing* yaitu *axial force*, *travel speed*, dan *rotational speed*. Dari ketiga

para meter ini masing-masing akan memberi pengaruh dari hasil *fricton 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 2.7



Gambar 2.8 Foto struktur mikro lapisan hasil *friction surfacing*

Gambar 2.8 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 (Al Amin, 2018).

2.6 Uji mekanik (*mechanical test*)

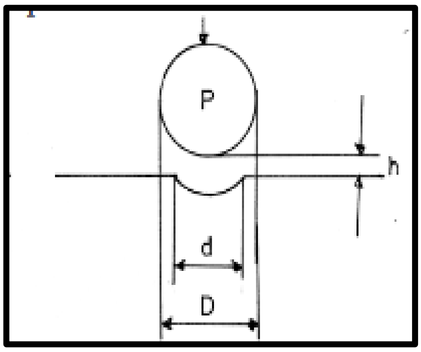
2.6.1 Pengujian kekerasan atau *Hardnes test*

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 identor.

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 identor yang berbentuk bola dengan beban dan waktu tertentu, seperti terlihat pada Gambar 2.9. Harga kekerasan diperoleh dari persamaan berikut ini:



Gamba 2.9 Geometri identor *brinell*

$$H = \frac{2P}{\left[\pi D(-\sqrt{D^2 - d^2}\right]} = \frac{P}{D.h} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

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 identor akan diikuti dengan perubahan beban akan didapatkan Hb yang sama.

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

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 keci 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 identor yaitu berbentuk piramida bujur sangkar dengan sudut puncak 136 terbuat dari intan, seperti terlihat pada Gambar 2.10.

Harga kekerasan *Vickers* diperoleh dengan rumus:

$$H_v = \frac{2P \sin\left(\frac{0}{2}\right)}{L^2} = \frac{1{,}854.P}{L^2} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots..(3)$$

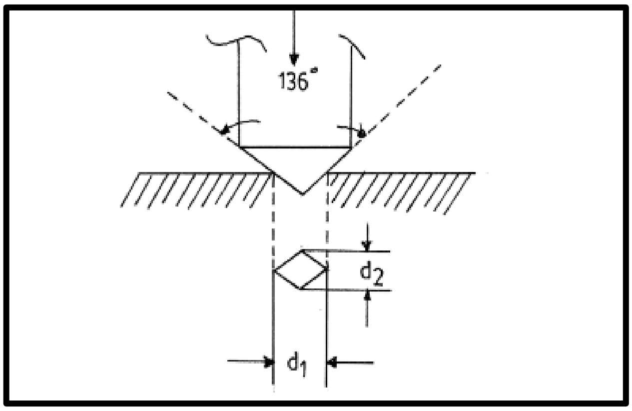
dengan :

P=Beban yang diberikan (kg),

L= Diagonal rata-rata (mm) = $(d_1 + d_2)/2$,

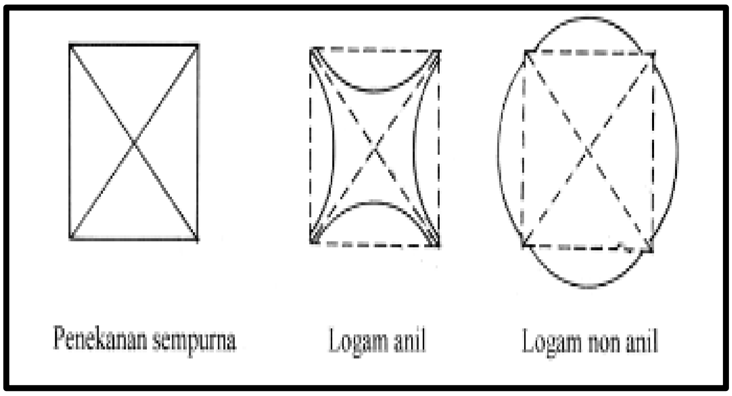
O = Sudut puncak 136 .

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



Gambar 2.10 Geometri indentor Vickers

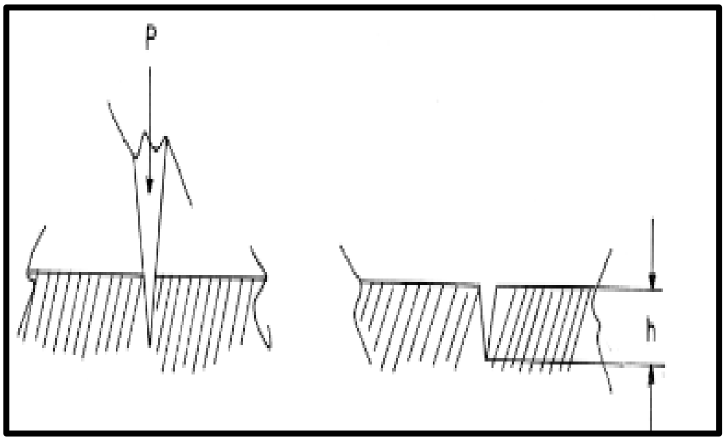
Hasil penekanan akan berbentuk bujur sangkar dengan diagonal yang akan diukur dengan mokroskop, seperti dalam Gambar 2.11



Gambar 2.11 Jejak hasil penekanan identor

c. Metode *Rockwell*

Pada metode ini digunakan identor intan yang berbentuk kerucut, seperti terlihat pada Gambar 2.12. Kerucut akan menekan permukaan logam sedalam “ h” dari permukaan. Jarak “ h “ mementukan kekerasan dari logam uji.



Gambar 2.12 Identor *rockwell*

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

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

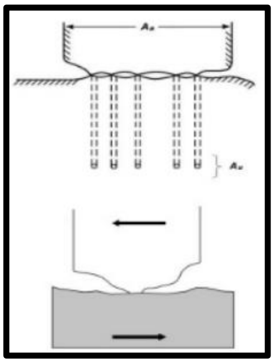
2.6.2 Pengujian keuasan

Keausan merupakan suatu kondisi dimana material mengalami kerusakan permukaan secara permanen. Kerusakan permukaan mengakibatkan hilangnya material akibat dari gesekan (*friksi)* antara permukaan satu dengan permukaan lain yang merupakan, permukaan yang dimaksud merupakan permukaan padatan. Keausan bukanlah sifat dasar dari material, melainkan sebuah respon yang diberikan material terhadap sistem yang ada disekitarnya ketika mengalai kontak permukaan. Terdapat beberapa cara untuk melakukan pengujian keausan pada material, semua cara atau

teknik pengujian bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan actual. Keausan secara garis besar dikelompokkan menjadi keausan adesif, keausan abrasif, keausan korosif dan surface fatigue (Rabinowicz, 1995).

a. **Keausan adhesive (*Adhesive wear*)**

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



Gambar 2.13 Keausan metode *adhesive*

Faktor yang menyebabkan *adhesive wear*:

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

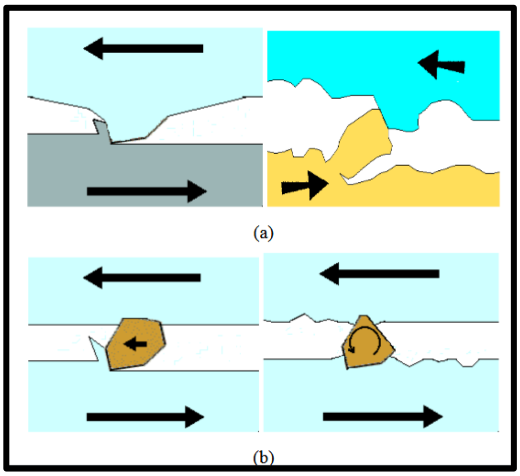
Jumlah *wear debris* akibat terjadinya aus melalui mechanism adhesif ini dapat dikurangi dengan cara, antara lain :

1. Menggunakan material keras.
2. Material dengan jenis yang berbeda, misal berbeda struktur kristalnya

b. **Keausan abrasif**

Keausan abrasif timbul ketika permukaan yang keras, kasar meluncur pada permukaan yang lebih lunak, menusuk ke dalam dan menghasilkan alur-alur. Material dapat hilang dalam bentuk fragmen atau jika tidak, material membentuk sepasang timbunan sepanjang

tiap alur. Material dalam timbunan kemudian mudah untuk lepas dari permukaan. Keausan abrasif meliputi partikel yang bergerak di atas permukaan (*two body abrasion*) dan partikel keras yang bergerak di atas dua permukaan yang bergerak (*three body abrassion*).



Gambar 2.14 Mekanisme keausan: (a) Keausan abrasif: *two body* abrassion, (b) Keausan abrasif: *three body abrassion*

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

$$W = \frac{w}{s}\left(\frac{mg}{detik}\right) \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

Dengan : W= laju keausan

w= berat material yang hilang

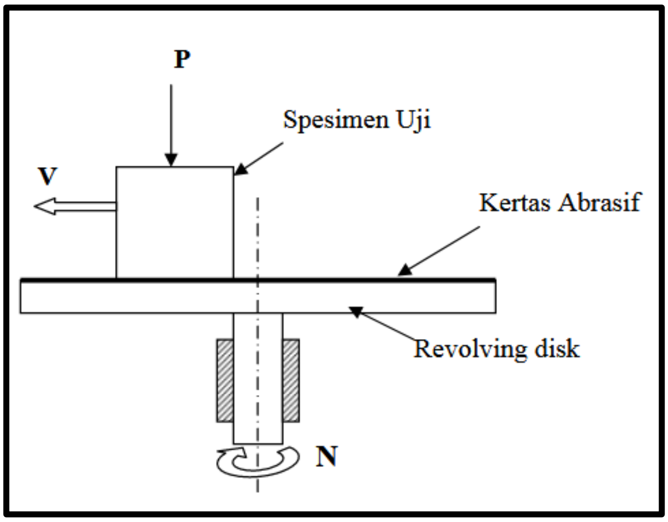
s= waktu total pengujian (detik)

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

$$I = \frac{h_1}{L}\frac{mg}{meter} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (8)$$

Dengan: h= keausan linier yang ditentukan dari perubahan massa spesimen setelah pengujian keausan (mg)

L = jalur lintasan gesek (meter)

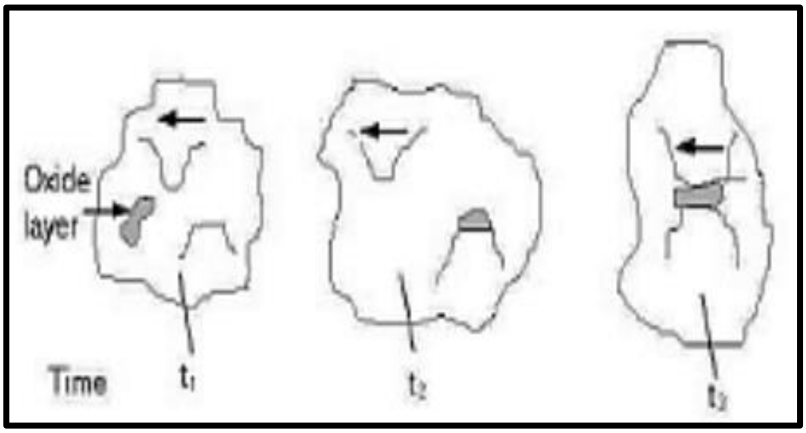


Gambar 2.15 Mekanisme alat uji keausan abrasif keterangan: P = Beban pengausan, V = Kecepatan perpindahan spesimen, N = Putaran disk

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

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

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



Gambar 2.16 Mekanisme keausan oksidasi

2.7 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 din 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 strutur mikro dan makro.