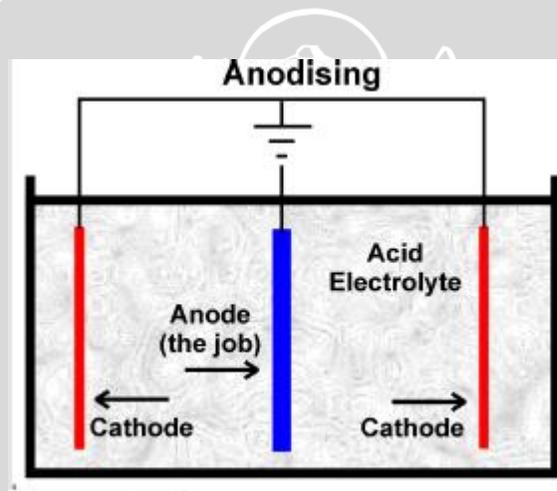


BAB 11

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi dan Prinsip *Anodizing*

Anodizing dapat didefinisikan sebuah proses pelapisan dengan cara elektrolisis untuk melapisi permukaan logam dengan suatu material ataupun oksida yang bersifat melindungi dari lingkungan sekitar. Berdasarkan definisi diatas, elektrolisis merupakan dasar dari proses *anodizing*. Pada proses *anodizing*, elektroda dan larutan elektrolit merupakan komponen yang sangat penting. Pada prosesnya, logam yang dioksidasi ditempatkan sebagai anoda didalam larutan elektrolit. Sebagaimana ditampilkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses *anodizing*
Sumber : <http://www.coatfab.com/anodising.htm>

Prinsip dasar dari proses *anodizing* pada aluminium adalah menciptakan lapisan alumina/ aluminium oksida (Al_2O_3) pada permukaan logam yang menjadi anoda pada proses elektrolisis. Lapisan inilah yang akan menyebabkan logam memiliki ketahanan korosi dan keausan yang baik.

Salah satu modifikasi dari proses *hard anodizing* ini adalah penambahan asam oksalat ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$) yang ditujukan untuk meningkatkan kualitas lapisan oksida yang terbentuk. Biasanya asam oksalat ditambahkan kedalam larutan elektrolit dengan konsentrasi antara 1% sampai 3%. Asam oksalat ini berperan untuk mengurangi kelarutan kembali lapisan oksida, sehingga lapisan oksida yang dihasilkan lebih tebal dan lebih keras

serta jumlah porositasnya lebih kecil.

Paduan aluminium yang perlu dihindarkan penggunaannya untuk proses *hard anodizing* adalah paduan aluminium yang memiliki kadar tembaga dan mangan yang tinggi, karena paduan ini jika dilakukan proses *hard anodizing* akan menghasilkan lapisan oksida yang kurang baik.

2.2 Klasifikasi Anodizing

Secara umum, berdasarkan larutan yang digunakan dalam proses anodizing, *anodizing* terbagi menjadi tiga yaitu:

1. *Chromic Acid Anodizing* (CAA)

Pada anodizing jenis ini, sering juga disebut dengan tipe I *anodizing*. Dibentuk dengan menggunakan larutan elektrolit asam kromat. Proses ini berlangsung pada suhu $\pm 100^{\circ}\text{F}$ yang berlangsung selama 40 sampai 60 menit dengan rapat arus 0.15 sampai 0.30 A/dm^2 (1.4 sampai 4.3 A/ft^2). Keuntungan dari proses *chromic acid anodizing* ini antara lain CrO_3 sedikit lebih agresif pada aluminium dibandingkan dengan H_2SO_4 .

2. *Sulfuric Acid Anodizing* (SAA)

Sulfuric Acid Anodizing sering juga disebut dengan tipe II *anodizing*. Dibentuk dengan menggunakan larutan elektrolit asam sulfat. Proses ini berlangsung pada suhu kamar atau $\pm 21^{\circ}\text{C}$ yang berlangsung selama 30 sampai 60 menit dengan rapat arus yang digunakan 1 sampai 2 A/dm^2 (9.3 sampai 18.6 A/ft^2). Lapisan yang terbentuk pada proses ini lebih tebal dari *Sulfuric Acid Anodizing*, yaitu minimal ketebalan yang terbentuk 8 μm . Pengujian jenis ini biasanya digunakan untuk mendapatkan ketahanan korosi yang baik. Tipe ini biasanya dipakai dalam kebutuhan arsitektur, *aerospace*, perusahaan otomotif dan computer.

3. *Hard Coating Anodizing* (HCA)

Hard coating anodizing atau *hard anodizing* sering juga disebut dengan tipe III *anodizing*. Pada umumnya, dibentuk dengan menggunakan larutan elektrolit asam sulfat dengan konsentrasi antara 10% sampai 15%. Temperatur operasi dari -5°C sampai 5°C yang berlangsung selama 20 sampai 120 menit. Waktu proses tersebut biasanya tergantung dari ketebalan lapisan dan paduan yang digunakan. Rapat arus yang digunakan adalah antara 2 sampai 3,6 A/dm^2 (20 sampai 36 A/ft^2). Jenis *anodizing* ini

mampu menghasilkan lapisan oksida yang lebih rapat dan tebal yaitu antara 20 μm sampai 50 μm , sehingga memiliki kekerasan dan ketahanan korosi yang lebih baik bila dibandingkan dengan jenis *anodizing* lainnya.

Berdasarkan sumber arus yang digunakan, *anodizing* dibagi menjadi dua tipe, yaitu:

1. *Alternating current (AC) anodizing*

Alternating current (AC) anodizing adalah proses *anodizing* yang menggunakan arus listik bolak-balik. Proses pembentukan oksida pada AC *anodizing* berjalan dengan lambat. Hal ini disebabkan polaritas positif dan negatif *power suplay (rectifier)* bergantian secara cepat. Pemanfaatan *anodizing* jenis ini adalah untuk mendapatkan hasil pelapisan dengan kekerasan yang rendah. Contoh aplikasinya adalah pembuatan aluminium foil.

2. *Direct Current (DC) anodizing*

Direct current (DC) anodizing adalah proses *anodizing* yang menggunakan arus searah. Proses pembentukan oksida pada DC *anodizing* berjalan lebih cepat dari AC *anodizing*. Hal ini disebabkan *power suplay (rectifier)* seluru berada pada benda kerja. Hasil dari pelapisan jenis ini adalah untuk memperoleh lapisan dengan kekerasan yang tinggi. DC *anodizing* dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu:

a. *Continous anodizing*

Continous anodizing adalah jenis *anodizing* yang paling sering dilakukan. Pada *continous anodizing* besar arus yang dialirkan selama prose *anodizing* dijaga konstan.

b. *Pulse Anodizing*

Pulse anodizing adalah jenis *anodizing* yang dilakukan dengan memberikan rapat arus naik turun secara periodik. *Pulse anodizing* ini dilakukan dengan merubah rapat arus yang diberikan secara tepat.

2.3 Reaksi-Reaksi Pada Proses Anodizing

Reaksi pada proses *anodizing* akan terjadi ketika arus listrik mulai diberikan. Ketika energi ionisasi diberikan, larutan elektrolit H_3PO_4 akan mengalami reaksi ionisasi. Reaksinya sebagai berikut :





Untuk anoda yaitu aluminium, pada awalnya akan terjadi reaksi oksidasi. Reaksi yang terjadi adalah :



Dari reaksi diatas menghasilkan O^{2-} yang akan dimanfaatkan ion-ion aluminium untuk membentuk lapisan oksida. Reaksi yang terjadi adalah :



Untuk titanium pada katoda akan terjadi reaksi reduksi. Reaksi yang terjadi adalah:



Setelah menghasilkan atom-atom titanium ini, selanjutnya akan bereaksi dengan H_2O hasil reaksi ionisasi H_3PO_4 dan membentuk titanium dioksida. Berikut reaksinya:



Titanium dioksida inilah yang akan menempel pada permukaan aluminium dan akan meningkatkan sifat-sifat mekanik pada aluminium. Pembentukan dan proses menempelnya titanium dioksida ini dipengaruhi oleh tegangan listrik dan waktu proses *anodizing*.

2.4 Lapisan yang Terbentuk pada Proses *Anodizing*

Pada aluminium, lapisan oksida terbentuk karena adanya reaksi antara logam titanium dengan oksigen yang selanjutnya akan menempel pada permukaan aluminium. Lapisan ini dapat terjadi secara alami maupun melalui proses elektrokimia seperti *anodizing*. Lapisan oksida yang terbentuk secara alami memiliki ketebalan yang sangat tipis, yaitu sekitar 0,005-0,001 μm atau $0.25-1 \times 10^{-2}$ mikron. Sedangkan lapisan oksida yang terbentuk dari proses elektrokimia dapat mencapai ketebalan 500 kalinya.

Lapisan oksida yang terbentuk pada permukaan aluminium hasil dari proses *anodizing* dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

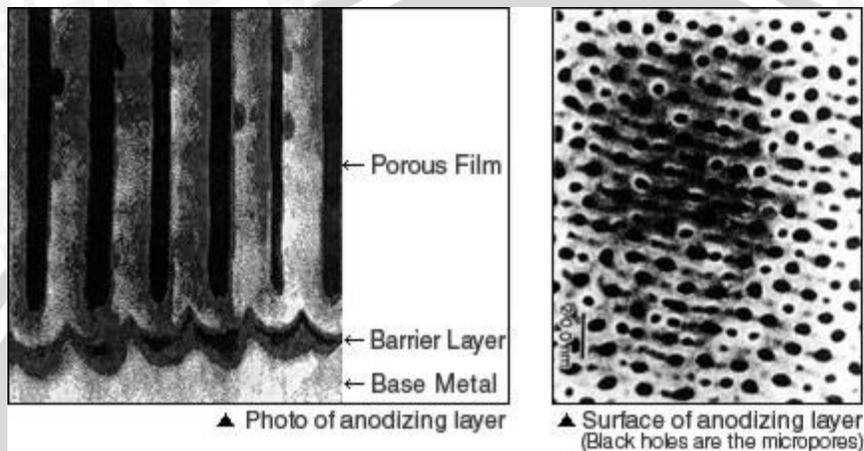
1. Lapisan film oksida tipe penghalang (*barrier-type oxide film*)

Lapisan film oksida tipe penghalang (*barrier-type oxide film*) merupakan lapisan dasar yang sangat tipis dan padat. Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan antara lapisan film oksida tipe pori (*porous-type oxide film*) dan logam dasar (base metal). Lapisan film oksida ini memiliki sifat melindungi dari korosi lebih lanjut dan tahan terhadap arus listrik.

2. Lapisan film oksida tipe pori (*porous-type oxide film*)

Lapisan oksida tipe pori (*porous-type oxide film*) terbentuk setelah *barrier layer* telah menebal. Biasanya ditandai dengan munculnya benih-benih pori di dekat batas antara oksida dan larutan. Dengan terus mengalirnya arus pada system akan terbentuk struktur oksida berpori yang stabil dan selanjutnya akan menempel dengan sempurna.

Lapisan oksida yang terbentuk pada proses *anodizing* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Foto dari *anodizing layer* dan permukaannya dari *anodizing layer*

Sumber : www.misumi-techcentral.com, 2012

Ketebalan lapisan oksida yang dihasilkan dari proses *anodizing*, dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain, jenis larutan elektrolit, rapat arus (*current density*), durasi proses *anodizing*, dan lain – lain.

2.5 Elektrolisis

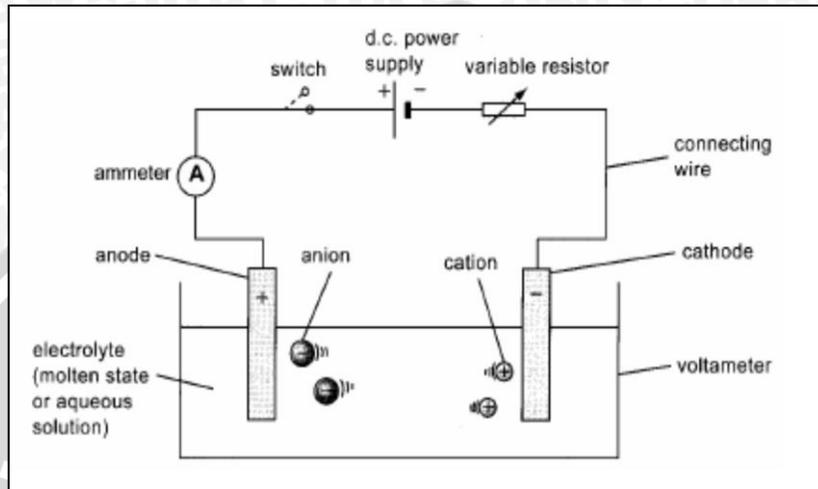
Elektrolisis merupakan peristiwa berlangsungnya reaksi kimia oleh arus listrik. Alat elektrolisis terdiri atas sel elektrolitik yang berisi elektrolit (larutan atau leburan), dan dua elektroda, yaitu anoda dan katoda. Pada anoda terjadi reaksi oksida sedangkan pada elektroda katoda terjadi reaksi reduksi.

Cara kerja sel elektrolisis adalah seperti yang terdapat pada gambar 2.3.

1. Sumber arus listrik searah memompa elektron dari anoda ke Katoda. Elektron ini ditangkap oleh kation (ion positif) pada larutan elektrolit sehingga pada permukaan katoda terjadi reaksi reduksi terhadap kation.

Contoh : $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$

2. Pada saat yang sama, anion (ion negatif) pada larutan elektrolit melepaskan elektron. Dan melalui anoda, elektron dikembalikan ke sumber arus. Dengan demikian, pada permukaan anoda terjadi reaksi oksidasi terhadap anion.



Gambar 2.3 Sel elektrolisis
Sumber : Richardson (2002:46)

2.6 Elektrolit

Elektrolit adalah suatu zat yang terlarut atau terurai ke dalam bentuk ion-ion yang merupakan atom-atom bermuatan elektrik. Fungsi dari larutan elektrolit disini adalah sebagai penghantar arus dan penambah ion logam pelapis. Kekuatan larutan elektrolit erat kaitannya dengan derajat ionisasi/disosiasi . Derajat ionisasi/disosiasi adalah perbandingan antara jumlah ion yang dihasilkan dengan jumlah zat mula-mula.

Dimana derajat ionisasi memiliki rentang antara 0 sampai dengan 1

- Jika derajat ionisasi suatu larutan mendekati 1 atau sama dengan 1, ini mengindikasikan bahwa zat tersebut tergolong larutan elektrolit kuat. Artinya adalah sebagian besar/semua zat tersebut terionisasi membentuk ion positif dan ion negative. Hanya sebagian kecil/tidak ada zat tersebut dalam bentuk molekul netral.
- Jika derajat ionisasi suatu larutan mendekati 0, ini mengindikasikan zat tersebut tergolong larutan elektrolit lemah. Artinya adalah hanya sebagian kecil zat tersebut yang terionisasi menghasilkan ion positif dan ion negative. Sisanya masih berupa molekul netral.

- Jika derajat ionisasi suatu larutan sama dengan 0, ini mengindikasikan zat tersebut tergolong larutan non elektrolit. Artinya adalah zat tersebut tidak mengalami ionisasi/tidak menghasilkan ion positif dan ion negative, semuanya dalam bentuk molekul netral. Perhatikan gambar di bawah ini.

Pada umumnya, elektrolit dibedakan menjadi elektrolit asam, basa, dan garam.

1. Elektrolit asam

Elektrolit asam adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepas ion (H^+). contoh elektrolit asam diantaranya adalah asam sulfat (H_2SO_4), asam fosfat (H_3PO_4) dan asam klorida (HCL).

2. Elektrolit basa

Elektrolit basa adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan melepas ion (OH^-). Contoh dari elektrolit basa adalah $NaOH$ (*caustic soda*) apabila dilarutkan dalam air maka terurai menjadi ion Na^+ dan ion OH^- .

3. Elektrolit garam

Elektrolit garam adalah elektrolit yang bila dilarutkan dalam air akan terbentuk ion-ion selain (H^+) dan (OH^-). Contoh dari elektrolit garam adalah $NaCl$ apabila dilarutkan dalam air maka terurai menjadi ion Na^+ dan ion Cl^- .

2.7 Reaksi Redoks

Reaksi Redoks adalah reaksi yang didalamnya terjadi perpindahan elektron secara berurutan dari satu spesies kimia ke spesies kimia lainnya, yang sesungguhnya terdiri atas dua reaksi yang berbeda, yaitu oksidasi (kehilangan elektron) dan reduksi (memperoleh elektron). Reaksi ini merupakan pasangan, sebab elektron yang hilang pada reaksi oksidasi sama dengan elektron yang diperoleh pada reaksi reduksi. Masing-masing reaksi (oksidasi dan reduksi) disebut reaksi paruh (setengah reaksi), sebab diperlukan dua setengah reaksi ini untuk membentuk sebuah reaksi dan reaksi keseluruhannya disebut reaksi redoks (Prayoga: 2012).

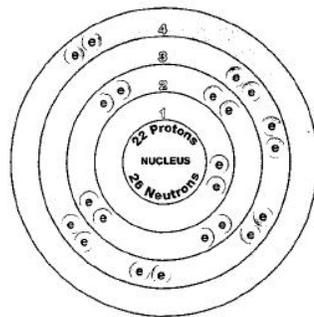
2.8 Elektroda

Elektroda adalah sebuah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan sebuah bagian non-logam dari sebuah sirkuit (misal *semikonduktor*, *elektrolit* atau *vakum*).

Ungkapan kata ini diciptakan oleh ilmuwan Michael Faraday dalam bahasa Yunani dari kata (*elektron* berarti amber, dan *hodos* berarti sebuah cara). Pada pengujian anodizing kali ini, elektroda yang dipakai adalah aluminium sebagai anoda dan titanium sebagai katoda. Anoda ini didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron datang dari sel dan oksidasi terjadi dan katoda didefinisikan sebagai elektroda dimana elektron memasuki sel dan reduksi terjadi.

2.9 Titanium

Titanium merupakan salah satu unsur kimia yang dalam tabel periodik memiliki simbol Ti dan nomor atom 22. Jari-jari atom dari titanium adalah $0,145\mu\text{m}$. Titanium memiliki struktur elektron berikut; $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^2, 3p^6, 3d^2, 4s^2$. Titanium memiliki empat elektron valensi dan membentuk oksida sangat stabil (TiO_2). Logam ini kuat, berkilau, tahan korosi termasuk tahan terhadap air laut dengan ciri-ciri warna putih metalik keperakan. Gambar 2.4 menunjukkan struktur atom titanium.



Gambar 2.4 Struktur atom titanium

Sumber: <http://fisika.um.ac.id/download/doc.../174-arus-dan-tegangan-listrik.html>

2.10 Aluminium

Aluminium adalah logam terpenting dari logam non fero. Penggunaan Aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia, 1995 : 129). Aluminium merupakan bahan baku yang mudah diperoleh karena keberadaannya yang melimpah dipermukaan bumi, yaitu sekitar 8%. Logam ringan ini mempunyai ketahanan korosi yang baik, ketahanan terhadap aus, kemampuan hantar listrik dan panas yang baik, dan beberapa sifat yang baik lainnya sebagai logam. Karena sifa-sifat yang baik inilah banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan kekuatan mekakiknya, seperti

proses pengecoran logam (*metal casting*), perlakuan panas (*heat threatment*), pelapisan logam (*metal coating*) dan lain-lain.

a. Sifat Fisik Aluminium

Sifat-sifat fisik yang dimiliki aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium

Nama, Simbol, dan Nomor atom	Aluminium, Al, 13
Wujud	Padat
Massa jenis	2,70 gram/cm ³
Massa jenis pada wujud cair	2,375 gram/cm ³
Titik lebur	660,32°C
Titik didih	2519°C
Kalor jenis (25°C)	24.2 J/mol K
Resistance listrik (20°C)	28.2 nΩ m
Konduktivitas termal (300 K)	237 W/m K
Pemuaian thermal (25°C)	23,1 μm/m K
Modulus young	70 N/m ²
Modulus geser	26 N/m ²
Poisson ratio	0,35
Kekerasan skala Mohs	2,75
Kekerasan skala Vickers	167 VHN
Kekerasan skala Brinnrl	245 BHN

Sumber: Andriyono. dkk (2012: 17)

b. Sifat Mekanik Aluminium

Sifat-sifat mekanik aluminium (Heine, 1985 : 260) antara lain meliputi:

1. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas didefinisikan sebagai hasil pembagian antara tegangan dan regangan. Dalam hal ini aluminium memiliki sifat elastisitas yang sangat rendah. Bahkan hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemanduan maupun *heat treatment*.

2. Kekuatan *Creep*

Kekuatan creep aluminium biasanya membatasi penggunaannya hanya pada temperatur yang rendah. Sebagai contoh untuk campuran jenis 20185-T61 memiliki kekuatan luluh 48000 psi pada temperatur ruang.

3. Ketahanan Aus

Selain elastisitasnya yang rendah, aluminium juga memiliki ketahanan aus yang sangat jelek. Hal ini dapat diperkirakan dari harga batas luluh dan kekerasan yang sangat rendah. Sifat ini dapat diperbaiki dengan pemanduan aluminium dengan logam lainnya seperti Cu.

4. Kekerasan

Kekerasan merupakan kemampuan bahan atau material untuk menerima penetrasi, indentasi, pengikisan, penggoresan, dengan kata lain kemampuan bahan untuk menahan deformasi plastis. Dalam hal ini aluminium murni mempunyai kandungan aluminium sebesar 99,99 % dan mempunyai kekerasan 17 BHN. Penambahan unsur paduan dan perlakuan panas menghasilkan paduan Al dengan kekerasan yang lebih tinggi.

5. Kekuatan tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material untuk menerima beban tarik tanpa mengalami kerusakan atau dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum patah. Dalam hal ini aluminium dengan kemurnian 99,99% memiliki kekuatan tarik maksimum 4,9 kg/mm².

6. Daya hantar panas

Daya hantar panas aluminium tergolong baik. Dimana aluminium mampu mendistribusikan panas dengan cepat dari daerah dengan temperatur tinggi ke daerah dengan temperatur rendah.

7. Daya hantar listrik

Aluminium merupakan penghantar listrik yang baik, hal ini disebabkan aluminium mempunyai daya hantar listrik 65% dari tembaga, sedangkan massa jenisnya kira-kira 1/3 massa jenis tembaga. Tetapi untuk keperluan ini aluminium harus semurni mungkin. Dalam hal ini dapat digunakan aluminium dengan kemurnian 99,0% atau di atasnya.

8. Ketahanan korosi

Dengan kemampuannya untuk membentuk lapisan oksida (Al_2O_3) pada permukaannya sebagai pelindung korosi maka aluminium termasuk logam ringan yang memiliki ketahanan korosi yang baik.

2.10.1 Klasifikasi Unsur Paduan

Pada dasarnya, klasifikasi unsur paduan pada aluminium sudah memiliki standar di berbagai negara didunia. Namun yang paling terkenal dan paling sempurna adalah standar *Association of America* (AA) yang telah didasarkan pada standar terdahulu dari Alcao (*Aluminium Company of America*) (Surdia, 1999:135). Standar AA menggunakan penandaan dengan empat angka sebagai berikut:

1. Angka pertama menyatakan sistem paduan dengan unsur-unsur yang ditambahkan.
2. Angka kedua menyatakan kemurnian dalam paduan yang dimodifikasi dari aluminium murni.
3. Angka ketiga dan keempat dimaksudkan untuk tanda Alcoa terdahulu kecuali huruf S, sebagai contoh 3S sebagai 3003 dan 63S sebagai 6063.

Aluminium dapat diklasifikasikan menurut paduannya, sebagai berikut :

1. Jenis Al-murni (seri 1XXX)

Aluminium jenis ini kemurniannya 99,0% sampai dengan 99,99%. Memiliki sifat tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik serta mampu las dan mampu potong yang baik. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya yang relatif rendah.

2. Jenis paduan Al-Cu (seri 2XXX)

Paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat di-*heat treatment*, Sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi ketahanan korosinya rendah bila dibandingkan dengan paduan yang lainnya. Sifat mampu lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan untuk piston dan silinder head motor bakar.

3. Jenis paduan Al-Mn (seri 3XXX)

Paduan Al-Mn adalah jenis yang tidak dapat di *heat-treatment* sehingga untuk menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin pada saat proses pembuatan. Sangat mudah untuk dibentuk, memiliki daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu las yang baik. Kekuatan pada paduan jenis ini lebih unggul daripada Al murni. Banyak dipakai untuk pipa, tangki minyak.

4. Jenis paduan Al-Si (seri 4XXX)

Paduan Al-Si termasuk jenis aluminium yang tidak dapat di *heat-treatment*. Paduan jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam

proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Selain itu paduan ini juga mudah ditempa, dan memiliki koefisien pemuaian panas yang rendah.

5. Jenis paduan Al-Mg (seri 5XXX)

Paduan Al-Mg termasuk paduan yang tidak dapat di *heat treatment*, tetapi memiliki daya tahan korosi yang baik, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu lasnya. Paduan aluminium jenis ini digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum, tetapi juga untuk tangki-tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Jenis paduan Al-Mn dan Si (seri 6XXX)

Paduan aluminium dengan Mangan dan silikon ini relatif mudah untuk dibentuk. Paduan jenis ini memberikan sifat penguatan, kekuatan dan ketahanan korosi baik.

2.10.2 Aluminium 6061

Aluminium 6061 merupakan jenis aluminium paduan yang mengandung unsur magnesium dan silikon yang paling dominan sebagai paduannya yaitu sekitar 0,8%. Dengan karakteristik ketangguhan yang baik dan paduan yang *heat treatable*, maka aluminium paduan seri 6061 merupakan paduan yang paling luas pemakaiannya pada seri 6xxx. Aluminium paduan tipe 6061 juga mempunyai sifat mampu bentuk yang baik dan memiliki sifat tahan korosi (Husaini, 2006) Selain pada kendaraan bermotor, paduan ini biasanya digunakan sebagai bahan untuk pembuatan sayap pada industri pesawat terbang. Kandungan dari aluminium paduan tipe 6061 dapat dilihat pada tabel 2.23.

Tabel 2.2 Kandungan aluminium paduan tipe 6061

Unsur	Jumlah (%)
Silikon (Si)	0.68
Magnesium (Mg)	1.01
Copper (Cu)	0.21
Zinc (Zn)	0.06
Titanium (Ti)	0.08
Manganese (Mn)	0.06
Kromium (Cr)	0.05
Aluminium	Balance

Sumber : PT. Sutindo

2.11 Arus Listrik

Arus listrik adalah pergerakan muatan-muatan listrik. Sebenarnya yang bergerak adalah elektron-elektron dalam sebuah penghantar namun timbul asumsi bahwa arus listrik adalah pergerakan muatan listrik dari positif (+) ke negatif (-). Sedangkan tegangan listrik adalah beda potensial antara kutub positif (+) dengan negatif (-) (METALAST, 2000:2). Jika antara dua titik, diberi tegangan atau dibuat beda potensial maka akan mengalir arus listrik dari yang memiliki potensial lebih positif ke arah yang lebih negatif. Jadi intinya adalah arus listrik akan timbul jika ada beda potensial dari kedua kutub.

Besarnya arus listrik diukur dengan satuan banyaknya elektron per detik, namun demikian ini bukan satuan yang praktis karena harganya terlalu kecil. Satuan yang dipakai adalah ampere, dimana

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2-7)$$

Dimana :

i = Arus listrik [Ampere]

$\frac{dq}{dt}$ = Banyaknya elektron yang mengalir tiap detik [Coulomb/detik]

Current density atau kerapatan arus adalah arus yang mengalir per satuan luas permukaan. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$J = \frac{i}{A} \quad (2-8)$$

Dimana :

J = *current density* [A/dm²]

i = arus yang mengalir [Ampere]

A = luas permukaan spesimen [dm²]

2.12 Tegangan Listrik

Tegangan listrik merupakan besarnya perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Simbolnya adalah V dan dinyatakan dalam satuan *volt*. Besaran ini mengukur energi potensial dari sebuah medan listrik yang mengakibatkan adanya aliran listrik dalam sebuah konduktor (*Anonymous 4*). Jadi, untuk sebuah konduktor semakin besar beda potensial di ujung-ujungnya, akan semakin besar pula arus yang mengalir.

Sementara berdasarkan hukum Ohm, tegangan memiliki hubungan matematis dengan arus listrik dan hambatan (Tripler : 2001)

$$V = i X R \quad (2-9)$$

Dimana:

V = Beda potensial (tegangan listrik) [Volt]

I = Arus listrik yang mengalir [Ampere]

R = Hambatan [Ohm]

2.13 Energi Ionisasi

Energi ionisasi dapat didefinisikan sebagai energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron valensi dari suatu atom atau ion dalam wujud gas. Energi ionisasi ini dinyatakan dalam satuan kJ mol^{-1} . Nilai energi ionisasi tergantung pada jarak elektron valensi terhadap inti atom. Semakin jauh jarak elektron valensi terhadap inti atom, makin lemah tarikan inti terhadap elektron sehingga energi ionisasi makin kecil.

Unsur-unsur yang segolongan, energi ionisasinya makin ke bawah semakin kecil karena elektron terluar makin jauh dari inti (gaya tarik inti makin lemah), sehingga elektron terluar makin mudah dilepaskan. Sedangkan unsur-unsur yang seperiode, gaya tarik inti makin ke kanan makin kuat, sehingga energi ionisasi pada umumnya makin ke kanan makin besar. Ada beberapa pengecualian yang perlu diperhatikan. Golongan IIA, VA, dan VIIIA ternyata mempunyai energi ionisasi yang sangat besar, bahkan lebih besar daripada energi ionisasi unsur di sebelah kanannya, yaitu IIIA dan VIA. Hal ini terjadi karena unsur-unsur golongan IIA, VA, dan VIIIA mempunyai konfigurasi elektron yang relatif stabil, sehingga elektron sukar dilepaskan.

2.14 Deret Volta

Alesandro Giuseppe Volta pada tahun 1827 menemukan bahwa setiap logam mempunyai sifat reduktor (cenderung melepaskan elektron). Ada yang kuat (mudah teroksidasi) seperti logam-logam alkali, namun ada yang lemah (sulit teroksidasi) seperti logam mulia. Urutan logam-logam tersebut kini disebut dengan deret Volta. Urutan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Deret Volta

Unsur	Energi Potensial E_o (V)
$\text{Li}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Li}(s)$	-3.0401
$\text{Cs}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cs}(s)$	-3.026
$\text{Rb}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Rb}(s)$	-2.98
$\text{K}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{K}(s)$	-2.931
$\text{Ba}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ba}(s)$	-2.899
$\text{Ca}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ca}(s)$	-2.8
$\text{Na}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Na}(s)$	-2.71
$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mg}(s)$	-2.372
$\text{Ac}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Ac}(s)$	-2.20
$\text{Be}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Be}(s)$	-1.85
$\text{U}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{U}(s)$	-1.66
$\text{Al}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Al}(s)$	-1.66
$\text{Ti}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ti}(s)$	-1.63
$\text{Zr}^{4+} + 4e^- \rightleftharpoons \text{Zr}(s)$	-1.45
$\text{Ti}^{4+} + 4e^- \rightleftharpoons \text{Ti}(s)$	-1.37
$\text{Mn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Mn}(s)$	-1.185
$\text{V}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{V}(s)$	-1.13
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}(s)$	-1.099
$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Cr}(s)$	-0.7618
$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Fe}(s)$	-0.74
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}(s)$	-0.44
$\text{Co}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Co}(s)$	-0.40
$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Ni}(s)$	-0.28
$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Sn}(s)$	-0.25
$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}(s)$	-0.13
$2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(g)$	-0.13
$\text{Cu}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(s)$	0.0000
$\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(s)$	+0.340
$\text{Pt}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pt}(s)$	+0.7996
$\text{Au}^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons \text{Au}(s)$	+1.188
$\text{Au}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Au}(s)$	+1.52

Sumber : Hartomo (2009 : 27)

Sifat – sifat dari deret Volta adalah :

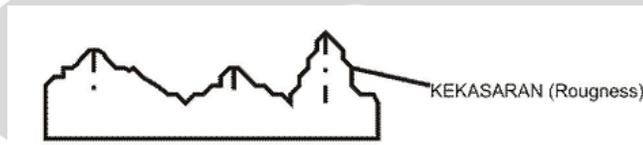
1. Makin kecil (lebih negatif) harga E^0 suatu logam, makin kuat sifat reduktornya (makin keatas letaknya dalam deret Volta).
2. Logam-logam di sebelah atas H dalam deret Volta memiliki E^0 negatif, dan logam-logam di sebelah bawah H dalam deret Volta memiliki E^0 positif.

2.15 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan ketidakaturan konfigurasi permukaan yang bisa berupa guratan atau kawah kecil pada permukaan. Ketidakaturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa macam diantaranya:

1. Kekasaran / *roughness (micro roughness)*

Bentuk naik turunnya permukaan dari pendeknya gelombang yang ditandai seperti bukit dan lembah dengan bermacam-macam jarak dan amplitudo.



Gambar 2.5 Kekasaran Permukaan

Sumber:

<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>
(2012:225)

2. Gelombang / *waviness (macroroughness)*

Ketidakaturan periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar daripada kedalamannya.



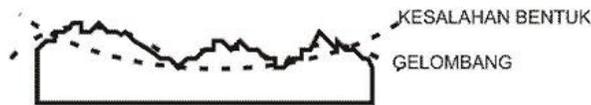
Gambar 2.6 Gelombang / *waviness*

Sumber:

<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>
(2012:225)

3. Kesalahan bentuk (*error of form*)

Ketidakaturan makrogeometri, penyimpangan pada kekasaran dan *waviness*, yang disebabkan terutama oleh kesalahan pada proses permesinan, dan deformasi akibat stress pola komponen



Gambar 2.7 Kesalahan bentuk (*error of form*)

Sumber:

<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>
(2012:225)

2.15.1 Profil Permukaan

1. Profil geometri ideal

Profil ini merupakan profil dari geometris permukaan yang ideal yang tidak mungkin diperoleh dikarenakan banyaknya faktor yang mempengaruhi dalam proses pembuatannya. Bentuk dari profil geometris ideal ini dapat berupa garis lurus, lingkaran, dan garis lengkung.

2. Profil Referensi

Profil ini digunakan sebagai dasar dalam menganalisis karakteristik dari suatu permukaan. Bentuknya sama dengan bentuk profil geometris ideal, tetapi tepat menyinggung puncak tertinggi dari profil terukur pada panjang sampel yang diambil dalam pengukuran.

3. Profil Terukur

Profil terukur adalah profil dari suatu permukaan yang diperoleh melalui proses pengukuran. Profil inilah yang dijadikan sebagai data untuk menganalisis karakteristik kekasaran permukaan produk pemesinan.

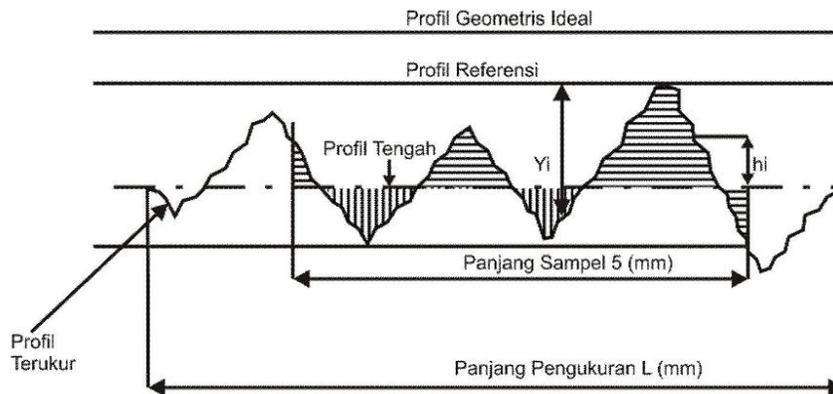
4. Profil Dasar

Profil dasar adalah profil referensi yang digeserkan kebawah hingga tepat pada titik paling rendah pada profil terukur.

5. Profil Tengah

Profil tengah adalah profil yang berada di tengah-tengah dengan posisi sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagian atas profil tengah sampai pada profil terukur sama dengan jumlah luas bagian bawah profil tengah sampai pada profil terukur. Profil tengah ini sebetulnya merupakan profil referensi yang digeserkan kebawah dengan arah tegak lurus terhadap profil geometris ideal sampai pada batas tertentu yang membagi luas penampang permukaan menjadi dua bagian yang sama

yaitu atas dan bawah. Untuk lebih memperjelas dimana posisi dari profil geometris ideal, profil terukur, profil referensi, profil dasar, dan profil tengah, dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Profil suatu permukaan

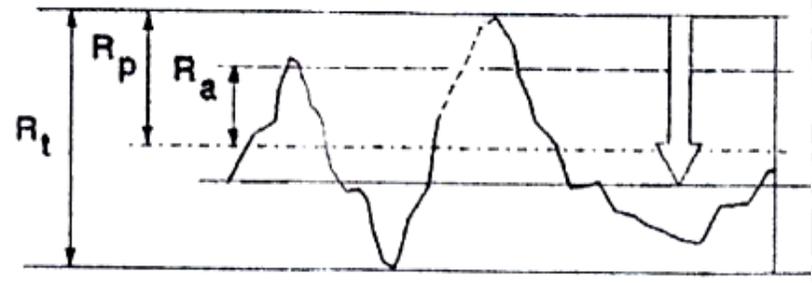
Sumber:

<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>
(2012:227)

2.15.2 Parameter permukaan

- Untuk analisa profil arah tegak
 - a. Kekasaran total (*peak to valley height / total height*), R_t adalah jarak profil referensi dan profil dasar.
 - b. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness/peak to mean linear*), R_p adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur. R_p ini juga sama dengan jarak antara profil referensi dengan profil tengah.
 - c. Kekasaran aritmetris (*mean roughness index / centerline average*), R_a adalah harga rata-rata aritmetis dari harga absolut jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

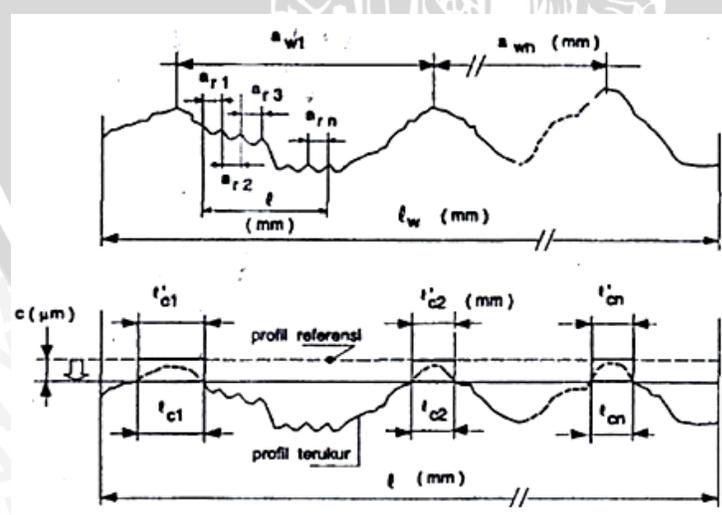
Profil permukaan dengan arah tegak dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Analisa profil dalam bentuk tegak
Sumber:

<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>
(2012:230)

- Untuk analisa arah memanjang
 - a. Lebar gelombang (*waveness width*), A_w adalah rata-rata aritmetris dari semua jarak a_{w1} diantara dua buah puncak gelombang (dari profil terukur) yang berdekatan pada suatu panjang sampel l_w .
 - b. Lebar kekasaran (*roughness width*), A_r adalah harga rata-rata aritmetis dari semua jarak a_{r1} diantara dua puncak kekasaran (dari profil terukur) yang berdekatan pada suatu sampel l .
 - c. Panjang penahan (*bearing length*), l_t adalah profil referensi digeserkan kebawah sejauh c maka akan memotong profil terukur sepanjang l_{c1} , l_{c2} , l_{cn}
- Profil permukaan dengan arah memanjang dapat dilihat pada gambar 2.10.



$$l_c = \sum_{1}^n l'_{cl}$$

Gambar 2.10 Analisa profil terukur dengan arah memanjang
Sumber:

<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Pengukuran%20Kekasaran%20Permukaan.pdf>
(2012:230)

2.15.3 Kriteria Evaluasi Permukaan Akhir

Standar USSR GOST 2789-59 menyediakan dua kriteria, R_z dan R_a yang mencirikan permukaan akhir. Standar ini diklasifikasikan menjadi 14 kelas kualitas permukaan.

Kelas permukaan akhir dari 1 sampai 4, serta 13 dan 14 ditentukan oleh nilai penyimpangan mikro R_z , yang didefinisikan sebagai rata-rata ketinggian (jarak puncak ke lembah) dari lima penyimpangan utama (gambar 27a) yang diukur sepanjang garis dasar:

$$R_z = \frac{(h_1+h_3+h_5+h_7+h_9)-(h_2+h_4+h_6+h_8+h_{10})}{5} \tag{2.10}$$

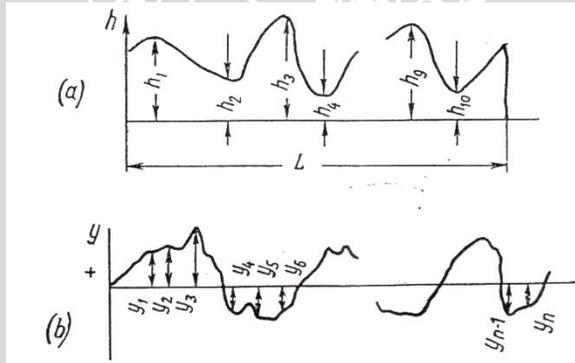
Kelas permukaan akhir dari 5 sampai 12, ditentukan oleh penyimpangan nilai rata-rata R_a sesuai rumus berikut:

$$R_a = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n) = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} \tag{2.11}$$

yang mana: y_1, y_2, y_3, \dots adalah jarak dari titik permukaan profil dari garis tengah (gambar 19b); n adalah jumlah titik penyimpangan dari profil mikro yang diukur.

Garis tengah membagi profil permukaan sehingga penjumlahannya $y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots + y_n^2 = 0$.

Kualitas permukaan pada *drawing* ditunjukkan dengan simbol segitiga ∇ diikuti oleh kelas kualitas permukaanya, untuk contoh, $\nabla 5$ menunjukkan kelas nomer lima dari permukaan akhir.



Gambar 2.11 Menentukan R_z dan R_a dari penyimpangan permukaan

Sumber: D. Maslov, dkk. (1967: 221)

Dibawah ini adalah tabel kelas permukaan akhir berdasarkan standar USSR GOST 2789-59:

Tabel 2.4 Kelas permukaan akhir berdasarkan standar USSR GOST 2789-59

Kelas Permukaan akhir	Penyimpangan aritmatik rata-rata R_a dari profil, (micron)	Tinggi penyimpangan R_z , (micron)	Panjang dasar L (mm)
1	80	320	8
2	40	160	8
3	20	80	8
4	10	40	2.5
5	5	20	2.5
6	2.5	10	0.8
7	1.25	6.3	0.8
8	0.63	3.2	0.8
9	0.32	1.6	0.25
10	0.16	0.8	0.25
11	0.08	0.4	0.25
12	0.04	0.2	0.25
13	0.02	0.1	0.08
14	0.01	0.05	0.08

Sumber: D. Maslov, dkk (1967: 221)

2.16 Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian kekasaran permukaan menggunakan prinsip tribologi yaitu bahwa permukaan benda padat mempunyai profil yang tidak rata (tonjolan, puncak, dan lembah yang dapat diukur.

Sebelum melakukan pengujian alat uji harus di kalibrasi terlebih dahulu agar mendapatkan hasil yang maksimal, jarum peraba (*sylus*) dari alat ukur halus digerakkan mengikuti lintasan profil permukaan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu, sesaat setelah jarum bergerak dan sesaat sebelum jarum berhenti maka secara elektronik alat ukur melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh jarum peraba. Profil permukaan apabila diukur memberikan amplitudo dan dengan tribologi diperoleh harga aritmatik rata-rata (R_a). Didalam pengukuran kecepatan *stylus* (*down speed*) dan jarak lintasan *sylus* ditentukan lebih dahulu sebelum alat dioperasikan.

2.17 Kekerasan

Dalam ilmu pengetahuan logam, kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk menahan indentasi atau penetrasi. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang sering digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu:

a) Pengujian kekerasan Brinell

Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh J.A. Brinell pada tahun 1900. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras (hardened steel ball) dengan beban dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan pada rumus dibawah ini :

$$BHN = 2P / (\pi D)[D - (D^2 - d^2)^{0.5}] \quad (2-10)$$

Keterangan:

BHN = Brinell Hardness Number (BHN)

P = Beban (kg)

D = Diameter indentor (mm)

d = Diameter jejak (mm)

c) Pengujian kekerasan Vickers

Pada metode ini digunakan indentor intan berbentuk piramida dengan sudut 136° , seperti diperlihatkan oleh gambar dibawah dimana d adalah panjang diagonal rata-rata dari jejak berbentuk bujur sangkar. Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinell, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak.

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} \quad (2 - 11)$$

Keterangan :

F = Gaya tekan (kgf)

d = Diagonal tapak tekan rata-rata (mm)

HV = Vickers Hardness Number (VHN)

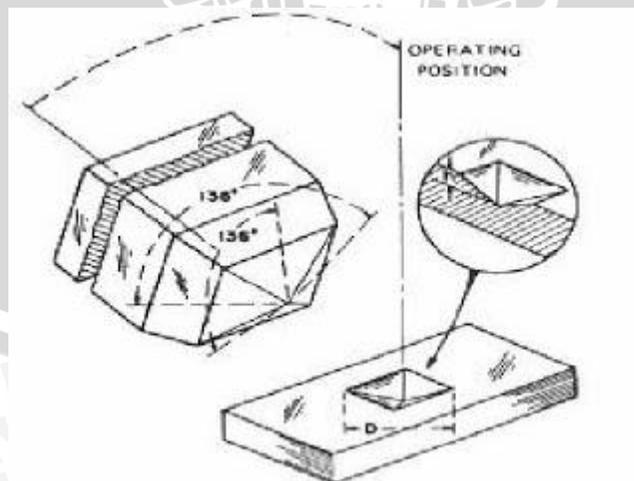
b) Pengujian kekerasan Rockwell

Berbeda dengan metode Brinell dan Vickers dimana kekerasan suatu bahan dinilai dari diameter/diagonal jejak yang dihasilkan maka metode Rockwell merupakan uji kekerasan dengan pembacaan langsung (direct-reading). Metode ini banyak dipakai

dalam industri karena pertimbangan praktis. Variasi dalam beban dan indetor yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Metode yang paling umum dipakai adalah Rockwell B (dengan indetor bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg) dan Rockwell C (dengan indetor intan dengan beban 150 kg). Walaupun demikian metode Rockwell lainnya juga biasa dipakai. Oleh karenanya skala kekerasan Rockwell suatu material harus dispesifikasikan dengan jelas.

2.18 Pengujian kekerasan permukaan

Pengujian yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian kekerasan Vickers. Metode uji kekerasan Vickers dilakukan dengan cara menekan material uji menggunakan indetor intan berbentuk piramid ber alas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan 136° , material diuji dengan gaya tekan antara 1 kgf sampai 120 kgf. Hasil optimal dapat diketahui dengan waktu tekan selam 10-15 detik. Dua garis diagonal bekas indentasi pada permukaan spesimen setelah beban dihilangkan diukur menggunakan sebuah mikroskop dan dihitung rata-ratanya. Kekerasan Vickers dapat diketahui dengan membagi beban dengan luas daerah indentasi. Jika diagonal rata-rata telah diketahui maka kekerasan Vickers dapat dihitung dengan persamaan diatas. Untuk lebih jelasnya, berikut rumus Kekerasan Vickers yang ditunjukkan oleh persamaan 2-10.



Gambar 2.12 Prinsip Kerja Pengujian Kekerasan Vickers

Sumber : www.fariedkurosaki.blogspot.com/2010/01/pengujian-kekerasan.com, 2010

2.19 Hipotesis

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas, maka dapat diambil hipotesis bahwa semakin tinggi tegangan dan semakin besar kuat arus listrik maka akan mengakibatkan laju aliran ion-ion untuk menumbuk permukaan titanium akan semakin cepat. Semakin cepatnya laju aliran ion tersebut akan mengakibatkan gaya pantul pada aluminium 6061 akan semakin besar. Hal ini akan mengakibatkan kekasaran permukaan dari aluminium semakin meningkat. Selain itu, dengan semakin tingginya tegangan dan semakin besarnya kuat arus listrik maka energi ionisasi yang dihasilkan akan semakin tinggi pula.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

