

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengujian Korosi

Korosi merupakan suatu perubahan atau indikasi suatu logam yang mengakibatkan sifat dan karakteristik berubah, yang diakibatkan karena adanya *degradasi* logam akibat reaksi redoks (reaksi induksi/oksidasi) antara suatu logam dengan zat pada lingkungan sekitar. Korosi pada logam sangat merugikan bagi seluruh masyarakat. Oleh karena itu, korosi dapat dikendalikan atau diperlambat laju korosinya dengan memperlambat proses pengkaratannya.

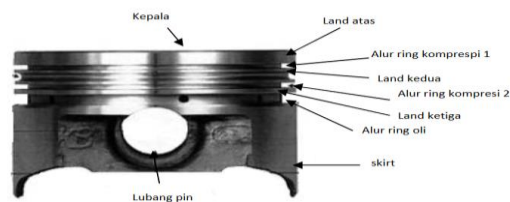
Namun, dibandingkan dengan yang lainnya aluminium memiliki kelebihan ringan, tahan terhadap korosi dan sangat mudah dibentuk. Pada aluminium mempunyai kandungan Al_2O_3 yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi pada PH 4 sampai 9 selain PH tersebut aluminium bisa terkorosi pada lingkungan asam maupun basa.

Dalam kehidupan sehari-hari logam sangat susah dibuat homogen karena perbedaan fase-fasenya, adanya pengotor, dan cara merubah struktur dan sifatnya. Akibatnya, akan terjadi perbedaan potensial yang akan menimbulkan korosi yang berupa korosi galvanis (anoda, katoda, elektrolit dan konduktor) di antara butiran-butiran logamnya. Pada proses korosi adalah peristiwa spontan yang berlangsung secara bersamaan dengan adanya elektron yang mengalir di dalam logam yang berfungsi sebagai anoda ke bagian logam yang bertindak sebagai katoda (Siregar,2010).

2.2 Piston bekas

Piston dalam bahasa Indonesia juga dikenal sebagai komponen dari mesin pembakaran internal yang berfungsi sebagai penekan tekanan udara dan penerima pembakaran di ruang bakar cylinder liner. Komponen mesin ini dipegang oleh setang piston yang mendapatkan gerakan naik dan turun dari gerakan memutar poros engkol

Bentuk bagian-bagian piston dapat dilihat pada Gambar:



Gambar 2.1 Piston

Piston bekas terdiri dari beberapa unsur dengan paduan utama 82,87% Al dan 12,93% Si dan diperoleh unsur secara lengkap diantaranya (**Mugiono, 2013**) :

Tabel 2.1 Komposisi Piston bekas

Unsur	%
Si	12,93
Fe	0,5515
Cu	1,459
Mn	0,0472
Mg	0,6585
Cr	0,0133
Ni	1,3625
Zn	0,0619
Ti	0,0272
Ca	0,0051
P	0,0009
Pb	0,0116
Sb	0,0004
Sn	0,0113
Al	82,87

2.3 Paduan aluminium

Paduan aluminium dipakai sebagai paduan berbagai logam murni, dan oleh karena itu tidak kehilangan sifat ringan pada sifat – sifat mekanisnya dan juga mampu cornya diperbaiki dengan menambah unsur–unsur lain. Unsur–unsur paduan itu adalah tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium. Macam–macam unsur paduan aluminium dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. paduan Al-Si yang telah diperlakukan panas dinamakan Silumin. Sifat – sifat silumin sangatlah diperbaiki oleh perlakuan panas dengan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Paduan Al-Si pada umumnya dipakai dengan 0,15% – 0,4%Mn dan 0,5 % Mg. serta Paduan ini diberi perlakuan pelarutan (solution heat treatment), quenching, dengan aging dinamakan silumin γ , dan yang hanya mendapat perlakuan aging saja dinamakan silumin β . Paduan

Al-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Bahan paduan ini biasa dipakai untuk torak motor. (Surdia, 1992).

b. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg

Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg ditemukan oleh A. Wilm dalam usaha mengembangkan paduan aluminium yang kuat yang dinamakan duralumin. Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg yang dapat mengeras dengan sangat dalam tetapi beberapa hari oleh penuaan dalam temperatur biasa atau natural aging setelah solution heat treatment dan quenching. Suatu studi tentang logam paduan ini pada umumnya sangat banyak dilakukan salah satunya adalah Nishimura yang telah berhasil dalam menemukan senyawa terner yang berada dalam keseimbangan dengan Al, yang kemudian dinamakan senyawa S dan T. Ternyata senyawa S (Al_2CuMg) mempunyai kemampuan penuaan yang sangat baik pada temperatur biasa. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg dipakai untuk bahan dalam industri pesawat terbang (Surdia, 1992).

c. Paduan Al-Mn

Mangan (Mn) adalah unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan terhadap korosi. Paduan Al-Mn di dalam penamaan standar AA adalah paduan Al 3003 dan Al 3004. Komposisi standar pada paduan Al 3004 adalah Al, 1,2 % Mn, komposisi standar Al 3003 adalah Al, 1,2 % Mn, 1,0 % Mg. Paduan Al 3003 dan Al 3004 digunakan paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas

d. Paduan Al-Mg

Paduan dengan 2 – 3 % Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi, paduan Al 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan Al 5052 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Paduan Al 5083 yang dianil adalah paduan antara (4,5 % Mg) kuat dengan mudah dilas oleh karena itu sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG (Surdia, 1992).

e. paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si Sebagai paduan 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 pada rangka konstruksi, karena paduan dalam sistem ini mempunyai ketahanan yang sangat baik tanpa mengurangi hantaran listrik, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi juga digunakan untuk kabel tenaga (Surdia, 1992).

f. Paduan Al-Mn-Zn

Di Jepang pada permulaan tahun 1940 Iragashi dengan kawan-kawan mengadakan studi dan berhasil dalam pengembangan suatu paduan dengan penambahan kira – kira 0,3 % Mn atau Cr dimana butir kristal padat diperhalus dengan mengubah bentuk presipitasi serta retakan korosi tegangan tidak terjadi. Pada saat itu paduan tersebut dinamakan ESD duralumin super ekstra

2.4 Abu Dasar Batubara

Abu dasar batu bara (*bottom ash*) merupakan proses sisa pembakaran hasil batu bara yang merupakan limbah yang meningkat setiap tahun, sehingga diperlukan penanggulangan, karena dapat mengakibatkan dampak lingkungan berupa polusi udara (Tekmira, 2010)

2.5 Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan nomer atom 12 serta berat atom 24,31. Magnesium merupakan elemen terbanyak ke-delapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ke-tiga kebanyakan pada air laut. Logam alkali tahan ini, terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) dalam membentuk campuran aluminium dengan magnesium yang disebut “Magnalium” atau “magnelium”

Tabel 2.2 Sifat Fisik Magnesium

Fasa	Padat
Massa Jenis	1,38 g/cm ³
Titik Cair	923°K(650°C, 1202 °F)
Titik Didih	1363°K(1090°C, 1994 °F)
Konduktivitas Termal	(300K) 156W/(M.K)

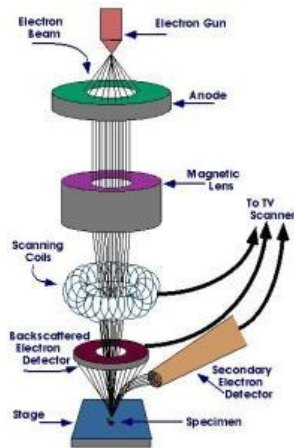
2.6 Struktur Mikro

Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat pada suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat di lihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya; mikroskop cahaya, mikroskop electron, mikroskop fieldion, mikroskop field emission dan mikroskop sinar-X. Manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

1. Mempelajari hubungan sifat-sifat bahan dan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui. Langkah-langkah untuk melakukan pengamatan struktur mikro adalah pemotongan spesimen menjadi ukuran yang kecil kurang lebih seukuran 10mm x 10mm x 10mm, penempatan spesimen kedalam cetakan dan cetakan tadi di isi resin yang bertujuan untuk memermudah dalam proses penghalusan, pengampelasan dengan menggunakan amplas halus secara berurutan, mulai 27 dari yang paling kasar (nomor kecil) sampai yang halus (nomor besar), pemolesan dengan menggunakan bubuk penggosok ataupun pasta diamond. Pemeriksaan struktur mikro memberikan informasi tentang bentuk struktur, ukuran butir dan banyaknya bagian struktur yang berbeda.

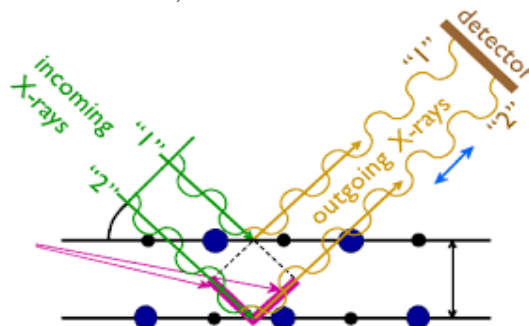
Struktur mikro yaitu suatu struktur yang dapat diamati oleh alat mikro, atau dapat pula diartikan sebuah hasil pengamatan dari scanning electron microscope (SEM) maupun dari X-Ray Diffraction (XRD). Fungsi diadakan pengujian ini adalah untuk melihat fasa-fasa yang terjadi didalam logam atau paduan tersebut. Menurut (M. Mandala, dkk, 2016) pengamatan menggunakan cor logam struktur mikronya berbentuk struktur dendrite yang lebih kecil dan perbesaran butirnya lebih merata dibanding produk coran dengan cetakan lainnya dan proses solidifikasinya lebih cepat terjadi. Prinsip kerja adalah sebagai berikut:

1. Piston electron memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda
2. Lensa magnetic memfokuskan elektron menuju sampel benda uji
3. Sinar elektron yang terfokus memindai(*scan*) sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai
4. Ketika sinar elektron baru yang kemudian diterima oleh detector dan selanjutnya dikirim ke monitor

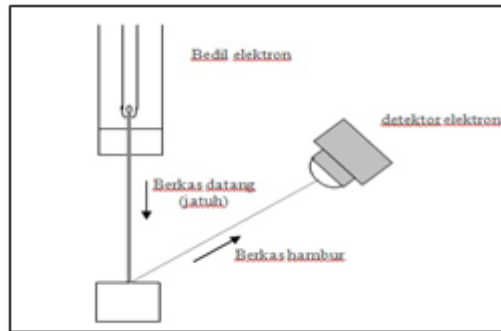


Gambar 2.2 Skema SEM

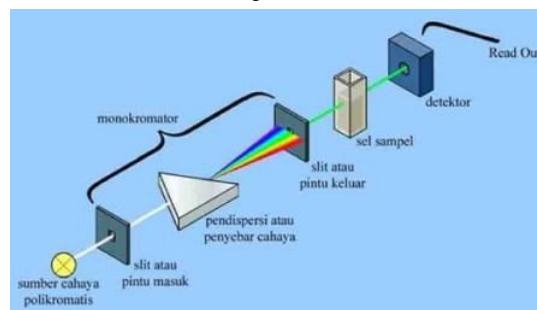
X-Ray Diffraction (XRD) merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun nonkristalit, seperti mengidentifikasi struktur kristalit, dan fasa (kuantitatif) dalam satu bahan dengan menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X. XRD juga dapat mengidentifikasi jenis atom, dan kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal. Ada empat tahap pengerjaan yaitu: preparasi, difraksi, deteksi, dan interpretasi (Erlangga, Mulyadi, & Cahyarini, 2016). Terdapat 3 jenis alat difraktometer dalam pengujian ini, nama setiap difraktometer tergantung pada sumber radiasi yang digunakan diantaranya difraktometer neutron, sinar-x dan elektron..



Gambar 2.3 Cara Kerja Sinar-X



Gambar 2.4 Cara Kerja Difraktometer Elektron



Gambar 2.5 Cara Kerja Difraktometer Neutron

Hasil pengujian XRF didapat kandungan unsur logam yang terdapat pada batu pipih dan bidang belahnya menunjukkan perbedaan variasi komposisi prosentasenya, namun jenis unsurnya tidak variasi. Kandungan unsur logam utama (Si, Al, Ca, dan Sr) terutama pada unsur silikat cenderung pada bidang tahan leleh, namun pada kandungan unsur golongan transisi cenderung mengarah ke bidang belah. Pada pengujian XRD terdapat kemiripan yang hampir sama pola difraksinya dari sample bubuk-bubuk sayatan bidang belahnya, yang dimaksud sama yaitu posisi sudut dua-theta dari setiap peak pada pola difraksi yang di bandingkan, namun ada perbedaan intensitas peak pada bahan yang dibandingkan. Hal ini, yang menunjukkan perbedaan pada kandungan unsurnya (%) (Karyasa. I.W, 2013).

2.7 Gravity Casting

Pengecoran gravitasi yaitu teknik pengecoran menggunakan cetakan logam dimana logam cair masuk kecetakan dengan gaya gravitasi. Metal cair mengalir ke dalam cetakan dan membeku dengan cepat selama proses pengecoran berlangsung. Hasil pengecoran dengan sistem ini memiliki permukaan yang halus dan dimensi

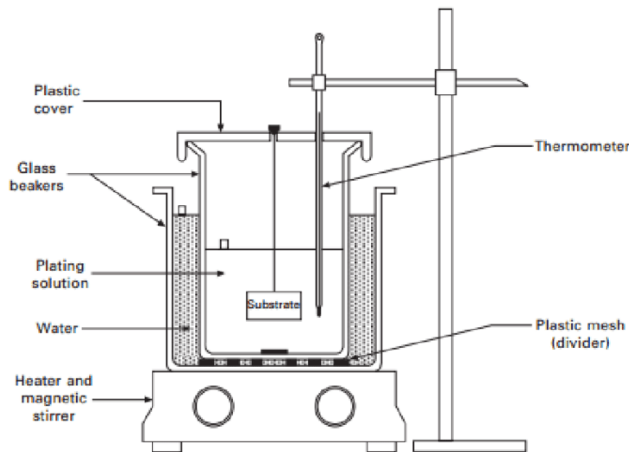
yang cukup akurat; selain juga memiliki sifat mekanis dan ketahanan tekan yang sangat baik. Penelitian ini bertujuan mempelajari karakteristik dan kekerasan pada porositas hasil coran pengecoran gravitasi. Material yang digunakan pada pengecoran adalah piston bekas (77,89 % Al – 18,0 % Si) yang merupakan paduan aluminium. Paduan aluminium dilebur dalam dapur crusibel menggunakan bahan bakar oli bekas yang dicampur minyak tanah. Benda uji dibuat dengan menggunakan teknik pada cetakan besi. Pengecoran gravitasi casting menggunakan variabel temperatur tuang 700°C, kemudian benda uji dilakukan pengujian kekerasan, pengujian porositas. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, kekerasan tertinggi terdapat pada spesimen bagian bawah yaitu 90,671 kg/mm² dan kekerasan terendah terdapat pada spesimen bagian atas yaitu 83,082 kg/mm². Sedangkan porositas tertinggi terdapat pada spesimen bagian atas yaitu 0,0148 % dan porositas terendah terdapat pada spesimen bagian bawah yaitu 0,0113 % (**Sударsono, 2012**).

2.8 Temperatur

Temperatur adalah suatu ukuran dingin atau panas nya keadaan atau sesuatu lain nya. satuan ukuran dari temperatur yang banyak digunakan di indonesian adalah °C (derajat Celcius). Sementara satuan ukur yang banyak digunakan di luar negri adalah derajat Fahrenheit (**Ir. Sarsinta : 2008**)

2.9 Electroless Plating

Electroless plating merupakan proses pelapisan yang tidak menggunakan listrik dalam proses pelapisannya, proses pelapisan yang terjadi karena adanya reaksi oksidasi dan reduksi pada permukaan bahan, sehingga terbentuk lapisan logam yang berasal dari garam logam tersebut. Karena tidak menggunakan bantuan arus listrik dalam pertukaran elektron, proses pelapisan terjadi berjalan lebih lambat sehingga untuk mempercepat pelapisan maka temperature harus dinaikkan sesuai batas yang dianjurkan dengan bantuan alat pemanas. Peralatan utama pada proses pelapisan elektroless berbeda dengan pelapisan pada elektropating dimana pada proses elektroless ini tidak menggunakan arus listrik dalam prosesnya. Seperti terlihat pada gambar 1 di bawah. Gambar 1 Skema Proses Pelapisan Keterangan :



Gambar 2.6 Skema *Electroless Plating*

Keterangan:

1. Gelas Plating
2. Larutan Elektrolis aluminium dan magnesium
3. Bahan yang dilapis (Abu dasar baubara)
4. kompor magnetik stirrer
5. Termometer

Pada penelitian *Electroless plating* abu dasar batubara sebagai penguat komposit matriks logam yang dilakukan (**Edi Santoso, Harjo Seputro dkk, 2016**) menunjukkan hasil pengujian SEM-EDX dengan variasi % berat magnesium (Mg) dan temperatur oksidasi berpengaruh pada %Wt elemen-elemen pembentuk yang ada di dalamnya, tetapi tidak berpengaruh terhadap unsur pembentuknya yaitu tetaplah sama. Dari semua spesimen menghasilkan produk reaksi yang sama yaitu aluminium silicate (Al_2SiO_5). Pada penelitian lain oleh (**Adhi Setiawan dkk, 2016**) menunjukkan bahwa hasil uji kekerasan menunjukkan bahwa coran yang dioksidasi dengan temperatur yang lebih tinggi akan menghasilkan material yang lebih tahan aus dibandingkan dengan material yang dioksidasi dengan temperatur lebih rendah. Masing-masing temperatur oksidasi mempengaruhi perbedaan ketebalan lapisan Mg sehingga akan menyebabkan perbedaan sifat mekanik material komposit. Salah satu jenis metode pembuatan komposit matriks keramik Al_2O_3 adalah melalui proses oksidasi, karena aluminium sulit berinfiltrasi dengan keramik Al_2O_3 .

Electroless plating digunakan untuk komponen mekanik ataupun elektronik khususnya untuk meningkatkan ketahanan aus (*wear resistance*) dan dalam beberapa kasus dilakukan untuk meningkatkan ketahanan korosi (dengan perlakuan panas

khusus). *Electroless plating* dibagi menjadi dua bagian yaitu *autocatalytic plating* adalah proses *electroless plating* yang dimana elektron bebas yang berasal dari reduksi agen bergabung dengan ion logam dalam larutan dan membentuk logam padat pada permukaan, karena elektron diperoleh dari reduksi agen, maka proses pelapisan (*coating*) ini dapat terjadi setelah substrate tertutup/terlapisi dengan ketebalan tertentu, *electroless* nikel adalah salah satu contohnya. Sedangkan *ion-exchange plating* adalah proses *electroless plating* yang dimana berbasis pada oksidasi dari substrate yang akan dilapisi oleh ion logam yang lain yang berasal dari larutan pelapis, lapisan yang terbentuk dengan proses ini biasanya lebih tipis, sebab proses pelapisan akan berhenti ketika seluruh substrate telah terlapisi dan tidak dapat dihasilkan lagi *supplai electron* dengan proses oksidasi, logam yang dilapisi dengan metode ini biasanya adalah seng dan timah (Zainuri, M, dkk. 2008).

2.10 Homogenizing

Homogenizing adalah suatu pemanasan pada temperatur tinggi di daerah fasa austenit (g) jauh diatas titik kritis (A_3 dan A_{cm}). Proses ini bertujuan untuk menghilangkan efek segregasi kimia akibat proses pembekuan lambat ingot/billet untuk memperbaiki mampu pengerjaan panas (*hot workability*). Menurut hasil penelitian yang dilakukan (Generousdi, 2010) pada material paduan aluminium 2024 proses homogenisasi aluminium 2024 pada temperatur 490°C dan waktu tahan 10 jam akan mengembalikan keadaan paduan pada kondisi awal dan menghasilkan penyebaran presipitat yang merata pada seluruh matriknya.

Perlakuan panas adalah suatu kombinasi dengan operasi pemanas dan pendingin dengan kecepatan tertentu yang dilakukan pada logam paduan dalam keadaan padat suatu upaya untuk memperoleh sifat tertentu.

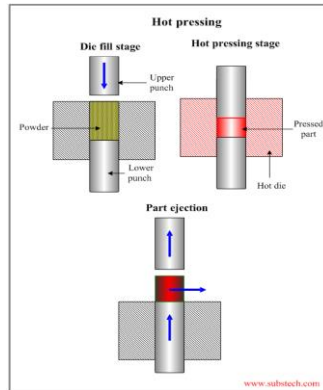
Proses laku-panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu.

Pada saat proses pengecoran sebuah billet material akan terjadi proses pembekuan yang lambat, sehingga akan timbul perbedaan komposisi kimia (*segregasi kimia*) akibat pembekuan yang lambat tersebut. Sehingga setelah produk coran (*as-cast*) selesai di cor kita perlu melakukan proses Homogenisasi (*homogenizing*) untuk menghilangkan efek segregasi kimia tersebut.

Homogenizing adalah suatu pemanasan pada temperatur tinggi dengan melebihi 50°C di atas garis kritis (*critical line*) pada diagram fasa Al-Cu. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan efek segregasi kimia dan menyeragamkan partikel akibat proses pembekuan yang lambat ingot/billet dan untuk memperbaiki mampu pengerjaan panas (*hot workability*).

2.11 Reduksi Penampang

Reduction of area atau reduksi penampang merupakan pengecilan penampang ketika mengalami *fracture*. Hal ini berguna dalam menentukan seberapa besar suatu material yang mengalami beban uniaksial akan mengalami pengecilan luas penampang.



Gambar 2.7 Reduksi Penampang

2.13 Pressing

Pressing adalah cara yang dapat digunakan untuk mereduksi ketebalan pada plat logam dengan cara mengubah penampang benda kerja. Pengepresan dapat dilakukan dengan beberapa cara yang dilihat dari bahan apa yang di *press* dan hasil apa yang diinginkan. Jenis pengepresan yang umumnya digunakan antara lain: pengepresan datar dan pengepresan bentuk. Contohnya dalam proses pengepresan plat, maka dapat mempengaruhi bentuk butiran atau struktur mikro material yang *dipress*. Materi plat yang *dipress* dapat dipengaruhi sifat mekanik pada perubahan butiran pada proses pengepresan, erubahan ini dapat diketahui melalui beberapa pengujian yang ada.



Gambar 2.8 Skema *pressing*

2.14 Polarisasi

Pengujian korosi dengan menggunakan metode polarisasi merupakan salah satu reaksi korosi yang dapat menimbulkan kerusakan pada logam. Polarisasi di bagi menjadi dua yaitu:

1. Polarisasi aktivasi

Dimana proses elektrokimia yang dikontrol oleh reaksi berurutan pada permukaan metal-electrolite.

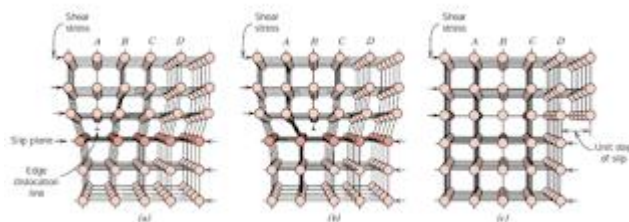
2. Polarisasi konsentrasi

Proses elektrokimia di kontrol oleh proses difusi elektrolit.

Pada metode elektrokimia dengan teknik polarisasi dapat mempelajari fenomena korosi dengan penentuan parameter korosi melalui potensial korosi, tahanan korosi, arus korosi, laju korosi dan perilaku korosi melalui penentuan kurva polarisasi (E vs $\log I$) (A, Kartaman, K, & Yanlinastuti, 2014). Polarisasi atau penyimpangan merupakan gabungan polarisasi anoda dan polarisasi katoda pada lingkungannya yang dapat diukur dengan elektroda acuannya. Adanya beda potensial mengakibatkan timbulkan transfer elektron yang mengakibatkan adanya arus listrik. Besar elektroda yang mengalir dapat diukur dengan elektroda pembantu.

2.15 Dislokasi

Dislokasi adalah suatu pergeseran atau pergerakan atom-atom di dalam sistem kristal logam akibat tegangan mekanik yang dapat menciptakan deformasi plastis (perubahan dimensi secara permanen) pada saat terjadinya deformasi plastis maka melibatkan pergerakan sejumlah besar dislokasi. Dislokasi bisa mudah bergerak atau bisa sulit bergerak. Dislokasi yang sudah ada bergerak dan dengan adanya penghambat yang menyebabkan penggandaan dislokasi, hal ini sejalan dengan teori Frank Read mengenai perbanyakan dislokasi. Pada proses pengerjaan dingin terjadi peningkatan dislokasi di dalam kristal logam sehingga kekuatan logam meningkat, namun keuletan menurun. Semakin kecil besar butir, maka susunan butir menjadi lebih rapat dan lebih sulit terjadi dislokasi pada butir, sehingga kekerasan material akan meningkat (Sardianto dkk, 2015)



Gambar 2.9 Konsep Dislokasi

1. Karakteristik Dislokasi

Beberapa karakteristik dislokasi berpengaruh kepada sifat mekanik material. Sedangkan medan regangan yang berada disekitar dislokasi yang akan menentukan mobilitas dislokasi dan kemampuan untuk bertambahnya dislokasi. Apabila logam mengalami deformasi, 5% energi deformasi tetap berada pada material, sisanya menjadi panas. Sebagian besar energi yang disimpan tersebut berupa energi regangan dan berada disekitar dislokasi. Energi regangan berupa :tekan, tarik dan geser.

2. Sistem Slip

Gerakan dislokasi pada suatu bahan tidak sama kesetiap arah, ada bidang yang disukai (prefer plane) untuk terjadi gerakan dislokasi. Bidang ini disebut bidang *slip* dan arah gerakan disebut arah *slip*. Gabungan dari keduanya disebut sistem *slip*. Slip biasanya terjadi pada bidang terpadat, sedangkan slip juga tergantung pada struktur kristal logam.

Ukuran butir memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap sifat-sifat mekanis. Material logam dengan butir yang halus memiliki kemampuan menahan pergerakan dislokasi lebih baik dibandingkan butir kasar (besar), dikarenakan butir halus memiliki area batas butir total yang lebih luas. Untuk sebagian besar material logam, kekuatan tarik (σ_y) didefinisikan sebagai fungsi dari ukuran butir (d) dalam persamaan Hall Petch:

$$\sigma_y = \sigma_o + K_y d^{1/2}$$

Dimana σ_o adalah tegangan geser yang berlawanan arah dan pergerakan dislokasi pada butir, dengan d diameter butir dan k adalah suatu konstanta yang merepresentasikan tingkat kesulitan untuk menghasilkan suatu dislokasi baru pada butir berikutnya. Walaupun demikian, pengaruh ukuran butir terhadap sifat mekanis memiliki batasan dimana butir yang terlalu halus (<10nm) akan menurunkan sifat mekanis akibat *grain boundary sliding*.

Teori Hall- Petch:

- Semakin halus ukuran butir maka bidang slip akan semakin pendek sehingga dislokasi akan cepat sampai kebatas butir.
- Semakin halus ukuran butir maka material akan semakin kuat.