

## BAB II LANDASAN TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Yaokun (2020) melakukan penelitiannya terkait efek *deep cryogenic treatment* pada struktur mikro dan perilaku korosi yang mengatakan bahwa struktur mikro paduan Mg-2,0Zn-0,5Ca disempurnakan hasilnya dengan adanya metode *deep cryogenic treatment*. Candane (2013) melakukan penelitian pengaruh *cryogenic treatment* terhadap struktur mikro dan karakteristik aus AISI M35 HSS yang telah dilakukan pada temperatur  $-195^{\circ}\text{C}$  dengan waktu perendaman 24 jam. Spesimen didinginkan dalam rentang  $-0,5^{\circ}\text{C}$  / menit sampai pada perendaman terakhir pada temperatur  $-195^{\circ}\text{C}$ . Waktu perendaman 24 jam dilakukan karena untuk memungkinkan transformasi yang lengkap untuk dilakukan. Kemudian siklus dibalik sedemikian rupa sehingga temperaturnya meningkatkan kecepatan  $0,5^{\circ}\text{C}$  / menit hingga temperatur kamar. Gambar struktur mikro yang diambil pada penelitian tersebut pada perbesaran 5000x menunjukkan hasil perbedaan yang cukup signifikan antara *heat treatment* dan *cryogenic treatment*. Austenit yang terkandung atau tersisa setelah dilakukannya *heat treatment* yaitu 17% - 19% akan terjadi pengurangan lagi dengan metode *shallow cryogenic treatment* yaitu menjadi 4% - 5% hingga akhirnya austenit yang tersisa menjadi kurang dari 1% dengan metode *deep cryogenic treatment*.

Kartikasari (2020) pada jurnal penelitian yang berjudul "*Wear and Corrosion Resistance of Hardened Fe-Al-Mn Grinding Ball*" mengungkapkan fase austenit berfungsi sebagai matriks sedangkan fasa ferit akan didistribusikan secara merata dengan pola acak. Jumlah kecil pada fasa ferit diamati disebabkan oleh kandungan Al 3,36% yang mana berfungsi sebagai penstabil ferit. Kandungan Mn 13,6% secara dominan menghasilkan pembentukan fase austenit dan sebagai penstabil austenit. Dengan proses penelitian yang dilakukan maka meningkatkan kekerasannya (ketahanan aus) dan ketahanan korosi. Podgornik (2016) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa *cryogenic treatment* dalam hal struktur mikro hasilnya lebih merata dan halus dengan kepadatan yang lebih besar dan meningkatnya retak ketangguhan, dan ketika peningkatan patah ketangguhan itu

dikaitkan dengan menurunnya kekerasan tetapi mengakibatkan peningkatan keausan. Namun demikian, semua hal yang berkaitan dengan ketahanan aus bergantung oleh kekerasan permukaan. Senthilkumar (2014) mengungkapkan *cryogenic treatment* pada paduan baja sering dipelajari dan metode ini memainkan peran penting dalam mengembangkan sifat-sifat baja. Salah satu hal yang menguntungkan dari metode ini ialah untuk meningkatkan ketahanan aus. Metode yang paling populer *heat treatment* dimana metode ini untuk mencapai kekuatan dan ketangguhan tinggi yang menjadikan keuntungan bagi komponen paduan baja tetapi terdapat masalah dalam austenit yang masih tertahan setelah dilakukan *heat treatment* yang menjadikan pertimbangan jika akan melakukan pengujian dengan metode *heat treatment*.

Menurut Kalia (2010) metode *cryogenic treatment* merupakan cara yang mudah dan menarik untuk dilakukan yang memiliki potensi untuk selalu dikembangkan dimasa yang akan datang, dimana beberapa hasil yang menguntungkan yaitu meningkatkan ketahanan aus, ketahanan korosi dan daya tahan dalam kekuatan bahan. *Cryogenic treatment* yaitu metode perlakuan pada material suhu yang sangat rendah yaitu  $-196^{\circ}\text{C}$  metode ini terbukti efisien dalam meningkatkan sifat fisik maupun mekanik terhadap berbagai bahan logam material. Baldissera (2010) meneliti pengaruh *deep cryogenic treatment* terhadap *fatigue* dan ketahanan korosi baja tahan karat austenitik AISI 302 dalam kondisi padat dan terlarut. Pada dua kasus tersebut tidak terdeteksi perubahan setelah dilakukan metode DCT pada ketahanan korosi. Xuan dkk (2008) meneliti baja rotor  $30\text{Cr}2\text{Ni}4\text{MoV}$  menggunakan metode DCT terkait ketahanan korosi dalam air pada temperatur tinggi. Untuk *cryogenic treatment* pada spesimen, tidak ada perbaikan yang signifikan saat diamati pada ketahanan korosi dan kekerasan karena terbatasnya endapan karbon serta transformasi austenit. Kandungan karbon dalam baja ini yaitu 0,28% maka pengendapan karbida halus akan mengurangi tekanan *internal* pada martensit dan dengan demikian meminimalkan ada kerentanan retak pada struktur mikro. Faktanya kandungan karbon yang lebih rendah pada  $30\text{Cr}2\text{Ni}4\text{MoV}$  membatasi karbon yang mengendap. Sebab dari itu, ketahanan korosi pada baja  $30\text{Cr}2\text{Ni}4\text{MoV}$  tidak signifikan untuk dilakukan menggunakan metode *deep cryogenic treatment*. Yaokun (2020) melakukan penelitiannya terkait

efek *deep cryogenic treatment* pada mikrostruktur dan perilaku korosi mengatakan bahwa struktur mikro paduan Mg-2,0Zn-0,5Ca disempurnakan hasilnya dengan adanya metode *deep cryogenic treatment*. Yaokun (2020) mengatakan pada hasil penelitiannya bahwa sisa tekanan yang disebabkan DCT dapat menahan media korosi dan mencegah penyebaran retakan mikro korosi. Sifat korosi elektrokimia dari paduan dapat ditingkatkan dengan lapisan MAO (*microarc oxidation*). *Deep Cryogenic Treatment* dapat menyesuaikan atau berpengaruh pada lajunya korosi dari paduan Mg-2,0Zn-0,5Ca yang dilapisi MAO.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Baja Tahan Karat**

Baja tahan karat termasuk dalam grup besi paduan tingkat resistensi tinggi terhadap serangan kimia atau sifat tahan karat. Banyak diantara baja ini yang digolongkan secara metalurgi menjadi baja tahan karat austenit baja tahan karat ferit, baja tahan karat martensit dan baja tahan karat tipe presipitasi. Sifat mekanik dan laju korosi baja tergantung dari unsur karbon (C), kromium (Cr) dan nikel (Ni) yang terkandung dalam baja tersebut (Gunawan, 2017). Baja tahan karat (*stainless steel*) merupakan baja paduan dengan kadar paduan tinggi (*high alloy steels*), dengan sifat yang istimewa yaitu tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida (terutama kromium) yang sangat stabil melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan korosif. Efek perlindungan oksida dari kromium tidak efektif pada baja paduan dengan kadar kromium yang rendah, efek ini akan mulai tampak pada kadar kromium diatas 11%. Adapun penambahan nikel pada baja tahan karat yaitu untuk mengurangi massa yang hilang akibat korosi dalam asam dan memperbaiki ketahanan korosi. Baja tahan karat mempunyai sifat ketangguhan dan sifat potong yang cukup baik.

Menurut (Gunawan, 2017) baja tahan karat dibagi menjadi beberapa berdasarkan struktur mikronya yaitu :

a. Baja tahan karat martensit

Martensit bukanlah suatu struktur yang stabil, tapi merupakan suatu struktur transisi antara austenit yang tidak stabil pada temperatur kamar dengan campuran ferit dan sementit yang stabil. Baja tahan karat martensitik mengandung unsur *chromium* antara 15%-18% dan merupakan hasil dari suatu proses transformasi pendinginan cepat dari *austenitic* pada temperatur tinggi. Baja tahan karat martensitik ini dikembangkan untuk mendapatkan paduan yang mempunyai sifat tahan korosi dan dapat dikeraskan dengan proses laku panas dengan menambahkan elemen karbon pada sistem biner Fe-Cr yang akan menghasilkan paduan yang dapat di *quench*.

b. Baja tahan karat austenit

*Austenitic Stainless Steel* pada umumnya adalah paduan Fe-Cr-Ni dan cukup dikenal dengan 300 seri, bersifat *non magnetic*, pada temperatur kamar mempunyai fase *austenitic* yang dominan, dimana unsur Ni sebesar 3,5%-37% . Bertujuan untuk menstabilkan fase austenit khusus akibat proses pendinginan dari temperatur tinggi.

c. Baja tahan karat ferit.

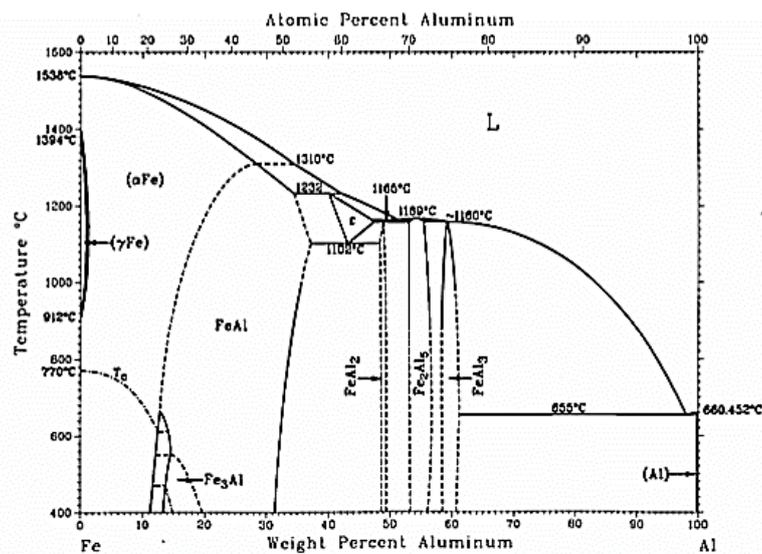
*Ferritic stainless steel* tersusun atas struktur mikro ferit alfa, dengan *lattice* BCC. Kandungan *chromium* berkisar antara 14,5%-27%. Kandungan *chromium* kira-kira 12% hanya fase ferit yang terjadi hingga temperatur kamar. Kestabilan ferit hingga temperatur kamar tersebut mengakibatkan *ferritic stainless steel* tidak dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas. Satu-satunya proses perlakuan panas yang dapat dilakukan adalah *annealing*, yang biasanya dimaksudkan untuk menghilangkan tegangan akibat pengelasan. *Chromium* merupakan elemen pembentuk ferit. Semakin banyak kandungan *chromium* dalam paduan, maka fase ferit akan makin stabil dan selain itu *chromium* dapat mempersempit daerah austenit.

### 2.2.2 Paduan Besi-Aluminium (Fe-Al)

Paduan berbasis Fe-Al menunjukkan kepadatan yang lebih rendah yaitu 5,7-6,7 g/cm<sup>3</sup> dibandingkan paduan besi lainnya yang ada pada besi cor maupun baja tahan karat. Paduan berbasis aluminium juga unggul pada ketahanan korosi

temperatur tinggi, ketahanan aus yang baik dan biaya bahan yang relatif rendah. Karena biaya yang rendah paduan ini mampu menjadi alternatif yang potensial untuk menggantikan baja tahan karat konvensional pada suhu rendah (Jian, 2019). Namun besi pada paduan Al selalu mengarah pada pembentukan fasa Fe-Al bahkan pada kandungannya Fe serendah 0,1% karena kelarutan padatan maksimum Fe di Al hanya 0,052%. Bentuk fasa Fe-Al umumnya seperti pelat banyak digunakan pada bidang industri transportasi karena kepadatannya yang rendah, kekuatan spesifikasinya yang tinggi serta ketahanan korosi yang baik, fasa Fe-Al yang banyak seperti pelat tadi mudah untuk dibentuk menyebabkan *stress concentration*. Jadi Fe dianggap sebagai elemen pengotor yang berbahaya dalam paduan Al (Wang, 2018).

Paduan Fe-Al membentuk kelas material intermetalik yang menjanjikan sebagai calon substitusi baja tahan karat pada tingkat temperatur sedang maupun tinggi. Ada sembilan fase utama muncul di diagram Fe-Al fase biner, fcc-Fe atau fase larutan padat Al, bcc-Fe fase larutan padat, dan enam senyawa intermetalik kompleks yaitu FeAl, Fe<sub>3</sub>Al, ε-Al<sub>3</sub>Fe<sub>5</sub>, FeAl<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>Al<sub>5</sub>, dan FeAl<sub>3</sub>. Karena intermetalik ini bagus pada ketahanan korosi dan kepadatan yang lebih rendah (5,7-6,7 g/cm<sup>3</sup>) daripada baja (7,85 g/cm<sup>3</sup>). Paduan FeAl menunjukkan ketahanan oksidasi yang lebih baik dan resistivitas listrik yang lebih tinggi daripada Fe<sub>3</sub>Al (Xinxin, 2019).

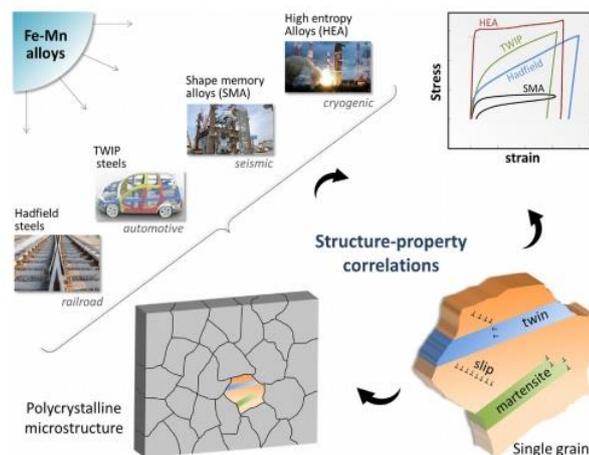


**Gambar 2.1.** Diagram Fase Fe-Al (ASM Handbook Volume 3, 1990)

### 2.2.3 Paduan Besi-Mangan (Fe-Mn)

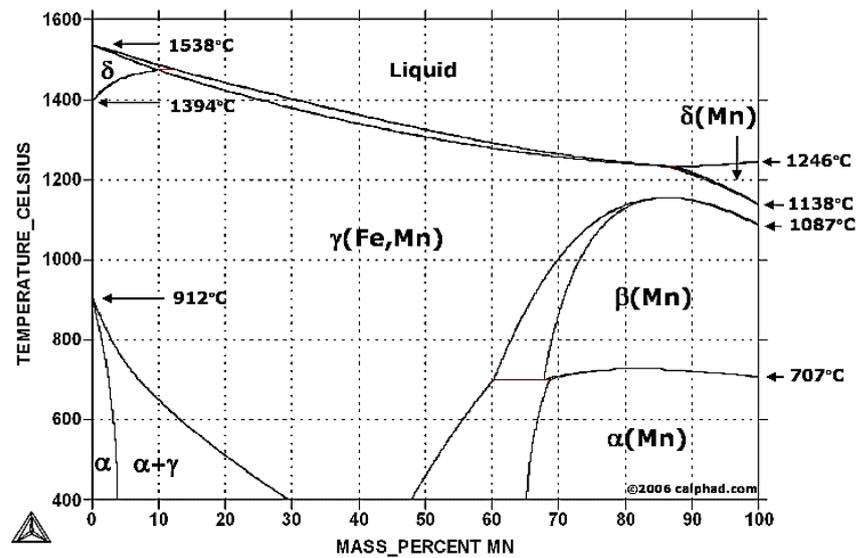
Paduan tinggi Fe-Mn mengalami transformasi martensitik  $\gamma$  (fcc) hingga  $\epsilon$  (hcp) ini memiliki kombinasi kapasitas *damping* dan sifat mekanik yang baik dan lebih ekonomis sehingga banyak diterapkan pada dunia industri daripada paduan yang lain karena bisa seperempat biaya paduan non-besi. Pada paduan Fe-17%Mn dengan kapasitas *damping* yang sangat baik (pembasahan spesifik kapasitas 30%) dan sifat mekanik (kekuatan tarik 700 Mpa). Kapasitas *damping* paduan Fe-Mn dikaitkan dengan  $\epsilon$  martensit (Girish, 2010)

Transformasi  $\gamma - \alpha$  (austenit-ferrit) pada baja adalah transformasi fase padat utama yang menentukan struktur mikro, sebagai salah satu elemen paduan paling umum yang digunakan dalam baja yaitu mangan yang dapat mempengaruhi struktur mikro dan sifat fisik/mekanik (Chun, 2002). Mempertimbangkan elemen penstabil austenit yaitu mangan, stabilitas austenit pada paduan Fe-Mn dan jumlah austenit yang tertahan sangat bervariasi tergantung pada jumlah mangan yang ditambahkan pada paduan tersebut. Mangan adalah elemen paduan yang penting pada baja seperti TRIP (*Transformation-induced plasticity*), TWIP (*Twinning-induced plasticity*), dan Q&P (*Quenching and Partitioning*) yang memiliki austenit metastabil. Baja *medium*-Mn dikenal sebagai baja TRIP, sedangkan baja *high*-Mn dikenal sebagai baja TRIP dan TWIP itu tergantung pada jumlah penambahan Mn dan austenit metastabilnya (Seung, 2018). Paduan berbasis Fe-Mn memiliki karakteristik yang sangat baik yang pengaplikasian di industri banyak seperti Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Aplikasi paduan Fe-Mn dalam dunia industri (Piyas, 2017)

Pada Gambar 2.3. diagram fasa Fe-Mn, jika fasa baja mangan (Fe-Mn) 8 % wt Mn di *heat treatment* sampai 1050 °C. Fasa yang terjadi fasa austenit dengan struktur kristal *Face Center Cubic* (FCC) dan kemudian diturunkan temperaturnya menjadi 769 °C sampai titik kritis sebagian fasa Fe  $\gamma$  dan sebagian menjadi fasa  $\alpha$ Fe kondisi fasa austenit lebih 24 dominan, dan juga merupakan fasa magnetik dengan kandungan mangan yang lebih kecil 10 % wt Mn, jika temperatur turun menjadi 600 °C fasa  $\gamma$  lebih banyak dari fasa  $\alpha$  dan jika temperatur menjadi 400 °C maka fasa  $\alpha$  akan jauh lebih dominan dengan struktur kristal *Body Center Cubic* (BCC).



**Gambar 2.3.** Diagram fasa Fe-Mn (Honeycombe, 1995)

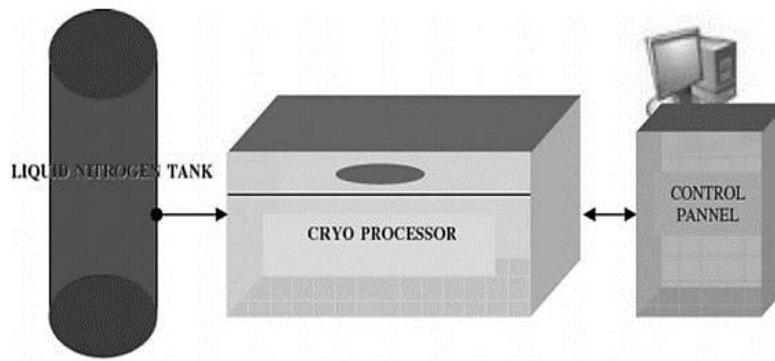
#### 2.2.4 Paduan Fe-Al-Mn

Diketahui bahwa Al dan Mn masing-masing adalah pembentuk austenit dan ferit, berbeda dengan fase ferit penuh di permukaan baja karbon kandungan Mn yang lebih tinggi menyebabkan proporsi fasa austenit yang lebih tinggi muncul pada suhu rendah (Su, 2004). Untuk meningkatkan sifat mekanik dari paduan Fe-Al maka terdapat penambahan mangan (Mn) dan karbon (C) karena kedua unsur kimia ini dapat menstabilkan austenitik yang memungkinkannya mencapai transformasi fase alfa ( $\alpha$ ) atau gamma ( $\gamma$ ) dalam paduan Fe-Al yang sebenarnya feritik (Kartikasari, 2020). Unsur Al dengan densitas yang sangat rendah yaitu 2,7 kg/cm<sup>2</sup> telah terbukti dapat menurunkan densitas baja hingga 16%. Kekuatan baja paduan Al sangat tinggi akan tetapi ketangguhannya sangat rendah namun paduan Fe-Al-Mn juga mempunyai ketahanan oksidasi yang sangat baik hingga mencapai

temperatur 850° C (Kartikasari, 2013). Konsep baja ringan cukup terlihat sederhana namun terdapat masalah pada metalurginya sehingga membuat menjadi rumit, karena baja ringan bisa mengandung feritik, austenitik atau bahkan struktur multi fase tergantung pada unsur elemen paduan C, Mn, dan Al ini membuat rumit mekanisme deformasi (Kim, 2013).

### **2.2.5 Proses *Deep Cryogenic Treatment***

Dasar *cryogenic treatment* yaitu pendinginan terhadap komponen secara bertahap hingga temperatur yang telah ditentukan (-196° C) dan ditahan dalam waktu tertentu (waktu pembekuan) setelah itu secara bertahap diarahkan kembali ke suhu kamar. Tujuannya yaitu untuk mendapatkan peningkatan sifat mekanik seperti kekerasan, dan ketahanan aus (Baldissera, 2008). Metode *cryogenic treatment* merupakan cara yang mudah dan menarik untuk dilakukan yang memiliki potensi untuk selalu dikembangkan dimasa yang akan datang, dimana beberapa hasil yang menguntungkan yaitu meningkatkan ketahanan aus, ketahanan korosi dan daya tahan dalam kekuatan bahan. *Cryogenic treatment* yaitu metode perlakuan pada material di temperatur yang sangat rendah yaitu -196° C, metode ini terbukti efisien dalam meningkatkan sifat fisik maupun mekanik terhadap berbagai bahan logam material. Proses *cryogenic treatment* mampu menguji berbagai macam bahan seperti logam, paduan logam, polimer, karbida, keramik, maupun komposit. *Deep cryogenic treatment* yaitu perlakuan terhadap bahan dengan suhu rendah untuk meningkatkan metalurgi yang diinginkan. Temperatur proses perlakuan *cryogenic* yaitu sekitar 77 K suhu ini sangat rendah karena berbahaya bagi retakan yang terlalu cepat dihilangkan dan untuk tetap mempertahankan temperatur yang diinginkan yaitu menggunakan kontrol komputer, ruang perlakuan yang terisolasi yang baik, dan nitrogen cair (Kalia, 2010).



**Gambar 2.4** *Deep cryogenic tempering processor* (Kalia, 2010)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ryan Taylor (2009), proses *deep cryogenic treatment* tidak membuat logam lebih keras namun akan tetap jadi lebih tahan lama. ada tiga perubahan yang terjadi pada proses *deep cryogenic treatment*

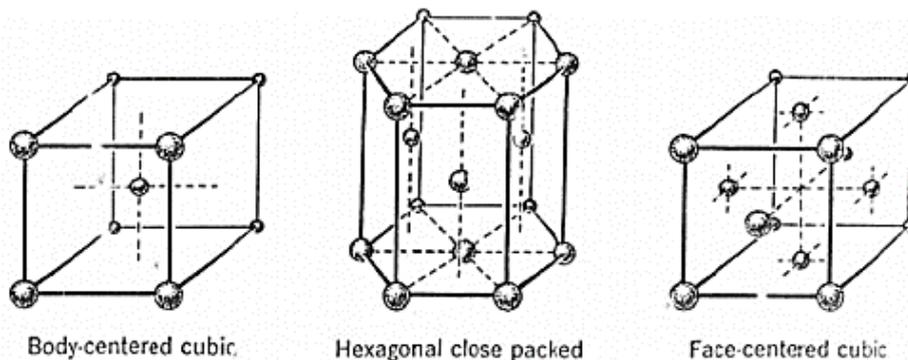
:

1. *Residual stress relief* (menghilangkan tekanan yang tertinggal), bila suatu material masih mengalami *residual stress* (yang bisa dialami logam saat mengalami pencetakan, pemotongan, di las atau dibubut) setelah *heat treating* maka proses *cryogenic* akan juga ikut membantu menghilangkan *residual stress*. *Heat treating* akan menghilangkan sebagian besar dari *residual stress*, namun bisa masih menyisakan hingga 10% *residual stress*. Proses *cryogenic* akan membantu menghilangkan *residual stress* yang tersisa.
2. *Uniformity of the crystalline or micrograin structure of the metal* (penyamaan kristalisasi atau struktur partikel mikro pada logam), ketika baja atau besi cetakan mengeras dan dipanaskan hingga atom besi dan atom karbon membentuk struktur yang disebut austenit. Struktur ini punya partikel relatif lunak dengan beberapa titik kelemahan. Proses *cryogenic* membuat austenit berubah menjadi molekul lebih tahan aus, namun lebih mudah pecah yang dinamakan martensit. Martensit mempunyai bentuk kristal lebih merata daripada austenit. Ketika logam mendapat perlakuan *cryogenic*, maka akan berubah menjadi martensit hingga menyisakan hanya 1% austenit, ini akan membuat logam lebih kuat dan lebih awet.
3. *Precipitation of Eta carbides* (pembentukan *eta carbides*), pada logam yang mengalami proses *cryogenic* dijumpai juga pembentukan *eta carbides* yang juga bisa meningkatkan sifat anti aus.

## 2.2.6 Pengujian Bahan

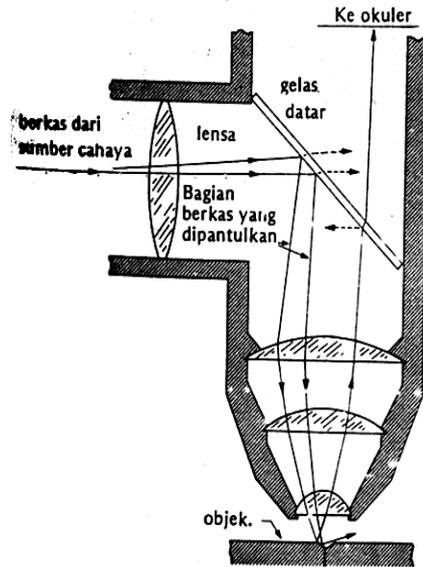
### 2.2.6.1 Pengujian Struktur Mikro

Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat dalam suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro. Semua logam terdiri dari partikel-partikel yang disebut kristal atau butir-butir. Struktur kristal suatu logam murni mulai terbentuk sekitar intinya apabila logam mulai membeku dari cairan menjadi padat. Atom-atom bebas dari suatu logam disusun menjadi suatu pola yang beraturan atau latis ruang. Besi dan baja mempunyai struktur BCC (*body centered cubic*), baja tahan karat austenitik memiliki struktur FCC (*face centered cubic*), dan magnesium berstruktur HCP (*hexagonal close-packed*). Tiga bentuk kristal logam yang paling umum sering dijumpai (Budianto, 2009).



**Gambar 2.5** Struktur kristal BCC, HCP, FCC

Upaya memperbaiki sifat mekanis tersebut selain dari pemilihan bahan baku (*raw material*) dan pengaturan komposisi paduan, juga sangat ditentukan oleh proses dan teknik pengecoran yang akan mempengaruhi bentuk struktur mikro logam cor. Sebagaimana diketahui sebelum proses pembekuan akan didahului oleh proses pengintian untuk selanjutnya terbentuk butir (kristal) dengan batas butir (*grain boundary*). Sifat-sifat mekanik dan fisik suatu logam akan ditentukan oleh gambar bentuk struktur mikronya. Gambar tersebut berasal dari ketidakaturan butir, ukuran butir, distribusi fase, unsur pengatur, perubahan karena deformasi. (Setiawan, 2013).



**Gambar 2.6** Pengamatan struktur mikro dengan mikroskop (Vlack, 1992)

Proses terjadinya perbedaan warna, besar butir, bentuk dan ukuran butir yang mendasari penentuan dari jenis dan sifat basa pada hasil pengamatan foto mikro adalah diakibatkan adanya proses pengetsaan. Salah satu jenis bahan yang digunakan dalam pengetsaan adalah *aqua regia*. Prinsip pengetsaan sebenarnya merupakan proses pengikisan mikro terkendali yang menghasilkan alur pada permukaan akibat *crystal faceting* yaitu orientasi kristal yang berbeda (batas butir), akan terjadi reaksi kimia yang berbeda intensitasnya. Maka atom-atomnya akan lebih mudah terlepas sehingga terkikis lebih aman. Akibatnya ada perbedaan ini dan bergantung pada arah cahaya pantulan yang tertangkap oleh lensa maka akan tampak bahwa fasa yang lebih lunak akan terlihat lebih terang dan fasa yang lebih keras akan terlihat gelap. Begitu juga akan terlihat bentuk dan ukuran butirannya sehingga dapat dibedakan fasa-fasa yang terlihat dalam bahan yang akan diuji.

### 2.2.6.2 Pengujian Keausan

Gesekan merupakan faktor penting dalam mekanisme operasi sebagian besar peralatan atau mesin, akibat gesekan antar komponen tersebut maka akan timbul adanya pengikisan permukaan komponen atau sering disebut keausan (*wear*). Keausan (*wear*) adalah hilangnya materi dari permukaan benda padat sebagai akibat dari gerakan mekanik. Keausan yang besar terjadi pada bagian benda yang kekerasannya lebih rendah, sehingga keausan merupakan salah satu faktor yang akan mempengaruhi umur dari suatu peralatan atau komponen mesin.

Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui nilai tinggi (volume) keausan permukaan terhadap tekanan benda (beban), serta untuk mengetahui laju keausan pada waktu tertentu atau diwaktu yang sudah ditentukan (Prayitno, 2020).

Secara sederhana faktor penyebab utama mekanisme keausan, yaitu :

1. Keausan Adesif

Keausan yang terjadi pada dua permukaan logam yang saling kontak sehingga terjadi pelakatan. Dengan adanya pergerakan relatif menyebabkan bagian yang lunak yang terletak dekat dengan daerah sambungan jadi lepas.

2. Keausan Abrasif

Keausan yang didefinisikan sebagai penghilangan bagian material dari permukaan logam oleh aksi mekanik dari partikel abrasif yang kontak dengan permukaan. Hasil yang didapatkan berupa guratan celah atau gundukan.

3. Keausan Korosif

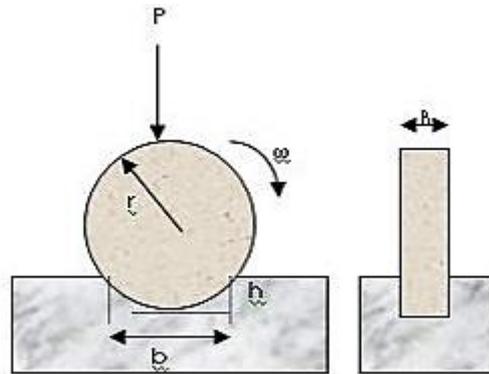
Keausan ini terjadi pada logam yang bergesekan yang disebabkan adanya reaksi dengan lingkungan, dan dengan adanya kenaikan temperatur ini akan mempercepat terjadinya keausan korosif ini.

4. Keausan Lelah Permukaan (*Fatigue*)

Bentuk keausan ini terjadi selama luncuran atau *rolling* yang berulang-ulang atas permukaan padat.

Keausan merupakan hilangnya bahan dari suatu permukaan atau perpindahan bahan dari permukaannya ke bagian yang lain atau Bergeraknya bahan pada suatu permukaan. Keausan yang terjadi pada suatu material disebabkan oleh adanya beberapa mekanisme yang berbeda dan terbentuk oleh beberapa parameter yang bervariasi meliputi, bahan, lingkungan, kondisi operasi, dan geometri permukaan yang terjadi keausan. Pengujian keausan dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Salah satunya adalah dengan metode *Ogoshi* dimana benda uji memperoleh beban gesek dari disk yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang

dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji.



**Gambar 2.7** Skematis pengujian keausan dengan metode *Ogoshi*

Dimana :

- P = beban
- H = kedalaman bekas injakan
- $\Omega$  = kecepatan putar
- B = tebal *revolving disc* (mm)
- r = jari-jari *disc* (mm)
- b = lebar celah material yang terabrasi (mm)

Maka dapat diturunkan rumus besarnya volume material yang terabrasi (W):

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12r} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- W = volume material yang terabrasi (mm<sup>3</sup>)
- B = tebal *revolving disc* (mm)
- b = lebar celah material yang terabrasi (mm)
- r = jari-jari *disc* (mm)

Setelah mendapat nilai volume yang terabrasi dapat dihitung nilai keausan (Ws):

$$W_s = \frac{1,5 \times W}{P \times l} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$W_s$  : Nilai keausan spesifik ( $\text{mm}^3/\text{kg}\cdot\text{m}$ )

$W$  : Volume yang tergores ( $\text{mm}^3$ )

$P$  : Beban (kg)

$l$  : Jarak pengausan (m)

Sebelum dilakukan pengujian, spesimen terlebih dahulu diampas dan dipoles untuk menghilangkan cacat pada permukaan serta untuk mendapatkan permukaan yang rata dan licin. Jika terdapat goresan pada permukaan akan mengganggu mekanisme keausan dan perhitungan lebar jejak keausan.

### **2.2.6.3 Pengujian Ketahanan Korosi**

Kerusakan suatu material selalu diawali dari permukaan. Kerusakan permukaan dapat disebabkan karena lingkungan korosi atau oksidasi maupun berinteraksi dengan benda lain, misalnya bergesekan dengan komponen lain. Masalah kerusakan permukaan tidak dapat dihindari, namun hanya dapat dicegah. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas permukaan material sesuai keinginan. Dalam bidang rekayasa material, cara itu dikenal dengan istilah “perlakuan permukaan (*surface treatment*)”. Pada dasarnya perlakuan permukaan dapat ditempuh melalui dua cara, yaitu pertama dengan menambah unsur lain/mengubah komposisi kimia, sedangkan yang kedua adalah dengan cara mengubah fasa atau struktur kristalnya melalui pemanasan pada temperatur tertentu kemudian diikuti dengan pendinginan cepat (*quench*) atau pendinginan lambat, tergantung fasa atau struktur kristal apa yang ingin dituju.

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan baja sebagai bahan konstruksi bangunan mengalami pergeseran. Penggunaan profil baja berukuran besar dan tebal mulai digantikan dengan konstruksi baja ringan. Dari sisi kekuatan bangunan baja ringan cukup dapat memenuhi persyaratan. Namun dari sisi ketahanan material terhadap korosi, penggunaan baja ringan perlu dicermati. Laju korosi baja baik baja karbon rendah maupun baja kekuatan tinggi relatif tidak berubah. Akibatnya baja ringan yang lebih tipis perlu didukung dengan lapisan penahan korosi yang mencukupi. Berbagai merk baja ringan yang ada dipasaran mempunyai spesifikasi

yang berbeda, baik jenis dan ketebalan baja, maupun jenis dan ketebalan bahan pelapisnya. Tentu saja hal ini akan sangat berpengaruh terhadap ketahanan korosi material tersebut. Rangka baja ringan yang dibangun di daerah yang berdekatan dengan pantai perlu mendapat perhatian, terutama ketahanan korosi baja ringan tersebut (Ispandriatno, 2015).

Dampak ancaman korosi yang sangat dahsyat maka perlu dikembangkan beberapa cara untuk melindungi baja tersebut dari segala kerusakan yang mungkin terjadi dengan tujuan memperpanjang umur pakai produk tersebut. Kerusakan karena serangan korosi (karat) merupakan permasalahan umum yang menyebabkan degradasi material sebagai interaksi dengan lingkungannya; sehingga tidak hanya memperburuk penampilannya namun juga memperpendek usia pakai dari baja tersebut. Untuk menghindari serangan berbagai jenis korosi yang sangat merugikan tersebut diperlukan langkah-langkah pencegahan yang cukup mahal biayanya. Namun jika dibandingkan dengan biaya dan pengorbanan lain; jika serangan korosi tidak dicegah atau dibatasi, maka kerugian akibat biaya pencegahan tersebut menjadi hampir tidak berarti (Bayuseno, 2009). Faktor logam dan faktor lingkungan merupakan faktor utama penyebab terjadinya korosi. Faktor logam disebut sebagai faktor dalam seperti komponen-komponen penyusunnya atau cacat kristal. Faktor lingkungan disebut faktor luar yang disebabkan oleh konsentrasi oksigen dalam air atau dalam udara bebas, pH, temperatur, komposisi kimia atau konsentrasi larutan (Ispandriatno, 2015). Reaksi elektrokimia penyebab terjadinya korosi dapat dijelaskan dengan menggunakan molekul natrium klorida, yaitu reaksi-reaksi yang menggambarkan pembentukan garam dapur sebagai berikut:



Persamaan (1) menyatakan bahwa sebuah atom natrium menyerahkan sebuah elektron untuk membentuk ion natrium bermuatan positif, persamaan (2) menyatakan bahwa sebuah atom klorin menerima sebuah elektron untuk membentuk atom klorida bermuatan negatif. Reaksi-reaksi seperti persamaan (1) disebut reaksi oksidasi, sedangkan pada persamaan (2) disebut reaksi reduksi.

Pengujian ketahanan korosi dilakukan dengan metode kehilangan berat dalam media larutan NaCl 3,5% dengan waktu perendaman 100 jam. Menurut

Fontana (1987), untuk menghitung laju korosi akibat kehilangan berat dari spesimen uji dapat dihitung menggunakan rumus :

$$mpy = \frac{534 \times W}{D \times A \times T} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

- mpy : laju korosi (mpy)
- W : massa yang hilang akibat korosi (mg)
- D : berat jenis spesimen (g/cm<sup>3</sup>)
- A : luas permukaan spesimen (in<sup>2</sup>)
- T : lama perendaman (jam)

### 2.3 Hipotesis

Berdasarkan teori dan tinjauan pustaka, maka dapat disusun hipotesis sebagai berikut :

1. Semakin lama waktu proses *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) mengakibatkan struktur mikro baja paduan Fe-Al-Mn membentuk presipitasi karbida yang lebih halus dengan jumlah banyak dan mengubah struktur austenit menjadi martensit.
2. Semakin lama waktu proses *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) mengakibatkan ketahanan terhadap aus paduan Fe-Al-Mn semakin meningkat.
3. Semakin lama waktu proses *Deep Cryogenic Treatment* (DCT) mengakibatkan ketahanan korosi paduan Fe-Al-Mn semakin meningkat.

