

## BAB II

### TINJAUAN LITERATUR

#### 2.1 Klasifikasi Paduan Logam

Paduan logam biasanya berkaitan dengan pencampuran antara dua atau lebih unsur logam untuk dapat menghasilkan bahan material yang berkualitas. Secara umum logam paduan dapat dibagi menjadi dua kategori sebagai berikut :

a. Logam *ferrous*

Logam *ferrous* merupakan logam yang mengandung unsur besi (Fe). Besi merupakan logam abu-abu perak yang bersifat lunak, mudah dibentuk dan warnanya berkilau. Adapun paduan logam *ferrous* dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut ini [2] :

1. Paduan logam *ferritic stainless steel*

Logam paduan *ferritic stainless steel* ini terdiri dari struktur mikro *ferrit*. Kandungan di dalamnya terdiri atas kromium yang berkisar antara 14,5% sampai 27%. Sedangkan kandungan kromium kira-kira sebesar 12% hanya fase *ferrit* yang terjadi hingga temperatur suhu ruang. Kestabilan *ferrit* hingga temperatur suhu ruang tersebut mengakibatkan *ferritic stainless steel* yang tidak dapat dikeraskan dengan proses perlakuan panas. Satu-satunya cara perlakuan panas yang dapat mengeraskan *ferritic stainless steel* yaitu proses *annealing* yang biasanya dilakukan untuk menghilangkan tegangan akibat dari pengelasan. Unsur kimia kromium merupakan salah satu elemen dalam pembentukan *ferrit*, semakin banyak kandungan kromium terhadap paduan logam, maka fase *ferrit* akan semakin stabil dan selain itu kromium juga dapat mempersempit daerah *austenite*.

2. Paduan logam *martensitik*

Logam paduan *martensitik* ini bukanlah suatu struktur yang stabil, akan tetapi merupakan struktur transisi antara *austenite* yang tidak stabil pada temperatur ruang dengan campuran *ferrit* dan *cementit* yang stabil. Logam paduan *martensitik* memiliki kandungan kromium antara 15% sampai 18%, ini merupakan hasil dari suatu proses transformasi pendinginan cepat dari *austenitic* pada temperatur tinggi. Logam paduan ini dikembangkan untuk mendapatkan sebuah paduan yang mempunyai sifat tahan terhadap korosi dan dapat dikeraskan melalui cara perlakuan panas dengan menambahkan sebuah elemen karbon pada logam *ferrit* dan kromium.

3. Paduan logam *austenitic stainless steel*

Logam paduan *austenitic stainless steel* ini umumnya terdiri dari kandungan besi, kromium dan nikel yang dikenal dengan tipe 300. Logam ini bersifat *non-magnetic* dan pada temperatur ruang mempunyai fase *austenitic* yang lebih dominan, dimana terdapat unsur nikel di dalamnya sebesar 3,5% sampai 37% yang bertujuan untuk dapat menstabilkan fase *austenite* akibat terjadinya proses pendinginan dari temperatur tinggi.

b. Logam *Non-ferrous*

Logam *non-ferrous* merupakan logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe). Sebagian besar logam *non-ferrous* murni tidak digunakan dalam kombinasi dengan logam lain dan seringkali sifat-sifatnya tidak memenuhi persyaratan yang diinginkan. Diantara logam *non-ferro* yang memiliki sifat ketahanan terhadap suhu tinggi adalah nikel, kromium dan molibdenum.

Jika komposisi logam terdiri dari dua atau lebih elemen serta memiliki sebuah jari-jari atom yang berbeda, maka dapat membentuk larutan padat sebagai salah satu fasanya. Selanjutnya fasa yang terbentuk memiliki sifat, ukuran, struktur kristal serta titik leleh yang berbeda-beda [3]. Selain itu juga harus mempertimbangkan faktor dalam pemilihan bahan yang tepat untuk meningkatkan efisiensi serta memperpanjang umur pemakaian dengan biaya yang relatif rendah. Diantara faktor-faktor tersebut yaitu sifat mekanik, ketahanan oksidasi suhu tinggi, penggunaan atau pembuatan komponennya dan ketersediaan material.

### 2.1.1 Paduan Logam Berbasis Nikel

Nikel merupakan unsur logam keras berwarna putih perak berkilau dan unsur penstabil yang kuat dengan nomor atom 28 dan simbol kimia (Ni) yang dapat dilihat pada Gambar 2.1. Nikel memiliki beberapa karakteristik, diantaranya titik leleh yang tinggi pada suhu 1455 °C, mudah dibentuk, tahan terhadap korosi dan oksidasi suhu tinggi, sehingga nikel sering digunakan untuk bahan pelapis logam, pembuatan koin, campuran besi baja dan lainnya. Paduan unsur nikel dan kromium biasanya digunakan dalam *stainless steel* tipe 300 yang merupakan *stainless steel austenit* nonmagnetik, pada paduan ini berperan sebagai penahan terhadap korosi, namun fungsi utamanya adalah berupa pembentukan dan penstabil *austenit* [4]. Sifat kekuatan, keuletan, ketahanan panas, serta ketahanan korosi membuat nikel sangat berguna untuk pengembangan berbagai bahan material, umumnya sering digunakan dalam dunia otomotif, elektronik, manufaktur dan industri lainnya.



**Gambar 2.1** Logam nikel [5].

### 2.1.2 Paduan Logam Berbasis Kromium

Kromium adalah unsur logam keras berwarna putih berkilau, memiliki titik leleh yang tinggi pada suhu 1907 °C, nomor atom 24 dan simbol kimia (Cr) yang dapat dilihat pada Gambar 2.2. Penambahan kromium sering kali digunakan dalam proses pelapisan logam untuk dapat menghasilkan permukaan logam yang keras dan halus, mencegah terjadinya korosi serta tahan terhadap suhu tinggi.

*Stainless steel* dengan kandungan kromium 13% sampai 27% akan meningkatkan ketahanan korosi kimia. Dengan adanya kromium pada alloy ini akan membentuk kromium oksida yang berperan sebagai lapisan pelindung pada permukaan *alloy*, sehingga bagian terdalam dari paduan logam tidak akan berkarat [6]. Meningkatnya kekerasan paduan karena dislokasi atom kromium dalam struktur kristal logam paduannya meningkat.



**Gambar 2.2** Logam kromium [7].

### 2.1.3 Paduan Logam Berbasis Molibdenum

Molibdenum adalah unsur logam yang sangat keras berwarna putih keperak-perakan dengan nomor atom 42 dan simbol kimia (Mo) yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. Unsur logam ini memiliki banyak keunggulan, diantaranya elastisitasnya tinggi dan titik lelehnya pada suhu 2623 °C. Molibdenum sering digunakan dalam mengeraskan logam paduan untuk dapat menghasilkan ketahanan terhadap suhu tinggi, mencegah terjadinya korosi dan keausan.

Salah satu langkah untuk dapat menghasilkan ketahanan korosi, meningkatnya kekuatan serta memperbaiki struktur mikro suatu logam dengan cara menambahkan unsur molibdenum ke dalam logam paduan. Dengan adanya penambahan unsur molibdenum sebesar 1,5% berat dapat meningkatkan sifat mekanik dengan membentuk senyawa *intermetalik* [8].



Gambar 2.3 Logam molibdenum [9].

## 2.2 Aplikasi Paduan Logam Berbasis Nikel

Paduan logam nikel dapat digunakan dalam berbagai aplikasi karena memiliki kekuatan serta ketahanan terhadap korosi suhu tinggi yang baik. Beberapa aplikasi yang umum dari penggunaan paduan nikel sebagai berikut [10] :

1. Industri penerbangan: *turbine, shafts, exhaust, van blade* dan *thrust revers*.
2. Dunia medis: peralatan dokter gigi dan alat protestik.

3. Sistem tenaga nuklir: *control rod drive mechanisms, valve stem and springs*.
4. Industri petro-kimia: baut, kipas, katup, bejana reaksi, pemipaan dan pompa.
5. Pabrik pengolahan logam: *ovens, afterburners and exhaust fans*.
6. Industri batu bara: *heat exchanger and piping*.

### 2.3 Sifat Paduan Logam

Diantara sifat-sifat yang dimiliki logam paduan yaitu saling berhubungan antara satu dengan lainnya. Material yang terbuat dari unsur logam paduan sangat bergantung pada kemampuan sifat logam yang digunakan terhadap aplikasinya. Sifat khusus bahan logam memerlukan suatu pemahaman yang mendalam agar fungsi dan kegunaannya dapat dikendalikan dengan baik. Adapun sifat-sifat logam yang dibutuhkan sebagai berikut [11] :

- a. Sifat mekanik : Keuletan, kekerasan dan kepekaan.
- b. Sifat magnet : Koresivitas dan histrysis.
- c. Sifat termal : Kemuaiian dan konduktivitas.
- d. Sifat listrik : Mampuan menghantarkan listrik yang baik.
- e. Sifat kimia : Tahan terhadap korosi dan reaksi kimia.
- f. Sifat fisik : Struktur, ukuran dan massa jenis.
- g. Sifat teknologi : Mampu mesin dan mampu keras.

### 2.4 Konsep Dasar Oksidasi

Konsep oksidasi pada temperatur tinggi dapat didefinisikan sebagai satu bentuk kerusakan pada permukaan material logam yang disebabkan adanya interaksi dengan lingkungannya [2]. Logam memiliki energi yang sangat bebas, sehingga cenderung melepaskan energinya untuk dapat mencapai tingkat energi yang terendah.

Reaksi oksidasi seperti pada ruang pembakaran yang memiliki kelebihan oksigen yang bebas akan membentuk suatu senyawa oksida. Lapisan oksida yang terbentuk ini biasanya berperan sebagai lapisan pelindung yang berfungsi sebagai pembatas terhadap lingkungan atmosfer, dengan demikian reaksi oksidasi harus berhenti setelah lapisan pelindung terbentuk. Lapisan oksida yang tebal, memiliki daya lekat yang tinggi serta memiliki pori-pori yang sedikit akan mampu melindungi material logam dari oksidasi berikutnya. Ketahanan terhadap oksidasi suhu tinggi ditentukan oleh komposisi paduan elemen logam yang mampu membentuk endapan oksida dan sifat fisiknya yang stabil.

#### **2.4.1 Efek Oksidasi Pada Material**

Efek oksidasi yang terjadi pada material biasanya akan mengalami permukaan suatu logam rusak, kehilangan kekuatan, keuletan dan sifat-sifat lainnya yang menurun. Pada umumnya visual oksidasi dapat dilihat secara jelas perubahannya dari segi warna maupun bentuk pada permukaan logam tersebut.

#### **2.4.2 Perhitungan Laju Oksidasi**

Untuk dapat mengetahui dan memperhitungkan laju oksidasi pada paduan logam, dapat dilakukan dengan cara pengujian oksidasi menggunakan alat *muffle furnace*. mulanya proses ini dimulai dari temperatur di dalam ruangan hingga mencapai temperatur yang telah ditetapkan, kemudian ditahan selama waktu yang telah diinginkan. Terdapat beberapa katagori siklus, diantaranya dengan menggunakan lima siklus dalam proses pengujiannya, 1 siklus biasanya dihitung 20 jam. Setiap jangka waktu 20 jam sampel dikeluarkan dari *muffle furnace* untuk kemudian ditimbang dan diketahui penambahan massa beratnya. Proses ini terus diulang selama lima siklus hingga mencapai total durasi keseluruhan yang telah ditetapkan.

Keseluruhan data perubahan massa berat tiap satuan luas terhadap waktu didata untuk dapat membuat sebuah kurva pertumbuhan laju oksidasi dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [12] :

$$\frac{\Delta m}{A} = (k_p \cdot t)^{1/2} + C \quad (2.1)$$

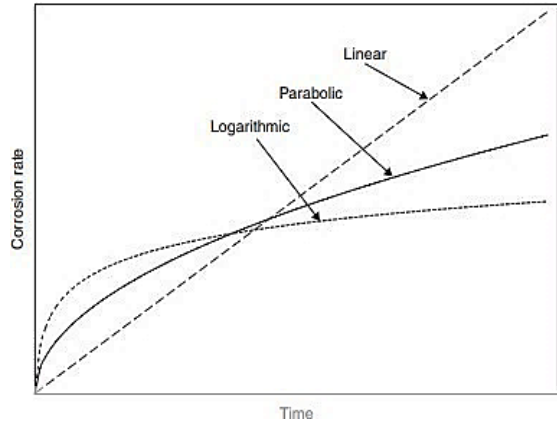
dimana :

$\Delta m / A$  = Perubahan massa persatuan luas.  
 $k_p$  = Kostanta laju parabola.  
 $t$  = Waktu pemaparan.  
 $C$  = Konstanta.

## 2.5 Kinetika Laju Oksidasi Temperatur Tinggi

Laju oksidasi temperatur tinggi pada proses oksidasi suatu logam bergantung pada beberapa faktor, diantaranya berupa suhu, tekanan oksigen, perlakuan permukaan dan perlakuan sebelum oksidasi. Kinetika laju oksidasi sangatlah penting untuk dapat memperkirakan kualitas dan kekuatan sebuah logam yang digunakan dalam komponen yang beroperasi pada suhu tinggi. Persamaan laju oksidasi dibagi menjadi tiga kelompok yaitu persamaan *liniar*, persamaan *Parabolic* dan persamaan *Logarithmic*. Laju oksidasi ini dimana oksigen bereaksi untuk membentuk sebuah oksida pada permukaan logam yang mengakibatkan meningkatnya massa logam dan ketebalan lapisan oksida. Adapun laju kurva *liniar*, laju kurva *parabolic* dan laju kurva *logarithmic* dapat disajikan pada Gambar 2.4.





Gambar 2.4 Laju kurva oksidasi [13].

### 2.5.1 Laju Pertumbuhan Linear

Laju kurva *linear* ini terjadi apabila material tersebut terdapat keretakan atau berpori yang membuat gas korosif dengan mudah bereaksi serta menembus permukaan material tanpa adanya perlindungan. Hasil perubahan berat dari oksidasi membentuklah garis lurus atau kurva *linear* yang dapat dirumuskan sebagai berikut ini [13] :

$$\frac{dx}{dt} = k_1 \cdot t \quad (2.2)$$

dimana :

$dx$  = Perubahan ketebalan lapisan oksida.

$dt$  = Waktu oksidasi.

$k_1$  = Konstanta pertumbuhan linear.

$t$  = Perubahan waktu.

### 2.5.2 Laju Pertumbuhan Parabolic

Laju kurva *parabolic* terjadi apabila terbentuknya sebuah lapisan oksida secara terus-menerus dan memberikan perlindungan terhadap material dari gas korosif. Pada

peristiwa ini memungkinkan material tersebut memunculkan sebuah unsur yang mempunyai ketahanan oksidasi yang baik, dimana laju difusi antara oksigen dengan material mengalami penurunan dan memperlambat laju oksidasi, sehingga membentuk sebuah fungsi *parabolic* yang dapat dirumuskan sebagai berikut ini [13] :

$$x^2 = 2k_p \cdot t \quad (2.3)$$

dimana :

- x = Ketebalan lapisan oksida.
- t = Waktu oksidasi.
- $k_p$  = Konstanta pertumbuhan parabolik.

### 2.5.3 Laju Pertumbuhan Logarithmic

Terbentuknya laju kurva *logarithmic* apabila sebuah material mengalami lapisan oksida tipis yang terbentuk dari suhu rendah. Keadaan ini dapat dideskripsikan melalui persamaan laju *logarithmic* sebagai berikut ini [13] :

$$x = k_e \cdot \text{Log} (at + 1) \quad (2.4)$$

dimana :

- x = Ketebalan lapisan oksida.
- t = Waktu oksidasi.
- $k_e$  = Konstanta laju oksida.
- a = Konstanta.

## 2.6 Metode Fabrikasi Logam Paduan

Fabrikasi merupakan proses pengolahan komponen bahan mentah atau setengah jadi yang dirakit, dibuat dan dimanipulasi untuk membentuk produk baru menggunakan nilai tambah dan fungsionalnya. Proses ini dilakukan dengan mengubah bentuk benda kerja, perubahan bentuknya dapat dicapai dengan menerapkan gaya eksternal sehingga menghasilkan deformasi plastis. Adapun macam-macam metode fabrikasi logam sebagai berikut :

- a. Pengecoran logam.
- b. Metalurgi serbuk.
- c. Penempaan (*forging*).

### 2.6.1 Pengecoran Logam

Proses pengecoran merupakan salah satu teknik pembuatan produk yang dilebur dalam sebuah tungku peleburan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan yang mirip dengan bentuk asli dari produk cor yang akan diproduksi. Pengecoran ini juga dapat dijelaskan sebagai proses manufaktur yang menggunakan bahan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian yang bentuknya mendekati geometri akhir dari produk jadi.

Pengecoran biasanya dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan pasir atau permanen. Tujuan dari proses pengecoran ini adalah untuk menghasilkan produk material yang diinginkan. Pemilihan teknik pengecoran tergantung pada logam yang digunakan, ukuran proses dan kerumitan pengecoran. Berdasarkan sifatnya dapat dilihat pada gambar 2.5 desain cetakan pengecoran logam yang dibagi menjadi dua kelompok sebagai berikut :



a. Cetakan sekali pakai

Pengecoran cetakan sekali pakai merupakan klasifikasi umum yang mencakup cetakan pasir, plastik dan cangkang. Semua ini melibatkan penggunaan cetakan sekali pakai yang membutuhkan gravitasi untuk membantu memasukkan cairan logam ke dalam rongga pengecoran dan setelahnya tidak dapat digunakan kembali karena proses pengeluaran bahan logam biasanya membuat cetakan tersebut menjadi rusak.

b. Cetakan permanen

Pengecoran cetakan permanen berbeda dari cetakan sekali pakai, dikarenakan cetakan tersebut tidak perlu diperbarui setelah siklus dalam pembuatan produksi. Cetakan permanen biasanya terbuat dari bahan logam yang memiliki titik leleh lebih tinggi dari pada logam yang dicetak.



**Gambar 2.5** Proses pengecoran logam [14].

### 2.6.2 Metalurgi Serbuk

Metalurgi serbuk merupakan diantara proses pembentukan logam yang dilakukan dengan cara menekan serta memadatkan serbuk logam sesuai bentuk dari produk yang

akan diproduksi atau diinginkan. Bubuk halus dari paduan logam ini dipadatkan menjadi satu kesatuan dengan menekan bubuk ke dalam cetakan menggunakan mesin *powder compaction press*. Tekanan yang digunakan untuk memadatkan bubuk tersebut sangat tinggi, sehingga partikel-partikel logam paduan secara mekanis terikat atau bercampur secara bersamaan. Paduan logam yang sudah dipadatkan selanjutnya dilakukan proses *sintering* pada keadaan kelembapan udara atau vakum dan menghasilkan produk akhir yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.

Keuntungan dari metode metalurgi serbuk adalah dapat mensintesis paduan logam dan mudah diaplikasikan pada skala industri maupun laboratorium [15]. Berikut ini merupakan langkah-langkah yang harus dilalui dalam proses metalurgi serbuk yaitu :

- a. Preparasi material.
- b. Pencampuran (*mixing*).
- c. Penekanan atau kompaksi.
- d. Pemanasan (*sintering*).
- e. Produk akhir.



**Gambar 2.6** Proses metalurgi serbuk [16].

### 2.6.3 Penempaan

Penempaan atau biasa disebut *forging* merupakan proses deformasi pembentukan suatu logam yang dilakukan secara konvensional atau dengan bantuan mesin dengan cara menekan bahan logam diantara dua cetakan yang dapat dilihat pada Gambar 2.7. Dalam penekanan yang diberikan berupa tekanan kejut atau tekanan secara perlahan-lahan hingga terbentuknya produk yang akan diproduksi atau diinginkan.

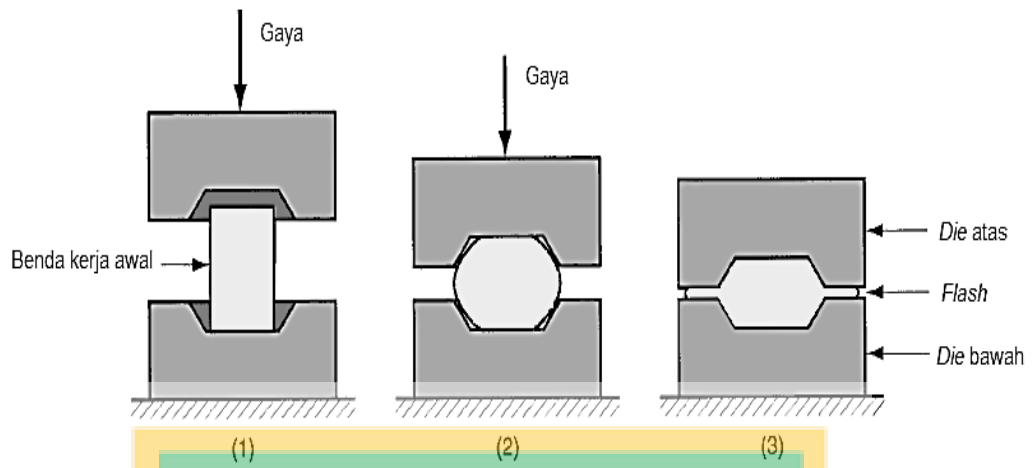
Dalam proses penempaan dapat diklasifikasikan dengan berbagai cara, diantaranya berdasarkan jenis gaya pembentukan, bentuk benda kerja serta tahapan produknya [17]. Proses pembentukan logam dapat dibedakan menjadi dua kelompok sebagai berikut :

a. Proses pengerjaan panas

Proses pengerjaan panas ini akan merubah sifat logam menjadi keras dan getas, akibat dari deformasi tersebut dapat diuletkan dan dilunakkan kembali dengan cara proses *annealing*.

b. Proses pengerjaan dingin

Proses pengerjaan dingin ini akan membentuk sebuah logam di bawah suhu ruangan, umumnya tanpa adanya memanaskan benda kerja. Temperatur ruangan yang dimaksud adalah temperatur dimana material logam akan mengalami perubahan struktur mikro. Dalam hal ini, logam terdeformasi mengalami peristiwa *strain-hardening* atau pengerasan regangan. Logam menjadi lebih keras dan lebih kuat, akan tetapi lebih rapuh karena berubah bentuk dikarenakan menghasilkan deformasi yang relatif kecil yang dapat diterapkan pada proses pengerjaan dingin.



Gambar 2.7 Proses penempaan [18].

