

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Logam**

Logam adalah unsur kimia dengan titik cair yang tinggi dan karakteristik yang kuat, liat, dan keras. Logam hanya diproduksi dan dicari di seluruh dunia baik dalam bentuk murni maupun dalam bentuk campuran dari bijih logam yang diambil dari penambangan.

Bijih logam, seperti emas, perak, dan platina, dll. Dapat ditemukan secara murni, tetapi juga dapat dicampur dengan bahan lain seperti karbon, sulfur, fosfor, silikon, pasir, tanah, dan sebagainya.

"Logam" berasal dari kata Yunani "matallon", yang berarti suatu unsur kimia yang memiliki ikatan logam yang siap untuk membentuk ion. Logam dianggap mirip dengan kaiton elektron.<sup>5</sup>

##### **2.1.1 Klasifikasi Logam**

###### **A. Logam Non Ferro**

Logam yang tidak mengandung besi (Fe) atau karbon (C) sebagai unsur utamanya disebut logam non-besi. Contoh Logam mulia, timah hitam (Pb), timah putih (Sn), seng (Zn), nikel (Ni), tembaga (Cu), aluminium (AL), dan logam lainnya yang tidak terbuat dari besi.

###### **B. Logam Ferro**

Logam besi terdiri dari besi (Fe) dan karbon (C) dan juga mengandung unsur-unsur tambahan seperti silisium (Si), sulfur (S), phosphor (P), dan mangan (Mn). Baja karbon adalah salah satu komponen logam ferro.

## 2.2 Tembaga

Dengan nomor atom 29 dan berat molekul 63,55 g/mol, tembaga (Cu) adalah logam transisi golongan IB. Bentuk logam, ia berwarna kemerah, tetapi berikatan dengan ion lain, seperti sulfat, sehingga memiliki warna yang berbeda dari tembaga murni. Salah satu bentuk persenyawaan tembaga yang paling umum adalah tembaga sulfat pentahidrat, yang dikenal sebagai  $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$ . Bidang industri sering menggunakan senyawa ini, seperti dalam industri tekstil, penyepuhan, pelapisan, dan pembilasan perak.

Unsur logam yang dikenal dengan nama kimia cupprum berbentuk kristal berwarna kemerahan dan diwakili dengan simbol Cu. Tembaga memiliki nomor atom 29 dan berat atom 63,546, menurut tabel periodik unsur-unsur kimia. Di alam, unsur tembaga lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau mineral padat namun, ia juga ada dalam bentuk logam bebas.<sup>6</sup>

### 2.2.1 Sifat Sifat Tembaga

Sifat Fisika

- A. Tembaga berwarna kuning kemerahan.

- B. Bahan lunak dan mudah dibentuk sehingga dapat dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis, atau kawat.
- C. Baik konduktor listrik dan panas untuk aliran elektron.
- D. Tembaga yang tidak murni sangat keras.
- E. Titik lelehnya adalah  $1084,62\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan titik didihnya adalah  $2562\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### Sifat Kimia

- A. Tembaga tahan terhadap korosi karena tidak reaktif..
- B. Di udara yang lembab, permukaan tembaga membentuk lapisan hijau yang menarik dari tembaga karbonat basa  $\text{Cu}(\text{OH})_2\text{CO}_3$ .
- C. Pada suhu sekitar  $300^{\circ}\text{C}$ , tembaga dapat bereaksi dengan oksigen untuk membentuk  $\text{CuO}$  yang berwarna hitam, dan pada suhu lebih tinggi, sekitar  $1000^{\circ}\text{C}$ , akan terbentuk tembaga (I) oksida ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) yang berwarna merah.
- D. Air atau uap air tidak menyerang logam tembaga, tetapi logam tembaga diserang oleh  $\text{HCl}$  yang pekat dan mendidih dan mengeluarkan gas hidrogen.
- E. Meskipun tembaga tidak bereaksi dengan alkali, karena adanya udara, itu larut dalam amonia dan menghasilkan larutan biru dari kompleks  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^+$ .
- F. Uap belerang dan halogen dapat bereaksi dengan tembaga panas. Tembaga(I) sulfida dan tembaga(II) sulfida dibuat ketika direaksi

dengan belerang, dan tembaga(I) klorida dibuat ketika direaksi dengan halogen..

## 2.2.2 Karakteristik Tembaga

Karakteristik tembaga dapat dilihat pada tabel berikut :

<b>Simbol Kimia</b>	Cu
<b>Nomor Atom</b>	29
<b>Berat Atom</b>	63.54
<b>Densitas</b>	8960 kg m <sup>-3</sup>
<b>Titik Lebur</b>	1356 K
<b>Panas Spesifik cp (293K)</b>	0.383 kJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Konduktivitas Termal</b>	394 W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Koefisien Ekspansi Linear</b>	16.5 x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Elastisitas Modulu Young</b>	110 x 10 <sup>9</sup> N m <sup>-2</sup>
<b>Konduktivitas Elektirik</b>	1.673 x 10 <sup>-8</sup> ohm-m
<b>Struktur Kristal</b>	Face-Centered Cubic

**Gambar 2. 1 Karakteristik Tembaga**

## 2.2.3 Jenis-Jenis Tembaga

Setiap jenis tembaga memiliki karakteristik unik. Jika Anda ingin tahu apa jenisnya, lihat daftar berikut :

### A. Kawat Tembaga

Kawat tembaga memanfaatkan konduktivitas listrik logam yang sangat baik. Ini adalah konduktor paling umum untuk sebagian besar aplikasi listrik. Ini digunakan untuk arus besar di industri, dan juga untuk keperluan rumah tangga, sampai ke kabel di dalam rumah Anda untuk stopkontak dan lampu.

## B. Tabung Tembaga

Pipa tembaga telah banyak digunakan untuk sistem air minum rumah tangga karena ketahanannya terhadap korosi dan umur panjangnya. Selama beberapa dekade terakhir, penggunaan pipa tembaga untuk pipa rumah tangga telah menjadi standar di sebagian besar dunia. Tabung tersedia dalam berbagai diameter dan pengukur (ketebalan dinding). Tingginya harga tembaga dan munculnya bahan pipa plastik yang lebih baik membuat tembaga semakin jarang dipilih.

## C. Paduan Tembaga

Kuningan adalah kombinasi tembaga yang paling umum (paduan dengan seng) serta perunggu (paduan dengan timah). Kuningan biasanya diterapkan lebih luas. Ini digunakan untuk perlengkapan pipa, alat musik, dan barang-barang dekoratif. Penambahan seng memberi paduan kekuatan dan keuletan yang lebih tinggi. Perunggu memiliki karakteristik yang sangat mirip dengan tembaga, seperti: konduktivitas termal yang tinggi, keuletan yang sangat baik, dan ketahanan terhadap korosi air asin. Oleh karena itu, perunggu digunakan untuk bantalan dan bushing, serta impeler kapal.

## D. Tembaga Murni

Tembaga murni disiapkan secara khusus untuk memastikan minimal pengotor, memaksimalkan sifat termal dan listrik tembaga. Tembaga murni cenderung lebih lembut dan kurang keras dibandingkan tembaga dengan bahan

tambahan atau paduan kecil. Ini idealnya digunakan dalam komponen listrik presisi, yang konduktivitas listriknya dan ekspansi termal rendahnya ideal.

#### E. Nanopartikel Tembaga

Nanopartikel tembaga adalah partikel tembaga yang sangat kecil, atau bahan berbasis tembaga, yang berukuran antara 1–100 nm. Partikel nano telah ditemukan memiliki perilaku yang berbeda dari bahan curah. Dalam kasus nanopartikel tembaga, mereka menunjukkan aktivitas katalitik yang sangat tinggi untuk reaksi kimia industri, kemungkinan karena rasio luas permukaan terhadap volume yang besar. Lebih lanjut, nanopartikel tembaga telah menunjukkan efek antimikroba yang sangat baik.

#### F. Tembaga Permesinan Bebas

Tembaga yang dikerjakan secara bebas memiliki sejumlah kecil (<1%) elemen paduan lain yang ditambahkan untuk meningkatkan kemampuan mesin tembaga. Tembaga yang dikerjakan secara bebas kemudian dapat dengan lebih mudah dikerjakan menjadi benda-benda seperti nozel las dan ujung besi solder.

#### G. Lembaran Dan Pelat Tembaga

Lembaran tembaga adalah lembaran tembaga tipis (sekitar 2 mm atau kurang), sedangkan pelat lebih tebal (tebal hingga 12 mm). Umumnya,

ini tersedia dalam kadar tembaga yang berbeda. Lembarannya sangat mudah dibentuk dan dapat dibentuk menjadi berbagai komponen.

#### H. Tembaga Bebas Oksigen

Tembaga bebas oksigen dilebur di bawah wadah grafit butiran untuk mengecualikan oksigen. Mereka adalah tembaga paling murni yang ada, dengan pengotor minimal karena kondisi non-oksidasi. Konduktivitas listriknya yang tinggi dan pengotor yang mudah menguap membuatnya cocok untuk digunakan dalam elektronik dengan vakum tinggi.

#### I. Tembaga Elektrolit

Tembaga elektrolitik dimurnikan dengan elektrolisis dalam larutan untuk menghilangkan kotoran. Tembaga dengan kemurnian tinggi ini memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan digunakan dalam komponen listrik seperti batang bus dan belitan.

### **2.2.4 Sistem Penamaan Paduan Tembaga**

ASTM (American Society of Testing Materials) membuat sistem penamaan yang dikenal sebagai UNS, yang digunakan untuk menentukan nama paduan tembaga. Panduan tembaga dibagi menjadi dua kategori: tembaga pengerjaan dan tembaga tuang. Digitnya menunjukkan perbedaan antara tembaga tuang dan pengerjaan. Tembaga dengan kode C10000 sampai C79999 diklasifikasikan

sebagai pengerjaan, sedangkan kode C80000 hingga C99999 diklasifikasikan sebagai tuang. Sistem Penamaan Tembaga Pengerjaan Berdasarkan UNS <sup>7</sup>.

**Tabel 2. 1 Sistem Penamaan Tembaga Pengerjaan Berdasarkan UNS**

<b>Nama Umum</b>	<b>Kandungan Utama</b>	<b>Sistem Tata Nama UNS</b>
Tembaga	$\geq 99,3\%$ Cu	C10100...C15999
Panduan Tembaga Tinggi	$> 96\%$ Cu, tetapi $< 99,3\%$ Cu	C16000...C19999
Kuningan Kuning	Cu-Zn	C21000...C28999
Kuningan Timbal	Cu-Zn-Pb	C30000...C39999
Kuningan Timah Putih	Cu-Zn-Sn-Pb	C40000...C49999
Perunggu Fosfor	Cu-Sn-P	C50000...C52999
Perunggu Fosfor Timbal	Cu-Sn-Pb-P	C53000...C54999
Paduan Tembaga-fosfor	Cu-P,Cu-P-Ag	C55000...C55299
Paduan Tembaga-perakseng	Cu-Ag-Zn	C55300...C60799
Perunggu Alumunium	Cu-Al-Ni-Fe-Si-Sn	C60800...C64699
Perunggu Silikon dan Kuningan Silikon	Cu-Si-Sn	C64700...C66199
Paduan Tembaga-seng lainnya	Cu-Zn-...	C66200...C69999

Tembaga-nikel (Paduan Tembaga-nikel-besi)	Cu-Ni-Fe	C70000...C73499
Nikel Perak	Cu-Ni-Zn	C73500...C79999

Sistem Penamaan Tembaga Tuang Berdasarkan UNS

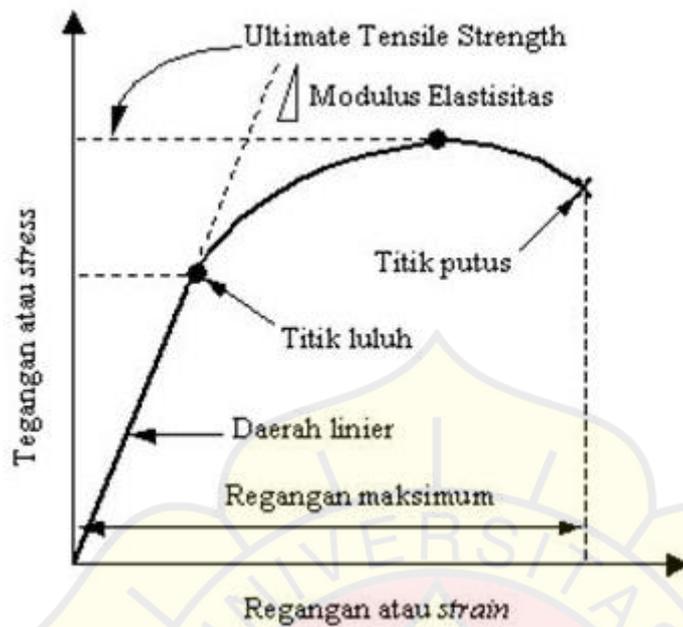
**Tabel 2. 2 Sistem Penamaan Tembaga Tuang Berdasarkan UNS**

<b>Nama Umum</b>	<b>Kandungan Utama</b>	<b>Sistem Tata Nama UNS</b>
Tembaga	$\geq 99,3\%$ Cu	C80000...C81399
Panduan Tembaga Tinggi	$> 96\%$ Cu, tetapi $< 99,3\%$ Cu	C81400...C83299
Kuningan Merah dan Kuningan Merah Timbal	Cu-Sn-Zn Cu-Sn-Zn-Pb	C83300...C84999
Kuningan Kuning	Cu-Zn	C85000...C85999
Perunggu Mangan dan Perunggu Mangan Timbal	Cu-Zn-Mn-Fe-Pb	C86000...C86999
Perunggu Silikon dan Kuningan Silikon	Cu-Zn-Si	C87000...C87999
Tembaga-Bismut	Cu-Bi	C88000...C89999
Perunggu Timah	Cu-Sn-Zn	C90000...C94500
Perunggu Timah Timbal	Cu-Sn-Zn-Pb	C94600...C94999

Perunggu Nikel-Timah	Cu-Ni-Sn-Zn-Pb	C94600...C94999
Perunggu Alumunium	Cu-Al-Ni-Fe	C95000...C95999
Tembaga Nikel (Paduantembaga-nikel- besi)	Cu-Ni-Fe	C96000...C96999
Nikel Perak	Cu-Ni-Sn	C97000...C97999
Paduan Tembaga-timbal	Cu-Pb	C98000...C98999
Paduan Khusus	Cu-...	C99000...C99999

### 2.3 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik maksimum, juga dikenal sebagai kekuatan tarik terakhir, adalah hasil uji tarik yang paling umum. Namun, nilai ini kurang signifikan dalam hal kekuatan material. Logam ulet hanya dapat menahan beban sesumbu dalam kondisi terbatas. Nilai tersebut dan hubungannya dengan kekuatan logam tidak lagi berguna pada tegangan yang lebih kompleks. Salah satu kecenderungan umum adalah berdasarkan kekuatan luluh logam ulet pada rancangan statisnya. Namun, metode ini memiliki lebih banyak digunakan karena menggunakan kekuatan tarik jauh lebih mudah. Besar beban maksimum dibagi dengan luas penampang lintang awal benda uji adalah kekuatan tarik.<sup>8</sup>



**Gambar 2. 2 Gambar Kurva Tegangan Regangan**

### 2.3.1 Regangan

Regangan adalah perbandingan antara panjang material yang meningkat dari panjang awalnya sebagai akibat dari gaya yang menekan atau menarik pada material tersebut :

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan :

$e$  : Regangan (%)

$\Delta$  : Perubahan Panjang (m)

L : Panjang

### 2.3.2 Tegangan

Tegangan dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada suatu objek dengan luas penampangnya, secara matematis dituliskan :

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Keterangan :

F : Beban (N)

$\sigma$  : Tegangan (Mpa), dimana  $1 \text{ Mpa} = 10^6 \text{ N/m}^2$

A : Luas Penampang ( $\text{m}^2$ )

### 2.3.3 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas suatu benda diukur sebagai kemiringan dari kurva tegangan-regangan di wilayah deformasi elastis. Bahan yang kaku memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada bahan yang lebih lentur. Modulus elastis dirumuskan dengan:

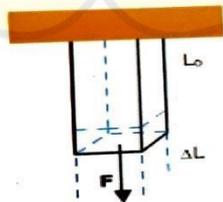
$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Keterangan :

E : Modulus Elastisitas (Mpa)

: Tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

: Regangan (%)



Gambar 2. 3 Modulus Elastisitas

di mana gaya yang menyebabkan deformasi dibagi dengan area di mana gaya diterapkan, dan regangan adalah rasio dari perubahan beberapa parameter panjang yang disebabkan oleh deformasi ke nilai awal parameter panjang. Karena regangan adalah besaran tak berdimensi, jika stres diukur dalam pascal, satuan untuk  $\lambda$  juga akan pascal.

Metode pengukuran stres dan regangan, termasuk arah yang memungkinkan pengembangan berbagai jenis modulus elastisitas.

Tiga yang paling penting adalah:

- Modulus Young atau modulus tarik ( $E$ ) memberikan penjelasan tentang elastisitas tarik, yang merupakan kecenderungan suatu benda untuk mengubah bentuknya sepanjang sumbu ketika diterapkan stress berlawanan. Seringkali disebut modulus elastisitas saja, ini adalah rasio tegangan tarik terhadap regangan tarik.
- Modulus geser, juga dikenal sebagai modulus kekakuan, yang menggambarkan kecenderungan sebuah objek untuk bergerak (deformasi bentuk pada volume konstan) ketika kekuatan yang berlawanan diterapkan padanya. Viskositas menentukan modulus geser.
- Modulus Bulk ( $K$ ), perpanjangan tiga dimensi dari modulus Young, mendefinisikan elastisitas volumetrik, atau kecenderungan suatu benda untuk berubah bentuk ke segala arah ketika diberi tegangan seragam ke segala arah. Ini dikenal sebagai tegangan volumetrik

terhadap regangan volumetrik dan merupakan kebalikan dari kompresibilitas.

## **2.4 Heat Treatment**

Logam dipanaskan dan didinginkan selama proses perlakuan panas, tetapi tidak pernah mencapai kondisi cair. Perlakuan panas meningkatkan kualitas logam dengan mengubah atau memulihkan sifat mekaniknya. Perlakuan panas juga dapat membuat logam lebih lembut dan lebih ulet serta lebih keras, kuat, dan tahan terhadap stres. Satu kekurangan prosedur ini adalah tidak adanya perlakuan panas, yang memungkinkan untuk menggabungkan semua fitur ini dalam satu operasi. Properti yang lebih baik lebih mahal daripada yang lain; misalnya, logam yang dikeraskan dapat menjadi lebih rapuh. Untuk memanaskan logam dengan sukses, diperlukan peralatan yang tepat yang secara dekat mengontrol semua elemen pendinginan dan panas. Misalnya, tungku harus memiliki ukuran dan jenis yang tepat, dan suhunya harus diatur dan disimpan di bawah batas tertentu untuk setiap operasi. Selain itu, media harus memiliki suhu pendinginan yang tepat untuk menjaga suhu logam pada tingkat yang tepat. Kondisi logam yang dipanaskan dipengaruhi oleh atmosfer tungku itu sendiri. Gas-gas yang bersirkulasi di ruang pemanas tungku mengelilingi logam yang sedang dipanaskan di atmosfer ini. Tungku berbahan bakar memiliki atmosfer yang terdiri dari campuran gas dan udara, sedangkan tungku listrik memiliki atmosfer yang terdiri dari campuran gas yang dikendalikan. Udara menghasilkan banyak hidrokarbon, seperti hidrogen (H), nitrogen (N),

oksigen (O), air uap (H<sub>2</sub>O), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), ketika dikombinasikan dengan gas yang dilepaskan dari pembakaran bahan bakar. Dalam tungku berbahan bakar, tiga atmosfer dapat dihasilkan: pengoksidasi, reduksi, dan netral. Ini terjadi ketika proporsi udara dan bahan bakar diubah.<sup>9</sup>

### **2.4.1 Prinsip Heat Treatment**

*Heat Treatment* adalah proses pemanasan dan pendinginan bahan dengan kontrol untuk mengubah sifat fisiknya. Suatu material yang pada awalnya masih mengumpul akan mengalami perubahan struktur-struktur sebagai hasil dari proses pemanasan, yang membuatnya menjadi keras, kuat, dan tangguh. Proses perawatan panas biasanya digambarkan sebagai berikut :

- a) Pemanasan material sampai suhu tertentu.
- b) Menjaga suhu untuk waktu tertentu (menjaga waktu) sehingga tetap stabil.
- c) Pendinginan menggunakan metode pendinginan yang terdiri dari air, udara, dan oli.

### **2.4.2 Tujuan Heat Treatment**

Tujuan dari proses pengerjaan panas adalah untuk mengubah sifat dan struktur logam menjadi sifat yang diinginkan, seperti :

- a) Meningkatkan sifat mekanis seperti elastisitas, kekuatan, kekuatan, dan ketegangan
- b) Meningkatkan fleksibilitas
- c) Meningkatkan ketahanan korosi
- d) Mengurangi ketegangan dalam
- e) Mengubah sifat magnet dan listrik
- f) Meningkatkan resistensi panas dan gosok

### **2.4.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Heat Treatment**

Berhasil atau tidaknya hasil yang diharapkan dari proses perawatan panas dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk :

- a) Laju panas.
- b) Waktu penahanan.
- c) Media yang digunakan untuk mendinginkan.

Untuk material yang berbeda dari jenis dan karakteristik yang diharapkan akan menghasilkan perbedaan di setiap tahap, faktor-faktor di atas telah digunakan dalam spesifikasi.

## 2.4.4 Jenis-Jenis Heat Treatment

Perlakuan panas awal terjadi sebelum suatu benda diproses, dan perlakuan panas akhir terjadi setelah selesai. Beberapa kategori perawatan panas adalah:

### A. Annealing

Annealing merupakan salah satu proses tembaga dipanaskan pada suhu tinggi dan kemudian didiamkan pada suhu tersebut untuk mendinginkan secara perlahan., tujuan melakukan annealing ialah untuk mengurangi kekerasan dan meningkatkan keuletan tembaga.

### B. Quenching

Quenching merupakan proses Dimana tembaga dipanaskan pada suhu tinggi dan kemudian didinginkan secara cepat dengan menggunakan media pendingin seperti air atau oli, meningkatkan kekerasan dan kekuatan tembaga.