

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Sifat Logam**

Istilah logam berasal dari bahasa Yunani *metallon*, yang merujuk pada unsur kimia yang cenderung membentuk ion bermuatan positif (kation) serta memiliki ikatan logam. Secara konseptual, logam dapat dipandang sebagai kation yang berada dalam awan elektron. Logam merupakan salah satu dari tiga kelompok utama unsur yang diklasifikasikan berdasarkan sifat ionisasi dan jenis ikatannya, bersama dengan metaloid dan nonlogam. Pada tabel periodik, batas antara logam dan nonlogam ditandai oleh garis diagonal yang ditarik dari unsur boron (B) hingga polonium (Po). [2].

Material secara umum dapat diklasifikasikan menjadi material logam dan nonlogam. Material logam terbagi atas logam ferro dan logam non-ferro. Logam ferro meliputi besi, baja, dan besi cor, sedangkan logam non-ferro mencakup logam-logam selain besi, seperti emas, perak, dan timah putih. Sementara itu, material nonlogam dikelompokkan menjadi material organik yang berasal dari alam dan material anorganik. Logam memiliki berbagai karakteristik penting, di antaranya sifat mekanik, sifat fisis, dan sifat kimia.[3].

### 2.1.1. Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik suatu material merupakan kemampuan material tersebut dalam menahan berbagai jenis beban yang bekerja padanya. Beban yang diterima dapat berupa beban tarik, tekan, lentur, geser, puntir, maupun kombinasi dari beberapa jenis beban tersebut [4].

Beberapa sifat mekanik utama material antara lain sebagai berikut:

1. Kekuatan (*Strength*) adalah kemampuan suatu material untuk menahan tegangan tanpa mengalami kegagalan atau patah. Kekuatan material dapat dibedakan berdasarkan jenis pembebanan yang diterima, seperti kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan lentur.
2. Kekerasan (*Hardness*) merupakan kemampuan material untuk menahan goresan, keausan, dan penetrasi. Sifat kekerasan memiliki hubungan yang erat dengan ketahanan aus serta menunjukkan korelasi tertentu terhadap kekuatan material.
3. Kekenyalan (*Elasticity*) adalah kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa menimbulkan deformasi permanen setelah beban dihilangkan. Sifat ini juga menunjukkan sejauh mana material dapat kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami deformasi akibat pembebanan.
4. Kekakuan (*Stiffness*) menyatakan kemampuan material dalam menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk berupa deformasi atau defleksi. Dalam beberapa aplikasi, sifat kekakuan dianggap lebih penting dibandingkan kekuatan.

5. Ketangguhan (*Toughness*) adalah kemampuan material untuk menyerap energi sebelum mengalami kerusakan. Sifat ini dipengaruhi oleh berbagai faktor sehingga relatif sulit untuk diukur secara langsung.
6. Kelelahan (*Fatigue*) merupakan kecenderungan material, khususnya logam, untuk mengalami patah akibat beban berulang meskipun besar tegangan yang bekerja masih berada di bawah batas elastisnya. Sebagian besar kegagalan pada komponen mesin disebabkan oleh fenomena kelelahan.
7. Keretakan (*Creep*) adalah kecenderungan suatu material mengalami deformasi plastis secara perlahan sebagai fungsi waktu akibat pembebanan yang berlangsung dalam jangka panjang.

Tabel 1. Nilai Titik Lebur Logam dan Oksida Logam

No.	Logam dan Oksida Logam	Suhu Lebur (°C)
1	Alumunium	657
2	Alumunium Oxide	2.020 – 2.050
3	Besi	1.535
4	Besi Tuang Kelabu	1.200
5	Baja Karbon Rendah	1.500
6	Baja Karbon Tinggi	1.300 – 1.400
7	Tembaga	1.083
8	Brass	850 – 900
9	Zinc	419
10	Oksida Zinc	1.600
11	Oksida Tembaga	1.236
12	Tin Broze	850 – 950
13	Fe0	1.370
14	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.565
15	Fe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	1.527

(Sumber : <http://www.pengelasan.com/titik-lebur-logam/>)

## 2.2 Stainless Steel

Stainless steel merupakan jenis baja paduan yang mengandung kromium minimal sebesar 11,5% berdasarkan berat. Kandungan kromium tersebut memberikan sifat ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dibandingkan baja konvensional. Perbedaan utama antara stainless steel dan baja karbon terletak pada kandungan kromiumnya, di mana baja karbon cenderung mengalami korosi ketika terpapar udara lembap. Oksida besi yang terbentuk pada baja karbon bersifat aktif dan dapat mempercepat proses korosi melalui pembentukan oksida besi lanjutan. Sebaliknya, stainless steel dengan kandungan kromium yang cukup mampu membentuk lapisan pasif berupa kromium oksida yang berfungsi menghambat terjadinya korosi lebih lanjut [5].

Untuk meningkatkan ketahanan terhadap oksidasi, kandungan kromium pada stainless steel umumnya ditingkatkan hingga kisaran 13–26%. Lapisan pasif kromium oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) yang terbentuk bersifat sangat tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak memengaruhi tampilan permukaan stainless steel. Berkat sifat ketahanannya terhadap air dan udara, stainless steel tidak memerlukan perlindungan logam tambahan, karena lapisan pasif tersebut dapat terbentuk kembali dengan cepat apabila permukaan mengalami goresan. Fenomena ini dikenal sebagai proses pasivasi, yang juga ditemukan pada logam lain seperti aluminium dan titanium [5].

## 2.2.1 Jenis Stainless Steel

### 1. Stainless Steel 304

Stainless steel merupakan jenis baja paduan yang mengandung kromium dengan kadar minimum sekitar 11,5% berdasarkan berat. Keberadaan unsur kromium tersebut memberikan sifat ketahanan terhadap korosi yang lebih baik dibandingkan baja konvensional. Perbedaan utama antara stainless steel dan baja karbon terletak pada kandungan kromiumnya. Baja karbon cenderung mengalami korosi ketika terpapar lingkungan lembap, di mana oksida besi yang terbentuk bersifat aktif dan dapat mempercepat proses korosi lanjutan melalui pembentukan oksida besi yang semakin banyak. Sebaliknya, stainless steel memiliki kandungan kromium yang cukup untuk membentuk lapisan pasif berupa kromium oksida, yang berfungsi melindungi permukaan material dan menghambat terjadinya korosi lebih lanjut [5].

Untuk memperoleh ketahanan yang optimal terhadap oksidasi, stainless steel umumnya mengandung kromium dalam kisaran 13–26%. Lapisan pasif kromium oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) yang terbentuk bersifat sangat tipis dan tidak terlihat secara kasat mata, sehingga tidak memengaruhi tampilan permukaan stainless steel. Berkat sifat ketahanannya terhadap air dan udara, stainless steel tidak memerlukan perlindungan tambahan berupa pelapisan logam, karena lapisan pasif tersebut dapat terbentuk kembali dengan cepat apabila permukaan mengalami goresan. Fenomena ini dikenal sebagai proses pasivasi, yang juga terjadi pada material logam lain seperti aluminium dan titanium [5].

## 2.2.2 Klasifikasi Stainless Steel

### *A. Austenitic Stainless Steel*

Stainless steel austenitik mengandung sedikitnya 16% kromium dan sekitar 6% nikel, sebagaimana pada grade standar SS 304. Jenis ini berkembang hingga kategori super austenitic stainless steel, seperti grade 904L, yang memiliki kandungan kromium dan nikel lebih tinggi serta penambahan unsur molibdenum (Mo) hingga sekitar 6%. Penambahan unsur seperti molibdenum (Mo), titanium (Ti), dan tembaga (Cu) bertujuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap temperatur tinggi dan korosi. Stainless steel austenitik juga sesuai untuk aplikasi pada temperatur rendah, karena kandungan nikel mampu mencegah terjadinya kerapuhan pada suhu rendah [7].

### *B. Ferritic Stainless Steel*

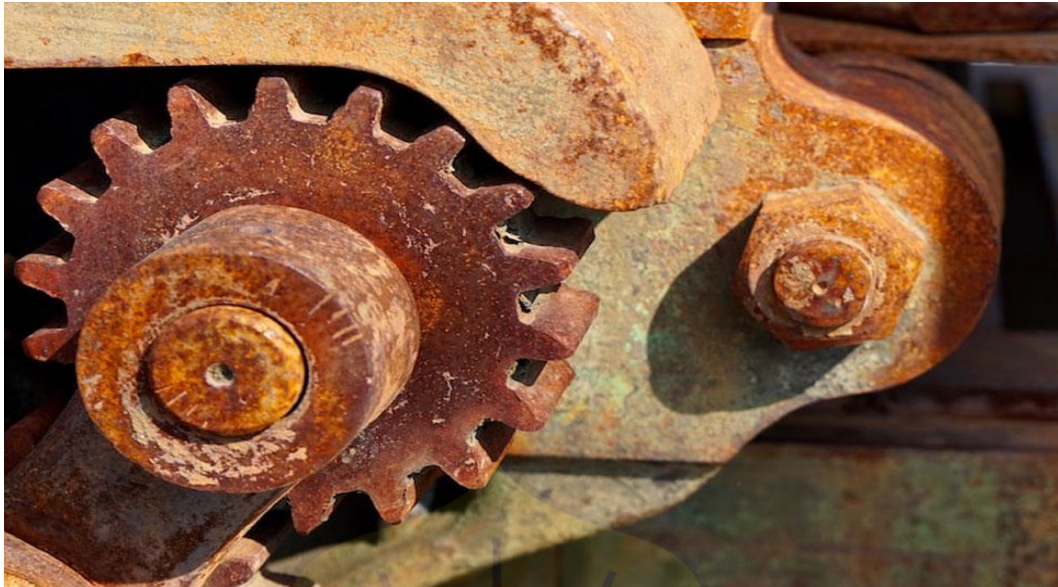
Ferritic stainless steel merupakan paduan yang umumnya hanya mengandung unsur kromium dengan kandungan besi (Fe) sebagai unsur utama. Kelompok ini termasuk baja stainless kromium sederhana dengan kadar kromium berkisar antara 10,5–18%, seperti pada grade 430 dan 409. Dibandingkan dengan jenis austenitik, stainless steel feritik memiliki sifat keuletan yang lebih rendah, ketahanan korosi yang relatif terbatas, serta lebih sulit dalam proses fabrikasi atau permesinan. Namun, kekurangan tersebut telah diperbaiki pada beberapa grade seperti 434, 444, dan khususnya pada grade 3Cr12 [7].

### *C. Precipitation Hardening Stainless Steel*

Precipitation hardening stainless steel merupakan jenis stainless steel yang memiliki tingkat kekerasan dan kekuatan tinggi akibat terbentuknya presipitat atau endapan dalam struktur mikro material. Endapan tersebut menghambat pergerakan dislokasi sehingga meningkatkan kekuatan material. Pembentukan presipitat terjadi akibat penambahan unsur paduan seperti tembaga (Cu), titanium (Ti), niobium (Nb), dan aluminium (Al). Proses penguatan umumnya terjadi selama atau setelah perlakuan pengerjaan dingin (cold working) [7].

### **2.3 Korosi**

Korosi dapat diartikan sebagai proses kerusakan atau degradasi material yang umumnya ditandai dengan terjadinya karat pada logam. Secara umum, korosi didefinisikan sebagai proses perusakan material yang disebabkan oleh interaksi dengan lingkungan sekitarnya. Sebagian ahli membatasi definisi korosi hanya pada material logam, namun dalam bidang rekayasa korosi, istilah ini juga digunakan untuk menggambarkan kerusakan pada material nonlogam, seperti keramik, plastik, dan karet. Contoh fenomena tersebut antara lain kerusakan lapisan karet akibat paparan sinar matahari atau bahan kimia, pencairan lapisan tungku pada proses pembuatan baja, serta serangan logam cair terhadap logam padat [8].



Gambar 2. 1 Gir Korosi

[\(https://indotech-group.co.id/mengenal-korosi-pada-logam-faktor-penyebab-jenis-dan-cara-pencegahannya/\)](https://indotech-group.co.id/mengenal-korosi-pada-logam-faktor-penyebab-jenis-dan-cara-pencegahannya/)

Menurut Trethewey dan Chamberlin (1991) [9], terdapat beberapa faktor utama yang memengaruhi terjadinya korosi, yaitu udara, air, tanah, dan zat kimia. Faktor-faktor tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. **Udara**

Udara merupakan campuran berbagai gas yang terdapat di atmosfer bumi, dengan komposisi yang dapat berubah-ubah. Keberadaan oksigen di dalam udara dapat berinteraksi dengan permukaan logam yang berada dalam kondisi lembap, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya proses korosi [10].

2. **Air**

Air dibedakan menjadi air laut dan air tawar. Air laut merupakan larutan yang mengandung berbagai jenis garam yang bersifat korosif. Kandungan garam dalam air laut dinyatakan dalam bentuk salinitas, yaitu jumlah zat padat terlarut dalam satu kilogram air laut. Tingginya kandungan zat terlarut tersebut dapat mempercepat laju korosi pada material logam [10].

### 3. Tanah

Korosi di dalam tanah umumnya terjadi pada pipa, kabel, maupun struktur logam seperti pondasi yang tertanam di dalam tanah. Tiang baja yang tertanam dalam tanah dan tidak terganggu dalam waktu lama dapat mengalami korosi akibat terbatasnya kandungan oksigen di dalam tanah. Selain itu, pada pemasangan pipa bawah tanah, proses penggalian dan penimbunan kembali tanah dapat menyebabkan terperangkapnya oksigen, yang berpotensi memicu terjadinya korosi. Korosi elektrokimia dalam tanah juga dapat terjadi akibat adanya arus listrik, misalnya dari kebocoran arus listrik kabel rel kereta api atau sumber listrik lainnya [10].

### 4. Zat Kimia

Zat-zat kimia yang dapat menyebabkan korosi meliputi asam, basa, dan garam, baik dalam bentuk cair, padat, maupun gas. Pada umumnya, korosi akibat zat kimia terjadi ketika material logam melakukan kontak langsung dengan zat-zat tersebut [10].

Selain melalui reaksi kimia secara langsung, proses korosi pada umumnya terjadi melalui mekanisme elektrokimia. Lingkungan yang dapat memicu terjadinya korosi antara lain udara yang disertai sinar matahari dan embun, air tawar, air laut, air danau, air sungai, serta berbagai jenis tanah seperti tanah pertanian, tanah rawa, tanah kapur, dan tanah berpasir atau berbatu. Dalam dunia teknik, korosi sering dianalogikan sebagai suatu “penyakit” karena dapat menurunkan umur pakai dan kinerja material. Oleh karena itu, studi mengenai korosi bertujuan untuk mengendalikan dan meminimalkan tingkat kerusakan agar material logam tidak mengalami kegagalan sebelum mencapai umur rencana. Upaya pengendalian secara preventif dinilai lebih efektif dibandingkan tindakan perbaikan secara represif, karena biaya yang diperlukan untuk perbaikan umumnya jauh lebih besar.

### 2.3.1 Jenis-Jenis Korosi

Berdasarkan mekanisme dan kondisi lingkungannya, korosi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu korosi kering dan korosi basah.

#### 1. Korosi Kering

Korosi kering merupakan jenis korosi yang terjadi tanpa adanya uap air dan sering disebut sebagai proses oksidasi. Korosi ini berlangsung melalui reaksi kimia langsung antara logam dan gas di lingkungan sekitarnya.

#### 2. Korosi Basah

Korosi basah merupakan bentuk korosi yang terjadi melalui mekanisme reaksi elektrokimia dengan adanya media elektrolit. Proses ini melibatkan pembentukan sel korosi yang terdiri dari empat komponen utama, yaitu anoda sebagai terminal negatif, katoda sebagai terminal positif, elektrolit yang berfungsi sebagai media penghantar ion, serta kontak logam yang berperan sebagai penghantar listrik.

### 2.3.2 Perhitungan laju korosi

Metode kehilangan massa (*massa loss*) merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian korosi, yang didasarkan pada perbedaan massa material sebelum dan sesudah proses pengujian korosi. Selisih antara massa awal dan massa akhir material menunjukkan besarnya massa yang hilang akibat terjadinya korosi. Apabila nilai kehilangan massa suatu material telah diketahui, maka laju korosi dapat dihitung berdasarkan data tersebut. menggunakan rumus

$$\text{sebagai berikut : } CR = \frac{KW}{D.A.T} \dots\dots\dots ( 1 )$$

Dimana :

CR = laju korosi

K = konstanta (8.76x10<sup>7</sup>)

W = massa yang hilang (gram)

A = luas sampel yang terendam (cm<sup>2</sup>)

T = waktu perendaman (jam)

D = massa jenis logam (g/cm<sup>3</sup>)

### 2.3.3 Cara-Cara Pencegahan Korosi

#### 1. Pengecatan

Pengecatan pada jembatan, pagar, dan railing berfungsi mencegah kontak besi dengan udara dan air.

#### 2. Pelumasan dengan oli dan gemuk

Oli dan gemuk digunakan pada perkakas dan mesin untuk menghambat kontak besi dengan air.

#### 3. Dibalut dengan plastik

Berbagai macam barang, misalnya rak piring dan keranjang sepeda dibalut dengan pelastik. Pelastik mencegah kontak besi dengan udara dan air.

#### 4. *Tin plating* (pelapisan dengan timah)

Kaleng-kaleng kemasan terbuat dari besi yang dilapisi dengan timah. Pelapisan dilakukan secara elektrolisis, yang disebut *electroplating* tergolong logam yang tahan karat.

#### 5. *Chromium plating* (pelapisan dengan kromium)

Besi atau baja juga dapat dilapisi dengan kromium untuk memberilapisan pelindung yang mengkilap, misalnya untuk bumper mobil. *Chromium plating* juga dilakukan dengan elektrolisis. Sama seperti zink, kromium dapat memberi perlindungan sekalipun lapisan kromium itu ada yang rusak.

## 2.4 Non – Destructive Test (NDT)

Pengujian Tidak Merusak ini (Non-Destructive Testing/NDT) adalah metode inspeksi yang dilakukan pada suatu benda atau material untuk meng-identifikasi adanya cacat atau retakan tanpa menimbulkan kerusakan pada material yang diperiksa. Metode ini tidak menyebabkan perubahan pada sifat maupun fungsi material, sehingga dinilai efisien dari segi waktu dan biaya, baik untuk keperluan evaluasi produk, pemecahan masalah, maupun penelitian. Secara umum, teknik NDT meliputi pengujian ultrasonik, partikel magnetik, penetran cair, radiografi, serta eddy current. Saat ini, metode NDT telah banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti rekayasa forensik, teknik mesin, elektro, sipil, sistem, aeronautika, medis, hingga bidang seni [11].

Metode NDT memanfaatkan prinsip radiasi elektromagnetik, gelombang suara, serta karakteristik fisik material dalam proses inspeksi. Pemeriksaan pada permukaan luar material dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis mikroskop, meskipun pada beberapa teknik metalografi, mikroskop optik, dan mikroskop elektron diperlukan tahapan persiapan sampel yang bersifat destruktif. Sementara itu, bagian dalam material dapat dianalisis melalui penetrasi radiasi elektromagnetik, seperti sinar-X, maupun dengan gelombang ultrasonik. Selain itu, penggunaan cairan tertentu juga dapat meningkatkan kontras cacat, sehingga mempermudah pengamatan visual terhadap retakan akibat kelelahan material.

Salah satu metode NDT yang umum digunakan adalah pengujian penetran cair, yang memanfaatkan zat pewarna berfluoresensi atau tidak berfluoresensi untuk material non-magnetik, terutama logam. Metode lain yang sering diterapkan pada material magnetik adalah pengujian partikel magnetik, yaitu dengan mengaplikasikan suspensi partikel besi halus pada permukaan material yang berada dalam medan magnet [12]. Tujuan utama penerapan NDT meliputi pendeteksian cacat atau diskontinuitas pada permukaan, bawah permukaan, maupun bagian dalam material, pengukuran geometri benda, serta penentuan komposisi kimia material [12].

### **2.5 Kekerasan ( Hardness )**

Kekerasan merupakan salah satu sifat mekanik material yang penting karena dapat dijadikan sebagai parameter untuk memperkirakan sifat mekanik lainnya, khususnya kekuatan material. Nilai kekuatan tarik suatu material dapat diprediksi berdasarkan hubungannya dengan tingkat kekerasan yang dimiliki. Dalam bidang teknik material, terutama pada logam, kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan indentasi, penetrasi, maupun abrasi, yang secara umum mencerminkan ketahanan terhadap deformasi plastis.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan material terhadap deformasi plastis pada area lokal, terutama pada bagian permukaan. Pada material logam, deformasi yang terjadi bersifat plastis. Sementara itu, kekuatan material merujuk pada kemampuan material dalam menahan deformasi plastis secara menyeluruh atau global. Secara umum, terdapat hubungan sebanding antara

kekerasan dan kekuatan material, di mana semakin tinggi nilai kekerasan, maka semakin besar pula kekuatan material tersebut. [16].

### 2.5.1 Vickers Hardness Test

Metode **Vickers Hardness Test** pada prinsipnya memiliki kesamaan dengan metode Brinell, perbedaan utama terletak pada jenis indenter yang digunakan. Dalam pelaksanaan pengujian kekerasan Vickers, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, antara lain:

1. Spesimen harus memenuhi persyaratan pengujian, yaitu memiliki permukaan yang rata dan halus, dapat ditumpu dengan baik, serta berada pada posisi horizontal.
2. Indenter yang digunakan berupa piramida intan dengan alas berbentuk bujur sangkar, di mana sudut puncak antara dua sisi yang saling berhadapan sebesar  $136^\circ$ .
3. Beban pengujian pada prinsipnya dapat bervariasi, namun untuk spesimen berbentuk pelat tipis digunakan beban yang lebih ringan.
4. Pengujian dilakukan dengan menekan indenter ke permukaan spesimen selama waktu penekanan sekitar 10–30 detik.

Nilai kekerasan pada metode ini dinyatakan dalam satuan *Vickers Diamond Pyramid Hardness* (VDPH), yang dihitung berdasarkan panjang diagonal jejak indentasi dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{DPH} &= \{2P \sin (\alpha/2)\} / d^2 \\ &= 1,854 P / d^2 \quad \dots\dots\dots (2.2) \end{aligned}$$

Dimana:

$$\alpha = 136^\circ$$

P = Gaya tekan (kgf)

d = Diagonal indentasi (mm)

Persamaan ini didapatkan dari:

$$d = (d_1 + d_2) / 2$$

$$X = d \cos 45^\circ$$

$$= \frac{1}{2} d \sqrt{2}$$

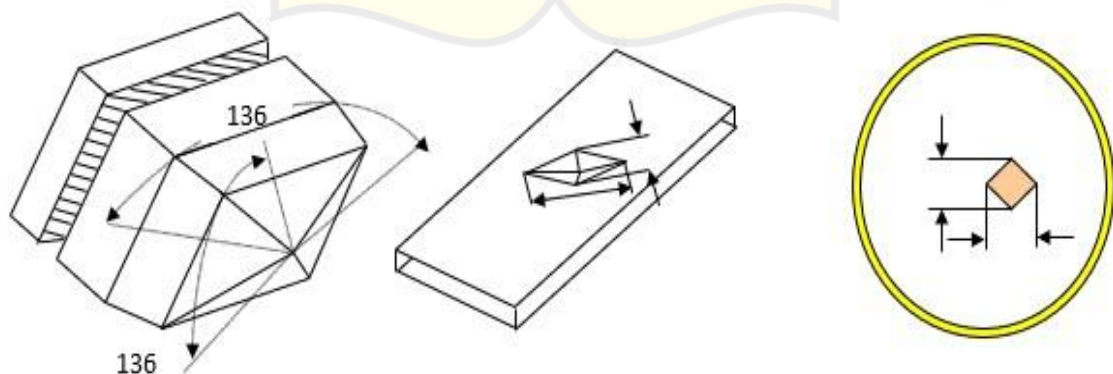
$$\begin{aligned} Y &= \frac{1}{2} X / \cos 22^\circ \\ &= (\frac{1}{2} d \sqrt{2}) / \cos 22^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L \Delta AOB &= \frac{1}{2} X \cdot Y \\ &= (\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} d \sqrt{2}) / \cos 22^\circ \\ &= (1/8 d^2) / \cos 22^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= 4 L \Delta AOB \\ &= 4 (1/8 d^2) / \cos 22^\circ \\ &= (\frac{1}{2} d^2) / \cos 22^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HVN} &= P / A \\ &= 1,854 P / d^2 \end{aligned}$$

Hasil Tapak Tekan Pengujian Vickers dapat dilihat pada Gambar berikut :



Gambar 2. 2 Hasil Tapak Tekan Pengujian Vickers

Nilai kekerasan ditulis seperti contoh berikut : 150 DPH 150/10

Dimana : 150 = Nilai Kekerasan

DPH = Metode Pengujian Vickers

150 = Gaya Pembebanan (kgf)

10 = Waktu Pembebanan (detik).....(2)

Seperti pada metode Brinell, pengujian ini dilakukan secara manual sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan pengukuran. Kesalahan dapat terjadi akibat ketidaktepatan dalam pemfokusan objek pada layar, penempatan alat ukur terhadap objek, maupun saat proses pembacaan hasil pengukuran [16].

## 2.6 Hipotesis Penelitian

1. Stainless steel SS 304 tetap memiliki potensi mengalami korosi apabila terpapar oleh faktor-faktor penyebab korosi. Karena itu, material stainless steel SS 304 yang digunakan dalam industri harus memiliki karakteristik tertentu, terutama terkait kandungan unsur paduannya, agar sesuai dengan kebutuhan serta kondisi operasional yang dihadapi.
2. Komposisi unsur dalam stainless steel SS 304 berperan penting dalam mekanisme terjadinya korosi, sehingga perubahan atau ketidaksesuaian komposisi tersebut dapat mengakibatkan penurunan kualitas material sebelum diaplikasikan dalam proses produksi.
3. Setiap material stainless steel SS 304 menunjukkan karakteristik yang berbeda, yang dapat diidentifikasi melalui variasi nilai intensitas unsur-unsur penyusunnya pada masing-masing material.