

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan tidak lepas dari penelitian-penelitian terdahulu yang dijadikan sebagai bahan perbandingan. Adapun hasil-hasil penelitian yang dijadikan perbandingan tidak lepas dari penelitian yang berhubungan dengan *electroplating*. Adapun penelitian terdahulu antara lain.

Menurut (Fatkhurozzak et al., 2021) dalam penelitiannya yang berjudul Pengaruh Tegangan Listrik Dan Waktu Pencelupan Proses Elektroplating Terhadap Kekerasan Permukaan Dan Ketebalan Baja ST 41 menerangkan bahwa semakin tinggi tegangan dan lamanya waktu pencelupan maka akan bertambah juga ketebalannya hal ini dikarenakan banyak ion-ion dari anoda sebagai bahan pelapis yang tereduksi dan menempel pada permukaan logam spesimen sebagai katoda.

Menurut penelitian (Budiyanto et al., 2017) yang berjudul Pengaruh Jarak Anoda-Katoda Pada Proses Elektroplating Tembaga Terhadap Ketebalan Lapisan Dan Efisiensi Katoda Baja Aisi 1020 menerangkan bahwa semakin dekat jarak antara anoda-katoda maka lapisan yang terbentuk semakin tebal. Ketebalan paling tinggi didapatkan pada jarak 5 cm sebesar 0,108 mm sedangkan ketebalan paling rendah lapisan didapatkan pada jarak 20 cm sebesar 0,058 mm. Hal yang sama berlaku pada besaran massa yang terjadi dimana nilai berat tertinggi yang didapatkan pada jarak 5 cm sebesar 0,23 gram, dan nilai berat terendah pada jarak 20 cm sebesar 0,12 gram.

Dalam penelitian (Kardiman & Fauji, 2021) yang berjudul Pengaruh Kuat Arus dan Waktu Elektroplating Nikel terhadap Kekerasan dan Laju Korosi Baja menerangkan bahwa semakin tinggi kuat arus dan semakin lama proses pencelupan maka akan menurunkan nilai laju korosinya.

2.2 *Electroplating*

Merupakan proses pengendapan ion-ion logam pada elektroda (katoda) dengan cara elektrolisa. Terjadinya endapan karena ion-ion bermuatan listrik berpindah dari elektroda (anoda) melalui elektrolit yang akan mengendap pada elektroda (katoda). Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah reaksi reduksi maupun oksidasi yang berlangsung secara terus menerus menuju arah tertentu secara tetap (Abrianto Akuan, 2008).

Dalam teknologi pengerjaan logam, proses lapis listrik (*electroplating*) termasuk ke dalam proses pengerjaan akhir (*metal finishing*). Adapun fungsi dari pelapisan logam adalah sebagai berikut :

1. Memperbaiki penampilan (*dekoratif*) Misalnya : pelapisan emas, perak, kuningan, dan tembaga.
2. Melindungi logam dari korosi
3. Meningkatkan ketahanan produk terhadap gesekan (*abrasi*), misalnya pelapisan kromium keras.
4. Memperbaiki kehalusan atau bentuk permukaan dan toleransi logam dasar, misalnya : pelapisan nikel, kromium.

2.2.1 Faktor-faktor yang Memengaruhi *Electroplating*

Menurut (Agung, 2016) Elektroplating dipengaruhi oleh beberapa faktor, yakni temperatur, kerapatan arus, konsentrasi ion, agitasi, *throwing power*, konduktivitas, nilai pH, pasivitas dan waktu pelapisan.

1. Temperatur

Temperatur sangat penting untuk menyeleksi kesesuaian jalan reaksi dan melindungi lapisan. Keseimbangan temperatur ditentukan oleh beberapa faktor seperti ketahanan, jarak anoda dengan katoda, serta besarnya arus yang digunakan.

Kenaikan temperatur akan menyebabkan meningkatnya laju korosi dan difusi ion-ion ke katoda. Hal ini mencegah terjadinya pelapisan yang tidak merata yang di sebabkan adanya kekosongan ion-ion pada katoda. Secara umum, temperatur yang sesuai cenderung meningkatkan kualitas pelapisan.

2. Kerapatan Arus

Proses plating yang kerapatan arusnya rendah menyebabkan laju pelapisan ion-ion menjadi lambat, sehingga laju pertumbuhan dasar kristal akan melewati laju pembentukan ion-ion baru. Hal ini membuktikan bahwa semakin besar kuat arus yang di berikan pada saat pelapisan maka semakin besar pula laju pelapisannya. Hal ini sesuai dengan Hukum faraday yang menyatakan massa zat tertentu yang dihasilkan atau dipakai pada suatu elektroda berbanding lurus dengan jumlah muatan listrik yang melalui sel.

3. Konsentrasi Ion

Pengaruh konsentrasi elektrolit dengan arus saling berhubungan erat. Konsentrasi ion akan berpengaruh pada stuktur deposit, dengan naiknya

konsentrasi logam dapat menaikkan seluruh kegiatan anion yang membantu mobilitas ion. Kenaikan konsentrasi larutan akan mencegah kekosongan ionion didekat katoda sehingga terbentuk pelapisan yang lebih baik. Larutan dengan konsentrasi yang lebih tinggi mengandung partikel-partikel yang lebih rapat. Kerapatan ini menyebabkan partikel mudah bertumbukan sehingga semakin banyak elektron yang berpindah dari anoda ke katoda. Dengan demikian semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit, maka semakin besar laju pelapisannya.

4. Agitasi

Agitasi atau goncangan merupakan hal yang penting dalam proses kimia, termasuk pada *electroplating*. Agitasi dapat membantu proses *electroplating*, terutama untuk menjaga lapisan agar semua permukaan mendapat lapisan yang sama tebalnya. Beberapa teknik agitasi yang umum digunakan dalam *electroplating* adalah pembilasan/penyemprotan gas (*gas sparging*), memancarkan larutan pelapis pada permukaan elektroda, dan penggetaran elektroda. Namun demikian agitasi tetap harus terkontrol untuk menghindari ketebalan pelapisan yang tidak seragam.

5. *Throwing power*

Throwing power adalah kemampuan larutan penyalur untuk menghasilkan lapisan dengan ketebalan merata dan selama masa proses pelapisan sesuai dengan daya lempar/lontarnya. Sehingga pada dasarnya, *throwing power* (daya lontar) merupakan ukuran dari kemampuan larutan *electroplating* membentuk plat seperti piringan sehingga mengarahkan terjadinya ketebalan lapisan yang seragam melalui katoda yang bentuknya tidak teratur.

Throwing power dapat diklasifikasikan sebagai baik, menengah atau buruk. Jika seluruh permukaan katoda berbentuk tidak teratur kemudian terlapisi dengan ketebalan yang seragam, dikatakan larutan memiliki *throwing power* yang sempurna. Sebaliknya, jika katoda hanya terlapisi pada daerah dekat anoda, maka larutan *electroplating* tersebut dinyatakan memiliki *throwing power* yang buruk.

Dalam proses *electroplating*, anoda dan katoda dalam sel *electroplating* keduanya terhubung ke pasokan eksternal arus searah. Anoda terhubung ke terminal positif dan katoda (benda kerja yang akan dilapisi) dihubungkan ke terminal negatif. Ketika catu daya eksternal diaktifkan, logam pada anoda teroksidasi menjadi ion dan mengendap kembali sebagai logam yang melapisi katoda.

Throwing power diukur dengan *Cell Haring-Blum* pada rasio jarak antara katoda dan anoda adalah 1:5, pelapisan dilakukan pada arus 2 A dalam waktu 30 menit. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *throwing power* adalah:

$$T P (\%) = \frac{100 \cdot (5 - M)}{5 + M - 2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana T.P. adalah daya lempar dan M adalah rasio berat logam diendapkan pada katoda. Untuk meningkatkan daya lempar, anoda sesuai dapat dibentuk untuk membawa anoda lebih dekat ke daerah kepadatan rendah saat ini. Hal ini memungkinkan untuk jauh meningkatkan ketebalan deposito di daerah dengan solusi yang buruk lemparan.

6. Konduktivitas

Konduktivitas larutan tergantung kepada konsentrasi ion yang besar atau konsentrasi molekul. Makin besar konsentrasi ion makin besar konduktivitasnya sehingga meningkatkan laju *electroplating*.

7. Nilai pH

Nilai pH merupakan faktor penting dalam menjaga kestabilan proses pelapisan. Setiap elektrolit memiliki pH optimum yang berbeda-beda. Oleh karena itu untuk memperoleh hasil yang diinginkan perlu menjaga kestabilan pH pada kondisi optimum sesuai dengan elektrolit yang digunakan dalam *electroplating*.

8. Pasivitas

Gejala pasivitas sering ditemui pada logam yang mengalami korosi, karena itu elektroda harus benar-benar bersih dan bebas dari korosi. Elektroda yang kurang bersih akan meningkatkan pasivitas sehingga dapat menurunkan laju *electroplating*.

9. Waktu Pelapisan

Waktu pelapisan sangat berpengaruh kepada ketebalan lapisan yang diharapkan, semakin lama waktu pelapisan maka semakin tebal lapisan yang diperoleh walaupun suatu saat akan tercapai juga masa jenuh, yaitu dimana ketebalan tidak lagi bertambah walaupun waktu pelapisan terus diperpanjang.

Dengan adanya arus listrik yang mengalir ke dalam larutan elektrolit, maka terjadilah reaksi pergerakan dan pembebasan ion-ion. Dimana hubungan antara jumlah arus listrik yang mengalir dengan jumlah zat yang dibebaskan di dalam larutan tersebut dinyatakan oleh Michael Faraday dalam hukumnya :

1. Jumlah zat-zat yang terbentuk pada elektroda pada suatu sel sebanding dengan jumlah arus yang mengalir .
2. Jumlah zat-zat yang dihasilkan oleh arus yang sama dalam sel yang berbeda adalah sebanding dengan berat ekuivalen masing-masing zat itu

$$B = \frac{I \cdot t \cdot e}{F} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

B = Berat zat yang terbentuk (gram)

I = Jumlah arus yang mengalir (amper)

t = waktu mengalir (detik)

e = Berat ekivalen zat yang dibebaskan (berat atom suatu unsur dibagi valensi unsur tersebut)

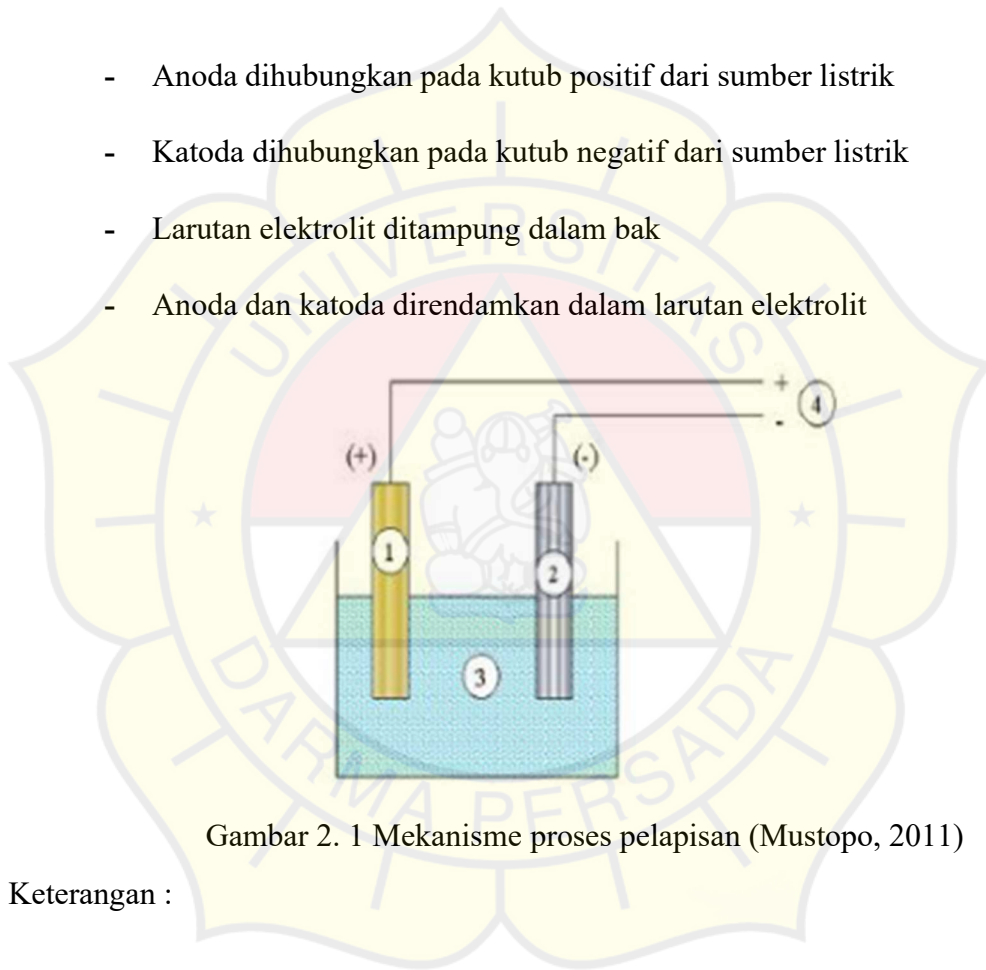
F = Jumlah arus yang diperlukan untuk membebaskan sejumlah garam ekivalen suatu zat

Hukum *faraday* sangat erat kaitannya dengan efisiensi arus yang terjadi pada proses pelapisan secara listrik. Jika dihubungkan dengan hukum *faraday* maka efisiensi arus adalah perbandingan berat endapan yang terjadi dengan berat endapan teoritis. Sehingga efisiensi arus dinyatakan dalam persen. Pada praktek sebenarnya hukum *faraday* digunakan untuk menghitung biaya pelapisan logam. Dengan hukum *faraday* yang menjelaskan banyaknya logam yang mengendap besarnya nilai rupiah logam yang mengendap menjadi lebih mudah untuk dihitung.

2.2.2 Prinsip Kerja *Electroplating*

Menurut (Mustopo, 2011) Pada prinsipnya pelapisan logam dengan menggunakan proses *electroplating* merupakan rangkaian dari arus listrik, anoda, larutan elektrolit dan katoda (benda kerja). Keempat gugusan ini disusun sedemikian rupa, sehingga membentuk suatu sistem lapis listrik dengan rangkaian sebagai berikut:

- Anoda dihubungkan pada kutub positif dari sumber listrik
- Katoda dihubungkan pada kutub negatif dari sumber listrik
- Larutan elektrolit ditampung dalam bak
- Anoda dan katoda direndamkan dalam larutan elektrolit



Gambar 2. 1 Mekanisme proses pelapisan (Mustopo, 2011)

Keterangan :

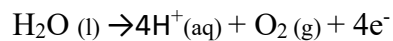
1. Anoda (bahan pelapis)

Anoda adalah elektroda positif yang merupakan logam pelapis. Anoda dalam larutan elektrolit ada yang larut dan ada yang tidak. Anoda yang tidak larut berfungsi sebagai penghantar arus listrik saja, sedangkan anoda yang larut berfungsi selain penghanta arus listrik, juga sebagai bahan baku

pelapis. Logam-logam yang bisa digunakan sebagai bahan pelapis, antara lain : kuningan, tembaga, nikel, dan krom.

Reaksi kimia pada anoda:

Pembentukan gas oksigen



Oksidasi gas Hidrogen

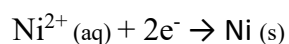


2. Katoda (benda yang dilapisi)

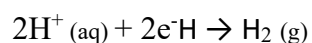
Katoda dapat diartikan sebagai benda kerja yang akan dilapisi, dihubungkan dengan kutub negatif dari sumber arus listrik. Katoda atau benda kerja dapat memiliki bentuk dan dapat terbuat dari beraneka logam, yang terpenting katoda harus memiliki kumpulan atom-atom yang terikat dimana elektron-elektronnya dapat bergerak bebas sehingga proses *electroplating* dapat berlangsung dengan baik dan logam dapat menempel dengan kuat pada katoda. Agar mendapatkan hasil pelapisan yang baik, maka diperlukan proses preparasi atau penyiapan sebelum dilakukan pelapisan. Logam-logam yang biasa digunakan sebagai logam dasar, yaitu baja, perak, kuningan, dan tembaga.

Reaksi kimia pada katoda:

Pembentukan lapisan Nikel



Pembentukan gas Hidrogen



Reduksi oksigen terlarut



3. Elektrolit

Elektrolit berupa larutan yang molekulnya dapat larut dalam air dan terurai menjadi partikel-partikel yang bermuatan positif atau negatif. Pada proses elektrolisa terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia. Elektron (listrik) memasuki larutan melalui kutub negatif (katoda) dan selanjutnya menuju kutub positif (anoda) untuk kembali ke satu daya.

Komposisi pembuatan larutan nikel:

- NiSO₄ : 250 gr/l
- NiCL₂ : 50 gr/l
- H₂BO₃ : 40 gr/l
- Bright MU : 2 ml/l
- Bright MN : 1 ml/l

4. Sumber arus searah (DC)

Dalam generator arus DC terdapat satu cincin belah atau komutator yang menyebabkan arus searah positif ke negatif. Prinsip DC ini lebih banyak dihasilkan oleh sel listrik/baterai. Arus DC ditandai dengan arus positif dan negatif. Sumber arus searah (DC) atau bisa disebut juga dengan transformer.

Transformer merupakan komponen utama dalam proses pelapisan logam yang berfungsi untuk menurunkan dan mengubah tegangan AC menjadi DC.

Rectifier atau *power supply* adalah suatu alat yang dapat mengubah tegangan listrik dari 220 volt menjadi yang lebih rendah sesuai dengan yang diinginkan atau alat ini juga disebut *trafo step down*. Tegangan yang keluar

dari trafo masih dalam keadaan bolak-balik (AC), sehingga untuk mengubah dari AC ke DC (searah) diperlukan kiprok sebagai penyearah dan kapasitor elektrolit sebagai perata dari tegangan output (Rasyad & Budiarto, 2018). Jadi sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan, penggunaan arus listrik searah (DC) sudah sesuai dengan proses *electroplating* pada baja ST 41.

2.3 Bahan Pelapis Nikel

Nikel merupakan unsur kimia yang terletak pada Periode 4 Golongan VIII-B, dengan nomor atom 28 dan massa atom 58,71. Nikel memiliki massa jenis 8,902 g/cm³, titik lebur 1455 °C, dan titik didih 2827 °C. Struktur kristal nikel adalah FCC (*face centered cubic*) dengan *paramete lattice a* = 0,35243 nm (pada 25 °C), jari-jari atom 0,1246 nm, dan elektronegativitas 1,8. Sebagai logam, nikel memiliki kekuatan dan kekerasan sedang, keliatan dan keuletan baik, daya hantar listrik baik, dan tahan korosi

Menurut (Saleh, 1995) Nikel (*nickel*) adalah logam yang banyak digunakan pada industri kimia, akumulator dan pada pelapisan logam, karena memiliki sifat yang tahan korosi dan juga lunak. Nikel berwarna putih keperak-perakan, berkristal halus, sehingga bila dipoles dan dijadikan sebagai pelapis lindung akan kelihatan tampak permukaan yang indah dan mengilap. Nikel memiliki kekerasan dan kekuatan sedang, keuletan yang bagus dan juga memiliki daya hantar listrik yang baik. Menurut (A.Saleh, 2014) komposisi dan kondisi operasi larutan *nickle strike* dan *watt's* dapat dijelaskan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Komposisi dan Kondisi Operasi larutan *nickle strike* dan *watt's*.

Bahan dan Kondisi Operasi	Konsentrasi Larutan (g/L)				
	Dull Nickle	Watt's Bath	All Sulfat	Sulfat Chlorida	All Chlorida
Bahan :					
Nikel Sulfat (NiSO ₄)	150	220-380	300	195	-
Ammonium Chlorid (NH ₄ Cl)	15	-	-	-	-
Nickle Chlorid (NiCl)	-	30-60	-	175	240
Boric Acid (H ₃ BO ₃)	15	30-45	40	40	30
Kondisi Operasi :					
Temperatur °C	20-30	45-65	45	45-50	55-70
Rapat Arus (A/dm ²)	0,5-6,2	2,5-10	2,5-11	2,5-12,5	2-12
pH	5,8-6,2	2-5,2	3-5	1,5	2
Anoda : Katoda	2:1	1:1	-	-	-

Pelapisan nikel sangat luas digunakan industri-industri pelapisan. Umumnya lapisan nikel merupakan lapisan lanjutan dari lapisan tembaga dan di akhiri dengan lapisan seperti kromium emas dan lainnya. Belakangan ini banyak produk-produk hanya dilapisi nikel saja tanpa dengan lapisan kromium. Hal ini disesuaikan dengan tujuan dan penggunaan produk dimana fungsinya berbeda-beda. Lapisan seperti ini tebalnya bisa ditingkatkan sampai 20 mikron. Lapisan nikel dapat diklasifikasikan menurut larutan elektrolit yang digunakan. Klasifikasi lapisan nikel tersebut, sifat-sifat serta penggunaannya dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini:

Tabel 2.2 Klasifikasi dan Penggunaan Pelapisan Nikel.

Larutan Pelapis (<i>Plating Bath</i>)	Sifat-sifat Penggunaan
Larutan pelapis mengkilap	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Seperti <i>watt's bath</i> atau <i>sulfamate bath</i>

Larutan <i>watt's</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelapisan konvensional (biasa), kecepatan pelapisan tinggi, <i>barrel plating</i>, larutan standard untuk lapisan <i>bright</i>
Nikel suram	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kecepatan pelapisan rendah (0.5 A/dm²), lapisan tipis, <i>barrel plating</i>
Larutan asam sulfat <i>chloride</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Butir lapisan lebih baik, lapisan lebih ulet (<i>ductile</i>) dibanding lapisan <i>watt's</i>, mudah dalam pengerjaan <i>buffing</i>
Larutan <i>all</i> sulfat	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelapisan dengan anoda tidak larut, sebagai lapis permukaan
Larutan <i>all</i> <i>chloride</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Butiran lapisan baik, lapisan lebih halus dibanding larutan <i>watt's</i>, kekuatan tinggi perpanjangan rendah, tegangan tinggi
Larutan <i>striking</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelapisan pada <i>stainless steel</i>, <i>passivating</i> logam-logam lainnya
Larutan nikel hitam	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pelapisan dekoratif
Larutan sulfamat	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kecepatan pelapisan tinggi
Larutan <i>fluoborat</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Untuk <i>electroforming</i> ▪ Barrel plating
Larutan sulfat tinggi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pelapisan nikel langsung pada <i>zinc alloy</i>
Larutan zialit	
Larutan garam kompleks	

Larutan komposit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disebut juga <i>seal nickel plating</i> , Dasar dari <i>microporous</i> pelapisan kromium
------------------	---

Sumber : (Anton J. Hartomo & Kaneko, 1992).

2.4 Baja

Logam baja merupakan material konstruksi yang sering kali diaplikasikan pada berbagai macam struktur karena memiliki sifat mekanik yang baik serta mudah difabrikasi. Namun, struktur yang dibuat dari logam baja lebih cepat mengalami korosi dan *fouling* sehingga menimbulkan kerugian baik sifatnya langsung maupun tidak langsung yang mencapai 5% dari GNP (*Gross National Product*). Oleh karena itu, mengendalikan laju korosi pada logam atau paduannya menjadi hal yang penting. Selama proses korosi, logam murni cenderung akan kembali pada keadaan sebagaimana sama dengan keadaan bijih logamnya (Setiawan, 2018).

2.4.1 Proses Pembuatan Baja

Menurut (Samlawi & Siswanto, 2016) Besi kasar diproduksi dengan menggunakan dapur tinggi besi (*blast furnace*) yang berisi bahan bakar (kokas) pada lapisan paling bawah, kemudian batu kapur (*limestone*) dan bijih besi (*iron ores*). Kokas terbakar dan menghasilkan gas CO yang naik ke atas sambil mereduksi oksida besi. Besi yang telah tereduksi melebur dan terkumpul dibawah tanur menjadi besi kasar yang biasanya mengandung Karbon (C), Mangan (Mn), silicon (Si), nikel (Ni), fosfor (P), belerang (S). Kemudian leburan besi dipindahkan ke tungku lain (*converter*) dan diembuskan gas oksigen untuk mengurangi kandungan karbon.

Untuk menghilangkan kembali kandungan oksigen dalam baja cair, ditambahkan Al, Si, Mn. Proses ini disebut dioksidasi. Setelah dioksidasi, baja cair dialirkan dalam mesin cetakan kontinu berupa slab atau dicor dalam cetakan berupa ingot. Slab dan ingot itu diproses dengan penempaan panas, rolling panas, penempaan dingin, perlakuan panas, pengerasan permukaan dan lain-lain untuk dibentuk menjadi sebuah produk atau kerangka dasar dari sebuah produk.

Baja merupakan paduan besi (Fe) dengan karbon (C), dimana kandungan karbon tidak lebih dari 2%. Baja banyak digunakan karena baja mempunyai sifat mekanis lebih baik dari pada besi, sifat baja antara lain :

1. Tangguh dan ulet
2. Mudah ditempa
3. Mudah diproses
4. Sifatnya dapat diubah dengan mengubah karbon
5. Sifatnya dapat diubah dengan perlakuan panas
6. Kadar karbon lebih rendah dibanding besi
7. Banyak di pakai untuk berbagai bahan peralatan.

2.4.2 Klasifikasi Baja

Berdasarkan tinggi rendahnya persentase karbon di dalam baja, baja karbon (*carbon steel*) di klasifikasikan sebagai berikut:

1. Baja karbon rendah (*low carbon steel*) jika elemen paduannya $\leq 2,5\%$
 - Sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin.
 - Penggunaannya :

- 0,05 % - 0,20 % C : automobile bodies, buildings, pipes, chains, rivets, screws, nails.
 - 0,20 % - 0,30 % C : *gears, shafts, bolts, forgings, bridges, buildings.*
 - 0,05 % - 0,30% C : *machine, machinery dan mild steel*
2. Baja karbon menengah (*medium carbon steel*) elemen paduannya 2,5 - 10%
- Kekuatan lebih tinggi daripada baja karbon rendah.
 - Sifatnya sulit untuk dibengkokkan, dilas, dipotong.
 - Penggunaan:
 - 0,30 % - 0,40 % C : connecting rods, crank pins, axles.
 - 0,40 % - 0,50 % C : car axles, crankshafts, rails, boilers, auger bits, screwdrivers.
 - 0,50 % - 0,60 % C : hammers dan sledges.
3. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) jika elemen paduannya > 10 %
- Sifatnya sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong.
 - Kandungan 0,60 % - 1,50 % C
 - Penggunaan : obeng, palu pandai besi, pisau meja, sekrup, vise jaws, pisau, bor. alat untuk memutar kuningan dan kayu, reamers, alat untuk memutar logam keras, gergaji untuk memotong baja, cetakan kawat, pemotong halus.

2.4.3 ST 41

ST 41 adalah salah satu baja karbon rendah, karena memiliki komposisi karbon sebesar 0,08% - 0,20%, ST memiliki makna baja atau disebut dengan *stell*, sedangkan 41 memiliki makna kekuatan tarik (*tensile strength*) sebesar 40 kg/mm². Baja karbon rendah sering digunakan dalam komponen mesin-mesin industri

seperti gear, rantai, skrup dan poros. Selain itu baja ST 41 juga digunakan sebagai handle rem sepeda motor, body mobil, pipa saluran, konstruksi jembatan, rivet. Berikut tabel komposisi kimia pada baja ST 41

Tabel 2.3 komposisi baja ST 41.

No.	Nama Unsur (simbol)	Persentase (%)
1	Besi (Fe)	98,985
2	Mangan (Mn)	0,6
3	Karbon (C)	0,10
4	Silikon (Si)	0,25
5	Fosfor (P)	0,03
6	Belerang (S)	0,035

sumber : (Nizam, 2014).

Tabel 2.4 Sifat mekanik ST 41.

Sifat Mekanik	ST41
<i>Tensile Strength</i> (MPa)	400-510
<i>Yield Strength</i> (MPa)	205-245
<i>Elongation</i> (%)	27-30
<i>Young's Modulus</i> (GPa)	190-210
<i>Poisson's Ratio</i>	0,26
<i>Density</i> (kg/m ³)	7860
<i>Hardness, Brinell</i> (HB)	160

sumber : (*Metal Beyond Steel*, 2011).

2.5 Pengukuran Ketebalan

Pengukuran ketebalan pada penelitian ini menggunakan *Coating thickness gauge*. Alat uji ketebalan pada material ini merupakan alat yang menggunakan

teknologi canggih agar tidak merusak objek yang akan diuji (*non-destructive testing*). umumnya alat ini berbentuk kipas dengan metode pengujian yang sangat sederhana, cukup membawa alat material ke objek yang akan diuji untuk memeriksa ketebalannya, kita bisa langsung melihat hasil yang disediakan oleh alat ukur ketebalan yang berbentuk digital. Tingkat ketelitian atau kecermatan *coating thickness gauge* ini mencapai $\pm 0,1$ mm.



Gambar 2.2 Alat *Coating Thickness Gauge*.

Ketebalan hasil *electroplating* dapat dipengaruhi oleh waktu pelapisan dan besarnya arus yang digunakan pada saat proses *electroplating* (A.Saleh, 2014). Secara matematis perhitungan ketebalan lapisan dirumuskan sebagai berikut :

$$H = \frac{T \times 1000 \times F}{C} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana : H = Waktu Pelapisan (Jam)

T = Tebal Lapisan (in)

F = Faktor

C = Rapat Arus (A/in²).

Berikut ini hasil perhitungan perkiraan waktu pelapisan dan tebal lapisan :

Tabel 2.5 Hasil perhitungan ketebalan dengan waktu 60 menit (A.Saleh, 2014).

Bahan/Larutan	Efisiensi Katoda	Faktor (F)	Rapat Arus A/in ²	Tebal lapisan (T) (in)
Kuningan	50	0,027	0,035	0,0012
Cadmium	96	0,070	0,180	0,0025
Kromium	14	2,570	2,500	0,0009
Tembaga Asam	98	0,126	0,210	0,0016
Tembaga Sianida	70	0,088	0,210	0,0023
Emas Sianida	95	0,045	0,040	0,0008
Iridium	65	0,128	0,140	0,0011
Lead (Timah Hitam)	98	0,049	0,100	0,0020
Nikkel	95	0,199	0,250	0,0012
Rhodium	80	0,199	0,100	0,0005
Silver (Perak)	99	0,043	0,180	0,0041
Timah Putih (Tin)	70	0,077	0,140	0,0018
Zinc (Zn)	98	0,101	0,210	0,0021

Tabel diatas merupakan hasil perhitungan perkiraan tebal lapisan dengan menggunakan lama waktu pelapisan sebesar 60 menit atau 1 jam. Dalam tabel tersebut diketahui untuk larutan nikel didapatkan nilai ketebalan lapisan sebesar 0,0012 in.

Ketebalan lapisan nikel juga bisa didapatkan dengan menghitung massa sampel sebelum dan sesudah dilapisi, menggunakan persamaan berikut (Anton J. Hartomo & Kaneko, 1992):

$$T = \frac{W}{\rho \cdot A} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana: T = tebal lapisan yang terbentuk (µm)

m₁ = massa sebelum dilapisi (gr)

m₂ = massa setelah dilapisi (gr)

W = m₁ - m₂ = massa lapisan yang terbentuk (gr)

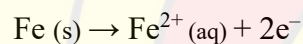
ρ nikel = massa jenis nikel (gr/cm³) = 8,90 gr/cm³

A = luas permukaan setelah dilapisi (cm²)

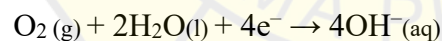
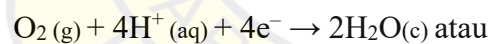
2.6 Korosi

Dalam arti luas korosi menurut (Sidney, 1974) merupakan kehancuran suatu material oleh bahan kimia, elektrokimia, atau interaksi metalurgis antara lingkungan dan bahan. Korosi juga dapat diartikan sebagai penurunan kualitas logam atau paduannya yang disebabkan oleh reaksi kimia bahan dengan unsur-unsur lain yang terdapat di alam. Karat logam umumnya berupa oksida atau karbonat. Rumus kimia karat besi adalah $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, suatu zat padat yang berwarna coklat-merah.

Korosi merupakan proses kimia (pada korosi kering) atau proses elektrokimia (pada korosi basah). Pada korosi besi, bagian tertentu dari besi itu berlaku sebagai anoda, di mana besi mengalami oksidasi.



Elektron yang dibebaskan di anoda mengalir ke bagian lain dari besi itu yang bertindak sebagai katoda, di mana oksigen tereduksi.



Ion besi (II) yang terbentuk pada anoda selanjutnya teroksidasi membentuk ion besi(III) yang kemudian membentuk senyawa oksida terhidrasi, yaitu karat besi. Mengenai bagian mana dari besi itu yang bertindak sebagai anoda dan bagian mana yang bertindak sebagai katoda, bergantung pada berbagai faktor, misalnya zat pengotor atau perbedaan kerapatan muatan listrik dari logam itu. Penyebab utama terjadinya korosi besi adalah adanya oksigen di udara dan air.

2.6.1 Klasifikasi Kerusakan Permukaan Akibat Korosi

Klasifikasi korosi umumnya didasarkan pada penampilan (*apperance*) yang dapat dilihat atau diamati dari permukaan yang berkarat secara visual. Berdasarkan bentuk kerusakan permukaan yang ditimbulkannya, korosi dapat dibedakan sebagai berikut:

1. *Uniform/General Corrosion* (Korosi Merata)

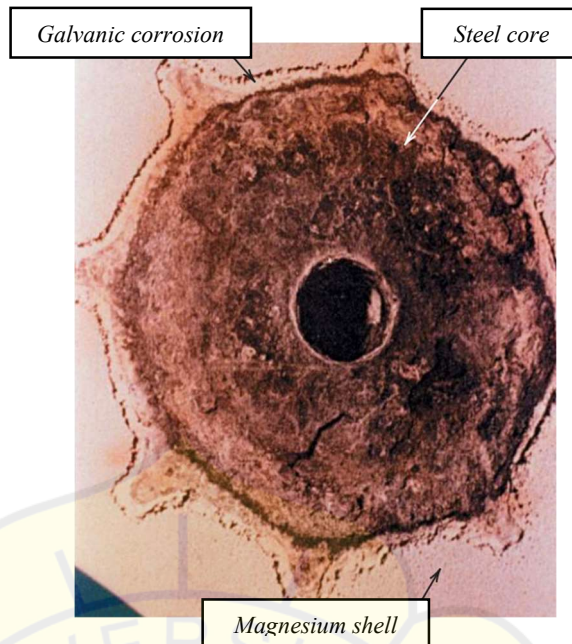
Korosi merata atau dikenal juga dengan korosi *uniform* merupakan tipe korosi paling umum dan merupakan bentuk kerusakan korosi paling besar dalam skala berat. Korosi *uniform* menunjukkan rusaknya seluruh atau sebagian lapisan pelindung logam sehingga ketebalan logam secara merata akan berkurang/aus. Korosi tipe ini dapat disebabkan oleh proses secara kimia atau secara elektrokimia pada permukaan yang luas.



Gambar 2.3 Korosi merata (Agung, 2016).

2. Korosi Galvanik

Korosi galvanik atau dikenal juga dengan istilah korosi bimetalik terjadi akibat perbedaan potensial yang timbul bila dua logam yang berbeda saling berhubungan karena berada dalam cairan elektrolit yang sama. Akibat perbedaan potensial, elektron akan mengalir antara kedua logam tersebut.



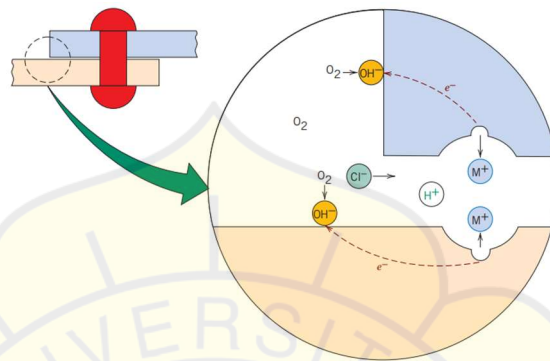
Gambar 2.4 Korosi Galvanik (Callister, William D. & Rethwisch, 2018).

Korosi galvanik terjadi karena proses elektro kimiawi antara dua macam logam yang berbeda potensial dihubungkan langsung di dalam elektrolit sama. Pada kondisi ini elektron mengalir dari logam kurang mulia (disebut anodik) menuju logam yang lebih mulia (disebut katodik), akibatnya logam yang kurang mulia berubah menjadi ion-ion positif karena kehilangan elektron. Ion-ion positif logam akan bereaksi dengan ion negatif yang berada di dalam elektrolit menjadi garam logam. Karena peristiwa tersebut, permukaan anoda kehilangan logamnya sehingga terbentuklah sumur - sumur karat (Surface Attack) atau serangan karat permukaan.

3. Korosi Celah

Korosi celah merupakan korosi lokal pada tempat/bagian yang tertutup karena deposit atau terkena agen krosif. Korosi celah dikenal juga dengan istilah korosi kontak karena terjadi pada wilayah kontak antara logam

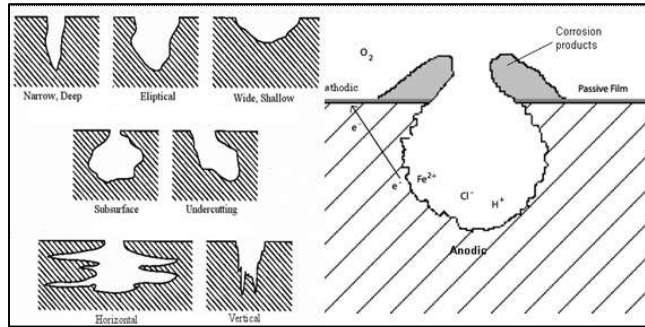
dengan logam maupun logam dengan bahan lain. Logam dan material sering menimbulkan korosi celah. Aluminium juga mempunyai kecenderungan mengalami korosi celah karena pengaruh air laut, yang disebabkan oksida film yang terbentuk mudah rusak karena klorida.



Gambar 2.5 Korosi celah (Callister, William D. & Rethwisch, 2018).

4. Korosi sumuran

Korosi sumuran adalah korosi lokal yang terjadi pada cacat mikroskopis pada permukaan logam. Lubang-lubang yang sering ditemukan di bawah deposit permukaan yang disebabkan oleh akumulasi produk korosi. Pada daerah cacat ini akan lebih anodik dibandingkan permukaan material sehingga korosi akan menuju bagian dalam material. Korosi sumuran dikenal juga dengan korosi lubang karena merupakan korosi lokal berbentuk lubang-lubang kecil (pit) dengan kedalaman sebesar diameternya dan saling berdekatan. Bentuk ini sering tertutup oleh produk berdekatan. Bentuk ini sering tertutup oleh produk korosi. Bila dihitung dalam persentase kehilangan beratnya sangat kecil, tetapi akibat dari kerusakan ini cukup besar.



Gambar 2.6 Korosi sumuran (Agung, 2016).

5. *Pitting*

Pitting mungkin yang paling berbahaya dan ganas dari semua jenis dari korosi lain. Dalam pitting lubang kecil atau besar dan dalam atau dangkal dan lubang terbentuk di permukaan, benar-benar menghancurkan logam. Jika pitting terjadi di mesin logam mesin benar-benar berhenti bekerja. Hal ini disebabkan karena beberapa reagen kimia korosif.

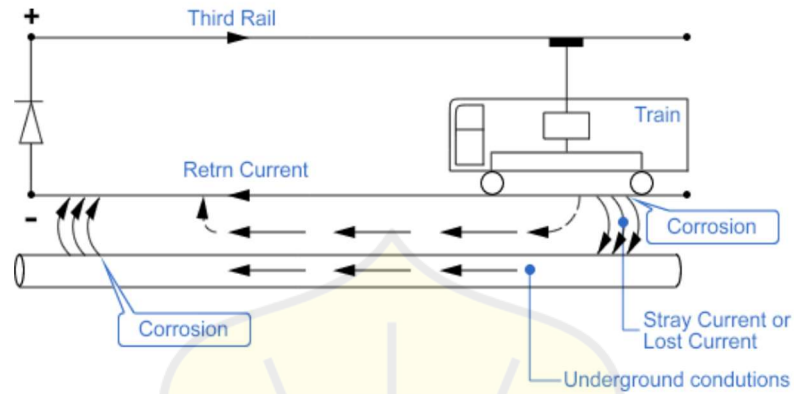


Gambar 2.7 *Pitting* (Callister, William D. & Rethwisch, 2018).

6. Korosi arus liar

Korosi arus liar ialah merasuknya arus searah secara liar tidak disengaja pada suatu konstruksi baja, yang kemudian meninggalkannya kembali menuju sumber arus. Pada titik dimana arus meninggalkan konstruksi, akan terjadi serangan karat yang cukup serius sehingga dapat merusak konstruksi

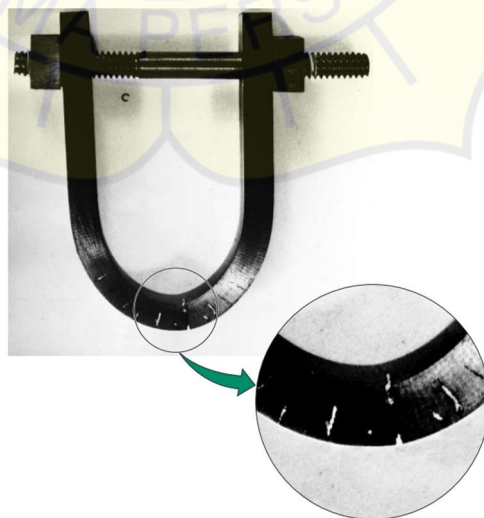
tersebut. Korosi jenis ini biasanya dialami oleh tangki atau pipa yang tertanam di dalam tanah.



Gambar 2.8 Korosi arus liar (Agung, 2016).

7. Korosi regangan

Korosi tegangan atau regangan adalah korosi yang di sebabkan adanya tegangan tarik yang mengakibatkan terjadinya retak. Tegangan ini di sebabkan pada temperatur dan deformasi yang berbeda. Berikut adalah gambaran retak serta bentuk penjaralannya yang di akibatkan oleh korosi tegangan.

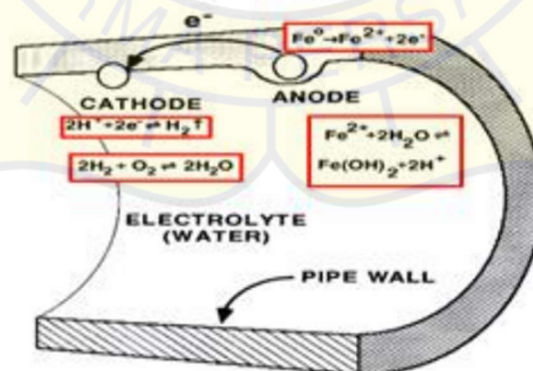


Gambar 2.9 Korosi regangan (Callister, William D. & Rethwisch, 2018).

Korosi ini terjadi karena pemberian tarikan atau kompresi yang melebihi batas ketentuannya. Kegagalan ini sering disebut Retak Karat Regangan (RKR). Sifat retak jenis ini sangat spontan (tiba-tiba terjadinya), regangan biasanya bersifat internal atau merupakan sisa hasil pengerjaan (residual) seperti pengeringan, pengepresan dan lain-lain.

8. Korosi serangan selektif

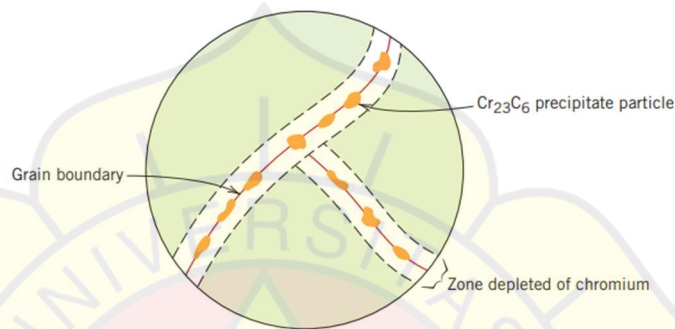
Korosi serangan selektif kebanyakan logam yang diproduksi secara besar-besaran untuk keperluan rekayasa memiliki cacat volume. Bahkan logam murni yang bebas dari semua cacat dari proses produksi masih dapat mengalami serangan korosi selektif pada batas-batas butir, karena ketidaksesuaian struktur kristal, atom-atom secara termodinamik kurang mantap dibandingkan dengan atom-atom pada kedudukan kisi sempurna dan mempunyai kecenderungan lebih besar untuk terkorosi. Secara umum, kesempatan korosi akan menjadi lebih tinggi karena pengaruh kenaikan temperatur



Gambar 2.10 Pola Korosi serangan selektif (Agung, 2016).

9. Korosi Batas Butir (*Intergranular*)

Korosi *Intergranular* terjadi bila daerah batas butir terserang akibat adanya endapan di dalamnya. Batas butir sering menjadi tempat proses pengendapan dan pemisahan yang teramati pada banyak paduan beberapa jenis logam.



Gambar 2.11 Korosi batas butir (Callister, William D. & Rethwisch, 2018).

2.7 Laju Korosi

Laju korosi merupakan kecepatan waktu penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Dalam perhitungan laju korosi, satuan yang sering digunakan adalah *mm/year* (mmpy) ini merupakan standar internasional atau bisa juga menggunakan *mill/year* (mpy) yang dimana mpy ini merupakan standar British. Tingkat ketahanan suatu material terhadap korosi umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1-200 mpy. Tabel di bawah ini adalah penggolongan tingkat ketahanan material berdasarkan laju korosinya (Fontana & Greene, 1987).

Tabel 2.6 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi.

<i>Relative Corrosion Resistance</i>	<i>Approximate Metric Equivalent</i>				
	mpy	mm/year	$\mu\text{m}/\text{year}$	nm/year	pm/sec

<i>Oustanding</i>	<1	<0.02	<25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0.1-0.5	100-50	10-50	5-20
<i>Fair</i>	20-50	0.5-1	500-1000	50-100	20-50
<i>Poor</i>	50-200	42125	1000-5000	150-100	50-200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

Penentuan laju korosi menggunakan standar pengujian ASTM G1 dengan perhitungan *weight los*. Rumus 1 digunakan untuk menghitung penurunan berat spesimen. Sedangkan rumus 2, digunakan untuk menghitung laju korosi (Priyahapsara & Habibie, 2019).

$$W = W_0 - W_A \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan: W = Kehilangan berat (gram)
 W_0 = Berat awal (gram)
 W_A = Berat akhir (gram)

$$CR = \frac{K \cdot W}{A \cdot T \cdot D} \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan: CR = Corotion Rate
 K = Konstanta laju korosi (Tabel 2.5)
 W = Kehilangan berat (gram)
 A = Luas permukaan logam (cm²)
 T = Waktu (jam)
 D = Densitas logam (gr/cm³)

Tabel 2.7 Konstanta Laju Korosi.

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
<i>Mils per year</i> (mpy)	3,45 x 10 ⁶

<i>Inches per year (ipy)</i>	$3,45 \times 10^3$
<i>Inches per month (ipm)</i>	$2,87 \times 10^2$
<i>Milimeters per year (mm/y)</i>	$8,76 \times 10^4$
<i>Micrometers per year ($\mu\text{m}/\text{y}$)</i>	$8,76 \times 10^7$
<i>Picometers per second (pm/s)</i>	$2,78 \times 10^6$
<i>Grams per square meter perhour ($\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)</i>	$1,00 \times 10^4 \times \text{D}$

2.8 Pengamatan Struktur Mikro

Struktur mikro merupakan struktur yang dapat diamati dibawah mikroskop optik. Meskipun dapat pula diartikan sebagai hasil dari pengamatan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Mikroskop optik dapat memperbesar struktur hingga 1500 kali.



Gambar 2.12 Alat uji SEM.

Proses pengujian SEM yang dilakukan membutuhkan persiapan bahan spesimen yang sangat banyak, dan spesimen yang telah dilakukan uji korosi akan dilihat melalui SEM setelah itu dimasukan kedalam tabung edax, yang selebihnya dikendalikan oleh komputer dan *keyboard controller* untuk mengatur pembesaran lensa dan perpindahan spesimen (Sakti & Ananta, 2016).