

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Baja merupakan salah satu material logam yang banyak diaplikasikan dalam dunia industri. Ketahanan korosi pada baja dipengaruhi oleh unsur paduan yang terkandung di dalamnya seperti nikel (Ni), krom (Cr), dan mangan (Mn). Ketiga unsur tersebut akan berdampak pada sifat ketahanan korosi. Baja nikel laterit adalah baja yang diolah dari bijih nikel laterit kadar rendah. Baja ini dapat digolongkan ke dalam baja paduan rendah dengan kandungan nikel dan kromium lebih sedikit dibandingkan stainless steel. Stainless steel merupakan baja anti karat yang tahan terhadap korosi karena memiliki unsur paduan minimal 18% krom dan 8% nikel. Stainless steel dapat diperoleh dengan mencampurkan feronikel (18-20% Ni, 75-78% Fe) ke dalam leburan nikel ferokrom melalui oksidasi sebelum dilakukan proses pembuatan baja. Feronikel yang ditambahkan disesuaikan dengan kandungan nikel yang terdapat dalam nikel ferokrom.

Berdasarkan struktur kristalnya, baja tahan karat dikelompokkan menjadi lima yaitu baja tahan karat austenitik, baja tahan karat feritik, baja tahan karat martensitik, baja tahan karat dupleks, dan baja tahan karat pengerasan pengendapan. Baja tahan karat austenitik adalah baja yang mempunyai ketahanan korosi baik, sifat mampu bentuk, dan sifat mampu las serta bersifat non feromagnetik. Pada suhu rendah sering dimanfaatkan dalam aplikasi kriogenik. Baja tahan karat austenitik yang mengandung kromium dan nikel diberi nomor seri 300 dan seri 200 untuk kromium, nikel, dan mangan. Meskipun stainless steel merupakan baja tahan karat, tetapi masih dapat terserang korosi. Korosi yang terjadi dapat berupa korosi batas butir (*intergranular corrosion*), korosi lubang (*crevice corrosion*), korosi sumuran (*pitting corrosion*), dan korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*). Untuk mengetahui ketahanan austenitic stainless steel terhadap korosi sebagai bahan

konstruksi, perlu dilakukan penelitian mengenai korosi dari stainless steel tersebut. Penelitian mengenai korosi dilakukan dengan cara mereaksikan dan merendam stainless steel 316 L dalam media korosif seperti larutan Asam Klorida (HCL).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa cepat laju korosi pada Stainless steel 316 L ketika direndam menggunakan Asam Klorida (HCL)

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dan asumsi pada penelitian ini adalah:

1. Material yang diuji adalah baja stainless steel 316 L
2. Media pengorosan pada penelitian ini adalah dengan Larutan Asam klorida (HCL)
3. Benda uji yang digunakan berupa material yang telah dipotong dari sebuah plat Stainless steel 316 L dengan dimensi : P = 30 mm, L = 25 mm, T = 2 mm
4. Pencampuran antara HCL dengan Aquades, dengan komposisi 40 % HCL + 60% Aquades Larutan A, 50% HCL + 50% Aquades Larutan B, dan 60% HCL + 40%Aquades Larutan C
5. Variasi waktu perendaman adalah 1,2,3,4, minggu

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Menghitung nilai laju korosi (mpy) pada stainless steel 316 L didalam larutan Asam Klorida (HCL)
2. Untuk mengetahui perbandingan berat korosi dengan variasi larutan yang telah ditentukan

3. Mendapatkan nilai kekasaran dari permukaan pada stainless steel 316 L setelah terjadi korosi

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai nilai laju korosi (mpy) pada stainless steel 316 L Menggunakan Larutan Asam Klorida (HCL)
2. Memberikan informasi mengenai nilai Kekasaran stainless steel 316 L sebelum dan setelah korosi
3. Sebagai bahan pembelajaran bagi Mahasiswa lain mengenai laju korosi untuk dijadikan acuan penelitian berikutnya

1.6 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Menggunakan metode kehilangan massa untuk menguji laju korosi bahan.
2. Metode uji kekasaran Permukaan untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan pada stainless steel 316 L
3. Metode grafik untuk mendapatkan hubungan antara laju korosi dan kekasaran permukaan pada stainless steel 316 L yang direndam dalam Larutan Asam Klorida (HCL)

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini di sajikan dalam tulisan yang terdiri dari 5 bab.

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai tugas akhir yang meliputi, pembahasan tentang Latar belakang, Rumusan masalah, Batasan masalah, Tujuan penelitian, Manfaat penelitian Metode penelitian, Sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Landasan teori yang berisi tentang definisi korosi, bentuk-bentuk korosi, laju korosi, dan pengujian berat.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang bahan spesimen yang digunakan, variable penelitian, langkah-langkah penelitian secara metode analisis data.

BAB IV : DATA DAN ANALISA HASIL

Berisikan penyajian hasil data dan pembahasan yang di peroleh dari pengujian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan jawaban dari tujuan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II TINJAUAN

PUSTAKA

2.1 Baja

Baja adalah paduan besi (Fe) dengan karbon (C) dimana kandungan karbonnya tidak melebihi 2 %. Baja merupakan paduan multi komponen (unsur) yang disamping besi (Fe) dan karbon (C) selalu diikuti unsur-unsur lain seperti phosphor (P), sulfur (S), silicon (Si), mangan (Ma), oksigen (O), hydrogen (H) dan nitrogen (N).

Unsur-unsur pada baja terjadi karena suka dipisahkan atau sengaja dimasukkan sewaktu peleburan baja dengan tujuan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Dalam kehidupan sehari-hari baja banyak digunakan baik untuk keteknikan maupun untuk ornament karena:

1. Tangguh dan ulet
2. Mudah dibentuk baik dalam keadaan panas maupun dalam keadaan dingin
3. Mudah diproses baik melalui pengecoran, pemesinan maupun tempa
4. Sifat-sifatnya akan berubah dengan mengubah kandungan karbonnya atau melalui perlakuan panas.

Ditinjau dari kandungan karbonnya, baja karbon diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah yaitu baja yang kandungan karbonnya 0,025 % - 0,30%, mempunyai kekerasan yang rendah, kuat tarik, dan batas luluh yang agak rendah akan tetapi mempunyai regangan yang tinggi. Baja ini tidak dapat dikeraskan namun mempunyai mampu las lebih baik dan mampu lapis tinggi dengan tampak rupa yang mengkilap.

Jenis baja ini kebanyakan berbentuk plat, strip, batangan dan profil, digunakan pada umumnya untuk keperluan konstruksi.

2. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang mempunyai kandungan karbon 0,31-0,60%. Kekerasan lebih baik/tinggi dibanding dengan baja karbon rendah karena kandungan karbonnya tinggi. Kuat tarik dan batas luluh lebih tinggi, regangan rendah dan dapat dikeraskan dan dilapis dengan baik. Banyak digunakan untuk komponen-komponen mesin seperti baut, poros, poros engkol dan batang penggerak.

3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) mengandung kadar karbon antara 0,61% 2,0% C. Baja ini mempunyai kekuatan yang tinggi dan banyak digunakan untuk material *tools*. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti: palu, gergaji atau pahat potong. Selain itu baja jenis ini banyak digunakan untuk keperluan industri lain seperti pembuatan kikir, pisau cukur, mata gergaji dan lain sebagainya.

2.1.1 Berdasarkan Komposisi

Prakteknya baja terdiri dari beberapa macam yaitu:

a. Baja Karbon

Baja Karbon (*Carbon Steel*) Terdiri atas beberapa unsur, yang paling utama adalah karbon (C), unsur yang lainnya yaitu Si (dari batu tahanapi), Mn, S dan P dari (kokas untuk *Carbon Enrichment*, S dan P Maksimum 0,05%).

Beberapa macam baja karbon, yaitu:

- Baja karbon rendah
- Baja karbon medium
- Baja karbon tinggi

Sebagian kelompok baja didesain untuk laku panas dalam daerah *austenit*, disusul dengan pendinginan dan dekomposisi austenit secara langsung atau tak langsung membentuk *ferrit* dan *karbida*. Bila bajahnya mengandung besi dan karbon, paduannya disebut baja karbon.

b. Baja Paduan

Baja paduan (*Alloy Steel*) adalah campuran antara baja karbon dengan unsur-unsur lain yang akan mempengaruhi sifat-sifat baja misalnya sifat kekerasan, liat, kecepatan membeku, titik cair, dan sebagainya yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas dan kemampuannya. Penambahan unsur - unsur lain dalam baja karbon dapat dilakukan dengan satu unsur atau lebih, tergantung dari karakteristik atau sifat khusus yang dikehendaki. Unsur - unsur paduan untuk baja ini dibagi dalam dua golongan yaitu:

1. Unsur yang membuat baja menjadi kuat dan ulet, dengan menguraikannya ke dalam *ferrite* (misalnya Ni, Mn, sedikit Cr dan Mo). Unsur ini terutama digunakan untuk pembuatan baja konstruksi.
2. Unsur yang bereaksi dengan karbon dalam baja dan membentuk karbida yang lebih keras dari sementit (misalnya unsur Cr, W, Mo, dan V) unsur ini terutama digunakan untuk pembuatan baja perkakas.

Stainless steel merupakan salah satu jenis dari baja paduan tinggi. *Stainless steel* mempunyai kandungan unsur krom minimal 10% untuk mendapatkan sifat tahan korosi. Unsur tambahan yang lain pada *stainless steel* adalah Ni, Mo, Al, Cu, Ti, C, dan Nb. *Stainless steel* dibagi ke dalam 5 kelompok, yaitu: *austenitik*, *ferritik*, *martensitik*, *dupleks*, dan *pengerasan presipitasi*.

Penambahan molibdenum meningkatkan ketahanan korosi dalam mengurangi asam dan melawan serangan *pitting* dalam larutan klorida. Dengan demikian, ada banyak tingkatan baja tahan karat dengan berbagai kandungan kromium dan molibdenum yang sesuai dengan lingkungan yang harus ditanggung oleh paduan tersebut. Ketahanan terhadap korosi dan pewarnaan, perawatan yang rendah, dan kilau yang akrab membuat *stainless steel* bahan yang ideal untuk banyak aplikasi di mana kekuatan baja dan ketahanan korosi diperlukan.

2.1.2 Pengaruh Unsur Paduan Baja

Sifat baja tergantung pada unsur - unsur yang terkandung didalamnya. Unsur- unsur paduan ditambahkan untuk mengurangi sifat yang tidak diinginkan pada baja karbon dan memperbaiki atau menambah sifat lain yang dikehendaki. Pengaruh dari beberapa unsur paduan terhadap sifat baja paduan dikemukakan dibawah ini.

a. Karbon (C)

Pada baja - baja perkakas, persentase karbon antara 0,1 - 0,6 %. Karbon juga merupakan unsur penting yang mempengaruhi harga kekerasan dalam pembentukan fasa martensit. Selain itu kenaikan kandungan karbon akan berpengaruh pada kekuatan tarik (*tensile strength*), menurunkan keuletan (*ductility*) dan sifat mampu las (*weldability*).

b. Mangan (Mn)

Semua baja mengandung mangan karena sangat diperlukan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan kurang lebih 0,6% masih belum dikatakan paduan dan tidak memengaruhi sifat baja. Dengan bertambahnya kandungan mangan suhu kritis seimbang. Baja dengan 12% Mn adalah austenit karena itu suhu kritisnya dibawah suhu kamar akibatnya baja tidak dapat diperkeras. Unsur ini dapat berfungsi sebagai *deoksidasi* dari baja dan dapat mengikat sulfur dengan

membentuk senyawa yang titik cairnya lebih tinggi dari titik cair baja. Dengan demikian akan dapat mencegah pembentukkan Fe, S, yang titik cairnya lebih rendah dari titik cair baja. Akibatnya kegetasan pada suhu tinggi dapat dihindari, disamping itu menguatkan fasa ferit.

c. Silikon (Si)

Silikon berfungsi sebagai deoksidasi, silikon juga dapat menaikkan *hardenability* dalam jumlah sedikit, tetapi dalam jumlah yang banyak akan menurunkan keuletan. Biasanya unsur-unsur kimia lainnya seperti mangan, molybdenum dan chromium akan muncul dengan adanya silikon. Kombinasi silikon dengan unsur - unsur tersebut akan menambah kekuatan dan ketangguhan dari baja.

d. Kromium (Cr)

Kromium ditemukan dalam jumlah yang banyak pada baja - baja perkakas dan merupakan elemen penting setelah karbon. Kromium merupakan salah satu unsur pembentuk karbida dan dapat meningkatkan ketahanan korosi dengan membentuk lapisan oksida di permukaan logam.

e. Nikel (Ni)

Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis, memperbaiki kekuatan tarik, tahan korosi. Menaikkan ketangguhan atau ketahanan terhadap beban benturan (*impact*).

f. Vanadium (V)

Vanadium dalam baja - baja perkakas berperan sebagai salah satu unsur pembentuk karbida. Vanadium juga merupakan unsur penyetabil martensit. Pada saat proses temper, karbida vanadium berada di batas butir *ferrit*. Hal ini akan menaikkan harga kekerasan. Biasanya terjadi pada temperatur temper 500 - 600°C. Vanadium dapat menurunkan *hardenability* karena karbida yang terbentuk dapat

menghambat pengintian dan pertumbuhan butir *austenit*. Tetapi pada temperature tinggi, dimana karbida vanadium larut, unsur ini dapat meningkatkan *hardenability*.

g. Molybdenum (Mo)

Unsur ini dapat menguatkan fasa ferit dan menaikkan kekuatan baja tanpa kehilangan keuletan. Molybdenum juga dapat berfungsi sebagai penyetabil karbida, sehingga mencegah pembentukan grafit pada pemanasan yang lama. Karena itu penambahan Molybdenum kedalam baja dapat menaikkan kekuatan dan ketahanan terhadap *creep* pada suhu tinggi.

h. Tungsten (W)

Tungsten juga merupakan salah satu unsur pembentuk karbida kompleks pada baja baja perkakas. Karbida kompleks ini terbentuk dengan adanya pendinginan yang sangat lambat. Karbida ini bersifat meningkatkan kekerasan dan kekuatannya.

i. Sulfur (S)

Sulfur dapat membuat baja menjadi getas pada temperatur tinggi, oleh karena itu dapat merugikan baja yang digunakan pada suhu tinggi. Umumnya kadar sulfur harus dikontrol serendah-rendahnya, yaitu kurang dari 0,05%.

j. Phospor (P)

Phospor dalam jumlah besar dalam baja dapat menaikkan kekuatan dan kekerasan, tetapi juga menurunkan keuletan dan ketangguhan impact. Pada baja konstruksi kandungan phosphor dibatasi dengan kandungan maksimum yang biasanya tidak lebih dari 0,05%.

2.2 Stainless Steel

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% krom berdasarkan beratnya. *Stainless steel* memiliki sifat tidak mudah terkorosi sebagaimana logam baja yang lain. *Stainless steel* berbeda dari baja biasa dari kandungan kromnya. Baja karbon akan terkorosi ketika diekspos pada udara yang lembab. Besi oksida yang terbentuk bersifat aktif dan akan mempercepat korosi dengan adanya pembentukan oksida besi yang lebih banyak lagi. *Stainless steel* memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut. Untuk memperoleh ketahanan yang tinggi terhadap oksidasi biasanya dilakukan dengan menambahkan krom sebanyak 13 hingga 26 persen. Lapisan pasif *chromium (III) oxide* (Cr_2O_3) yang terbentuk merupakan lapisan yang sangat tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak akan mengganggu penampilan dari *stainless steel* itu sendiri. Dari sifatnya yang tahan terhadap air dan udara ini, *stainless steel* tidak memerlukan suatu perlindungan logam yang khusus karena lapisan pasif tipis ini akan cepat terbentuk kembali ketika mengalami suatu goresan. Peristiwa ini biasa disebut dengan pasivasi, yang dapat dijumpai pula pada logam lain misalnya aluminium dan titanium. Ada berbagai macam jenis dari *stainless steel*. Ketika nikel ditambahkan sebagai campuran, maka *stainless steel* akan berkurang kegetasannya pada suhu rendah. Apabila diinginkan sifat mekanik yang lebih kuat dan keras, maka dibutuhkan penambahan karbon. Sejumlah unsur mangan juga telah digunakan sebagai campuran dalam *stainless steel*. *Stainless steel* juga dapat dibedakan berdasarkan struktur kristalnya menjadi: *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, *precipitation-hardening stainless steel*, dan *duplex stainless steel*.

2.2.1 Jenis Stainless Steel

Klasifikasi American Iron and Steel Institute (AISI) untuk stainless steel adalah:

AISI Classification Series

Major Alloying Elements

200Series	Cr-Ni-Mn
300 Series	Cr-Ni
400 Series	Cr

Kelima jenis atau klasifikasi utama dari *stainless steel* adalah:

Classification

AISI Series

Austenitic

200 and 300 Series Ferritic

Some of the 400 Series Martensitic

Some

of the 400 Series Duplex Precipitation-Hardening

Setiap jenis digambarkan oleh struktur metalurgi yang ada pada temperature ruangan. Sebagian besar logam dasar *stainless steel* tersedia dalam berbagai bentuk, diantaranya:

(1) Tempa (*Wrought*)

- Pelat, lembaran (*Plate, sheet*)
- Pipa, tabung (*Pipe, tube*)
- Bar, kawat (*Bar, wire*)
- Tempa (*Forgings*)

(2) Cor (*Cast*)

Catatan: Seri 500 baja secara teknis tahan panas, tidak tahan terhadap korosi, karena mengandung kromium kurang dari 10,5%. Namun, mereka sering diklasifikasikan dengan logam dasar tahan korosi dan logam pengisi.

Pada tabel berikut, *stainless steel* dicantumkan oleh jenis AISI (mis., 304). Tabel tersebut juga mencantumkan nomor *Unified Numbering System* (UNS) untuk berbagai *stainless steel*. Nomor UNS termasuk "S" untuk *stainless steel* tempa. Jumlahnya biasanya termasuk tipe yang umum nomor, seperti UNS S30400 untuk Tipe 304; S30403 untuk Tipe 304L, dll Beberapa *stainless steel* superaustenitik sebenarnya diklasifikasikan sebagai paduan nikel dan memiliki sebutan UNS "N" (lihat Tabel 2-3). *Stainless steel* memiliki penunjukan UNS "J".

2.2.2 Austenitik Stainless Steel

Mayoritas *stainless steel* yang digunakan adalah *stainless steel* austenitik, yang mengandung kira-kira 16-25 wt.% Chromium dan 7-35 wt.% Nikel. Seri 300 austenitik adalah paduan besi-kromium-nikel, sedangkan seri 200 juga mengandung mangan dan nitrogen untuk menggantikan beberapa nikel. Baja ini diberi nama untuk struktur kubik berpusat muka (*facecentered cubic* / FCC) yang hadir pada suhu kamar, yang disebut austenit. Beberapa sifat *stainless steel* ini (dengan beberapa pengecualian) meliputi:

- 1) Nonmagnetik.
- 2) ketahanan korosi baik.
- 3) Tidak dapat diberikan perlakuan panas (tidak diproses dengan panas untuk meningkatkan kekuatan atau kekerasan).
- 4) Bisa diperkuat hanya dengan proses pendininan.
- 5) Daktilitas dan ketangguhan yang baik pada suhu rendah dan tinggi (nikel memberikan sifat kriogenik yang baik).
- 6) Kemampuan kurang baik terhadap:

- Stress korosi retak
- Korosi pitting
- *Crevice corrosion*

Komposisi kimia dari *stainless steel* austenitik disediakan dalam Tabel 2-1-2-3.

Stainless steel yang paling umum digunakan adalah austenitik tempa pada Tabel 2.1. Tipe 302 adalah paduan austenitik 18Cr-8Ni dasar. Tipe 304 memiliki kandungan kromium dan nikel yang lebih tinggi untuk meningkatkan ketahanan korosi. Meskipun Tipe 316 memiliki kromium yang lebih rendah, kandungan nikel yang lebih tinggi, ditambah penambahan molibdenum memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap korosi pitting, korosi celah, dan retak korosi (terutama pada lingkungan chlo-ride).

Nilai "L" (mis., 304L dan 316L) mengandung kandungan karbon rendah, sehingga cenderung tidak peka atau menghasilkan korosi intergranular. Nilai "H" (mis., 304H dan 316H) memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi untuk kekuatan yang lebih besar pada suhu tinggi.

Ada banyak *stainless steel* austenitik dengan komposisi yang serupa dengan *stainless steel* tempa, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2. Sebagai contoh, paduan penunjukan CF-8 adalah setara cor Tipe 304 dan CF-3M adalah setara cor Jenis 316L. "C" menunjukkan tahan korosi, 8 menunjukkan karbon maksimum 0,08%, yang 3 menunjukkan 0,03% mobil maksimum, dan M menunjukkan molibdenum.

Stainless steel superaustenitik pada Tabel 2.3 mengandung kadar kromium, nikel, dan molibdenum yang lebih tinggi, dengan kadar karbon dan nitrogen yang jauh lebih rendah (seperti Tipe 904L). Ini memberikan ketahanan korosi yang lebih baik pada lingkungan tertentu, seperti ketahanan pitting dan stress - korosi retak yang meningkat pada klorida.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia jenis Baja Austenitik Tempa pada stainless steel.

Type	UNS Number	Composition, wt.% ^a							
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Other
301	S30101	0.15	5.5-7.5	1.00	16.0-18.0	10.5-13.5	0.045	0.03	0.02 Ni
302	S30201	0.15	7.5-10.0	1.00	17.0-19.0	11.0-13.0	0.045	0.03	0.02 Ni
301L	S30103	0.15	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-13.0	0.045	0.02	—
302L	S30203	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	10.0-13.0	0.045	0.02	—
304	S30401	0.15	2.00	2.0-3.0	17.0-19.0	9.0-10.0	0.045	0.02	—
304L	S30403	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-10.0	0.045	0.02	0.03 Nb
304LN	S30451	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-10.0	0.045	0.02	0.03 Nb
309	S30901	0.15	2.00	1.00	22.0-24.0	13.0-15.0	0.045	0.02	0.03 Nb
310	S31001	0.15	2.00	1.00	24.0-26.0	14.0-16.0	0.045	0.02	0.03 Nb
316	S31601	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.02	0.03 Nb
316L	S31603	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.02	0.03 Nb
316LN	S31651	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.02	0.03 Nb
317	S31701	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-13.0	0.045	0.02	0.03 Nb
317L	S31703	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-13.0	0.045	0.02	0.03 Nb
321	S32101	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.02	0.03 Nb
321H	S32102	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.02	0.03 Nb
347	S34701	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.02	None
347H	S34702	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.02	0.03 Nb
350	S35001	0.10	3.00	1.00	19.0-21.0	11.0-13.0	0.045	0.03	—

Catatan:

- a. Nilai tunggal adalah persentase maksimum kecuali jika dinyatakan lain.
- b. Persentase yang lebih tinggi diperlukan untuk proses pembuatan tabung tertentu.
- c. 10 ×% C (Nb + Ta) min.
- d. 0,10% Ta maks.

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia jenis Baja Austenitik pada stainless steel.

Alloy Designation	UNS Number	Similar Weight Type ^a	Composition, wt.% ^a					
			C	Mn	Cr	Ni	Nb	Other
CB-3J	J30423	312	0.30	2.0	25-30	8-11	—	—
CV-3	J32701	304L	0.05	2.0	17-21	8-12	—	—
CV-301	J33801	316L	0.03	1.5	17-21	9-13	3.0-3.5	—
CV-8	J32601	304	0.03	2.0	18-21	8-11	—	—
CV-8L	J32701	307	0.05	2.0	18-21	9-12	—	None
CV-301L	J33901	316	0.04	1.5	18-21	9-13	2.0-3.0	—
CV-12M	—	316	0.02	1.2	18-21	9-12	2.0-3.0	—
CV-16L	J32701	307	0.05	2.0	18-21	9-13	1.5	0.03-0.15 Nb
CV-20	J32602	302	0.21	2.0	18-21	8-11	—	—
CV-28M	—	317	0.05	1.5	18-21	9-13	3.0-4.0	—
CV-30	J34402	309	0.21	2.0	22-26	12-15	—	—
CV-20	J30201	310	0.31	2.0	21-27	10-13	—	—
CV-30H	J30123	—	0.07	1.2	18-22	27.0-30.0	2.0-2.5	3-4Cu
HF	J32101	—	0.7-0.5	3.0	26-30	8-11	0.5	—
HF	J32601	304	0.2-0.4	2.0	17-21	9-12	0.3	—
HH	J33501	309	0.2	—	—	—	0.5	—
HH	J34001	—	0.2-0.5	2.0	20-30	14-18	0.5	—
HK	J34224	310	0.2-0.6	2.0	24-28	18-22	0.5	—
HH	J34001	—	0.7-0.6	3.0	26-30	18-22	0.3	—
HN	J32111	—	0.7-0.5	3.0	24-31	21-27	0.5	—
HF	—	—	0.25-0.75	2.0	24-28	20-27	0.5	—
HT	J34001	310	0.35-0.75	2.5	18-24	25-30	0.5	—
HH	—	—	0.25-0.75	2.5	17-21	27-41	0.5	—

Catatan:

- a. Nilai tunggal adalah persentase maksimum. 1,50% Mn max untuk tipe CX-XX. 2,0% Mn max untuk tipe HX. 0,04% P max (terkecuali: CF-16F memiliki P max 0,17%). 0,04% S maks.
- b. Komposisi serupa tapi tidak persis sama dengan jenis cor.
- c. $8 \times \% C Nb$, 1,0% Nb max, atau $9 \times \% C (Nb + Ta)$, 1,1% (Nb + Ta) maks.

Tabel 2. 3 Komposisi Kimia jenis Super austenitik pada stainless steel.

Alloy ^a	UNS Number	Nominal Composition, wt.-% ^b										Other Element
		C	Cr	Ni	Mn	Cu	Mo	N	Si	P	S	
20 Cr30	N08101	0.07	19-21	25-28	3-7	1-4	2.0	—	1.0	0.035	0.035	8.5% (C+Nb+Ta)
20 Mo6	N08105	0.03	20-22	25-27	5-8.7	1-4	1.0	—	1.0	0.030	0.030	—
SANICRO™ 20	N08101	0.03	20-21	24.5-27.5	3-4	0.6-2.4	2.5	—	1.0	0.030	0.030	—
AL-6XN [®]	N08260	0.03	21-22	23.5-25.5	6-7	0.75	2.0	0.18-0.25	1.0	0.040	0.030	—
25-6MO	N08700	0.04	19-21	20-24	4.3-5.0	0.5	2.0	—	1.0	0.040	0.030	8.5% (C+Nb+Ta)
JS4L	N08904	0.02	19-22	25-28	4-8	1-2	2.0	—	1.0	0.045	0.035	—
19-9Mo 25-6MO™	N08905	0.03	19-21	25-28	6-7	0.8-1.5	1.0	0.18-0.25	1.0	0.045	0.030	—
254SMO™	S31254	0.02	19.5-20.8	17.5-18.5	4.0-6.5	0.5-1.0	1.0	0.18-0.22	1.0	0.030	0.030	—
317LM	S31725	0.03	18-20	15-17	4-5	—	1.0	—	0.75	0.045	0.030	—
317L-1LN	S31726	0.03	17-20	13.5-17.2	4-5	—	1.0	0.10-0.20	0.75	0.030	0.030	—

Catatan:

- a. AL-6XN adalah merek dagang terdaftar dari *Allegheny Ludlum Corporation*. 20 Cr3 dan 20 Mo6 adalah merek dagang dari *Carpenter Technology Corporation*; SANICRO adalah merek dagang terdaftar dari *AB Sandvik Steel*; 25-6MO adalah merek dagang INCO; JS adalah merek dagang *Jessop Steel*; dan 254SMO adalah merek dagang *Avesta Jernwerke AB*.
- b. Nilai tunggal adalah persentase maksimum; keseimbangan adalah Fe.

2.2.3 Feritik Stainless Steel

Stainless steel feritik adalah paduan besi-kromium yang mengandung kira-kira 11-30 wt.% Kromium dan kadar karbon rendah. Nama mengacu pada struktur cubic (BCC) berpusat pada tubuh yang hadir pada suhu kamar, yang disebut ferit. Beberapa sifat dari *stainless steel* ini meliputi:

- (1) Ferromagnetik.
- (2) ketahanan korosi umum menengah.
- (3) Ketahanan retak korosi yang lebih baik daripada austenitik.

- (4) ketahanan korosi pitting dan celah yang baik.
- (5) Tidak diberikan perlakuan panas (dengan pendinginan dan tempering).
- (6) Menurunkan kekuatan dan ketangguhan dari pada austenitik.
- (7) Daktilitas yang baik.

Komposisi kimia dari *stainless steel* jenis feritik disediakan dalam Tabel 2.4 dan 2.5.

Stainless steel feritik yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 mencakup campuran tempa dan tempa. Paduan ini pada dasarnya tidak mengandung nikel, namun memiliki kandungan chro-mium dari tingkat terendah yang diijinkan pada *stainless steel* (Tipe 409) sampai tingkat yang sangat tinggi (29-4-2). Beberapa paduan ini mengandung kadar karbon moderat (Tipe 430) dan bisa membentuk martensit, meski kebanyakan hanya berbentuk ferit.

Stainless steel superferitik yang ditunjukkan pada Tabel 2.5 memiliki kadar kromium yang lebih tinggi, dengan beberapa molibdenum dan secara signifikan menurunkan bobot mobil. Paduan ini memberikan ketahanan korosi yang jauh lebih baik, terutama di lingkungan klorida.

Tabel 2. 4 Komposisi Kimia jenis Feritik pada Stainless steel.

Composition, wt.5%									
Type	UNS/Notation	C	Mn	Ni	Cr	Ni	P	S	Others
Weight Alloys									
432	S40200	0.04	1.00	1.00	11.5-14.5	—	0.04	0.03	0.20-0.30 Al
436	S40600	0.09	1.00	1.00	10.5-11.75	—	0.035	0.025	Ti, 6.0-8.0 max.
439	S41000	0.15	1.00	1.00	14.0-16.0	—	0.04	0.04	—
430	S40300	0.12	1.00	1.00	12.0-18.0	—	0.04	0.03	—
430Ti	S41001	0.11	1.00	1.00	10.0-10.5	0.75	0.04	0.03	Ti, 5.0-9.0 min; 0.75 max
434	S40400	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0	—	0.04	0.03	0.75-1.25 Mo; 0.50-2.0 Nb; 0.50-0.8 Ti max
435	S40500	0.12	1.00	1.00	14.0-16.0	—	0.04	0.03	0.15-0.30 max; 0.04 N max
438	S41005	0.07	1.00	1.00	15.0-16.0	0.50	0.04	0.04	Ti, 0.30 + 0.05(Cr - 8Ni) max; 1.00 max
442	S44200	0.25	1.00	1.00	16.0-25.0	—	0.04	0.03	Ti, 0.20-4.75C; 0.50-0.80
444	S44400	0.025	1.00	1.00	17.5-19.5	1.00	0.04	0.03	1.75-2.5 Mo; 0.025 N max; (Nb+Ti) 0.2-1.1 (Cr - 8Ni) min
130	S31600	0.01	1.50	1.00	13.0-17.0	—	0.03	0.04	0.75 N
25-1	S44625	0.009	0.70	0.70	23.0-25.0	0.25	0.01	0.030	0.75-1.20 Mo; 0.20-1.0 Ti; 0.04 N; 0.2 Cu
25-4	S31301	0.010	0.30	0.40	19.0-20.0	0.15	0.01	0.030	0.50-0.70 Mo; 0.30-0.50 N; 0.15 Cu
234-2	S44900	0.010	0.20	0.30	23.0-30.0	2.0-2.5	0.02	0.030	2.0-4.2 Mo; 0.30-0.60, 0.15 Cu
Coating Alloys									
CS-50	19C802	0.50	1.50	1.00	18.0-21.0	2.0	0.04	0.04	—
CS-50	19C616	0.50	1.50	1.00	35.0-30.0	3.0	0.04	0.04	—

Catatan:

- a. Nilai tunggal adalah maksimum.
- b. Sebagian besar produsen sekarang dapat membuat karbon rendah dengan karbon 0,02%

Tabel 2. 5 Komposisi Kimia jenis Super Feritik pada Stainless steel.

Alloy ^a	UNS Number	Nominal Composition, wt.-% ^b						Other Elements
		C	Cr	Mn	Ni	N	Mo	
E-BRITE [®]	S44726	0.010	20-21	0.02-1.5	0.30	0.012	0.4	0.02-0.20 Nb
MOBILITY [®]	S31605	0.025	24.5-26	1.5-1.5	1.5-1.5	0.015	1.0	(0.50 + 4[C + N]) × (Ni + Ti) × 0.04
SEA-CURE [®]	S31600	0.035	25-27	1.5-1.5	1.5-1.5	0.015	1.0	(0.70 + 4[C + N]) × (Ni + Ti) × 0.04
AL 29-4 [®]	S44700	0.010	28-30	2.2-4.2	0.10	0.020	0.2	
AL 29-4C [®]	S31715	0.010	28-30	1.6-4.7	1.0	0.015	1.0	Mo - Ni = (Mo - Ti) × 1.1
AL 29-4C2 [®]	S44900	0.010	28-30	2.2-4.2	2.0-2.2	0.020	0.2	
SHOMAC [®] S42	---	0.005	28	1.0	0.5	0.005	0.05	

Catatan:

- a. E-BRITE, AL 29-4, AL 29-4-2, dan AL 29-4C adalah merek dagang terdaftar dari *Allegheny Ludlum Corporation*; SEA-CURE adalah merek dagang terdaftar dari *Crucible Materials Corporation*; SHOMAC adalah merek dagang terdaftar dari *Showa Denko KK*. Monit adalah merek dagang *Nyby Uddeholm AB*.
- b. Nilai tunggal adalah persentase maksimum; keseimbangan adalah Fe. c. Nilai tipe.

2.2.4 Martensitik Stainless steel

Stainless steel martensitik adalah paduan besi-kromium dengan kromium 11-17 wt% dan cukup banyak karbon (0,1-1,2 wt.%) Untuk menghasilkan beberapa martensit pada pendinginan. Martensit ini adalah struktur tetragonal (BCT) berpusat pada tubuh yang terbentuk saat *stainless steel* ini dipadamkan (didinginkan dengan cepat), seringkali bila didinginkan di udara. Beberapa sifat dari *stainless steel* ini meliputi:

- (1) Ferromagnetik.
- (2) Ketahanan korosi terendah.
- (3) Dapat diberlakukanaskan (bisa diperkuat dengan pendinginan).

- (4) Kekuatan tinggi.
- (5) Duktilitas dan ketangguhan terendah.
- (6) Resistansi oksidasi suhu tinggi.

Ketika baja ini dipadamkan dari suhu tinggi, martensit diproduksi, yang memberi kekuatan dan kekerasan tinggi pada baja. Karena baja juga menjadi sangat rapuh dan terkena retak dingin (atau hidrogen), mereka sering marah setelah pendinginan. Proses ini meningkatkan keuletan (mengurangi kerapuhan), meskipun kekuatan dan kekerasan agak berkurang.

Komposisi kimia *stainless steel* jenis martensitik disediakan pada Tabel 2.6.

2.2.5 Duplex Stainless Steel

Baja anti karat dupleks adalah paduan besi-kromium-nikel yang mengandung 23-30 wt.% Chromium dan 2-7 wt.% Nikel, ditambah unsur lainnya. Karena *stainless steel* ini memiliki dua fase yang ada pada suhu kamar, ferit dan austenit, keduanya disebut dupleks.

Beberapa sifat baja tahan-noda ini meliputi:

- (1) Sebagian bersifat magnetis.
- (2) Ketahanan korosi umum yang baik.
- (3) Ketahanan retak korosi yang lebih baik daripada austenitik.
- (4) Ketahanan korosi pitting lebih baik daripada austenitik.
- (5) Ketahanan korosi intergranular yang lebih baik daripada austenitik.
- (6) Kekuatan lebih tinggi dari pada austenitik.

Komposisi kimia dari *stainless steel* dupleks disediakan pada Tabel 2.7.

Pengendapan-Pengerasan Stainless Steel

Stainless steel presipitasi adalah paduan besi-kromium-nikel yang memiliki unsur lain yang ditambahkan untuk membentuk endapan. Selama perlakuan panas *postweld*, konstituen ini mengendap dan secara dramatis meningkatkan kekerasan, sehingga pengerasan presipitasi nama. Beberapa sifat dari *stainless steel* ini meliputi:

- (1) ketahanan korosi menengah.
- (2) Kekuatan sangat tinggi (bila diolah panas).

Bergantung pada komposisi mereka, paduan ini bisa menjadi salah satu dari tiga jenis seperti ditunjukkan pada Tabel 2.8:

- (1) Martensitik.
- (2) Semiaustenitik (strukturnya austenit dengan beberapa ferit dan / atau martensit).
- (3) Austenitik.

Stainless steel pengerasan presipitasi memerlukan perlakuan panas dua tahap untuk mendapatkan sifat terbaik. Yang pertama adalah larutan anneal pada suhu tertentu 1900-2200 °F (1038-1204 ° C) diikuti dengan pendinginan. Ini menghasilkan berbagai struktur yang tercantum di atas. Kemudian baja tersebut telah lama menjadi penyebab presipitat tembaga, nikel, titanium atau unsur lainnya terbentuk, yang secara dramatis meningkatkan kekuatannya.

Komposisi kimia dari *stainless steel* presipitasi tipikal disediakan pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Komposisi Kimia jenis Martensitik pada Stainless steel.

Composition, wt.-%									
Type	UNS Number	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Other
Weight Alloys									
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5-13.0	—	0.02	0.02	—
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5-13.0	—	0.04	0.02	—
414	S41400	0.13	1.00	1.00	11.5-13.3	1.25-2.50	0.04	0.02	—
418	S41800	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0	—	0.04	0.15 max	—
420	S42000	0.15 max	1.00	1.00	12.0-14.0	—	0.04	0.02	—
422	S42200	0.20-0.23	1.00	0.75	11.0-13.0	0.5-1.0	0.025	0.025	0.75-1.25 Mo; 0.75-1.25 W; 0.15-0.1 V
431	S43100	0.20	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.02	—
440A	S44002	0.60-0.73	1.00	1.00	16.0-18.0	—	0.04	0.02	0.75 Mo
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0	—	0.04	0.02	0.75 Mo
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0	—	0.04	0.02	0.75 Mo
Casting Alloys									
CA-6NM	J91540	0.06	1.00	1.00	11.5-14.0	3.5-4.3	0.04	0.02	0.40-1.0 Mo
CA-15	J91150	0.12	1.00	1.30	11.5-14.0	3.0	0.04	0.02	0.5 Mo
CA-40	J91153	0.20-0.40	1.00	1.30	11.5-14.0	3.0	0.04	0.02	0.5 Mo

Catatan:

- a. Nilai tunggal adalah persentase maksimum.

Tabel 2. 7 Komposisi Kimia jenis Duplex pada Stainless steel.

Composition, wt.-%							
Alloy	UNS Number	C	Cr	Mn	Ni	N	Other Elements
328	S32800	0.04	23.0-26.0	2.5-5.0	1.0-2.0	—	—
441 N	S44100	0.03	24.0-26.0	5.5-6.5	7.2-2.0	0.14-0.25	—
10S	S31000	0.03	23.0-28.0	2.5-5.0	7.5-12.5	0.10-0.30	0.20-0.80 Cu; 0.10-0.50 W
2205	S31802	0.03	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-5.5	0.06-0.20	—
304	S30400	0.03	21.5-23.5	1.0-2.0	9.0-10.5	0.05-0.20	—
304L	S30403	0.03	21.0-23.0	1.0-2.0	9.0-10.5	0.05-0.20	—
309	S30900	0.04	24.0-27.0	4.5-6.5	2.5-3.5	0.10-0.25	1.5-2.0 Cu
310	S31000	0.03	24.0-26.0	4.0-6.0	1.0-2.0	0.10-0.15	—
310S	S31003	0.03	24.0-26.0	3.0-6.0	3.0-4.0	0.2-0.5	0.5-1.0 Cu; 0.5-1.0 W
316	S31600	0.03	18.0-20.0	1.0-2.0	10.0-14.0	0.05-0.10	—
316L	S31603	0.03	18.0-20.0	1.0-2.0	10.0-14.0	0.05-0.10	—
316LN	S31605	0.03	18.0-20.0	1.0-2.0	10.0-14.0	0.05-0.10	—
317	S31700	0.03	20.0-22.0	1.0-2.0	12.0-15.0	0.20	1.0-2.0 Cu
317LN	S31703	0.03	20.0-22.0	1.0-2.0	12.0-15.0	0.20	1.0-2.0 Cu
318	S31800	0.03	20.0-22.0	1.0-2.0	12.0-15.0	0.20	1.0-2.0 Cu
318LN	S31803	0.03	20.0-22.0	1.0-2.0	12.0-15.0	0.20	1.0-2.0 Cu

Catatan:

- a. Nilai tunggal adalah persentase maksimum.
- b. 2,5 Mn maks.
- c. 0,70-1,0 Si maks.
- d. Z100-Zeron 100; U50-Uranus 50.

Tabel 2. 8 Komposisi Kimia Pelapisan-Pengerasan pada Stainless steel

Type	Designator	UNS Number	Nominal Composition, wt%							
			C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Al	Other Elements
Martensitic										
Moderate strength	17-4 PH	S17400	0.04	0.30	0.30	16.0	4.2	—	—	0.4 Cu, 0.22 Nb
	15-7 PH	S15700	0.04	0.30	0.30	15.0	3.5	—	—	0.1 Cu, 0.25 Nb
High strength	Casein 431	S43100	0.02	0.25	0.25	12.0	0.1	0.3	—	1.2 Cu, 0.3 Nb
	PH 13-8 Mo	S13800	0.04	0.02	0.02	12.7	3.2	2.2	1.1	—
Semi-austenitic	Casein 435	S43500	0.02	0.25	0.25	11.75	8.5	—	—	0.5 Cu, 0.7 Nb, 0.1 Nb
	PH 15-3 Mo	S15300	0.02	0.30	0.30	15.2	7.1	2.2	1.0	—
Austenitic	PH 14-8 Mo	S14800	0.04	0.02	0.02	14.1	8.2	2.2	1.2	—
	304	S30400	0.08	0.75	0.03	18.0	8.0	—	—	—
	316	S31600	0.08	0.05	0.05	16.5	10.5	2.0	—	—
Austenitic	A-286	S28600	0.05	0.50	0.50	14.75	25.1	1.50	0.15	0.30 V, 0.15 Ti, 0.005 B
	310 F	—	0.10	0.50	0.50	17.0	11.5	—	—	0.34 P
	321	—	0.08	0.50	0.50	18.50	9.50	—	—	0.25 P

Catatan:

Beberapa dari sebutan ini adalah merek dagang terdaftar.

2.2.6 Stainless steel 316 L

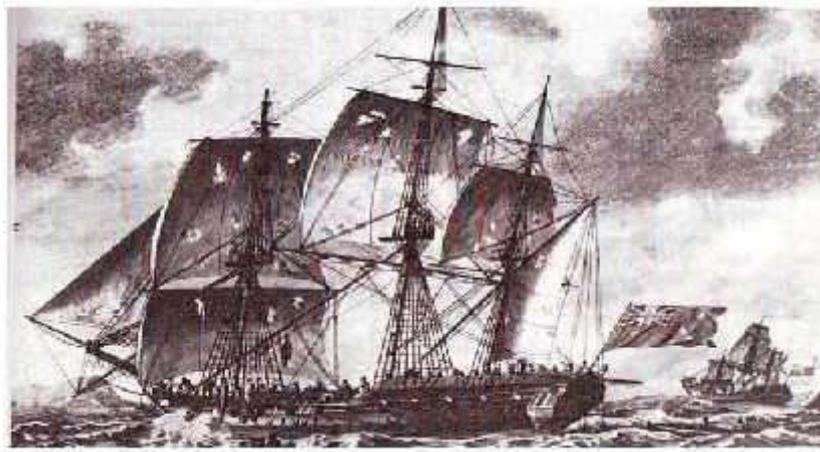
Baja tahan karat (Stainless Steel) adalah segala bentuk paduan Fe (Fe alloy) yang mengandung lebih dari 16-18 % Chromium (Cr) (Chandler, 1987:108). Pada Baja SS-316L terdiri dari kandungan karbon rendah dan mengandung campuran nikel kromium baja tahan karat austenitik yang tinggi dengan penambahan potensial reduksi lebih negatif akan mengalami oksidasi (anoda) dan elektroda dengan potensial reduksi lebih positif akan mengalami reaksi reduksi (katoda).

2.3 Korosi

2.3.1 Sejarah Korosi

Pada tahun 1763 sebuah laporan jatuh keatas sebuah meja mengkilap di kantor Markas Besar Angkatan Laut di London. Isinya padat namun rinci. Meskipun dari segi ilmiah cukup sederhana untuk masa itu, laporan tersebut merupakan salah satu contoh paling awal tentang suatu pemecahan atas permasalahan rekayasa praktis yang ditimbulkan oleh korosi. Meskipun demikian, bersamaan dengan berbagai studi yang serupa yang dilakukan sejak saat itu, intisari dari kesimpulan yang diambil seringkali justru dianggap remeh oleh para perokayasa diseluruh dunia.

Dua tahun sebelum munculnya laporan bahwa lambung kapal fregat bermeriam 32 pucuk, HMS Alarm, seluruh permukaannya telah dilapisi dengan salutan tembaga tipis. Tujuan pelapisan itu ada dua. Pertama, dimaksudkan untuk mengurangi kerusakan cukup hebat yang diakibatkan cacing kayu tredo. Dan kedua, sifat beracun tembaga diharapkan dapat menghambat perkembangan hewan-hewan yang selalu menempel di lambung kapal dan diperkirakan akan memperlambat laju kapal. Sesudah dua tahun ditugaskan di Hindia Barat, HMS Alarm didaratkan untuk diteliti hasil-hasil eksperimennya.



Gambar 2. 1 HMS Alarm, Fregat Angkatan Laut Inggris yang dalam tahun 1763 dijadikan bahan studi tentang korosi dwilogam (Sumber : Trethewey, K. R. & J. Chamberlain, 1991)

Segara dijumpai bahwa banyak tempat, lapisan tembaga telah lepas dari lambung kapal karena paku-paku besi yang digunakan untuk menempelkan ke kayu lapuk sekali. Pemeriksaan yang lebih teliti mengungkapkan bahwa sebagian paku yang kurang berkarat ternyata terisolasi dari tembaga oleh kertas cokelat yang kebetulan terjepit dibawah kepala paku. Ketika dikirim ke galangan, lempeng-lempengan tembaga memang terbungkus kertas dan pembungkus itu baru dilepas ketika lempengan hendak dipakukan ke lambung. Oleh sebab itu kesimpulan yang jelas yang juga tercantum didalam laporan tahun 1763 itu adalah bahwa besi tidak

boleh kontak langsung dengan tembaga di lingkungan air laut bila kita ingin mencegah korosi besi yang hebat. Jenis korosi akibat kontak antara dua logam yang tidak sama ini dikenal dengan korosi galvanik.

2.3.2 Pengertian Korosi

Korosi merupakan degradasi material (biasanya logam) akibat reaksi elektrokimia material tersebut dengan lingkungannya. Banyak ahli juga menyebutkan korosi merupakan penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya (Trethewey, K. R. & J. Chamberlain, 1991).

Menurut Hakim, A.R, (2011) Korosi atau pengkaratan merupakan suatu peristiwa kerusakan atau penurunan kualitas suatu bahan logam yang disebabkan oleh terjadinya reaksi terhadap lingkungan. Beberapa pakar berpendapat definisi hanya berlaku pada logam saja, tetapi para insinyur korosi juga ada yang mendefinisikan istilah korosi berlaku juga untuk material non logam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang solid oleh logam yang cair (*liquid metal corrosion*). Korosi merupakan sesuatu yang sangat berbahaya, baik secara langsung maupun tidak langsung. Di bidang industri minyak dan gas, proses korosi adalah suatu masalah yang penting dan perlu diperhatikan karena dampak akibat dari korosi cukup besar. Aliran dari pengeboran menuju platform dibidang industri minyak dan gas dapat berakibat timbul kerusakan (*damage*) dan kebocoran pada pipa - pipa tersebut. Dampak bahaya korosi secara langsung ialah dari segi biaya, dibutuhkan biaya untuk mengganti material-material logam atau alat-alat yang rusak akibat korosi, pengerjaan untuk penggantian material terkorosi, biaya untuk pengendalian korosi dan biaya tambahan untuk membuat konstruksi dengan logam yang lebih tebal (*over design*). Dampak secara tidak langsung korosi dapat mengakibatkan kerugian seperti penyediaan gas terhenti, *image* perusahaan menurun, nilai saham menjadi turun, dan menghasilkan *safety* yang rendah.

Korosi secara awam lebih dikenal dengan istilah pengkaratan yang merupakan fenomena kimia bahan-bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Penyelidikan tentang sistem elektrokimia telah banyak membantu menjelaskan mengenai korosi ini, yaitu reaksi kimia antara logam dengan zat-zat yang ada disekitarnya atau dengan partikel - partikel lain yang ada di dalam logam itu sendiri. Jadi dilihat dari sudut pandang kimia, korosi pada dasarnya merupakan reaksi logam menjadi ion pada permukaan logam yang kontak langsung dengan lingkungan yang berair dan beroksigen.

Korosi dapat terjadi di dalam medium kering (*dry corrosion*) dengan media elektrolitnya tanah dan juga medium basah (*wet corrosion*) dengan media elektrolitnya air. Sebagai contoh korosi yang berlangsung di dalam medium kering adalah penyerangan logam besi oleh gas oksigen (O_2) atau oleh gas belerang dioksida (SO_2). Di dalam medium basah, korosi dapat terjadi secara seragam maupun secara terlokalisasi.

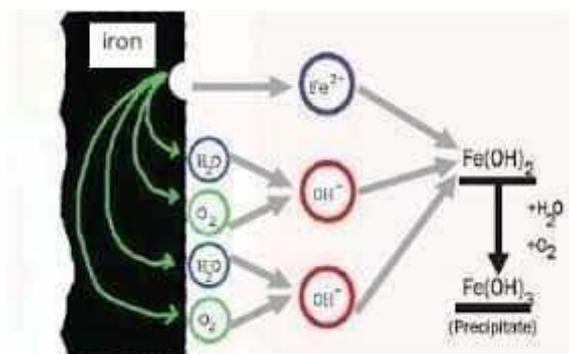
Oleh sebab itu korosi tidak dapat dihilangkan tetapi korosi dapat dicegah dengan mengendalikan atau memperlambat proses pengrusakan pada peralatan atau struktur konstruksi logam. Korosi juga dapat didefinisikan yakni *kebalikan dari proses ekstraksi logam dari bijih mineralnya*. Contohnya, bijih mineral logam besi di alam bebas ada dalam bentuk senyawa besi oksida atau besi sulfida, setelah diekstraksi dan diolah, akan dihasilkan besi yang digunakan untuk pembuatan baja atau baja paduan. Selama pemakaian, baja tersebut akan bereaksi dengan lingkungan yang menyebabkan korosi (kembali menjadi senyawa besi oksida).



Gambar 2. 2 Logam yang mengalami korosi

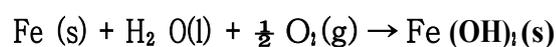
2.3.3 Mekanisme Korosi

Menurut Al Hakim (2011) secara umum mekanisme korosi yang terjadi di dalam suatu larutan berawal dari logam yang teroksidasi di dalam larutan dan melepaskan elektron untuk membentuk ion logam yang bermuatan positif. Larutan akan bertindak sebagai katoda dengan reaksi yang umum terjadi adalah pelepasan H_2 dan reduksi O_2 , akibat H^+ dan $H_2 O$ yang tereduksi. Reaksi ini terjadi dipermukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam kedalam larutan secara berulang - ulang.

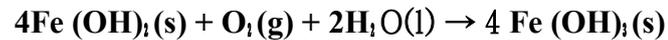


Gambar 2. 3 Mekanisme korosi

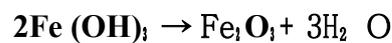
Mekanisme korosi yang terjadi pada logam besi (Fe) dituliskan sebagai berikut



Fero hidroksida [Fe (OH)₂] yang terjadi merupakan hasil sementara yang dapat teroksidasi secara alami oleh air dan udara menjadi ferri hidroksida [Fe (OH)₃], sehingga mekanisme reaksi selanjutnya adalah:



Ferri hidroksida yang terbentuk akan berubah menjadi Fe₂O₃ yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat (Vogel, 1979). Reaksinya adalah:

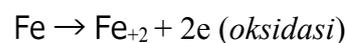
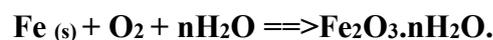


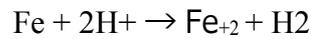
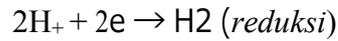
2.3.4 Proses Korosi

Proses terjadinya korosi bisa melalui proses secara fisika misalkan secara abrasi (gesekan dengan benda padat), adanya beban tarik atau tekan, pengaruh kecepatan lainnya yang mempercepat terjadinya korosi.

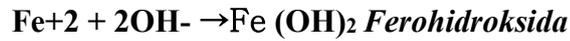
Logam besi (*ferrous*) adalah suatu bahan logam yang komponen utamanya adalah besi, seperti besi cor, baja karbon, atau baja tahan karat (*stainless steel*). Sedangkan logam bukan yang bukan besi (*non ferrous*) seperti kuningan, tembaga, perunggu, atau yang lainnya. Semua logam tersebut bisa terkorosi, hanya perosesnya saja yang berbeda, ada yang cepat dan ada juga yang lambat. Sebagai contoh jika dua logam dari bahan yang sama, ditempatkan pada lingkungan yang sama tetapi yang satu tidak diberi perlindungan dan yang satu lagi diberi perlindungan. Logam yang diberi perlindungan masa pemakaiannya akan lebih lama dibanding logam yang tidak diberi perlindungan.

Pada peristiwa korosi, logam mengalami oksidasi, sedangkan oksigen (udara) mengalami reduksi. Karat logam umumnya adalah berupa oksida atau karbonat. Rumus kimia karat besi adalah:





Selanjutnya,



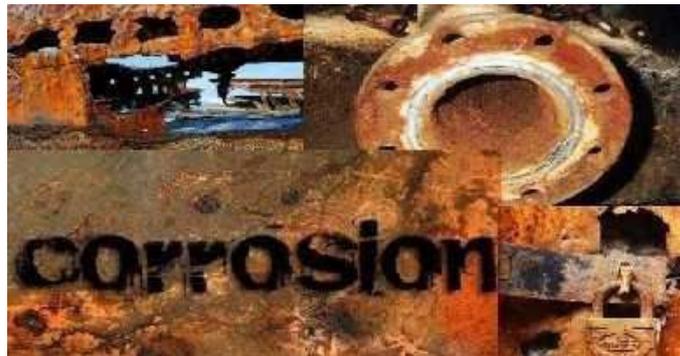
Dari reaksi diatas dapat dijelaskan bahwa semakin besar konsentrasi larutan maka semakin banyak atom - atom yang terlepas dari besi sehingga kecepatan korosi semakin besar.

2.3.5 Bentuk-bentuk Korosi

Menurut Halwan Jaya dkk (2010) korosi memiliki berbagai macam bentuk. Setiap bentuk korosi memiliki karakteristik dan mekanisme yang berbeda - beda. Bentuk - bentuk korosi adalah sebagai berikut.

1. Korosi Merata (Uniform Corrosion)

Korosi merata adalah bentuk korosi yang pada umumnya sering terjadi. Hal ini biasanya ditandai dengan adanya reaksi kimia atau elektrokimia yang terjadi pada permukaan yang bereaksi. Logam menjadi tipis dan akhirnya terjadi kegagalan pada logam tersebut. Sebagai contoh, potongan baja atau seng dicelupkan pada asam sulfat encer, biasanya akan terlarut secara seragam pada seluruh permukaannya. Contoh lain dari korosi merata adalah pada pelat baja atau profil, permukaannya bersih dan logamnya homogen, bila dibiarkan di udara biasa beberapa bulan maka akan terbentuk korosi merata pada seluruh permukaannya



Gambar 2. 4 Korosi merata (Sumber : Jaya, dkk, 2010)

Korosi merata merupakan keadaan kerusakan yang sangat besar terhadap material, namun demikian korosi ini kurang diperhatikan karena umur dari peralatan dapat diperkirakan secara akurat dengan pengujian lain yang lebih sederhana. Korosi merata dapat dilakukan pencegahan dengan cara pelapisan, inhibitor dan proteksi katodik.

2. Korosi Galvanik (Galvanic Corrosion)

Korosi galvanik adalah jenis korosi yang terjadi ketika dua macam logam yang berbeda berkontak secara langsung dalam media korosif. Logam yang memiliki potensial korosi lebih tinggi akan terkorosi lebih hebat dari pada kalau ia sendirian dan tidak dihubungkan langsung dengan logam yang memiliki potensial korosi yang lebih rendah. Logam yang memiliki potensial korosi yang lebih rendah akan kurang terkorosi dari pada kalau ia sendirian dan tidak dihubungkan langsung dengan logam yang memiliki potensial korosi yang lebih tinggi. Pada kasus ini terbentuk sebuah sel galvanik, dengan logam yang berpotensi korosi lebih tinggi sebagai anoda dan logam yang berpotensi korosi lebih rendah sebagai katoda.



Gambar 2. 5 Korosi galvanik (Sumber : Utomo, 2009)

3. Korosi Celah (Crevice Corrosion)

Korosi celah ialah sel korosi yang diakibatkan oleh perbedaan konsentrasi zat asam. Karat ini terjadi karena celah sempit terisi dengan elektrolit (air yang pHnya rendah) maka terjadilah suatu sel korosi dengan katodanya permukaan sebelah luar celah yang basa dengan air yang lebih banyak mengandung zat asam dan anodanya adalah air pada bagian sebelah dalam celah yang sedikit mengandung zat asam. Korosi celah termasuk jenis korosi lokal. Jenis korosi ini terjadi pada celah - celah konstruksi, seperti kaki - kaki konstruksi, drum maupun tabung gas. Adanya korosi bisa ditandai dengan warna coklat di sekitar celah. Tipe korosi ini terjadi akibat terjebaknya elektrolit sebagai lingkungan korosif di celah-celah yang terbentuk diantara peralatan konstruksi.



Gambar 2. 6 Korosi celah (Sumber : Jaya, dkk, 2010)

4. Korosi Sumuran (Pitting Corrosion)

Korosi sumuran juga termasuk korosi lokal. Jenis korosi ini mempunyai bentuk khas yaitu seperti sumur, sehingga disebut korosi sumuran. Arah perkembangan korosi tidak menyebar ke seluruh permukaan logam melainkan menusuk ke arah ketebalan logam dan mengakibatkan konstruksi mengalami kebocoran. Walaupun tidak sampai habis terkorosi, konstruksi tidak dapat beroperasi optimal, bahkan mungkin tidak dapat dipergunakan lagi karena kebocoran yang timbul. Korosi sumuran sering terjadi pada stainless-steel, terutama pada lingkungan yang tidak bergerak (*stasioner*) dan non-oksidator (tidak mengandung oksigen).



Gambar 2. 7 Korosi sumuran (Sumber : Jaya, dkk, 2010)

5. Korosi Butiran (Intergranular Corrosion)

Bila metal korosi menghasilkan bentuk *uniform attack corrosion*, maka butiran sedikit bereaksi dibandingkan matrix. Oleh karena itu dalam kondisi tertentu butiran pada interface sangat reaktif dan menghasilkan *intergranular corrosion*. Korosi butiran dapat disebabkan oleh impruinitis pada *grain boundary* (batas butir) akibat penambahan salah satu elemen dalam daerah grain boundary. Mekanisme intergranular corrosion adalah jenis serangan ini diawali dari beda potensial dalam komposisi, seperti sampel inti coring biasa ditemui dalam paduan casting. Pengendapan pada batas butir, terutama kromium karbida dalam baja tahan karat, merupakan mekanisme yang diakui dan diterima dalam korosi *intergranular*



Gambar 2. 8 Korosi butiran pada pipa (Sumber : Utomo, 2009)

6. Selective Leaching Corrosion

Selective leaching adalah korosi selektif dari satu atau lebih komponen dari paduan larutan padat. Hal ini juga disebut pemisahan, pelarutan selektif atau serangan selektif. Mekanisme selective leaching adalah logam yang berbeda dan paduan memiliki potensial yang berbeda (atau potensial korosi) pada elektrolit yang sama. Paduan modern mengandung sejumlah unsur paduan berbeda yang menunjukkan potensial korosi yang berbeda. Beda potensial antara elemen paduan menjadi kekuatan pendorong untuk serangan preferensial yang lebih "aktif" pada elemen dalam paduan tersebut.



Gambar 2. 9 Selective leaching corrosion pada pipa (Sumber: Jaya, dkk, 2010)

7. Korosi Erosi (Erosion Corrosion)

Korosi erosi adalah proses korosi yang bersamaan dengan erosi/abrasi. Korosi jenis ini biasanya menyerang peralatan yang lingkungannya adalah fluida

yang bergerak, seperti aliran dalam pipa ataupun hantaman dan gerusan ombak. Keganasan fluida korosif yang bergerak diperhebat oleh adanya dua fase atau lebih dalam fluida tersebut, misalnya adanya fase liquid dan gas secara bersamaan, adanya fase liquid dan solid secara bersamaan ataupun adanya fase liquid, gas dan solid secara bersamaan. Kavitasasi adalah contoh *erosion corrosion* pada peralatan yang berputar di lingkungan fluida yang bergerak, seperti impeller pompa dan sudu sudu turbin. Erosion/abrasion corrosion juga terjadi di saluran gas-gas hasil pembakaran.



Gambar 2. 10 Korosi erosi (Sumber : Jaya, dkk, 2010)

8. Korosi Tegangan (Stress Corrosion)

Gaya - gaya mekanis seperti tarikan atau kompresi berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan pada bagian metal yang sama jika ditinjau dari laju pengkaratan dalam mils pertahun. Namun demikian apabila itu merupakan kombinasi antara tensile stress dan lingkungan yang korosif, maka kondisi ini merupakan salah satu dari penyebab utama kegagalan material. Kegagalan ini berupa retakan yang lazim disebut korosi tegangan. Jenis serangan karat ini terjadi sangat cepat, dalam ukuran menit, yakni jika semua persyaratan untuk terjadinya karat regangan (tegangan) ini telah terpenuhi pada saat tertentu yaitu adanya regangan internal dan terciptanya kondisi korosif yang berhubungan dengan konsentrasi zat karat (*corrodent*) dan suhu lingkungan.



Gambar 2. 11 Korosi tegangan

2.3.6 Laju Korosi

Hampir semua korosi merupakan reaksi elektrokimia. Sehingga semua yang mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Hukum Ohm dapat diterapkan untuk bagian elektrik dari sel korosi. Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Jika arus dapat diukur, suatu perhitungan yang tepat dari kehilangan logam akibat korosi dapat ditentukan. Ini berarti bahwa suatu pengukuran dalam ampere atau milliampere secara matematis dihitung dalam kilogram (pound) per tahun. Suatu Amp/tahun adalah satu Ampere yang mengalir selama periode satu tahun. Logam yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda. Kerusakan material akibat korosi biasanya ditunjukkan dengan laju penetrasi yang ditunjukkan oleh Tabel 2.9 berikut ini.

Tabel 2. 9 Tingkat ketahanan korosi berdasarkan laju korosi

Relative Corrosion resistance	Approximate Metric Equivalent				
	mpy	mm/year	$\mu\text{m}/\text{yr}$	nm/yr	pm/sec
Outstanding	< 1	< 0.02	< 25	< 2	< 1
Excellent	1 - 5	0.02 - 0.1	25 - 100	2 - 10	1 - 5
Good	5 - 20	0.1 - 0.5	100 - 500	10 - 50	5 - 20
Fair	20 - 50	0.5 - 1	500 - 1000	50 - 100	20 - 50
Poor	50 - 200	1 - 2	1000 - 5000	100 - 500	50 - 200
Unacceptable	200+	2+	5000+	500+	200+

Sumber: Fontana, 1978

Laju korosi merupakan suatu besaran yang menyatakan cepat atau lambat suatu material bereaksi dengan lingkungannya dan mengalami korosi. Menurut Fontana (1978) dalam bukunya "*Corrosion Engineering*", laju korosi dapat didefinisikan dalam berbagai macam, seperti persentase kehilangan massa, miligram per sentimeter persegi per hari dan gram per inci persegi per jam. Selain itu, juga digunakan mils per year (mpy) yang menyatakan laju penetrasi serangan korosi terhadap logam.

Sebagaimana diketahui, korosi sangat dipengaruhi oleh lingkungan misalnya temperatur, pH, oksigen, kecepatan fluida, dan zat-zat oksidator. Laju korosi juga bergantung pada, konsentrasi reaktan, jumlah mula-mula partikel (massa) logam, dan faktor mekanik seperti tegangan. Untuk menghitung laju korosi, terdapat dua metode yang dapat digunakan antara lain metode kehilangan berat atau *weight gain loss* (WGL) dan metode elektrokimia (Fontana, 1978).

Metode kehilangan berat secara umum dianggap identik dengan kehilangan massa (*mass loss*). Adapun proses mendapatkan korosi pada metode ini yaitu dengan melakukan uji immers pada bahan. Uji immers adalah uji simulasi ketahanan korosi terhadap media korosif dengan cara yang sangat sederhana. Material uji dicelupkan kedalam media korosif untuk suatu waktu tertentu dengan menerapkan atau mensimulasikan semua parameter yang terlibat dalam kondisi aktual. Hasil yang diperoleh dari cara ini adalah kehilangan berat dari material uji yang dapat dikonversikan ke laju korosi dan fenomena kerusakan material uji atau bentuk korosi.

Uji immers dalam skala laboratorium dapat dibagi menjadi (Munasir, 2009)

1. Immers Total adalah uji celup dimana spesimennya tercelup total dalam mediakorosif.
2. Immers Parsial adalah uji celup dimana spesimennya hanya sebagian permukaan yang tercelup kedalam media korosif.

3. Uji basah dan kering adalah uji yang dapat dilakukan dengan memutar spesimen uji sehingga secara berkala tercelup kedalam media korosif.

Metode kehilangan massa (mass loss) ini didasarkan pada selisih massa awal sebelum pengujian korosi dengan massa akhir setelah pengujian korosi. Jika diketahui penurunan masa dari suatu material yang terkorosi maka laju korosi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Cr = \frac{534w}{\rho \cdot t \cdot Lp} \quad (2.1)$$

Dimana:

Cr (*Corrosion rate*) = Laju korosi dalam satuan mpy (mils per year) (mm/y)

w = Massa yang hilang (mg)

Lp = Luas sampel yang terendam (in^2)

t = Waktu perendaman (jam)

ρ = Massa jenis logam (g/cm^3)

1 mpy = 0,0254 mm/y = 25,4 $\mu m/y$ = 2,9 nm/hr = 0,805 pm/sec

2.3.7 Faktor yang Mempengaruhi Korosi

Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi proses korosi antara lain adalah:

1. Suhu

Suhu merupakan faktor penting dalam proses terjadinya korosi, dimana kenaikan suhu akan menyebabkan bertambahnya kecepatan reaksi korosi. Hal ini terjadi karena makin tinggi suhu maka energi kinetik dari partikel - partikel yang bereaksi akan meningkat sehingga melampaui besarnya harga energi aktivasi dan

akibatnya laju kecepatan reaksi (korosi) juga akan makin cepat, begitu juga sebaliknya (Fogler, 1992).

2. Kecepatan Alir Fluida

Laju korosi cenderung bertambah jika laju atau kecepatan aliran fluida bertambah besar. Hal ini karena kontak antara zat pereaksi dan logam akan semakin besar sehingga ion - ion logam akan makin banyak yang lepas sehingga logam akan mengalami kerapuhan (Kirk Othmer, 1965).

3. Konsentrasi Bahan Korosif

Hal ini berhubungan dengan pH atau keasaman dan kebasaan suatu larutan. Larutan yang bersifat asam sangat korosif terhadap logam dimana logam yang berada didalam media larutan asam akan lebih cepat terkorosi karena karena merupakan reaksi anoda. Sedangkan larutan yang bersifat basa dapat menyebabkan korosi pada reaksi katodanya karena reaksi katoda selalu serentak dengan reaksi anoda (Dieter, G.E, 1987).

4. Oksigen

Adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Didalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi (Amstead, B.H, 1995).

5. Waktu Kontak

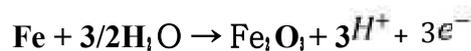
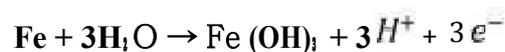
Dalam proses terjadinya korosi, laju reaksi sangat berkaitan erat dengan waktu. Pada dasarnya semakin lama waktu logam berinteraksi dengan lingkungan korosif maka semakin tinggi tingkat korosifitasnya. Aksi inhibitor diharapkan dapat membuat ketahanan logam terhadap korosi lebih besar. Dengan adanya

penambahan inhibitor kedalam larutan, maka akan menyebabkan laju reaksi menjadi lebih rendah, sehingga waktu kerja inhibitor untuk melindungi logam menjadi lebih lama. Kemampuan inhibitor untuk melindungi logam dari korosi

akan hilang atau habis pada waktu tertentu, hal itu dikarenakan semakin lama waktunya maka inhibitor akan semakin habis terserang oleh larutan.

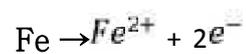
2.3.8 Pengaruh pH Terhadap Korosi Baja

Nilai pH pada air (elektrolit) dapat berbeda dengan pH aktual di permukaan logam tergantung dari reaksi yang terjadi di permukaan. Reduksi oksigen akan menghasilkan ion OH⁻ yang dapat meningkatkan nilai pH, namun di bawah deposit produk korosi nilai pH dapat ditekan. Ketika pH air (elektrolit) moderate (pH = 5), korosi uniform merupakan serangan dominan yang akan semakin meningkat dengan penurunan pH. Pada pH 4 atau < 4 maka lapisan oksida proteksi terlarut dan terekspose di permukaan metal. Korosi akan semakin cepat terjadi karena kadar oksigen terlarut berkurang pada permukaan logam di pH rendah. Kedua reaksi yaitu evolusi hidrogen dan reduksi oksigen menjadi reaksi katodik. Pada peningkatan pH di atas 4, besi oksida terpresipitasi dari larutan ke bentuk deposit. Korosi uniform secara tiba-tiba menurun, namun di bawah deposit mulai terbentuk Fe₂O₃ di permukaan metal. Reaksi anodiknya adalah sebagai berikut:



Deposit tersebut bersifat sebagai penahan difusi oksigen ke permukaan logam. Pada peningkatan pH, deposit oksida besi berubah dari sedikit bersifat adherent di pH 6 menjadi keras dan kuat pada pH > 8. Mekanisme korosi baja pada Soda api yaitu laju korosi tinggi pada semua konsentrasi asam di pH < 3. Adanya ion klorida berfungsi mempercepat laju korosi. Laju korosi meningkat dengan adanya konsentrasi ion hidrogen (penurunan pH). Mekanisme proses korosi berdasarkan variabel pH untuk baja yang laju korosi meningkat pada pH yang sangat rendah, laju korosi tidak tergantung pH pada range pH netral, laju korosi

menurun dengan peningkatan pH, dan akhirnya laju korosi meningkat kembali pada pH yang sama tinggi. Reaksi anodik baja karbon yaitu:



Hal penting bahwa pH berpengaruh terhadap korosi baja karbon pada pH rendah bukan hal sederhana. Hal tersebut dikarenakan persamaan kinetik berhubungan dengan laju korosi.

2.3.9 Pengaruh Oksigen Terlarut Terhadap Korosi Baja

Proses korosi pada besi baja pada temperatur kamar membutuhkan oksigen terlarut netral dan alkali akan stabil tanpa kehadiran oksigen. Adanya proses agitasi ataupun stirring dapat meningkatkan transport pelarutan oksigen dan meningkatkan laju korosi. Peningkatan temperatur awalnya meningkatkan laju korosi mencapai dua kali lipat dengan kenaikan temperatur setiap 30°C, namun pada temperatur >80°C, solubility pelarutan oksigen dapat menurunkan laju korosi.

Perbedaan transport oksigen terlarut menghasilkan perbedaan sel differensial aerasi, yang akan menghasilkan korosi terlokalisasi pada permukaan besi atau baja pada temperatur kamar. Oksigen terlalu sering mempunyai variabel untuk tujuan berbeda pada permukaan yang lebih besar. pH yang lebih rendah terdapat di daerah anoda (di bawah deposit karat oksida) sedangkan di sekelilingnya merupakan daerah katoda (ber-pH tinggi) yang dihasilkan dari reaksi reduksi oksigen terlarut. Apabila dibandingkan dengan logam nonferrous, seperti copper dan zinc, maka perilaku korosi pada baja karbon sedikit sensitif terhadap kualitas air. Hal ini sesuai dengan fakta bahwa produk dari reaksi anodik pada baja karbon bersifat tidak protektif. Laju korosi pada baja dikontrol oleh katodik, yaitu suplai oksigen terlarut.

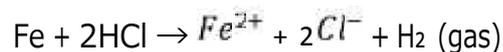
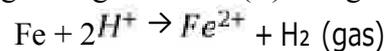
2.3.10 Karakteristik Karat Baja

Baja murni terdiri atas logam berwarna putih - perak, tangguh, dan kuat. Baja tersebut melebur pada temperatur 1535°C. Pada aplikasi jarang sekali

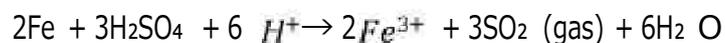
menggunakan baja murni, biasanya baja yang digunakan mengandung sejumlah grafit dan elemen paduan lainnya. Unsur paduan tersebut berperan dalam meningkatkan *mechanical properties* dari baja. Besi membentuk dua deret garam yang penting, yaitu:

1. Garam besi (II) oksida yang diturunkan dari besi (II) oksida (FeO) Dalam kondisi larutan aqueous, garam besi tersebut mengandung kation Fe^{2+} (ion besi II) dapat dengan mudah dioksidasikan menjadi ion Fe^{3+} (ion besi III) dalam suasana netral, basa, atau bahkan dalam kondisi atmosfer yang mengandung oksigen tinggi.

2. Garam besi (III) oksida yang diturunkan dari besi (III) oksida (Fe₂O₃) Garam ini bersifat lebih stabil dibandingkan garam besi (II). Dalam kondisi aqueous, kation dari Fe^{3+} berwarna kuning muda, jika larutan mengandung klorida, maka warna kuning yang dihasilkan di permukaannya semakin kuat. Baja dapat dilarutkan menjadi ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} dengan menambahkan asam klorida encer atau pekat dan asam sulfat encer. Reaksi antara baja dengan asam klorida menghasilkan garam-garam besi (II) dan gas hidrogen, reaksinya yaitu:



Sedangkan reaksi antara asam sulfat panas dan baja menghasilkan ion-ion besi (III) dan belerang dioksida. Reaksinya sebagai berikut:



Selain itu, endapan putih besi (II) hidroksida (Fe (OH)₂) apabila bereaksi dengan atmosfer maka mudah bereaksi dengan oksigen yang pada akhirnya

menghasilkan besi (III) hidroksida yang berwarna coklat - kemerahan. Pada kondisi biasa, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ tampak seperti endapan hijau kotor

2.4 Asam Klorida (HCL)

Larutan asam klorida atau yang biasa dikenal dengan larutan HCl dalam air, adalah cairan kimia yang sangat korosif dan berbau menyengat. HCl termasuk bahan kimia berbahaya atau B3. Dalam skala industri, HCl biasanya diproduksi dengan konsentrasi 38%. Ketika dikirim ke industri pengguna, HCl dikirim dengan konsentrasi antara 32-34%. Pembatasan konsentrasi HCl ini karena tekanan uapnya yang sangat tinggi, sehingga menyebabkan kesulitan ketika penyimpanan. Hidrogen klorida (HCl) adalah asam monoprotik, yang berarti bahwa ia dapat berdisosiasi melepaskan satu H^+ hanya sekali. Dalam larutan asam klorida, H^+ ini bergabung dengan molekul air membentuk ion hidronium, H_3O^+ yang dapat dilihat pada persamaan 1.1.



Ion lain yang terbentuk adalah ion klorida, Cl^- . Asam klorida oleh karenanya dapat digunakan untuk membuat garam *klorida*, seperti natrium klorida. Asam klorida adalah asam kuat karena ia berdisosiasi penuh dengan air. Asam klorida sering digunakan dalam analisis kimia untuk "mencerna" sampelsampel analisis. Asam klorida pekat melarutkan banyak jenis logam dan menghasilkan logam klorida dan gas hidrogen. Ia juga bereaksi dengan senyawa dasar semacam klasium karbonat dan tembaga (II) oksida, menghasilkan klorida terlarut yang dapat dianalisa. (Aini, 2016).

2.5 Uji Kekasaran Permukaan

Setiap permukaan dari benda yang telah mengalami proses pemesinan akan mengalami kekasaran permukaan, yang dimaksud dengan kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata rata aritmetik dari garis rata rata permukaan. Defenisi ini digunakan untuk menentukan harga rata-rata dari kekasaran permukaan. Nilai

kekasaran permukaan memiliki nilai kewalitas (N) yang berbeda, nilai kualitas kekasaran permukaan telah diklasifikasikan oleh ISO dimana yang paling kecil adalah N1 yang memiliki nilai kekasaran permukaan (Ra) $0,025\mu$ dan yang paling tinggi N12 yang nilai kekasarannya 50μ .

Ra : Roughness average kekasaran

Rq : kekasaran rata-rata kuadratik

Rz : Nilai rata rata puncak dan lembah

2.5.1 Permukaan

Permukaan adalah suatu titik yang membatasi antara sebuah benda padat dengan lingkungan sekitarnya. Dapat dilihat dari skala kecil pada dasarnya konfigurasi permukaan yang dalam hal ini termasuk golongan mikro geometri. Sebagai contoh golongan mikrogeometri adalah poros, lubang, sisi, dan sebagainya. Karakteristik suatu permukaan memegang peranan penting dalam perancangan komponen mesin/peralatan. Hal ini karena karakteristik dari sebuah komponen mesin sangat erat kaitannya dengan gesekan, keausan, pelumasan dan sebagainya. Dalam pembuatan sebuah komponen karakteristik permukaan yang dikehendaki harus dapat dipenuhi seperti halnya pada toleransi ukuran, bentuk, dan posisi, karakteristik permukaan harus dapat diterjemahkan kedalam gambar teknik supaya kemauan perancang dapat dipenuhi.

2.5.2 Permukaan Profil

Karena ketidaksempurnaan alat ukur dan cara pengukuran maupun cara evaluasi hasil pengukuran maka suatu permukaan sesungguhnya (*real surface*) tidaklah dapat dibuat tiruan. Tiruan permukaan hasil pengukuran hanya bisa mendekati bentuk/konfigurasi permukaan sesungguhnya atau dapat disebut permukaan terukur (*measure surface*). Karena dalam pembuatan sebuah komponen dapat terjadi penyimpangan, maka permukaan geometri ideal (*geometrically ideal surface*) yaitu permukaan yang dianggap mempunyai bentuk yang sempurna tidak dapat dibuat. Suatu permukaan yang di syaratkan pada gambar teknik disebut

sebagai permukaan nominal (*nominal surface*). Karena kesulitan dalam mengukur dan menyatakan besaran yang diukur dari suatu permukaan secara tiga dimensi maka dilakukan pembatasan. Permukaan hanya dipandang sebagai penampang yang dipotong di tinjau relatif terhadap permukaan dengan geometri, secara tegak lurus (normal), serong (oblique), atau sinngung (tangensial).

Ketidakteraturan konfigurasi suatu permukaan bila ditinjau dari profilnya dapat diuraikan menjadi beberapa tingkat, seperti yang ada pada tabel

Tingkat	Profil terukur bentuk profil hasil pengukurannya	Jenis	Contoh kemampuan pengukurannya
1		Kesalahan bentuk (form error)	Kesalahan bidang-bidang perbandingan mesin perkakas dan benda kerja, kesalahan proses pemrosesan benda kerja.
2		Gelombang (waviness)	Kesalahan bentuk permukaan, kesalahan pemrosesan perkakas, getaran dalam proses pemrosesan.
3		Alur (texture)	Jarak-bekas pemotongan (bentuk umum) alur, gresak-mesin.
4		Serpihan (finish)	Proses pemrosesan gasan, deformasi akibat proses pemanasan, pemrosesan melalui suatu proses elektroplating.
			Kondisi: kondisi teratur dan tingkat 1 sampai dengan 4.

Gambar 2. 12 tabel ketidak teraturan suatu profil

Permukaan merupakan suatu titik yang memisahkan antara satu benda dengan sekelilingnya. Bentuk dari suatu permukaan benda memegang peranan penting dalam melakukan perancangan sebuah benda karena permukaan suatu benda berkaitan dengan gesekan keausan pelumasan dan lain sebagainya. Kekasaran permukaan produk tidak harus memiliki nilai yang halus tetapi terkadang sebuah produk memerlukan nilai kekasaran permukaan yang besar sesuai fungsinya. Hal yang mempengaruhi nilai kekasaran permukaan sebuah produk tidak sesuai dengan yang diharapkan, dikarenakan oleh beberapa faktor seperti, pemilihan mata pahat yang kurang tepat atau pahat yang digunakan sudah aus sehingga berpengaruh pada kemampuan pahat tersebut untuk memotong. kesalahan proses atau tahapan yang dilakukan dalam proses pemesinan untuk membuat

sebuah produk juga sangat berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan sebuah benda.

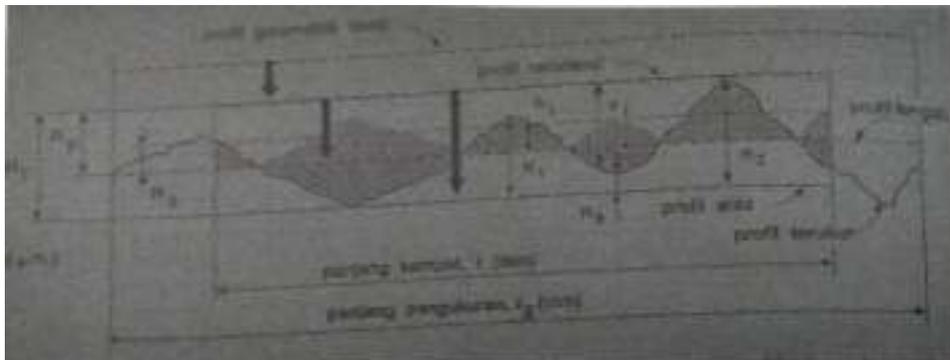
Tingkat pertama merupakan ketidak teraturan makrogeometri. Tingkat kedua yang disebut dengan gelombang (*waviness*) merupakan ketidakteraturan yang periodik dengan panjang gelombang yang jelas lebih besar dari kedalamannya amplitudonya). Tingkat ketiga atau alur (*grooves*) serta tingkat ke empat yang disebut (*flakes*). Kedua duanya lebih dikenal dengan kekasaran (*roughness*).

2.5.3 Parameter Kekasaran Permukaan

Untuk memproduksi profil suatu permukaan, sensor/peraba(*stylus*) alat ukur harus digerakkan mengikuti lintasan yang berupa garis lurus dengan jarak yang telah ditentukan terlebih dahulu, sering juga disebut dengan panjang pengukuran (*travelling length*). Sesaat setelah jarum jam bergerak dan sesaat sebelum jarum jam berhenti secara elektronik alat ukur ini melakukan perhitungan berdasarkan data yang dideteksi oleh arum jam perahu. Bagian panjang pengukuran yang dibaca oleh sensor alat ukur kekasaran permukaan disebut panjang sampel. Pada ditunjukkan bentuk profil sesungguhnya dengan beberapa keterangan dibawah ini:

- Profil *geometric* adalah garis permukaan sempurna yang dapat berupa garis lurus, lengkung atau busur.
- Profil terukur adalah garis permukaan yang terukur.
- Profil referensi puncak/acuan merupakan garis yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa ketidak teraturan bentuk permukaan.

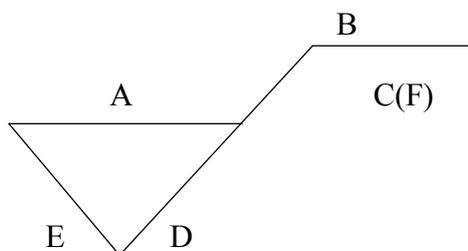
Profil alas adalah garis yang berada dibawah yang menyinggung kedalam.



Gambar 2. 13 Bentuk profil kekasaran permukaan

2.5.4 Penulisan Kekasaran Permukaan Pada Gambar Teknik

Pada gambar teknik kekasaran permukaan biasanya dilambnagkan dengan simbol yang berupa segitiga sama sisi dengan salah satu ujungnya menempel pada permukaan. Pada segitiga ini juga terdapat beberapa angka dan symbol yang memiliki beberapa arti yang terlihat pada gambar 2.14



Gambar 2. 14 Lambang kekasaran permukaan

Keterangan

- A. Nilai kekasaran permukaan (R_a)
- B. Cara pengerjaan produksi
- C. Arah pengerjaan
- D. Kelebihan ukuran yang dikehendaki
- E. Nilai kekasaran lain jika diperlukan

Angka yang ada pada symbol kekasaran permukaan merupakan nilai dari kekasaran permukaan aritmatik (Ra). Nilai Ra telah dikelompokkan menjadi 12 kelas kekasaran sebagaimana terlihat pada tabel 2.10 dibawah ini

Tabel 2. 10 Angka kekasaran permukaan

No	Kelas kekasaran	Mesin Raughness (Ra; μm)	Keterangan
1	N12	50.0	-Sangat kasar
2	N11	25.0	
3	N10	12.5	
4	N9	6.3	-Kasar
5	N8	3.2	-Normal
6	N7	1.6	
7	N6	0.8	
8	N5	0.4	-Halus
9	N4	0,2	
10	N3	0.1	-Sangan kasar
11	N2	0.05	
12	N1	0.025	

2.5.5 Alat Ukur Kekasaran Permukaan

Alat ukur kekasaran permukaan yang digunakan adalah *surface roughness tester*, alat ini digunakan untuk mengamati ataupun mengukur kekasaran permukaan dengan standar ISO. Cara kerja dari alat ukur kekasaran permukaan ini adalah dengan meletakkan alat sensor yang dipasangkan pada alat tersebut, selanjutnya sejajarkan alat ukur permukaanya tersebut dengan bahan spesimen yang

akan di uji, dan saat pengerjaanya alat ukur ini tidak boleh bergerak karena akan mengganggu sensor dalam membaca kekasaran dari permukaan material tersebut.



Gambar 2. 15 Sureface roughness tester

BAB III METODOLOGI

PENELITIAN

3.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Stainless Steel 316 L

Stainless steel 316 L dipotong atau dibentuk dengan dimensi panjang 30 mm, lebar 25 mm dan tebal 2 mm.

Tabel 3. 1 Hasil Uji Komposisi Stainless Steel 316 L

C	Si	S	P	Mn	NI	Cr	Mo	Fe
0,023	0,335	0,0027	0,048	1,279	10,380	17,290	2,020	67,94

DETECH		BROKER	
Material		Sample	
Analysis Date		Date	
C	0.023	Si	0.335
S	0.0027	P	0.048
Mn	1.279	NI	10.380
Cr	17.290	Mo	2.020
Fe	67.94		

Tabel 3. 2 Sifat Mekanik SS 316L

<i>Tensile</i> (MPa)	<i>Yield</i> (MPa)	<i>Elongation</i> (%in50mm)	<i>Hardness Rockwell (HR B)</i>	<i>Density</i> (kg/ m ³)	<i>Elastic Modulus</i> (GPa)	<i>Specific Heat</i> (J/Kg. K)	<i>Electric Resistivity</i> (nΩ.m)
485	170	40	95	8000	193	500	740

2. Asam Klorida (HCL)

Larutan asam klorida atau yang biasa dikenal dengan larutan HCl dalam air, adalah cairan kimia yang sangat korosif dan berbau menyengat. HCl termasuk bahan kimia berbahaya atau B3. Dalam skala industri, HCl biasanya diproduksi dengan konsentrasi 38%. Ketika dikirim ke industri pengguna, HCl dikirim dengan konsentrasi antara 32-34%. Pembatasan konsentrasi HCl ini karena tekanan uapnya yang sangat tinggi, sehingga menyebabkan kesulitan ketika penyimpanan. Hidrogen klorida (HCl) adalah asam monoprotik, yang berarti bahwa ia dapat berdisosiasi melepaskan satu H⁺ hanya sekali. Dalam larutan asam klorida, H⁺ ini bergabung dengan molekul air membentuk ion hidronium, H₃O⁺ yang dapat dilihat pada persamaan 1.1



Ion lain yang terbentuk adalah ion klorida, Cl⁻. Asam klorida oleh karenanya dapat digunakan untuk membuat garam *klorida*, seperti natrium klorida. Asam klorida adalah asam kuat karena ia berdisosiasi penuh dengan air. Asam klorida sering digunakan dalam analisis kimia untuk "mencerna" sampel analisis. Asam klorida pekat melarutkan banyak jenis logam dan menghasilkan logam klorida dan gas hidrogen. Ia juga bereaksi dengan senyawa dasar semacam klasium karbonat dan tembaga (II) oksida, menghasilkan klorida terlarut yang dapat dianalisa. (Aini, 2016).

3.2. Lokasi dan Alat Penelitian

3.2.1. Lokasi Penelitian

Pembuatan spesimen, uji berat, dilakukan di laboratorium metalurgi Universitas HKBP Nommensen Medan.

3.2.2. Alat Penelitian

1. Alat keselamatan kerja



Gambar 3. 1 Alat pelindung diri

Alat keselamatan kerja berguna untuk mengurangi resiko kecelakaan pada saat penelitian. Contohnya: Masker pelindung wajah atau pernafasan, sarung tangan karet, dan sarung tangan kain, sepatu safety, kacamata safety.

2. Gergaji Besi



Gambar 3. 2 Gergaji besi

Alat ini berfungsi sebagai alat pemotong untuk membentuk spesimen baja karbon sedang yang akan digunakan pada penelitian.

3. Kikir



Gambar 3. 3 Kikir

Digunakan untuk membuat permukaan benda-benda menjadi lebih halus dengan cara menggosokkan salah satu permukaan.

4. Gerinda



Gambar 3. 4 Gerinda

Gerinda digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen.

5. Amplas



Gambar 3. 5 Amplas

Amplas sering disebut kertas pasir adalah sejenis kertas yang digunakan untuk membuat permukaan benda-benda menjadi lebih halus dengan cara menggosokkan salah satu permukaan amplas yang telah ditambahkan bahan abrasif kepada permukaan benda tersebut.

6. Mesin *Polish* (Poles)



Gambar 3. 6 Mesin poles

Dalam penelitian ini mesin *polish* digunakan untuk menghaluskan permukaan spesimen dan juga untuk mengurangi ukuran benda kerja yang masih berlebih hingga nantinya didapat ukuran yang tepat.

7. Timbangan



Gambar 3. 7 Timbangan

Alat pengukur berat spesimen yang digunakan adalah timbangan digital atau *Nautical Balance*. Penimbangan spesimen dilakukan sebelum dan sesudah proses pengkorosian dilakukan, sehingga diketahui berat awal dan berat akhir spesimen.

8. Kawat baja



Gambar 3. 8 Kawat baja

Digunakan untuk menggantung spesimen, karena tembaga merupakan bahan yang tahan terhadap larutan yang bersifat asam.

9. Wadah atau Bak



Gambar 3. 9 Wadah Atau Bak

Bak atau wadah diperlukan pada proses pengkorosian yaitu untuk menampung larutan korosif.

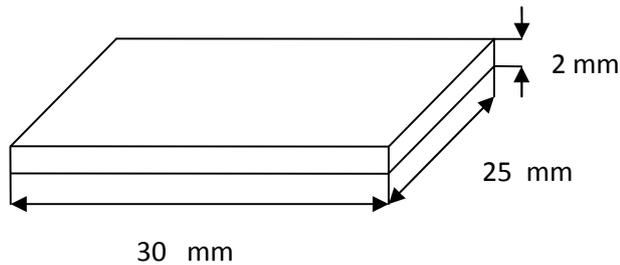
3.3. Langkah Kerja Proses Penelitian

Dalam melakukan proses pengkorosian, kita haruslah menyusun rencana. Adapun proses penelitian dilakukan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan spesimen.

Adapun bentuk dan ukuran spesimen yang direncanakan adalah sebagai berikut.

- Panjang = 30 mm
- Lebar = 25 mm
- Tebal = 2 mm



2. Pembersihan secara mekanik

Proses ini bertujuan untuk menghaluskan permukaan dan menghilangkan goresan goresan serta geram-geram yang masih melekat pada spesimen. Untuk menghilangkan goresan-goresan dan geram-geram dilakukan dengan mesin polish sedangkan untuk menghaluskan dilakukan dengan amplas.

3. Pickling

Pembersihan benda kerja dengan menggunakan larutan NaOH 2M 20% yang bertujuan untuk menghilangkan oksida.

4. Degreasing

Proses *degreasing* merupakan proses yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran, minyak, lemak, cat dan kotoran padat lainnya yang menempel pada permukaan spesimen. Proses pembersihan dilakukan dengan menggunakan larutan NaOH 2M (soda api) dengan konsentrasi 5% - 10% pada suhu 70⁰C - 90⁰C selama kurang lebih 10 menit.

5. Rinsing

Proses *rinsing* merupakan pencucian dengan air bersih yang mengalir dan alkohol. Pencucian dengan air bersih yang mengalirkan alkohol bertujuan untuk membersihkan permukaan benda kerja dari oksida atau kotoran lainnya.

6. Pengeringan (*Drying*)

Proses ini bertujuan untuk mengeringkan spesimen sebelum dilakukan proses pengkorosian.

7. Penimbangan awal spesimen

Setelah spesimen bebas dari kotoran-kotoran, maka spesimen sudah siap untuk dikorosikan. Adapun cara pelaksanaan pengkorosian adalah sebagai berikut:

8. Proses pengkorosian:

- A. Larutan Asam Klorida (HCL) sesuai variabel yang ditetapkan.
- B. Masukkan spesimen masing-masing kedalam larutan.
- C. Setelah mencukupi variabel waktu yang ditentukan angkat spesimen.
- D. Diangkat Spesimen yang sudah direndam dengan variabel waktu yang ditentukan
- E. Bersihkan dan keringkan spesimen.

9. Penimbangan akhir spesimen

Setelah proses pengkorosian selesai dilakukan, maka dilakukan proses penimbangan pada spesimen yaitu untuk mengetahui laju korosi yang terjadi.

10. Melakukan Uji Kekasaran Permukaan

Setelah spesimen dibersihkan dilakukan uji kekasaran permukaan benda kerja digunakan *Surface Riughness Tester*. Cara penggunaan alat ukur ini adalah dengan menempel sensor dari alat ukur ke titik benda kerja yang akan diukur nilai kekasaran permukaannya. Setelah sensor tertempel dengan benar tekan tombol start dan tunggu beberapa saat sampai nilai kekasaran permukaan ditampilkan pada layar alat ukur

11. Analisis data

3.4. Diagram Alir

