

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam dunia industri, barang hasil produksi dibuat dan dirancang supaya memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan, terutama produk yang berbahan logam. Logam merupakan salah satu jenis bahan yang banyak dimanfaatkan dalam peralatan penunjang bagi kehidupan manusia. Suatu logam dapat mengalami kerusakan akibat adanya korosi (Fontana, 1987). Korosi merupakan reaksi elektrokimia antara logam dan lingkungan yang menyebabkan pengkaratan dan menurunkan mutu logam (Trethewey dan Chamberlein, 1991). 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 (Herbirowo dan Adjiantoro, 2016). 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 (Cobb, 1999).

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 (Cobb, 1999).

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*) (Khatak dan Raj, 2002). Untuk mengetahui keunggulan austenitic stainless steel sebagai bahan konstruksi, perlu dilakukan penelitian mengenai korosi lokal dari stainless steel tersebut. Penelitian mengenai korosi dilakukan dengan cara mereaksikan stainless steel dalam media korosif seperti larutan garam (Loto, 2013).

Stainless steel 316 L adalah *stainless steel molibdenum austenitic*. Kandungan nikel dan molibdenum yang lebih tinggi di kelas ini memungkinkannya untuk menunjukkan sifat tahan korosi keseluruhan yang lebih baik daripada 304, terutama yang berkaitan dengan korosi pitting dan celah di lingkungan klorida. Selain itu, Alloy 316L memberikan kekuatan tarik, creep, dan tegangan pecah suhu yang sangat baik, serta kemampuan bentuk dan kemampuan las yang luar biasa. 316L adalah versi karbon yang lebih rendah dari 316 dan kebal dari kepekaan; oleh karena itu, sangat sering digunakan dalam komponen yang dilas pengukur berat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu pengkorosian terhadap laju korosi dan kekerasan pada baja dalam medium korosif.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah seberapa cepat laju korosi yang dapat terjadi pada perendaman baja karbon rendah dan stainless steel dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik material.

## **1.3 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah pada

1. Material yang digunakan adalah stainless steel 316 L dan baja karbon rendah .

2. Media pengorosan pada penelitian ini adalah larutan dengan kadar garam 10%.
3. Pencampuran antara NaCl (garam dapur) dengan air, dengan komposisi 10% (10 gr) NaCl dan 90% air.
4. Temperatur diasumsikan sama pada semua media korosi.
5. Variasi waktu perendaman adalah 1,2,3,4, 5 minggu.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Berapa nilai laju korosi (mpy) pada stainless steel 316 L dan baja karbon rendah didalam larutan 10% NaCl.
2. Berapa nilai VHN (Vickers Hardness Number) pada stainless steel 316 L dan baja karbon rendah di dalam larutan 10% NaCl.
3. Bagaimana hubungan nilai laju korosi (mpy) dan VHN (Vickers Hardness Number) pada suatu media korosi.
4. Bagaimana pengaruh waktu perendaman terhadap laju korosi dan kekerasan pada baja SS 316 L dan baja karbon rendah dalam larutan 10% NaCl.

#### **1.5 Metode penelitian**

Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Menggunakan metode kehilangan massa untuk menguji laju korosi bahan.
2. Metode uji kekerasan vickers untuk mendapatkan nilai kekerasan pada stainless steel 316 L dan baja karbon rendah
3. Metode grafik untuk mendapatkan hubungan antara laju korosi dan kekerasan vickers pada stainless steel 316 L dan baja karbon rendah yang direndam dalam media air garam.

## **1.6 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini:

1. Memberikan informasi mengenai nilai laju korosi (mpy) pada stainless steel 316 L dan baja karbon rendah pada air garam.
2. Memberikan informasi mengenai nilai VHN (Vickers Hardness Number) stainless steel 316 L dan baja karbon rendah sebelum dan setelah korosi.
3. Menjadi bahan pembelajaran bagi mahasiswa lain mengenai studi laju korosi untuk dijadikan acuan penelitian berikutnya.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan ini dibagi menjadi beberapa bab dengan garis besar tiap bab. Dimulai dari bab satu pendahuluan, pada bab satu memberikan gambaran menyeluruh mengenai tugas akhir yang meliputi pembahasan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Pada bab kedua tinjauan pustaka berisikan teori mengenai baja, korosi dan jenisnya, larutan NaCl, Uji Vickers dan studi literatur yang berkaitan dengan pokok permasalahan serta metode pendekatan yang digunakan untuk menganalisa persoalan.

Bab ketiga metodologi penelitian berisi metode penelitian yang digunakan dalam penelitian, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, prosedur penelitian.

Bab keempat hasil dan pembahasan berisi metode pengolahan data yang digunakan dalam penelitian, serta analisis pada setiap hasil yang didapatkan setelah pengujian.

Bab kelima kesimpulan dan saran. Bab ini berisikan kesimpulan yaitu jawaban dari tujuan penelitian dan dan saran yang merupakan rekomendasi dari penulis untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Bagian akhir ada daftar pustaka dan

lampiran. Daftar pustaka berisikan daftar literatur yang digunakan dalam penelitian dan penyusunan laporan. Lampiran berisi data data yang mendukung isi laporan skripsi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Baja**

##### **2.1.1 Pengertian Baja**

Baja adalah logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai grade-nya (Anonymous B, 2012).

Baja merupakan bahan dasar vital untuk industri. Semua segmen kehidupan mulai dari peralatan dapur, transportasi, generator pembangkit listrik, sampai kerangka gedung dan jembatan menggunakan baja. Besi baja menduduki peringkat pertama di antara barang tambang logam dan produknya melingkupi hampir 90 % dari barang berbahan logam.

Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada kisi kristal (*crystal lattice*) atom besi. Baja karbon ini dikenal sebagai baja hitam karena berwarna hitam, banyak digunakan untuk peralatan pertanian misalnya sabit dan cangkul. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah titanium, krom (*chromium*), nikel, vanadium, cobalt dan tungsten (*wolfram*). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

##### **2.1.2 Klasifikasi Baja**

###### **2.1.2.1 Berdasarkan Presentase Karbon**

###### **a. Baja Karbon Rendah**

Baja karbon rendah mengandung karbon antara 0,10 s/d 0,30 %. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profil. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja, maka baja karbon rendah dapat digunakan atau dijadikan baja - baja sebagai berikut:

1. Baja karbon rendah yang mengandung 0,04 % - 0,10% C. untuk dijadikan baja - baja plat atau strip.
2. Baja karbon rendah yang mengandung 0,05% C digunakan untuk keperluan badan - badan kendaraan.
3. Baja karbon rendah yang mengandung 0,15% - 0,30% C digunakan untuk konstruksi jembatan, bangunan, membuat baut atau dijadikan baja konstruksi.

b. Baja Karbon Menengah

Baja karbon menengah mengandung karbon antara 0,30% - 0,60% C. Baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat - alat perkakas bagian mesin. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung dalam baja maka baja karbon ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, dan sebagainya.

c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi mengandung kadar karbon antara 0,60% - 1,7% C dan setiap satu ton baja karbon tinggi mengandung karbon antara 70 - 130 kg. Baja ini mempunyai tegangan tarik paling 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, mata gergaji dan lain sebagainya.

### **2.1.2.2 Berdasarkan Komposisi**

Dalam 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 tahan api), 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 baja hanya 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 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.

### **2.1.3 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 mempegaruhi 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. Meningkatkan 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 ferit. 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 temperatur 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 Mo 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)

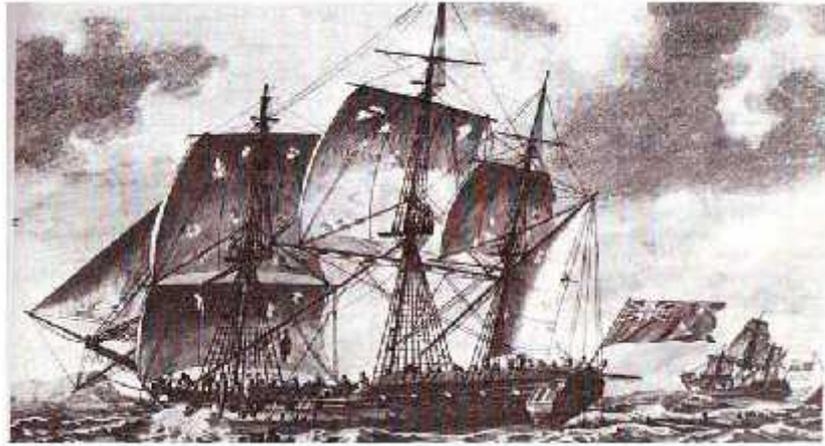
Phospor dalam jumlah besar dalam baja dapat menaikkan kekuatan dan kekerasan, tetapi juga menurunkan keuletan dan ketangguhan *impact*. Pada baja konstruksi kandungan phosphor dibatasi dengan kandungan maksimum yang biasanya tidak lebih dari 0,05%.

## 2.2 Korosi

### 2.2.1 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 serupa yang dilakukan sejak saat itu, inisiasi dari kesimpulan yang diambil seringkali justru dianggap remeh oleh para perancang di seluruh 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)

Sejara 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, lempengan - 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.

### **2.2.2 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.

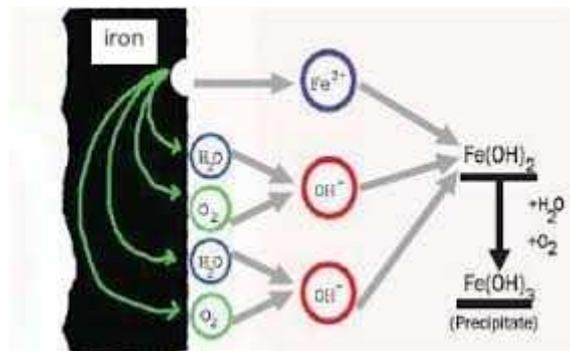
Korosi secara awam lebih dikenal dengan istilah pengkaratan yang merupakan fenomena kimia bahan - bahan logam di berbagai macam kondisi lingkungan. Penyelidikan tentang sistem elektrokimia telah banyak membantu menjelaskan mengenai korosi ini, yaitu reaksi kimia antara logam dengan zat - zat yang ada 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.

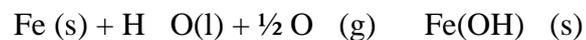
### 2.2.3 Mekanisme Korosi

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  $H^+$  dan reduksi  $O_2$ , akibat  $H^+$  dan  $H_2O$  yang tereduksi. Reaksi ini terjadi dipermukaan logam yang akan menyebabkan pengelupasan akibat pelarutan logam ke dalam larutan secara berulang - ulang.

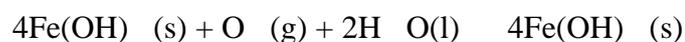


Gambar 2.2 Mekanisme korosi

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  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang berwarna merah kecoklatan yang biasa kita sebut karat (Vogel, 1979). Reaksinya adalah:

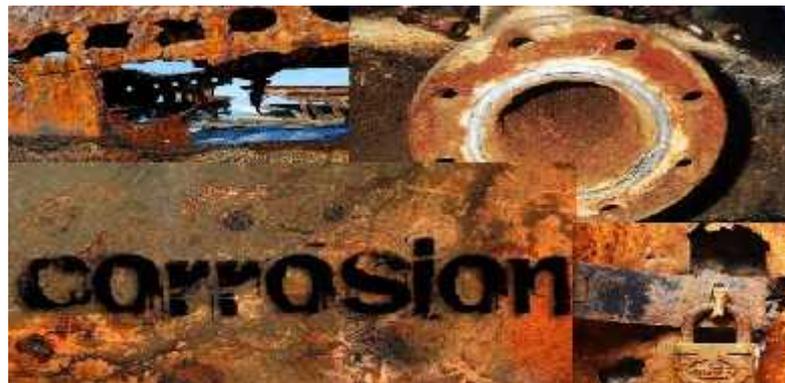


#### 2.2.4 Bentuk Korosi

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 2.3 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 2.4 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 terjebakannya elektrolit sebagai lingkungan korosif di celah-celah yang terbentuk diantara peralatan konstruksi.



Gambar 2.5 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 2.6 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 2.7 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 2.8 *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 sudusudu turbin. Erosion / abrasion corrosion juga terjadi di saluran gas-gas hasil pembakaran.



Gambar 2.9 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. Contoh korosi tegangan pada pipa dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Korosi tegangan

### 2.2.5 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 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 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 - 5	1000 - 5000	100 - 500	50 - 200
Unacceptable	200+	5+	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 media korosif.
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)

= Massa jenis logam ( $\text{g/cm}^3$ )

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

### 2.2.6 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. Di dalam 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.

#### **2.2.7 Pengaruh Ion Klorida Terhadap Korosi Baja**

Korosi pada baja karbon antara lain dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif seperti ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ). Konsentrasi ion klorida yang makin tinggi akan semakin meningkatkan kecenderungan terjadinya korosi.

Ion klorida kebanyakan bertindak sebagai ion triger atau ion agresif karena kemampuannya yaitu menghancurkan lapisan pasif pada permukaan baja karbon dan mempercepat laju korosi. Ion klorida bukan merupakan unsur ilmiah yang terdapat dalam air, namun biasanya ditambahkan untuk mengontrol perkembangan organisme air. Ketika terlarut di dalam air, maka ion klorida akan berubah menjadi asam hipoklorit ( $\text{HClO}$ ) dan asam klorida ( $\text{HCl}$ ), yang mana akan menurunkan nilai pH.

Ion klorida dikenal memiliki efek perusak terhadap baja karbon. Kebanyakan ion tersebut memiliki kemampuan untuk terserap di permukaan logam dan berinterferensi membentuk lapisan pasif. Pitting merupakan jenis serangan utama yang terjadi akibat ion klorida. Area kecil dimana ion  $\text{Cl}^-$  terserap di permukaan logam merupakan daerah anodik menuju lapisan oksida pasif katodik yang luas. Ketika proses mulai, reaksi hidrolisis ion logam dari

reaksi anodik menyebabkan penurunan pH, yang mana menghambat perbaikan lapisan film dan mempercepat serangan. Baja karbon akan terkorosi di dalam air yang mengandung klorida terutama dalam bentuk korosi uniform dibandingkan dalam bentuk localized attack.

Pengaruh ion klorida terhadap laju korosi tergantung kation larutan konsentrasi garam. Adanya perbedaan laju korosi pada larutan garam seperti *Lithium chloride* (LiCl), *Sodium chloride* (NaCl), dan *Potassium chloride* (KCl) dikarenakan perbedaan kelarutan oksigen pada masing-masing larutan garam. Jadi, pengaruh konsentrasi satu komponen dapat di pengaruhi oleh variabel lingkungan lainnya pada korosi aqueous. Selain itu, adanya ion tambahan seperti ion Cl<sup>-</sup> kemungkinan meningkatkan timbulnya *localized attack* contohnya *pitting*, *crevice corrosion*, and *Stress Corrosion Cracking* (SCC).

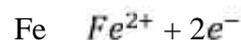
### 2.2.8 Pengaruh pH Terhadap Korosi Baja

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<sup>-</sup> 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 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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 HCl 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.

### 2.2.9 Pengaruh Oksigen Terlarut Terhadap Korosi Baja

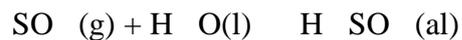
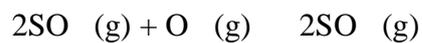
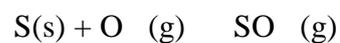
Proses korosi pada besi baja pada temperatur kamar membutuhkan oksigen terlarut netral dan alkali akan stabil tanpa kehadiran oksigen. Adanya proses agitasi ataupun stirring dapat meningkatkan transport pelarutan oksigen dan meningkatkan laju korosi. Peningkatan temperatur awalnya meningkatkan laju korosi 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

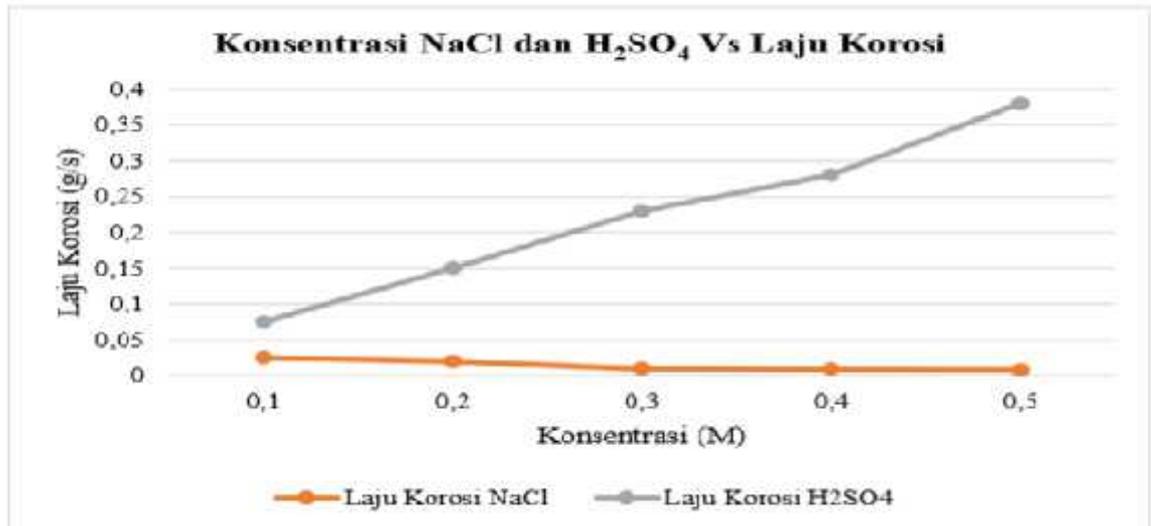
sekelilingnya merupakan daerah katoda (ber-pH tinggi) yang dihasilkan dari reaksi reduksi oksigen terlarut. Apabila dibandingkan dengan logam nonferrous, seperti copper dan zinc, maka perilaku korosi pada baja karbon sedikit sensitif terhadap kualitas air. Hal ini sesuai dengan fakta bahwa produk dari reaksi anodik pada baja karbon bersifat tidak protektif. Laju korosi pada baja dikontrol oleh katodik, yaitu suplai oksigen terlarut.

### 2.2.10 Pengaruh Ion Sulfur Terhadap Korosi Baja

Ion sulfur secara alami terbentuk oleh letusan gunung berapi. Dimana unsur ini sangat berpengaruh terhadap baja ketika unsur ini membentuk senyawa kimia berupa asam kuat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Asam kuat sangat berpengaruh terhadap baja dimana asam kuat dapat membuat baja menjadi korosi. Adapun fenomena dimana sulfur dapat menjadi asam kuat yaitu ketika terjadi hujan asam yang disebabkan erupsi gunung berapi. Dimana meningkatnya kadar unsur didalam atmosfer dan bertemu dengan uap air akan membentuk senyawa asam kuat seperti rumus kimia dibawah ini



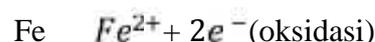
Dari penelitian yang telah dilakukan semakin besar konsentrasi asam sulfat semakin besar kecepatan korosinya. Kecepatan korosi pada medium larutan asam sulfat lebih besar dibandingkan medium larutan natrium klorida. Hal ini didapatkan berdasarkan grafik berikut ini.



Gambar 2.11 Konsentrasi NaCl dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> vs Kecepatan korosi (Sumber : Gusti, 2012)

Dari Gambar 2.11 diatas dapat diketahui bahwa pengaruh larutan asam sulfat terhadap kecepatan korosi baja sangat tinggi sekali dibandingkan kecepatan korosi pada larutan natrium klorida. Dari grafik tersebut terlihat bahwa terjadi peningkatan kecepatan korosi seiring dengan meningkatnya konsentrasi dari larutan asam sulfat. Hal ini menunjukkan bahwa larutan asam sulfat merupakan media yang sangat korosif.

Asam sulfat sebagai zat pengoksidator kuat mengakibatkan logam Fe teroksidasi menjadi  $Fe^{2+}$  yang tidak stabil yang dapat bereaksi dengan ion hidroksil yang bermuatan negatif yang diperoleh dari reaksi disosiasi air membentuk ferihidroksida yang dapat bereaksi kembali dengan ion  $Fe^{2+}$  menghasilkan endapan feroferioksida ( $Fe_2O_3$ ) yang berwarna kuning kemerahan yang bersifat magnetik, yang dapat dijelaskan dengan reaksi berikut ini.



Selanjutnya,



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

Menurut Threthewey (1991), natrium klorida merupakan media korosif, tetapi menurut Widharto (2004) ion halogen sendiri menghambat korosi pada tingkat tertentu dalam larutan.

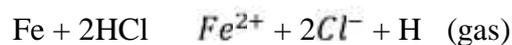
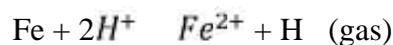
Namun berlawanan dengan pernyataan diatas bahwasanya adanya unsur  $SO_4^{2-}$  yang tinggi pada suatu media korosif sebenarnya akan menurunkan laju korosi. Kandungan sulfat yang lebih dari 500 ppm atau sekitar 0,01 M akan menurunkan laju korosi dari logam dan juga akan menurunkan kemungkinan terjadinya *pitting corrosion*.

### 2.2.11 Karakteristik Karat Baja

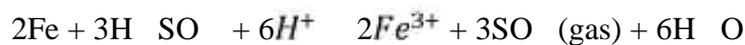
Baja murni terdiri atas logam berwarna putih - perak, tangguh, dan kuat. Baja tersebut melebur pada temperatur 1535 °C. Pada aplikasi jarang sekali menggunakan baja murni, biasanya baja yang digunakan mengandung sejumlah grafit dan elemen paduan lainnya. Unsur paduan tersebut berperan dalam meningkatkan *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 ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) Garam ini bersifat lebih stabil dibandingkan garam besi (II). Dalam kondisi aqueous, kation dari  $\text{Fe}^{3+}$  berwarna kuning muda, jika larutan mengandung klorida, maka warna kuning yang dihasilkan di permukaannya semakin kuat. Baja dapat dilarutkan menjadi ion  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$  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 ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ) 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

### 2.3 Larutan NaCl

**Natrium klorida**, juga dikenal dengan garam dapur, atau halit, adalah senyawa kimia dengan rumus molekul **NaCl**, mewakili perbandingan 1:1 ion natrium dan klorida. Dengan massa molar masing-masing 22,99 dan 35,45 g/mol, 100 g NaCl mengandung 39,34 g Na dan 60,66 g Cl. Senyawa ini adalah garam yang paling memengaruhi salinitas laut dan cairan ekstraselular pada banyak organisme multiseluler. Sebagai komponen utama pada garam dapur, natrium klorida sering digunakan sebagai bumbu pengawet makanan. Sejumlah besar natrium klorida digunakan dalam banyak proses industri, dan merupakan sumber utama senyawa natrium dan klorin yang digunakan sebagai bahan baku untuk sintesis kimia lebih lanjut.

Aplikasi utama kedua natrium klorida adalah untuk menghilangkan lapisan jalan pada cuaca sub-beku.

Senyawa ini merupakan bahan pemula bagi proses kloralkali, yang menghasilkan klorin dan natrium hidroksida sesuai dengan persamaan kimia



Elektrolisis ini dilakukan baik di dalam sel raksa, sel diafragma, atau sel membran. Masing-masing menggunakan metode yang berbeda untuk memisahkan klorin dari natrium hidroksida. Teknologi lain sedang dikembangkan karena konsumsi energi yang tinggi dari elektrolisis, di mana perbaikan kecil dalam efisiensi dapat memiliki pengembalian ekonomi yang besar. Beberapa aplikasi klorin termasuk PVC, desinfektan, dan pelarut. Natrium hidroksida memungkinkan industri yang menghasilkan kertas, sabun, dan aluminium.

## 2.4 Uji Kekerasan

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula.

Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Di dalam aplikasi manufaktur, material dilakukan pengujian dengan dua pertimbangan yaitu untuk mengetahui karakteristik suatu material baru dan melihat mutu untuk memastikan suatu material memiliki spesifikasi kualitas tertentu.

### 2.4.1 Uji Kekerasan Vickers

Uji kekerasan vickers menggunakan penumbuk piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan - permukaan piramida

yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$ . Karena bentuk penumbuknya piramida, maka pengujian ini sering dinamakan uji kekerasan piramida intan. Angka kekerasan vickers (VHN) didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Pada prakteknya luas ini dihitung dari pengukuran mikroskopik panjang diagonal jejak. VHN dapat ditentukan dari persamaan berikut ini.

$$\text{VHN} = \frac{1,854 \times P}{d^2}$$

Dimana,

VHN = nilai kekerasan Vickers  $\text{kg}/\mu\text{m}^2$

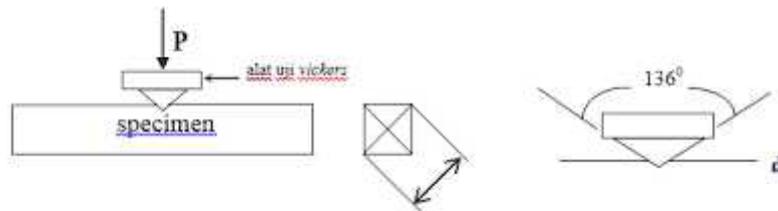
P = beban yang diterapkan, kg

d = panjang diagonal rata-rata,  $\mu\text{m}$

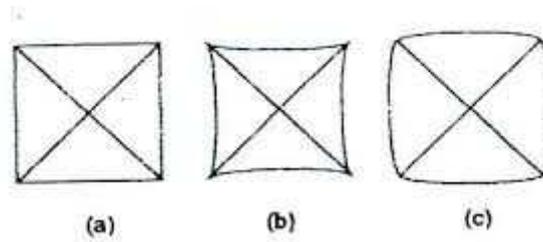
Beban yang biasanya digunakan pada pengujian ini 1 kg, tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Lekukan yang benar yang dibuat oleh piramida intan harus berbentuk bujur sangkar. Akan tetapi penyimpangan dapat terjadi pada penumbuk lekukan. Lekukan bantal jarum pada Gambar 2.13 b adalah akibat terjadinya penurunan logam di sekitar permukaan piramida yang datar. Keadaan demikian terjadi pada logam yang dilunakkan dan mengakibatkan pengukuran panjang diagonal yang berlebihan. Lekukan berbentuk tong pada Gambar 2.13 c terdapat pada logam yang mengalami proses pengerjaan dingin. Bentuk demikian diakibatkan oleh penimbunan ke atas logam-logam di sekitar permukaan penumbuk. Ukuran diagonal pada kondisi demikian akan menghasilkan luas permukaan kontak yang kecil, sehingga menimbulkan kesalahan angka kekerasan yang besar.

Keuntungan pengujian vickers adalah skala kekerasannya yang kontiniu, dari yang sangat lunak dengan nilai 5 hingga yang sangat keras dengan nilai 1500 karena indentornya yang sangat keras yaitu intan. Selain itu, pada uji vickers beban tidak perlu diubah dan tidak bergantung pada besar beban indentor. Uji vickers juga dapat dilakukan pada bahan-bahan yang tipis dan jejak indentor

sangat kecil nyaris tak terlihat. Adapun kelemahan uji vickers adalah pengujiannya membutuhkan waktu yang cukup lama.



Gambar 2.12 Skema pengujian *Vickers hardness*



Gambar 2.13 Tipe tipe lekukan piramida intan, (a) lekukan yang sempurna, (b) lekukan bantal jarum, (c) lekukan berbentuk tong

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

#### 1. Baja Karbon Rendah dan baja SS 316 L

Baja karbon rendah dan baja SS316 L dipotong atau dibentuk dengan dimensi panjang 50 mm, lebar 30 mm dan tebal 3 mm.

Tabel 3.1 Hasil Uji Komposisi Stainless Steel 316 L

C	Si	S	P	Mn	NI	Cr	Mo	Fe
0,029	0,390	0,035	0,050	1,648	9,930	16,860	2,057	-

Tabel 3.2 Sifat Mekanik SS 316L

<i>Tensile</i> <i>e</i> (MPa)	<i>Yield</i> (MPa)	<i>Elongatio</i> <i>n</i> (%in50m m)	<i>Hardne</i> <i>ss</i> <i>Rocwell</i> (HR B)	<i>Densit</i> <i>y</i> (kg/ <i>m</i> <sup>3</sup> )	<i>Elastic</i> <i>Modulus</i> (G Pa)	<i>Specifi</i> <i>c Heat</i> (J/Kg. K)	<i>Electric</i> <i>Resistivi</i> <i>ty</i> (nΩ.m)
485	170	40	95	8000	193	500	740

Tabel 3.3 Hasil Uji Komposisi Baja Karbon Rendah

C	Si	Mn	P	S	CmN	Ce	MnSi	Mns	V
0,140	0,123	0,350	0,114	0,107	0,199	0,229	2,826	32,671	0.001
Al	Cr	Ni	Mo	Cu	Sn	Fe	Mg	SnCu0,	
0,036	0,076	0,059	0,121	0,131	0,007	99,04	0,001	0,513	

## 2. NaCl 10%

senyawa ionik yang terdiri dari ion positif (kation) dan ion negatif (anion), sehingga membentuk senyawa netral (tanpa bermuatan). Garam terbentuk dari hasil reaksi asam dan basa. Komponen kation dan anion ini dapat berupa senyawa anorganik seperti Klorida (Cl), dan bisa juga berupa senyawa organik seperti Asetat ( $\text{CH}_3\text{COO}$ ) dan ion monoatomik seperti Fluorida (F) serta ion poliatomik seperti Sulfat ( $\text{SO}_4$ ).

### 3.2 Lokasi dan Alat Penelitian

#### 3.2.1 Lokasi Penelitian

Pembuatan spesimen, uji berat, dilakukan di laboratorium metalurgi Universitas HKBP Nomensen 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

Amplassing 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 specimen 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.

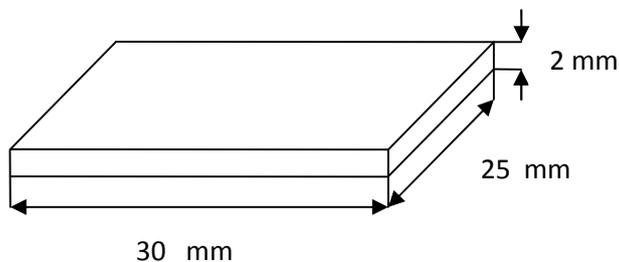
### 3.3 Langkah Kerja Proses Penelitian

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 HCl 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 (soda kaustik) dengan konsentrasi 5% – 10% pada suhu 70<sup>0</sup>C – 90<sup>0</sup>C 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**

## **8. Proses pengkorosian**

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

Proses pengkorosian:

- A. Larutkan garam dapur NaCl sesuai variabel yang ditetapkan.
- B. Masukkan spesimen masing-masing kedalam larutan.
- C. Setelah mencukupi variabel waktu yang ditentukan angkat spesimen.
- D. 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 Vickers**

Setelah spesimen dibersihkan dilakukan uji Vickers untuk mendapatkan nilai kekerasan material.

## **11. Analisis data**

### 3.4 Diagram Alir

