

## TUGAS AKHIR

### ANALISA KOROSI RETAK TEGANG MATERIAL AISI 304 DENGAN VARIASI PEMBEBANAN PADA MEDIA AIR LAUT

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan  
Teknik Mesin



Oleh:

**EKO SAPUTRA**

143310691

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ISLAM RIAU**

**2020**

## ANALISA KOROSI RETAK TEGANG PADA MATERIAL AISI 304 DENGAN VARIASI PEMBEBANAN PADA MEDIA AIR LAUT

Eko Saputra, Kurnia Hastuti

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau-Pekanbaru

Jl.Kaharudin Nasution No.113, Pekanbaru – Riau

Email: [ekosaputra@student.uir.ac.id](mailto:ekosaputra@student.uir.ac.id)

### ABSTRAK

*Stress Corrosion Cracking* [SCC] atau korosi retak tegang merupakan kegagalan logam korosi hasil peretakan intergranular dan transgranular dibawah pengaruh tegangan tarik dan lingkungan korosif. *Stress Corrosion Cracking* sering terjadi pada pipa bawah laut. Hal ini disebabkan karena pengelasan yang biasa dilakukan pada pipa menghasilkan tegangan sisa dan kombinasi dengan media air laut yang korosif menyebabkan terjadinya SCC. Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami fenomena SCC dan mengkaji pengaruh variasi beban terhadap SCC pada material pipa AISI 304. Metode pengujian yang digunakan adalah C ring, dengan variasi beban 3 kN, 4kN dan 5kN. Matrial dicelup dalam media air laut selama 5 hari, 10 hari dan 15 hari. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan, pengambilan data kehilangan berat, perhitungan laju korosi dan pengukuran luas area retak dengan mikroskop optik. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan peningkatan nilai kekerasan spesimen setelah dilakukan pembebanan dari kekerasan awal 163 naik menjadi 165,5 Pada beban 3 kN, 181,3 pada beban 4kN dan 189,1 pada beban 5kN. Kehilangan berat dan laju korosi dipengaruhi besarnya beban dan lamanya waktu pencelupan. Kehilangan berat dan laju korosi terbesar terjadi pada spesimen dengan beban 5 kN dan waktu pencelupan 15 hari dan yang terkecil terjadi pada beban 3 kN dan pencelupan 5 hari. Luas retak juga meningkat dengan naiknya beban dan bertambahnya waktu perendaman. Spesimen yang memiliki area retak terbesar terjadi pada spesimen dengan beban 5 kN dengan waktu pencelupan 15 hari yaitu sebesar  $999039,09 \mu\text{m}^2$  dan spesimen yang memiliki area retak terkecil ialah spesimen dengan beban 3 kN pada waktu pencelupan 5 hari sebesar  $285494,76 \mu\text{m}^2$ . Penelitian ini menunjukkan bahwa beban yang diberikan sebaiknya maksimal hanya sebesar 4 kN, karena peningkatan beban di atas nilai tersebut menyebabkan laju korosi meningkat tajam.

Kata Kunci : *Stress Corrosion Cracking, pipa SS304, C-ring, Laju korosi.*

## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum, Wr. Wb.

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-nya sehingga kita saat ini masih diberi kesehatan, kesempatan untuk menikmati nikmat iman dan islam serta penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sesuai dengan penulis harapkan. Tidak lupa pula kita ucapkan shalawat beriring salam tak lupa kita panjatkan kepada nabi besar Muhammad SAW berkat perjuangannya kita dapat menikmati ilmu pengetahuan hingga saat ini.

Tugas Akhir ini yang berjudul “ **Analisis Korosi Retak Tegang Material AISI 304 Dengan Variasi Pembebanan Pada Media Air Laut** “ penulisan Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan kurikulum akademis guna memperoleh gelar sarjana teknik mesin Universitas Islam Riau. Selain itu penulisan skripsi ini juga bertujuan agar mahasiswa bisa berpikir secara logis dan ilmiah serta bisa menuangkan pemikirannya secara sistematis dan terstruktur.

Tugas akhir ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati penulis haturkan ucapan terima kasih kepada:

1. Kedua Orangtua penulis bapak Sofyan, ibunda Jasmi yang tercinta yang telah melahirkan, membesarkan dan mendidik penulis tidak henti- hentinya membantu baik do'a maupaun materi dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
2. Abang tercinta yang sangat kusayangi Muhammad Abdullah dan Abdul Mutalib, yang telah memberikan motivasi serta semangat tiada henti- hentinya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

3. Bapak Dr.Eng. Muslim., MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
4. Bapak Dody Yulianto, ST., MT. selaku Kepala Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
5. Bapak .Dr. Dedi Karni, ST., M.Sc selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau.
6. Ibu Dr.Kurnia Hastuti, ST.,MT selaku Dosen Pembimbing dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah menuangkan ilmunya kepada saya.
8. Teman-teman seperjuangan teknik mesin yang sudah membantu saya dalam proses penelitian sampai dengan selesai dan memberikan semangat serta dukungannya kepada penulis.

Akhir kata, dengan segala penuh harapan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penulis sendiri khususnya, dan dapat dijadikan sebagai referensi bagi penelitian-penelitian yang akan datang dan dapat dikembangkan sebagai ilmu pengetahuan di kalangan masyarakat luas.

**Wassalamualaikum, Wr. Wb.**

Pekanbaru, April 2020

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Masalah.....	3
1.4 Mamfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Korosi.....	5
2.1.1 Jenis Korosi.....	6
2.1.2 Stress Corosion Cracking.....	9
2.1.3 Pengaruh Tegangan Pada SCC.....	10
2.1.4 Mekanisme Pwngujian SCC.....	12
2.1.5 Syarat-Syarat Terjadinya Korosi.....	15
2.1.6 Korosi Pada Media Air Laut.....	16
2.1.7 Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Korosi Pada Media Air Laut .....	17

2.1.8 Pencegahan Korosi .....	19
2.2 Baja .....	24
2.2.1 Baja Karbon .....	25
a. Baja Karbon Rendah .....	25
b. Baja Karbon Sedang .....	25
c. Baja Karbon Tinggi .....	26
2.2.2 Baja Panduan .....	26
2.2.3 Pengaruh Unsur Panduan .....	27
1. Karbon (C) .....	27
2. Silikon (Si) .....	28
3. Mangan (Mn) .....	28
4. posfor (P) .....	28
5. belerang (S) .....	29
6. kromium (Cr) .....	29
7. Nikel (Ni) .....	29
8. Molibdenum (Mo) .....	29
9. Titanium (Ti) .....	30
2.3 Baja Tahan Karat ( <i>Steinless Steel</i> ) .....	30
2.3.2 Martensitic Stainless Steels .....	30

2.3.3 Feritic Stainless Steels .....	31
2.3.4 Austenitic Stainless Steels .....	31
2.3.5 Duplex Stainless Steels .....	32
2.3.6 Baja Tahan Karat Pengerasan Presipitasi .....	33
2.4 <i>stainless steel 304</i> .....	33
2.5 Struktur Baja Tahan Karat .....	34
2.6 Uji Immers .....	36
2.7 Perhitungan Laju Korosi .....	37
2.8 Review Jurnal .....	40

**BAB III METODELOGI PENELITIAN**

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	43
3.2 Alat Dan Bahan .....	43
3.2.1 Alat .....	43
3.2.2 Bahan .....	48
3.3 Persiapan Material .....	48
3.4 Pembuatan Alat Uji SCC .....	49
3.5 Prosedur Pengujian .....	49
3.5.1 Uji Komposisi .....	51
3.5.2 Metalografi .....	51

3.5.3 Pengujian Kekerasan.....	51
3.6 Pengambilan Data.....	52
3.6.1 Berdasarkan Kehilangan Berat Spesimen .....	53
3.7 Perhitungan Laju Korosi .....	54
3.9 Diagram Alir .....	55
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b>	
4.1 Kekerasan Material .....	56
4.2 Kehilangan Berat .....	58
4.3 Laju Korosi .....	60
4.4 Pengamatan Retak .....	71
4.5 Pembahasan .....	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	78
5.2 Saran .....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Korosi Pada Logam .....	4
Gambar 2.2 Korosi Merata .....	5
Gambar 2.3 Korosi Perlobangan .....	5
Gambar 2.4 Korosi Tegangan .....	5
Gambar 2.5 Korosi Erosi .....	6
Gambar 2.6 Korosi Celah .....	6
Gambar 2.7 SCC .....	7
Gambar 2.8 Metode Pengujian Korosi Retak Tegang .....	12
Gambar 2.9 Cara Kerja Proteksi Katodik .....	16
Gambar 2.10 Kategoari dan Jenis-Jenis Stainless Steel .....	26
Gambar 2.11 Diagram fasa FE-Cr .....	27
Gambar 2.12 diagram schaeffler .....	28
Gambar 3.1 Gerinda Listrik .....	34
Gambar 3.2 Wadah Pembersih .....	35
Gambar 3.3 Jangka Sorong .....	35
Gambar 3.4 Timbangan Digital .....	36
Gambar 3.5 Gelas Ukur .....	37
Gambar 3.6 Mesin Uji Kekerasan .....	37

Gambar 3.7 Mikroskop Optik .....	38
Gambar 3.8 akuarium .....	38
Gambar 3.9 Spesimen Uji .....	39
Gambar 3.10 Bak Pengujian .....	40
Gambar 4.1 Nilai Kekerasan Spesimen Uji .....	47
Gambar 4.2 Grafik Kehilangan Berat .....	49
Gambar 4.3 grafiik laju korosi .....	59
Gambar 4.4 Grafik Luas Area Retak .....	64



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Unsur Pokok Dalam Media Air laut .....	13
Tabel 2.2 . Konsentrasi Ion/Molekul Pada Air Laut .....	14
Tabel 2.3 komposisi SS 304 .....	27
Tabel 2.4 Perbandingan Pada Mpy Dengan Kesamaan Metric Kecepatan ..	30
Tabel 2.5 Nilai Ketetapan Laju Korosi.....	31
Tabel 3.1 Komposisi Kimia SS 304 .....	41
Tabel 3.2 Uji Kekerasankorosi Steinlees Steel 304 .....	42
Tabel 3.3 Kehilangan Berat Pada Media Korosi .....	43
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Kekerasan .....	46
Tabel 4.2 Kehilangan Berat Spesimen Setelah Pencelupan .....	48
Tabel 4.3 Perhitungan Laju Korosi .....	58

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

*Stress corrosion cracking* (SCC) atau korosi retak tegang merupakan kegagalan intergranular pada baja akibat kegiatan gabungan antara tegangan tarik statik dengan lingkungan khusus. Bentuk korosi ini sangat lazim dijumpai dilingkungan industri. SCC terjadi karena adanya tiga faktor yang saling berkaitan, yaitu adanya tegangan tarik, lingkungan yang korosif, dan material yang rentan terhadap korosi. (Bayuseno et al. 2014)

Pipa gas bawah laut adalah komponen yang beresiko terhadap terjadinya korosi retak tegang. Dalam penggunaannya pipa bawah laut berfungsi untuk memindahkan gas. Pengelasan pada sambungan pipa dapat memberikan tegangan sisa terhadap pipa. Adanya media air laut dengan kadar garam yang tinggi di kombinasikan dengan tegangan sisa yg diberikan akibat pengelasan menyebabkan pipa bawah laut mengalami korosi retak tegang. Permasalahan ini sering dialami pipa bawah laut sehingga menyebabkan pipa bocor. Pipa bawah laut tidak hanya mengalami korosi tetapi juga retak.

Beberapa penelitian berkaitan korosi retak tegang telah dilakukan. Putrandono et al. (2014) melakukan penelitian dengan menggunakan material kuningan pada beban bervariasi dalam media air. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa media korosif dan tegangan yang dialami material berpengaruh pada korosi retak tegang

yang terjadi. Semakin besar tegangan maka korosi yang terjadi juga semakin cepat. Pada penelitian yang lain, Badaruddin (2014) menggunakan specimen baja karbon rendah yang sebelumnya telah diberi efek *shot peening* pada media air laut. Adanya *shot peening* menyebabkan peningkatan nilai kekerasan pada material akibat adanya deformasi plastis yang dapat menimbulkan efek pengerasan regangan dan tidak ditemukan korosi retak tegang pada material yang mengalami *shot peening*.

Pada penelitian yang lain, Bayuseno et al.(2014) menggunakan material AISI 304 dengan metode *u-bend* dalam media HCL 1M. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tebal berpengaruh pada laju korosi. Pelat tebal 6mm mengalami korosi lebih cepat dibandingkan pelat tebal 3mm. Selain itu terjadinya korosi menyebabkan sifat mekanik material turun.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas diketahui bahwa media korosi, beban, proses shot peening dan tebal pelat berpengaruh pada terjadinya korosi retak tegang. Karena itu maka penelitian tentang terjadinya korosi retak tegang pada material pipa perlu dilakukan. Sebagaimana telah dijelaskan di atas, bahwa kadar garam yang tinggi dalam air laut dan adanya tegangan sisa yang berasal dari proses pengelasan yang dialami pipa menjadi pemicu terjadinya korosi retak tegang. Penelitian ini perlu dilakukan karena korosi retak tegang dapat menyebabkan pengurangan dimensi dan turunnya kekuatan material. Hasil penelitian ini di harapkan dapat menjelaskan cara pengujian dan proses terjadinya korosi retak tegang pada pipa bawah laut.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana memilih metode pengujian yang paling sesuai dengan bentuk specimen pipa?
2. Bagaimana pengaruh variasi beban terhadap SCC?
3. Bagaimana mekanisme terjadinya SCC?

## 1.3 Tujuan Masalah

1. Mendapatkan metode uji SCC yang sesuai dengan benda uji berbentuk pipa.
2. Mendapatkan pengaruh pembebanan pada SCC pada pipa bawah laut.
3. Mengetahui mekanisme terjadinya SCC.

## 1.4 Manfaat Penelitian

1. Menjadi referensi bagi peneliti dan mahasiswa lain tentang pengujian SCC.
2. Mencegah terjadinya SCC dengan mengetahui pengaruh besarnya tegangan pada SCC.

## 1.5 Batasan Masalah

1. Dilakukan pada variasi beban 3 kN, 4 kN dan 5 kN.
2. Material yang digunakan dalam penelitian pipa baja AISI 304.
3. Media korosi yang digunakan adalah air laut.

4. Pemberian beban menggunakan alat tekan compression machine kapasitas 250 kN ASTM C-39.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Penyusun ini bisa di jadikan proposal judul untuk tugas akhir terbagi dalam empat bab secara garis besar dapat di jelaskan sebagai berikut:

### **Bab I           Pendahuluan**

Pada bagian pendahuluan berisi latar belakang masalah, tujuan masalah, rumusan masah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **Bab II           Tujuan Pustaka**

Pada bab ini berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan perancangan dan pmbutan alat pirolisis yang berkaitan dengan masalah yang dibahas.

### **Bab II           Metodologi Penelitian**

Bab ini memberikan informasi mengenai tempat dan waktu pelaksanaan penelitian, peralatan yang di gunakan, tahapan dan prosedur penelitian.

### **Bab IV          Hasil Dan Pembahasan**

Bab ini berisi tentang hasil dari penelitian dan pembahasan yang terdapat dalam penelitian.

### **Bab V           Kesimpulan Dan Saran**

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Korosi

Korosi adalah kerusakan logam karena adanya reaksi kimia atau elektrokimia antara logam dengan lingkungannya. Adapun lingkungan yang dimaksud berupa larutan asam, air dan uap yang masing-masing mempunyai daya hantar listrik yang berbeda-beda. Perusakan logam yang dimaksud adalah berkurangnya nilai logam baik dari segi ekonomis maupun teknis.

Penurunan kualitas logam ini dapat mengakibatkan kecelakaan yang tidak terduga. Disamping itu logam yang mengalami korosi di bagian dalam dan luar permukaan dapat membuat penanpilan menjadi buruk. Untuk mengatasi hal ini diperlukan biaya mahal. Hal inilah yang mengakibatkan korosi dari segi biaya sangat mahal. Pipa bawah laut yang mengalami korosi dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Korosi Pada Logam (Sasono 2010)

### 2.1.1 Jenis Korosi

Beberapa jenis korosi yang terjadi pada baja yaitu :

1. Korosi merata (*uniform corrosion*) Adalah korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Biasanya ini terjadi pada pelat baja atau profil, logam homogen. Korosi jenis ini bisa dicegah dengan cara Diberi lapis lindung yang mengandung inhibitor seperti gemuk. Gambar korosi merata dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Korosi Merata (Utomo 2012)

2. Pitting Corrosion (korosi sumuran) berasal dari kata 'pit' yang artinya sumur. Pitting corrosion merupakan bentuk korosi lokal dimana hasil korosi akan terbentuk suatu pitting (lubang) pada material. Korosi pitting sering dianggap lebih berbahaya jika dibandingkan dengan uniform corrosion (korosi merata), karena produk korosi yang terbentuk akan menutupi pitting (lubang) sehingga sulit untuk diidentifikasi. Logam yang bisa membentuk lapisan pasif, seperti

stainless steel dan aluminium merupakan logam yang paling rentan terserang korosi pitting. Korosi pitting efeknya tidak meluas, namun terjadi hanya di suatu titik saja, dan terus sampai ke dalam sehingga seiring semakin terkorosinya material maka bagian yang terkorosi akan membentuk cekungan seperti sumur. Korosi sumuran dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Korosi Sumuran (Industri 2016)

3. SCC terjadi karena butiran logam yang berubah berubah bentuk yang diakibatkan karena karena logam mendapatkan perlakuan khusus seperti di regang, di tekuk, dan d tarik sehingga butiran menjadi tegang dan butiran sangat mudah bereaksi dengan lingkungan secara perlahan-lahan yang disebabkan perambatan retak dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 SCC (Priyotomo 2016)

4. Korosi erosi (*erosion corrosion*), korosi ini terjadi pada material yang terdapat tumbukan partikel cairan yang mengalir dengan kecepatan tinggi. Gambar korosi erosi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Korosi Erosi (Sasono 2010)

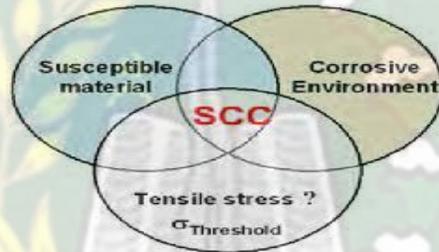
5. Korosi celah (*crevice corrosion*), Korosi yang terjadi pada celah yang dihasilkan karena kontak dua material seperti pada sambungan baut, paku keling, gasket dll. Jika celah ini terisi air atau elektrolit korosi lainnya maka pada bagian celah akan mengalami serangan korosi dibanding permukaan lainnya yang langsung berhubungan dengan udara luar. Gambar korosi celah dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Korosi Celah (ADRIAN 2009)

### 2.1.2 Stress Corosion Cracking

SCC merupakan korosi *intergranular* pada logam akibat kegiatan gabungan antara tegangan tarik static dengan lingkungan khusus. Bentuk korosi ini sangat lazim dijumpai di lingkungan industri. Korosi retak tegang ini terjadi karena adanya tiga kondisi yang saling berkaitan, yaitu adanya tegangan tarik, lingkungan yang korosif, dan material yang rentan terhadap korosi. Keterkaitan tiga kondisi dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 adanya Tiga Kondisi Yang dapat Menyebabkan terjadinya Korosi Retak Tegang (Sitorus et al. 2012)

SCC adalah jenis korosi yang tidak dapat diduga datangnya. Salah satu contohnya pada rantai jangkar kapal dimana korosi retak tegang terjadi pada saat kapal berhenti dan rantai jangkar kapal diturunkan, rantai akan terjadi tegangan tarik static dikarenakan oleh pembebanan jangkar kapal dengan lingkungan yang korosif yaitu media air laut. Adapun ciri ciri korosi tegak tegang adalah:

1. Adanya tegangan tarik. Retak korosi terjadi karena adanya hasil kerja sama antara tegangan dengan korosi, jika salah satu unsur-unsur tersebut tidak ada

maka tidak akan terjadi korosi retak tegang. Tegangan tersebut mungkin terjadi dari tegangan luar yang bekerja pada komponen ketika operasional ataupun juga karena adanya tegangan sisa yang terjadi ketika pembuatan komponen tersebut atau fabrikasi.

2. Peretakan pada logam tertentu yang dapat teramati hanya yang disebabkan oleh sedikit saja unsur kimia di lingkungannya dan unsur-unsur itu tidak perlu dalam konsentrasi besar
3. Logam panduan lebih rentan terhadap korosi retak tegang dibandingkan logam murni.
4. Bila tegangan tidak ada paduan yang biasanya lembam terhadap unsur yang serupa dengan lingkungan yang semestinya menyebabkan peretakan.
5. Bila bahan bersifat mulur, retak korosi tegangan mempunyai penampakan seperti pepatahan rapuh.
6. Biasanya dapat di tentukan tegangan ambang batas, di bawah tegangan retak tegang tidak dapat terjadi.
7. Terdapat rentang potensial tertentu dimana retak tegang bisa terjadi atau tidak mungkin terjadi

### **2.1.3 Pengaruh Tegangan Pada SCC**

SCC dapat terjadi dimana pengaruh intensitas tegangan mendukung terjadinya retak, yang selanjutnya menyebabkan retak dalam. Retak tersebut akan menjalar

sesuai dengan intensitas tegangan, maka semakin besar tegangan yang diberikan maka terjadinya kegagalan juga atau kerentanan terhadap korosi retak tegang semakin meningkat hingga mencapai suatu titik puncak dan kerentanan tersebut akan menurun<sup>[14]</sup>. Sumber dari tegangan dapat dilihat dari berbagai macam seperti tegangan pakai, tegangan sisa, panas, pengaruh permesinan atau pengaruh pengelasan.(Sitorus et al. 2012)

Stainless steel 304 terdiri dari komposisi material yang berbeda – beda unsurnya, adanya perbedaan konsentrasi ini menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan sehingga mengalami tegangan dalam sisa yang akan mendukung terjadinya SCC. Pada beberapa kasus, retakan terjadi meskipun tidak ada tegangan eksternal pada material yang dipakai Contohnya akibat pengelasan yaitu *as welded steel* memiliki tegangan sisa yang mendekati titik luluhnya.

Pada tahap awal, perambatan retak terjadi secara lambat dan konstan. Namun, saat perambatan retak ini merambat, luas penampang dari material tersebut menjadi berkurang sehingga tegangan yang diterima meningkat seiring dengan bertambah dalamnya retak. Akibatnya kecepatan perambatan retak terus meningkat sampai akhirnya kegagalan terjadi. Pada tahap awal retakan, hanya terjadi sedikit perubahan dimensi yang dapat diamati dan juga kedalaman retak. Saat perambatan retak terjadi dengan berjalannya waktu, retakan semakin lebar. Sebelum material tersebut gagal, deformasi plastis terjadi dan perubahan dimensi dari material dapat dengan mudah diamati. (Sitorus et al. 2012)

Tegangan sisa mempunyai peran terhadap kerentanan dari austenitic stainless steel. Berdasarkan skalanya, tegangan sisa dapat dikategorikan menjadi 3 tipe, antara lain :

- a. Tipe I : tegangan sisa skala makro yang bervariasi secara kontinu disepanjang jarak yang besar pada diameter butir. Pada tipe ini contoh dari tegangan sisa adalah bending dari steel plate selama pembentukan pipa, perbedaan pendinginan selama pembentukan dinding dan sepanjang rolling permukaan, dan lokalisasi deformasi plastis selama handling.
- b. Tipe II : tegangan sisa skala mikro yang bervariasi selama skala butir. Tipe II dari tegangan sisa ini berada di pipeline steel dimana tegangan sisa berhubungan dengan keberadaan daerah yang berbeda mikrostrukturnya dan tekstur pada permukaan.
- c. Tipe III : tipe ini melibatkan tegangan pada skala atomik. Tegangan sisa ini disebabkan karena segregasi kimia pada batas butir dan fase yang kecil pada baja paduan mikro

#### **2.1.4 Mekanisme Pengujian SCC**

Pengujian SCC dilakukan pada benda yang diberikan tegangan dan diaplikasikan pada lingkungan yang korosif. Tegangan yang diberikan dapat berupa tegangan tarik ataupun berupa tekukan/bending. Adapun metode pengujian pada korosi retak tegang ini, antara lain :

a) *U-Bend*

*U-bend* ialah salah satu jenis pengujian korosi retak tegang dimana material dibending untuk membentuk material menjadi lengkung sesuai dengan metode ASTM E290. Setelah material berbentuk *u-bend* material di rendam kedalam media korosi berdasarkan waktu yang telah ditentukan.

b) *C-Ring*

*C-Ring* ialah korosi retak tegang pada lingkungan kering ataupun basah. Pengujian C-ring ini lebih cocok buat korosi pada pipa karena pengujian lebih mudah digunakan untuk material berbentuk pipa. Bentuk pada material sudah ditentukan pada ASTM G-38. Metode ini merupakan pengujian dengan regangan yang konstan. Pengujian dimulai pada saat tegangan diberikan pada spesimen sampai terlihat terjadi korosi dan spesimen yang terkena tegangan diekspos di lingkungan korosif untuk mendapatkan material yang korosi. Retak yang lebih diamati adalah bagian tengah, dimana memiliki tegangan yang sangat besar karena gaya dorong ke arah atas dan bawah akan berpusat dan berkonsentrasi pada bagian tengah sampel.

c) *Bent Beam*

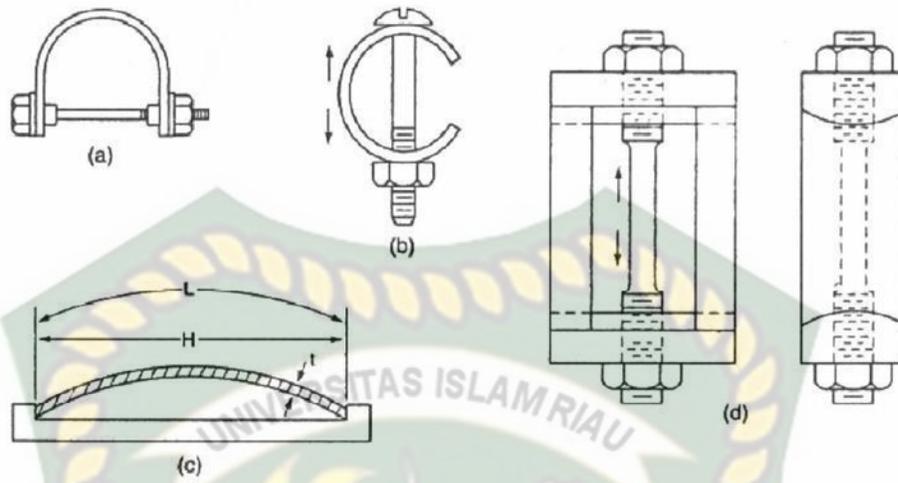
*Bent Beam* ialah pengujian untuk korosi retak tegang pada lingkungan cair atau gas. Pengujian *bent beam* cocok untuk produk yang datar seperti *sheet*, *strip*, atau *plate*. Untuk material *plate*, spesimen *bent beam* lebih sulit

untuk digunakan, karena spesimen holder yang kasar harus dibuat untuk mengakomodasi spesimen. Karena tebal sudah ditentukan pada ASTM G-39. Metode *bent beam* secara umum merupakan pengujian dengan regangan yang konstan atau defleksi yang konstan. Saat retakan telah mulai, bagian ujung retakan sama dengan bagian tidak retak, oleh karena itu nilai tegangan yang dihitung pada metode ini dipakai hanya untuk tegangan sebelum terjadinya retak. Pengujian dimulai pada saat tegangan diberikan pada spesimen sampai terlihat terjadi korosi dan spesimen yang terkena tegangan diekspos di lingkungan korosif untuk mendapatkan material yang korosi. Retak yang lebih diamati adalah bagian tengah, dimana memiliki tegangan yang sangat besar karena gaya dorong ke arah kanan dan kiri akan berpusat dan berkonsentrasi pada bagian tengah sampel.

d) *Tensile*

Tensile ialah pengujian korosi retak tegang pada lingkungan cair atau kering. Pengujian ini cocok untuk produk seperti strip plate atau sheet, bentuk spesimen dan cara pengujian mengikuti metode ASTM e 1681 dimana spesimen diberi beban dan direndam secara bersamaan.

Beberapa jenis metode pengujian SCC dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Metode pengujian SCC (Sitorus et al. 2012)

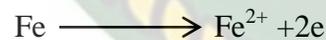
### 2.1.5 Syarat - Syarat Terjadinya Korosi

Untuk dapat terjadinya korosi maka harus terpenuhi beberapa unsur yaitu :

#### 1. Anoda

Anoda merupakan bagian dari logam yang terkorosi. Pada waktu logam larut maka atom melepaskan elektronnya sehingga logam menjadi positif.

Reaksinya adalah sebagai berikut :



#### 2. Katoda

Katoda merupakan logam yang tidak larut tetapi merupakan tempat yang dituju oleh gerakan elektron yang dalam perjalanannya bereaksi dengan ion yang ada dalam air. Proses ini disebut reduksi, adapun reaksinya sebagai berikut :



### 3. Elektrolit

Proses korosi akan berjalan secara simultan jika ada penghantar listrik yang disebut elektrolit. Dalam hal ini air merupakan zat elektrolit yang mempunyai sifat hantar listrik, ini akan naik jika kadar garam dalam air itu bertambah.

#### 2.1.6 Korosi Pada Media Air Laut

Air laut termasuk salah satu media yang bersifat korosif hal ini Korosi yang terjadi dilingkungan air laut di dorong oleh faktor - faktor kadar gas dalam air laut (*aerosols*), hujan (*rain*), embun (*dew*), kondensasi (*condensation*) dan tingkat kelembaban (*humidity*) serta resistivitas. Secara alami lingkungan air laut mengandung ion khlorida (*chloride ions*) dengan kombinasi tingginya penguapan (*moisture*), unsur yang terkandung dalam air laut dapat dilihat dalam Tabel.2.1 dan persentasi oksigen terkandung yang juga turut memperparah korosi karena air laut. Korosi pada air laut sangat tergantung pada kadar khlorida, pH, kadar oksigen dan temperatur.(parmansyah 2017)

Tabel.2.1. Unsur Pokok Dalam Media Air Laut

Anion	Part/Million	EquevalentsPer Million	Part/Million/ unit Chlorinity
Chloride, Cl <sup>-</sup>	18.980,00	535,30	998,90
Sulfate, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2.649,00	55,10	139,40
Bicarbonete, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	139,70	2,30	7,35
Bromine, Br <sup>-</sup>	64,60	0,80	0,80
Fluoride, F <sup>-</sup>	1,30	0,10	0,07
Boric Acid H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	26,00	-	1,37
Total		593,60	
Cation	Part/Million	Equevalents perMillion	Part /Million/unit Chlorinity
Sodium, Na <sup>+</sup>	10.556,10	159,00	555,60
Magnesium, MG <sub>2</sub> <sup>+</sup>	1.272,00	104,60	66,95
Calcium, Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup>	400,10	20,00	21,06
Potassium, K <sup>+</sup>	380,00	9,70	20,00
Strotium, Sr <sub>2</sub> <sup>+</sup>	13,30	0,30	0,70
Total		593,60	

Sumber : Benjamin D Craig, (2006)

### 2.1.7 Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Korosi Pada Media Air Laut

Air laut merupakan lingkungan yang korosif untuk besi dan baja, terutama karena resistivitas air laut sangat rendah (+ 25 Ohm-cm) dibandingkan resistivitas air tawar (+ 4000 Ohm-cm ) (Munasir. 2009). Proses korosi air laut merupakan proses elektrokimia. Faktor faktor yang mendorong korosi dalam media air laut adalah :

#### 1. Salinitas ( Kadar Garam )

Kadar garam yang tinggi ( salinitas ) menjadi satu faktor yang membedakan korosi dalam air laut dibandingkan media lain, salinitas ialah berat

garam non organik secara keseluruhan (dalam gram) pada 1 Kg air laut, Salinitas air laut dinyatakan dengan satuan per seribu (‰). Untuk berbagai wilayah perairan dunia salinitas berkisar antara 32 ‰ - 38 ‰ sedangkan perairan di Indonesia berkisar antara 30 ‰ - 35 ‰ salinitas sangat berpengaruh terhadap laju korosi, semakin tinggi salinitas semakin cepat laju korosi. Konsentrasi garam terlarut atau ion/molekul dalam air laut dapat dilihat pada Tabel.2.2

Tabel.2.2. Konsentrasi Ion/Molekul pada air laut densitas 1,023g/cm<sup>3</sup> pada 25°C

Garam	Salinitas ( ‰ )		
	33	35	37
NaCl	23.13	24.53	25.93
MgCl <sub>2</sub>	4.900	5.200	5.497
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4.090	4.090	4.090
CaCl <sub>2</sub>	1.090	1.160	1.230
KCl	0.660	0.695	0.735
NaHCO <sub>3</sub>	0.201	0.201	0.201
KBr	0.101	0.101	0.101
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.027	0.027	0.027
SrCl <sub>2</sub>	0.024	0.025	0.026
NaF	0.003	0.003	0.003

Sumber : Anggono,2000

## 2. Efek pH ( Derajat Keasaman )

Efek pH ditentukan oleh banyaknya kandungan ion H<sup>+</sup> atau ion OH<sup>-</sup> dalam suatu senyawa nilai ini akan menunjukkan apakah senyawa tersebut bersifat asam dan sebaliknya. Pada air laut nilai pH dipengaruhi oleh kedalaman, temperatur, dan kandungan oksigen.

### 3. Temperatur

Korosi yang dipengaruhi temperatur, semakin tinggi temperatur akan diikuti dengan peningkatan laju korosi kenaikan temperatur 100 °C dapat meningkatkan laju korosi dua kali lipat, temperatur juga mempengaruhi konsentrasi O<sub>2</sub> lokasi dimana laut berada menentukan temperatur permukaan air laut.

### 4. Kecepatan Gerakan Air Laut

Laju korosi sangat ditentukan oleh jumlah oksigen yang berada dipermukaan logam. Gerakan air laut akan mempengaruhi jumlah oksigen tersebut. Air laut dengan kecepatan tinggi akan meningkatkan jumlah oksigen dipermukaan logam dan hilangnya selaput penghalang, sehingga terjadinya pengikisan, kecepatan yang tinggi menyebabkan terjadinya kapitasi sehingga semakin tinggi kecepatan gerakan air laut maka semakin tinggi laju korosi.

### 5. Pencemaran Air Laut

Sulfida dalam polutan yang mencemari air laut akan meningkatkan korosif walaupun penurunan oksigen dapat mengurangi korosi.

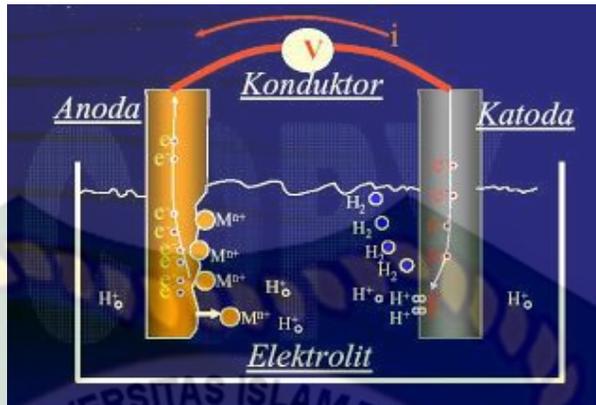
#### **2.1.8 Pencegahan Korosi**

Korosi timbul karena adanya logam dan lingkungan yang korosif, sehingga cara pencegahannya selalu merujuk ke sumber masalah (Sasono 2010). Cara mencegah dan mengatasi sebelum dan sesudah terbentuknya korosi yaitu:

## 1. Proteksi Katodik

Proteksi katodik di gunakan untuk melindungi pelat baja kapal dari serangan rantai. Ada dua jenis proteksi katodik, yaitu dengan metoda anoda korban (*sacrificial anode*) dan dengan metoda arus tanding (*impressed current*). Anoda korban relatif lebih murah, mudah dipasang bila dibandingkan dengan metoda arus tanding. Keuntungan antara lainnya adalah tidak diperlukannya peralatan listrik yang mahal dan tidak ada kemungkinan salah arah dalam pengaliran arus.

Proteksi katodik dan anoda korban bekerja dengan menggunakan konsep tentang sel korosi basah. Sel korosi basah adalah suatu sel dimana anodalah yang terkorosi, sedangkan yang tidak terkorosi adalah katoda. Anoda-anoda yang dihubungkan ke struktur dengan tujuan mengefektifkan perlindungan terhadap korosi dengan cara ini disebut anoda korban (*sacrificial anodes*). Anoda korban yang biasa digunakan di lingkungan pantai diantaranya adalah seng dan aluminium. Cara kerja proteksi katodik dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Cara Kerja Proteksi Katodik (Tretheway, KR, dan Chamberlin 1991)

Perlindungan yang akan diberikan oleh seng akan luar biasa seandainya logam tersebut dapat dilarutkan dengan laju yang kurang-lebih konstan. Seng murni yang tersedia di pasaran, terkorosi di air laut sambil membentuk selapis kulit kedap air yang sangat membatasi keluaran arusnya.

Diantara bahan-bahan pengotor : besi, tembaga dan timbal, yang paling menimbulkan efek merusak pada anoda adalah besi. Kelarutannya dalam seng sedemikian rendah (<0.0014%) sehingga apabila berlebih maka kelebihan-kelebihan itu akan berupa partikel-partikel terpisah. Hal ini pada gilirannya akan membentuk sel galvanik lokal yang menghasilkan suatu lapisan seng hidroksida/seng karbonat yang tidak dapat larut dan tidak menghantarkan listrik; yang akhirnya menjadikan anoda tidak efektif

Dalam keadaan normal aluminium mengalami korosi sumuran dalam air laut diakibatkan oleh lapisan oksida yang bersifat katodik yang selalu membungkus logam itu ketika masih berada di udara bebas. Unsur paduan

yang ditambahkan dapat mencegah terbentuknya selaput oksida yang merata, merekat erat dan protektif sehingga kegiatan galvanik terus berlangsung. Dengan tujuan inilah orang mengembangkan paduan aluminium yang menggunakan seng dan air raksa atau seng dan indium. Paduan aluminium mempunyai nisbah daya listrik/berat yang lebih besar dibandingkan dengan paduan seng dan penggunaan paduan aluminium mulai menggantikan penggunaan seng dalam beberapa penerapan khususnya pada industri lepas pantai.

## 2. *Coating*

*Coating* adalah sejenis material berbentuk lapisan tipis yang digunakan untuk melapisi atau menutupi seluruh permukaan struktur guna melindungi atau mencegah pengaruh kondisi lingkungan

Dalam prakteknya, metode arus paksa biasanya digabung dengan penggunaan lapisan pelindung. Lapisan pelindung ini berfungsi sebagai proteksi primer pada kapal yang bertugas sebagai pemisah lingkungan korosif (air laut) dengan logam. Dalam fungsinya, lapisan pelindung mempunyai tahanan tersendiri yaitu kemampuan untuk menghambat aliran arus listrik sehingga menghambat laju korosi pada lambung kapal dalam air laut maupun atmosfer.sebagai pemenuhan syarat kelulusan.

Untuk kondisi lingkungan korosif yang serius, digunakan pendekatan suatu sistem pelapisan (*primer coat, intermediate coat dan top coat*) yang memberikan perlindungan untuk solusi jangka panjang.

Lazimnya sistem coating diaplikasikan dengan lebih dari 1 lapis, antara lain:

1. Lapisan primer (*primer coat*)

Fungsi utama lapisan primer adalah

- a. Adhesi atau ikatan yang kuat dengan permukaan.
- b. Kohesi atau kekuatan internal dari lapisan perlindungan.
- c. Sulitnya bereaksi dengan lingkungan.
- d. Pengikat yang kuat pada lapisan menengah.

2. Lapisan menengah (*intermediate coat*)

Fungsi utama lapisan menengah adalah memberikan:

- a. Ketebalan dari lapisan pelindung Ketahanan yang kuat terhadap zat kimia.
- b. Ketahanan terhadap perpindahan uap yang lembab.
- c. Meningkatkan ketahanan terhadap aliran listrik.
- d. Sebagai pengikat yang kuat antara lapisan primer dengan lapisan atas.

3. Lapisan menengah (*intermediate coat*)

Fungsi utama dari top coat adalah memberikan:

- a. Segel yang kuat untuk sistem pelapisan.

- b. Penghambat awal pada permukaan logam.
  - c. Ketahanan terhadap zat kimia, air dan cuaca.
  - d. Ketangguhan dan ketahanan pada permukaan
  - e. Penampilan yang indah.
3. Cat

Secara umum definisi dari cat adalah cairan yang mampu membentuk lapisan tipis yang kontinyu (*continous film*) apabila mengering. Pada dasarnya terdapat 3 (tiga) tipe cat yang tersedia saat ini di lapangan, yaitu :

1. *Solvent* (pengencer) yang mengandung cat cair (tradisional)
2. *Solvent* (pengencer) yang bebas dari cat cair.
3. Cat bubuk (*powder paints*).

## 2.2 Baja

Baja adalah paduan yang mengandung Fe dan C antara 0,2% hingga maksimal 0,3 % selain kedua unsur tersebut, baja juga biasanya mengandung S, P, Si dan Mn. Namun kandungan unsur-unsur ini dalam jumlah yang kecil sehingga tidak bertujuan untuk mempengaruhi sifat. Ketika jumlah unsur lain (selain C) ditambah dalam jumlah cukup untuk memperbaiki sifat, maka baja ini sudah dikategorikan dengan baja karbon. Secara umum, sifat baja karbon sangat ditentukan oleh struktur mikronya yang dipengaruhi dengan kandungan C, perlakuan panas yang pernah dialami baja dan unsur panduan lain.(Armanto 1999)

### 2.2.1 Baja Karbon

Berdasarkan kandungan karbonnya, baja karbon dapat dikelompokkan atas tiga yaitu, baja karbon rendah ( $C < 0,3\%$ ), baja karbon medium ( $0,3 - 0,6\%C$ ) baja karbon tinggi ( $C > 0,6\%$ ). Baja karbon rendah umumnya bersifat lunak, keuletan dan ketanguhan baik tetapi kekuatan rendah.

Struktur mikronya adalah ferit dan perlit. Karena keuletan yang tinggi maka baja jenis ini banyak dibuat dalam bentuk plat hasil di proses rolling dingin. Karena karbon C rendah, baja jenis ini kurang tahan terhadap perlakuan panas. Artinya baja tersebut tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. (Armanto 1999)

#### a. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah umumnya bersifat lunak, keuletan dan ketanguhan baik tetapi kekuatan rendah. Struktur mikronya adalah ferit dan perlit. Karena keuletan yang tinggi maka baja jenis ini banyak dibuat dalam bentuk plat hasil di proses rolling dingin. Karena karbon C rendah, baja jenis ini kurang tahan terhadap perlakuan panas. Artinya baja tersebut tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas.

#### b. Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang (*medium carbon steel*) mengandung karbon  $0,3 - 0,6\%C$ . Dengan kandungan karbonnya memungkinkan baja untuk dikeraskan melalui proses perlakuan panas yang sesuai. Baja ini lebih keras serta lebih kuat dibandingkan dengan baja karbon rendah.

### c. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,6-1,5%C dan memiliki kekerasan yang lebih tinggi, namun keuletannya lebih rendah. Berkebalikan dengan baja karbon rendah, pengerasan dengan perlakuan panas pada baja karbon tinggi tidak memberikan hasil yang optimal karena terlalu banyaknya martensit, sehingga membuat baja menjadi getas.

Meskipun kebanyakan paduan baja mengandung kurang dari 1,0% karbon, namun ini dimasukkan dalam penandaan karena pengaruhnya terhadap sifat-sifat baja. Semakin bertambah kadar karbonnya, kekuatan dan kekerasannya juga bertambah dan kondisi pemrosesan dan perlakuan panas yang sama. Karena keuletan akan berkurang seiring dengan bertambahnya kadar karbon, maka pemilihan baja yang tepat meliputi beberapa kompromi antara kekuatan dan keuletan.

#### 2.2.2 Baja Paduan

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran. Seperti nikel, kromium, *molybdenum*, vanadium, mangan dan *wolfram* yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat yang dikehendaki (kuat, keras). Suatu kombinasi antara dua atau lebih unsur campuran, misalnya baja yang dicampur dengan unsur kromium dan *molybdenum*, akan menghasilkan baja yang mempunyai sifat keras yang baik dan sifat kenyal (sifat logam ini membuat baja dapat dibentuk dengan cara dipalu ditempa, digiling, dan ditarik). Jika dicampur dengan krom dan molibdenum akan menghasilkan sifat kenyal yang memuaskan serta tahan terhadap

panas. Baja paduan dihasilkan dengan biaya untuk penambahannya yang khusus yang dilakukan dalam industri pabrik.

### 2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan

Baja memiliki kandungan utama Fe dan C, kemudian di tambahkan unsur paduan dengan jumlah tertentu. Jumlah unsur paduan sangat rendah biasanya sedikit mempengaruhi sifat mekanik atau sifat-sifat khusus dari baja tersebut. Baja yang memiliki unsur paduan rendah dalam penggunaanya tanpa mempertimbangkan sifat mekanis atau sifat khusus, baja ini di kenal dengan baja karbon biasa atau sering di sebut dengan *plain carbon steel*, tetapi untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis dan sifat-sifat khusus sesuai dengan yang di inginkan maka di dalam baja di tambahkan unsur paduan dalam persentase yang relatif tinggi. Setiap unsur paduan yang di tambahkan memiliki pengaruh yang berbeda dan pada prinsipnya adalah memperbaiki kekurangan dari sifat-sifat yang di miliki oleh baja karbon. Berikut adalah pengaruhnya terhadap paduan baja :

#### 1. Karbon (C)

Logam baja ditambahkan dengan unsur karbon akan meningkatkan kekerasan dan kekuatan melalui perlakuan pemanasan tapi penambahan karbon dapat memperlebar range nilai kekerasan dan kekuatan bahan. Selain itu, karbon larut dalam ferit dan membentuk sementit, perlit dan bainit, mempermudah dalam proses permesinan dan pengelasan.

## 2. Silikon (Si)

Mempunyai sifat elastis / keuletannya tinggi. Silikon mampu menaikkan kekerasan dan elastisitas akan tetapi menurunkan kekuatan tarik dan keuletan dari baja. Tapi penambahan silikon yang berlebihan akan menyebabkan baja tersebut mudah retak. Silikon berupa massa hitam mirip logam yang meleleh pada 1410°C. Unsur ini mempunyai kecenderungan yang kuat untuk berikatan dengan oksigen dan sifat seratnya tahan api.

## 3. Mangan (Mn)

Mempunyai sifat yang tahan terhadap gesekan dan tahan tekanan (impact load). Unsur ini mudah berubah kekerasannya pada kondisi temperatur yang tidak tetap dan juga digunakan untuk membuat *alloy* mangan tembaga yang bersifat *ferromagnetic*. Selain itu mangan berfungsi sebagai bahan oksidiser (mengurangi kadar O dalam baja), menurunkan kerentanan *hot shortness* pada aplikasi pengerjaan panas. Mangan dapat larut, membentuk *solid solution strength* dan *hardness*.

## 4. Posfor (P)

Dengan penambahan sedikit unsur Posfor, maksimum 0,04% dapat membantu meningkatkan kekuatan dan ketahanan korosi. Kehadiran Posfor di dalam *stainless steel* austenitik dapat meningkatkan kekuatan. Penambahan Posfor juga dapat meningkatkan kerentanan terhadap *crack* saat pengelasan.

### **5. Belerang (S)**

Sulfur dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mampu mesin. Keuntungan sulfur pada temperatur biasa dapat memberikan ketahanan pada gesekan tinggi.

### **6. Kromium (Cr)**

Kromium dengan karbon membentuk karbida dapat menambah dan menaikkan daya tahan korosi dan daya tahan terhadap oksidasi yang tinggi dan berdampak keuletan paduannya berkurang. Selain itu, dapat digunakan untuk meningkatkan mampu las dan mampu panas baja. Kekuatan tarik, ketangguhan serta ketahanan terhadap abrasi juga bisa meningkat. Bisa juga meningkatkan *hardability* material jika mencapai kandungan 50%.

### **7. Nikel (Ni)**

Nikel memberi pengaruh sama seperti Mn yaitu menurunkan suhu kritis dan kecepatan pendinginan kritis. Ni membuat struktur butiran menjadi halus dan menambah keuletan. Nikel sangat penting untuk kekuatan dan ketangguhan dalam baja dengan cara mempengaruhi proses transformasi fasanya. Jika kandungan Ni banyak maka austenit akan stabil hingga mencapai temperatur kamar. Selain itu nikel juga mampu menaikkan kekuatan, ketangguhan dan meningkatkan ketahanan korosi.

### **8. Molibdenum (Mo)**

Molibdenum mengurangi kerapuhan pada baja karbon tinggi, menstabilkan karbida serta memperbaiki kekuatan baja Meningkatkan kemampukerasan baja,

menurunkan kerentanan terhadap *temper embrittlement* (400 – 500 oC), meningkatkan kekuatan tarik pada temperatur tinggi dan kekuatan *creep*.

## 9. Titanium (Ti)

Titanium adalah logam yang lunak, tapi bila dipadukan dengan nikel dan karbon akan lebih kuat, tahan aus, tahan temperatur, dan tahan korosi Unsur titanium (Ti) dapat berfungsi sebagai deoksidiser dan pengontrolan dalam pertumbuhan butir.

### 2.3 Baja Tahan Karat (*Stainless Steel*)

Baja tahan karat atau *stainless steel* adalah paduan baja yang terdiri dari minimal 10,5% Cr. Beberapa baja tahan karat mengandung lebih dari 30% Cr atau kurang dari 50% Fe. Kemampuan tahan karat diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida kromium, dimana lapisan oksida ini menghalangi lapisan oksida besi (Ferum). Unsur-unsur lain ditambahkan untuk memperbaiki sifat-sifatnya antara lain ditambahkan nikel, tembaga, titanium, aluminium, silikon, niobium, nitrogen, sulfur dan selenium. Karbon biasanya diberikan dengan besar antara kurang dari 0,03% sampai lebih 1,0% pada tahap martensit

Baja tahan karat biasanya dibagi lima jenis, yaitu: baja tahan karat martensit, baja tahan karat feritik, baja tahan karat austenitik, baja tahan karat duplex, dan baja tahan karat pengerasan presipitasi (Indra, Febriana 2008).

#### 2.3.1 *Martensitic Stainless Steels*

Baja tahan karat martensit adalah paduan antara karbon dan kromium yang memiliki penyimpangan struktur kristal *body centered cubic* (BCC) dan jika di

keraskan berubah menjadi martensit. Baja tahan karat ini *ferromagnetic* dapat dikeraskan melalui perlakuan-perlakuan panas dan tahan korosi pada kondisi lingkungan yang sejuk. Baja tahan karat ini memiliki kromium berkisaran 10,5% sampai 18% dan mempunyai karbon lebih dari 1,2%. Kandungan karbon dan kromium sebanding agar memastikan strukturnya menjadi martensit setelah dikeraskan. Banyaknya karbida berguna untuk menjaga kekuatan potong. (Seitovirta 2013)

### **2.3.2 Feritic Stainless Steels**

Baja tahan karat feritik adalah paduan yang memiliki unsur kandungan kromium sebagai unsur utamanya dengan struktur kristal BCC. Kandungan kromiumnya biasanya antara 10,5% - 30 %. Pada beberapa jenis, Baja tahan karat jenis ini dapat mengandung molybdenum, silikon, aluminium, titanium, dan niobium untuk memperbaiki sifat-sifatnya. Sulfur atau selenium bisa ditambahkan, contohnya pada jenis austenite, untuk meningkatkan *machinability*. Paduan feritik merupakan *ferromagnetic*. Baja tahan karat jenis ini mempunyai kelenturan dan kemampuan dibentuk yang sangat baik, tapi kekuatan pada temperatur tinggi relatif buruk dibandingkan dengan jenis austenite. Kekerasan dapat terbatas pada temperatur rendah dan di bagian yang berat (Seitovirta 2013).

### **2.3.3 Austenitic Stainless Steels**

Baja tahan karat austenitik memiliki struktur *face-centered cubic* (fcc). Baja ini nonmagnetic di kondisi anil dan hanya dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin (cold working). Biasanya memiliki sifat-sifat *cryogenic* dan kekuatan di temperatur tinggi yang baik. Memiliki presentase kromium antara 16% sampai 26%,

nikel 35% dan mangan 15%. Titanium, molybdenum, aluminium, silikon, niobium dan tembaga.

Baja tahan karat austenitik digunakan dalam beragam aplikasi, termasuk dukungan dan penahanan struktural, penggunaan arsitektur, peralatan dapur, dan produk medis. Mereka banyak digunakan tidak hanya karena ketahanan korosi mereka tetapi karena mereka mudah dibentuk, dapat dibuat, dan tahan lama. Beberapa grade paduan tinggi digunakan untuk servis suhu sangat tinggi (di atas 1000 c) untuk aplikasi seperti cetakan perlakuan panas. Selain tingkat kromium yang lebih tinggi, paduan ini biasanya mengandung tingkat silikon (dan kadang-kadang aluminium) dan karbon yang lebih tinggi, untuk mempertahankan oksidasi dan ketahanan dan kekuatan karburisasi (Seitovirta 2013).

#### **2.3.4 Duplex Stainless Steels**

Baja tahan karat duplex memiliki perpaduan struktur kristal antara bcc ferrite dan fcc austenite. Unsur utama pada baja tahan karat jenis ini adalah kromium dan nikel tapi tungsten, molybdenum, tembaga, silikon, dan nitrogen tungsten dapat ditambahkan untuk menyeimbangkan strukturnya agar menguatkan ketahanan korosinya.

Ketahanan korosi dari baja tahan karat duplex adalah seperti baja tahan karat austenitik dengan kandungan paduan yang sama. Baja tahan karat duplex ini mempunyai kelenturan dan kekuatan luluh yang tinggi serta lebih baik ketahanannya akan retak yang disebabkan tegangan-korosi dibandingkan jenis austenitik (Indra, Febriana 2008).

### 2.3.5 BajaTahan Karat Pengerasan Presipitasi

Baja tahan karat pengerasan presipitasi ialah perpaduan antara kromium-nikel yang mengandung unsur-unsur pengerasan presipitasi seperti aluminium, tembaga, dan titanium. Baja jenis ini dapat berubah menjadi martensitik atau austenitik pada kondisi anil. Ketika menjadi austenitik di kondisi anil, sering bertransformasi menjadi matensit ketika diberi perlakuan panas. Pada kebanyakan kasus baja tahan karat jenis ini dapat mencapai kekuatan yang tinggi dengan cara struktur martensitnya diberikan pengerasan presipitasi. Pengelompokan baja stainless steel dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Kategori Dan Jenis – Jenis *Stainless Steel*

Sumber (John C. Lippold and darmian J. Kotecki 2005)

Dari gambar diatas, tentu sudah memiliki gambaran menyeluruh bagaimana stainless steel terbagi menjadi beberapa kategori dan juga jenis. Secara sederhana, stainless steel terbagi atas lima kategori dasar, yaitu *martensitic*, *ferritic*, *austenitic*, *duplex* dan *precipitation hardening*.

### 2.4 *Stailles Steel 304*

Material *Stainless Steel* yang termasuk kedalam kategori *food grade* merupakan *Stainless Steel* dengan komposisi 18/8 atau 18/10. Dimana kode ini

menunjukkan komposisi kandungan kromium dan nikel. Kandungan kromium berfungsi untuk mengikat permukaan *Stainless Steel* dan melindungi bahan dari proses oksidasi yang dapat menimbulkan karat.

Sementara nikel membuat *Stainless Steel* memiliki sifat yang lebih tahan karat. Semakin besar kandungan nikel maka semakin besar pula kemampuan material untuk mencegah korosi. Selain itu kandungan nikel membuat material lebih kokoh dan material SS 304 memiliki komposisi 18/8 yang artinya memiliki kandungan kromium sebesar 18% sedangkan kandungan nikel sebesar 8%. Komposisi ini membuat ss 304 tahan karat dan aman bersentuhan langsung dengan makanan. SS 304 merupakan material yang aplikasi penggunaan sangat banyak di lapangan. *Stainless Steel* 304 termasuk ke dalam austenitic stainless steel dan pada industri migas, petrokimia, dan yang lainnya material ini masih digunakan untuk menunjang proses produksi. Berikut adalah komposisi dari *Stainless Steel* 304 dapat dilihat pada Tabel 3.3

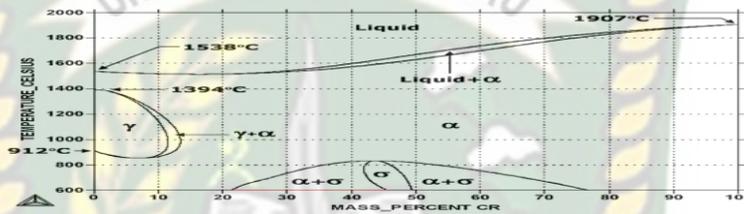
Tabel 3.3 Komposisi SS 304

Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
66.345 – 74	Max 0.08	Max 1	Max 2	Max 0.045	Max 0.03	8 – 10.5	18-20

## 2.5 Struktur Baja Tahan Karat

Memperhatikan unsur Cr, yang menjadi komponen utama pada baja tahan karat, diagram fasa Fe-Cr ditunjukkan pada gambar 2.2. Cr dapat larut dalam besi

memperluas daerah  $\alpha$  (ferit). Dalam baja dengan 12%Cr pada temperatur di atas 900 °C terjadi fasa  $\gamma$  (austenit). Dalam paduan yang nyata, C dan N juga terkandung, jadi fasa  $\gamma$  diperluas ke daerah yang mempunyai konsentrasi Cr lebih tinggi. Baja tahan karat 12%Cr biasa dipakai, diaustenitkan dari 900 sampai 1000 °C tergantung kadar C nya, dan dicelup dingin pada minyak. Sehingga mempunyai struktur martensit ia menjadi baja tahan karat (Surdia, 1999).

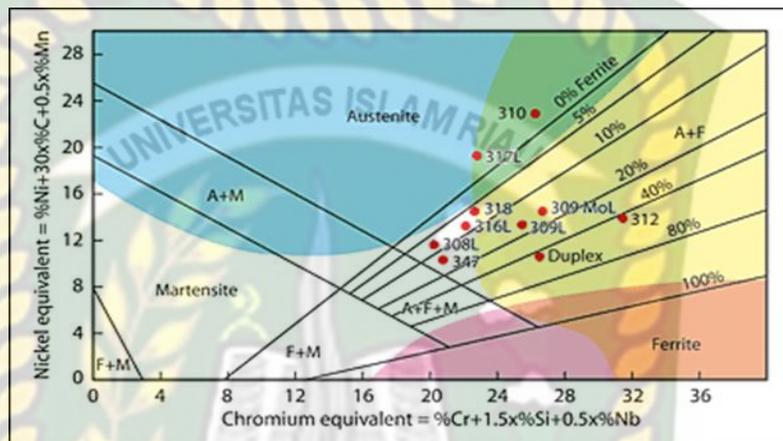


Gambar 2.11 Diagram Fasa Fe-Cr (surdia,T.;Saito 1999)

Dari gambar 2.11 baja 18% Cr seharusnya mempunyai fasa  $\alpha$  dimulai dari temperatur pembekuan sampai temperatur kamar, tetapi karena sebenarnya mengandung 0,03-0,10% dan 0,01-0,02%N, maka kira-kira di atas 930 °C terbentuk fasa  $\gamma$ . Oleh karena itu perlakuan panas untuk mendapat fasa  $\alpha$  dilakukan dibawah 850 °C, baja ini dinamakan baja tahan karat ferit.

Struktur baja 18%Cr-8Ni adalah struktur dua fasa dari  $\alpha + \gamma$  dalam keseimbangan, tetapi kenyataannya pada kira-kira 1050 °C seluruhnya menjadi austenit dan setelah pendinginan dalam air atau dalam udara fasa  $\gamma$  terbentuk pada temperatur kamar sukar bertransfortasi ke fasa  $\alpha$  baja ini dinamakan baja tahan karat austenit. Fasa  $\gamma$  merupakan fasa metastabil, sebagai contoh kalau diadakan deformasi plastik bisa terjadi transformasi martensit. Kalau baja dipergunakan dalam bentuk austenit, maka

perlu diadakan perlakuan panas untuk membentuk austenit tadi setelah dilakukan deformasi plastik, atau perlu dipakai baja yang mengandung lebih banyak Ni untuk memberikan kestabilan pada fasa austenit. Untuk menentukan fasa dari Baja Tahan karat kita dapat menggunakan diagram schaeffler dibawah ini (Surdia, 1999).



Gambar 2.12 Diagram Schaeffler (surdia,T.;Saito 1999)

## 2.6 Uji Immers

Uji *immers* adalah uji simulasi ketahanan korosi terhadap media korosif dengan cara yang sangat sederhana. Material uji dicelupkan ke dalam media korosif untuk suatu waktu tertentu dengan menerapkan atau mensimulasikan semua parameter yang terlibat dalam kondisi aktual (misal : kondisi operasi, peralatan, kondisi lingkungan) hasil yang diperoleh dengan 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 :

(1) *Immersion* Total adalah uji celup yang spesimennya tercelup total di dalam media korosif,

(2) *Immersion* Parsial adalah uji celup yang hanya sebagian permukaan spesimen uji yang tercelup di dalam media uji.

(3) Uji Basah dan Kering adalah uji yang dapat dilakukan dengan memutar spesimen uji sehingga secara berkala tercelup kedalam media korosif.

## 2.7 Perhitungan Laju Korosi

Laju korosi merupakan mekanisme dari korosi, adapun mekanisme tersebut adalah oksigen mempercepat korosi pada sel oksida, korosi dipercepat bila oksigen berkurang karena oksigen bergerak kesisi katoda dan elektron anoda dimana korosi terjadi. Pada suhu rendah atau konsentrasi larutan yang encer, reaksi tidak selalu ada dan electron tidak digunakan sehingga rapat arus kurang dari nilai yang diperkirakan sesuai dengan kurva katoda. Gejala ini telah lama dikenal sebagai polarisasi katodik dan dapat digambarkan dengan modifikasi kurva katoda. Pada table 2.4 berikut ini dapat dilihat hubungan laju korosi dengan ketahanan korosinya (relative). (Mohammad Badaruddin,2012). Data yang diperoleh dari pengukuran ketebalan (*metal loss*) dan penampakan visual kerusakan pada plat body kapal. Laju korosi dapat ditentukan dengan perubahan *wall loss* sebanding dengan perubahan waktu.

Table 2.4 Perbandingan Pada Mpy Dengan Kesamaan Metric Kecepatan

Ketahanan Korosi Relative	Laju Korosi				
	Mpy	Mm.yr	µm/yr	Nm/hr	Pm/s
Sangat baik	<1	<0.02	<2	<2	<1
Baik	1-5	0.02-0.1	25-100	2-10	1-5
Cukup	5-20	0.1-0.5	100-500	10-50	20-50
Kurang	20-50	0.5-1	500-1000	50-150	20-50
Buruk	50-200	1-5	1000-5000	150-1500	50-200

Sumber : (Badaruddin 2014)

Laju penyerangan atau laju korosi adalah kecepatan penembusan logam atau kehilangan berat persatuan luas tergantung pada teknik pengukuran yang digunakan dan dinyatakan dalam satuan mmpy (*millimeter per year*) dan besarnya laju korosi dapat dinyatakan dengan persamaan : (Schweitzer A Phillip : 1987)

$$\text{Corrosion rate (mm/y)} = \frac{k \times w}{D \times A \times T} \quad (2.2)$$

Dimana,  $k = \text{konstanta } 8,76 \times 10^4$ ,

$w = \text{massa yang hilang (g)}$ ,

$D = \text{massa jenis sampel uji (g/cm}^3\text{)} = 5,937 \text{ g/cm}^3$ ,

$A = \text{luas permukaan terkorosi (cm}^2\text{)}$ ,

$T = \text{waktu pengujian (hour)}$

Untuk mencari nilai kehilangan berat (W) dari pelat baja yang telah terkorosi, dengan cara melakukan penimbangan spesimen untuk mengetahui berat

awal dan berat akhir atau dinyatakan dengan kehilangan berat. Mencari nilai kehilangan berat dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta W = W_0 - W_2 \quad (2.3)$$

Dimana:

$\Delta W$  = kehilangan berat, (gram)

$W_0$  = berat awal, (gram)

$W_2$  = berat akhir setelah pengujian, (gram)

Nilai ketetapan laju korosi (K) dapat dilihat pada table.2.4

Tabel 2.5 nilai ketetapan laju korosi (K).

Corrosion Rate Units Desired	Constanta (K) In Corrosion Rate Equation
Mils per year (mpy)	$3.45 \times 10^6$
Inches per year (ipy)	$3.45 \times 10^3$
Inches per month (ip/m)	$2.87 \times 10^2$
Millimeters per year (mm/y)	$8.76 \times 10^4$
Micrometers per year ( $\mu\text{m}/\text{y}$ )	$8.76 \times 10^7$
Picometers per second (pm)	$2.78 \times 10^6$

Sumber : (Baboian Robert 2002)

Maka dengan demikian kita dapat memprediksi laju korosi atau *corrosion rate* yang terjadi pada suatu pelat baja yang digunakan. Apabila terjadi kecepatan korosi yang tinggi maka pelat baja tidak akan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama, maka perlu dilakukan pengendalian kecepatan korosi, dengan memberikan atau menggunakan perlindungan yang sesuai dengan jenis korosi yang terjadi pada pelat baja, hal ini dilakukan agar material pelat baja yang

diinginkan dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama dengan menghambat atau memperkecil kecepatan korosi yang terjadi.

## 2.8 Review Jurnal

Berdasarkan judul yang diangkat penelitian korosi retak tegang ini sudah pernah dilakukan oleh beberapa mahasiswa terdahulu dengan beberapa macam metode yang berbeda antara lain menggunakan metode *tensile* ASTM E-1681 berdasarkan jurnal Mohammad Baharuddin (2005) dimana sebelum diuji spesimen dilakukan *shot-pening* terlebih dahulu sehingga membuat kekerasan material meningkat dan material yang telah diberikan perlakuan *shot-pening* tidak mengalami korosi retak tergang dari pengujian ini dapat dilihat dengan melakukan *shot-pening* dapat mencegah terjadinya korosi retak tegang dan bentuk retak yang terjadi terhadap spesimen uji, menghasilkan retak intergranular pada spesimen yang tidak dilakukan *shot-peening* pada level beban 70%. Akibat terbentuknya fase martensit pada batas butir yang lebih bersifat anoda dari larutan pada induknya.

Selain metode *tensile* ada juga penelitian korosi retak tegang lainnya menggunakan metode *beant beam* ASTM G-39 dimana dari penelitian ini spesimen dilakukan pengujian tarik terlebih dahulu untuk melihat pertambahan panjang yang terjadi terhadap spesimen setelah dilakukan uji tarik. Selanjutnya material akan dilakukan uji *beant beam* dan selama pengujian ini dilakukan spesimen juga dispray dengan menggunakan media air laut sebagai media korosi setelah pengujian selesai maka dilakukan perhitungan laju korosi dan kehilangan berat yang dialami material. Berdasarkan jurnal Budi setiawan (2018) dimana dari hasil pengujian terdapat

peningkatan kerentanan terhadap spesimen SS 304 terhadap korosi retak tegang yang ditandai dengan banyaknya *pitting* seiring dengan peningkatan tegangan yang diberikan. Korosi yang dialami pada pengujian dengan menggunakan uji salt pray adala korosi sumuran (*pitting corrosion*) pada permukaan sample dan perubahan berat yang terjadi pada pengujian sangat kecil.

Penelitian lainnya mengenai korosi retak tegang dengan metode U-bend ASTM E2-90 yang diambil dari jurnal Chrisman (2014) dalam penelitian ini spesimen yang digunakan adalah plat strip stainless steel AISI 304 dengan variasi ketebalan 3mm dan 6mm. Sebelum material dilakukan uji celup material akan dibentuk menggunakan mesin bending setelah itu material akan diuji celup. Dari hasil pengujian *weight loss* diketahui bahwa laju korosi dengan tebal 6 mm lebih besar dibandingkan material dengan tebal 3 mm, hasil uji kekerasan diketahui kekerasan menurun setelah dilakukan pengujian scc dengan media asam kloroda 1M, dan pada spesimen setelah pengujian SCC terjadi penurunan sifat mekanis material jika dibandingkandengan spesimen awal, hal tersebut terlihat dari penurunan nilai kekerasan dan kenaikan grain size pada spesimen.

Adapun metode lainnya yaitu menggunakan metode C-ring ASTM G38 diambil dari jurnal Johanes leonard (2014) peneltian ini mempelajari fenomena pengaruh lingkungan korosif terhadap laju korosi dan kekerasan pada material ASTM A53 dengan variasi pembebanan menggunakan standard ASTMG38-01(2007). Berdasarkan pada hasil analisa dan perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan dan laju korosi. Laju korosi tertinggi terjadi pada beban terbesar dan dilihat

dari perbandingan kekerasan awal dengan kekerasan yang yang sudah mengalami pembebanan dankorosi, sangat jelas bahwa kekerasan spesimen menurun.



Dokumen ini adalah Arsip Milik :  
**Perpustakaan Universitas Islam Riau**

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan dimulai dari pemotongan material, persiapan media korosi dan pengambilan data. Dari keseluruhan penelitian ini dilaksanakan selama 15 hari. Adapun proses pengambilan data dilaksanakan di Jln. Kartama, Kel marpoyan Damai, Kec. maharatu, Pekanbaru dan Laboratorium Material Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan antara lain:

##### 3.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah :

1. Gerinda listrik

Gerinda listrik digunakan untuk membersihkan permukaan spesimen dari kotoran yang melekat dan mencegah terjadinya korosi awal. Gambar gerinda listrik dapat dilihat pada Gambar.3.1



Gambar 3.1 Gerinda listrik

2. Wadah pembersihan

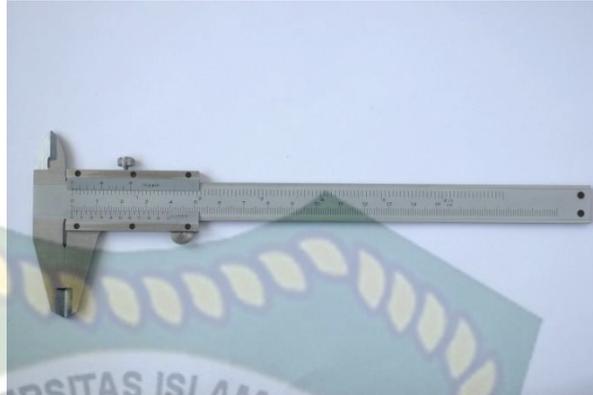
Wadah pembersihan berfungsi untuk menampung cairan pembersih kimia, tempat untuk merendam dan membersihkan specimen yang sudah terkorosi. Gambar wadah pembersihan dapat dilihat pada Gambar.3.2



Gambar 3.2 Wadah pembersihan

3. Jangka sorong

Pada penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen. Gambar jangka sorong dapat dilihat pada Gambar.3.3



Gambar 3.3 Jangka Sorong

#### 4. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah dilakukannya pengujian. Gambar timbangan digital dapat dilihat pada Gambar.3.4



Gambar 3.4 Timbangan Digital

Kapasitas maksimum 600 gram (ketelitian : 0,01 gram), dengan spesifikasi alat :

- Layar : LCD
- Tenaga baterai : DC 9V / 4 AA
- Resolusi : 0,01 gram

- Konversi unit : gram, oz

#### 5. Gelas Ukur

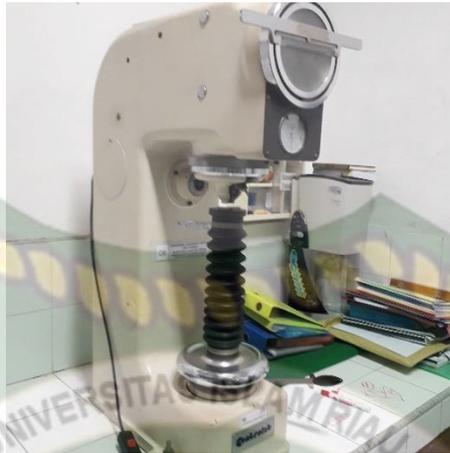
Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume media air laut yang dibutuhkan pada saat pengujian. Gambar gelas ukur dapat dilihat pada Gambar.3.5.



Gambar 3.5 Gelas ukur

#### 6. Mesin Uji Kekerasan (*Vickers*)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari hasil pengelasan stainless steel 316 dengan variasi pembebanan 3kN, 4kN dan 5kN pengujian ini menggunakan metode *vickers* (VHN) dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Mesin Uji Kekerasan Universitas Riau

7. Alat Pengamatan Mikro Struktur (Mikroskop)

Mikroskop berfungsi untuk melihat retak terdapat pada spesimen baik itu pada spesimen tanpa perlakuan maupun spesimen dengan variasi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Mikroskop Optik Universitas Islam Riau

## 8. Akuarium

akuarium digunakan untuk menampung air laut dan tempat untuk merendam spesimen pada saat pengujian. Gambar akuarium dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3.8

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini, adalah :

#### 1. Air Laut

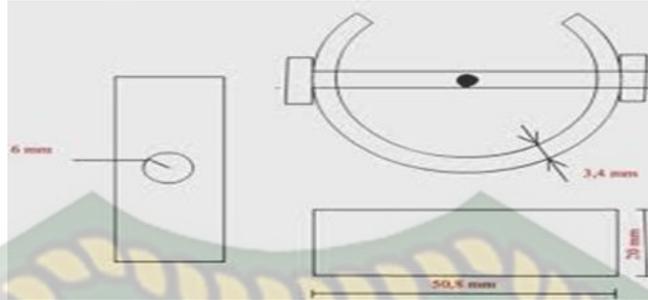
Air laut digunakan sebagai media untuk uji korosi

#### 2. Spesimen Pengujian

Spesimen pengujian menggunakan pipa baja AISI 304

### 3.3 Persiapan Material

Spesimen untuk penelitian menggunakan pipa baja AISI 304 dipersiapkan sebanyak 9 buah dengan diameter 2,67 cm, lebar 2 cm, tebal 0,39 mm dan diameter lubang untuk pemasangan baut 6 mm. bentuk dan dimensi spesimen dibuat mengikuti standar ASTM G38-01(2007). Gambar spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 3.9



Gambar 3.9 Spesimen Uji SCC

### 3.4 Pembuatan alat uji korosi retak tegang

Tempat pengujian menggunakan akuarium sebagai tempat pencelupan spesimen. Prinsip kerja dari alat pengujian SCC ini adalah dimana spesimen digantung pada akuarium yang berisikan air laut sebagai media korosi.



Gambar 3.12 Bak pengujian yang berisikan air laut sebagai proses terjadinya korosi.

### 3.5 Prosedur Pengujian

Adapun langkah-langkah prosedur pembebanan terhadap material sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen uji dengan dimensi sesuai standar ASTM G38-01(2007).
2. Setiap spesimen diberikan beban sesuai yang telah ditentukan dengan alat tekan compression machine kapasitas 250 kN ASTM C-39 beban yang diberikan 3kN, 4kN dan 5kN.

3. Setelah dilakukan pembebanan jarak dari sumbu a dan b akan diukura menggunakan jangka sorong.
4. Selanjutnya spesimen akan dipasangkan baut, baut sebagai alat untuk menahan jarak antara sumbu a dan b sesuai dengan ukuran jangka sorong pada saat pembebanan. untuk mendapatkan jarak antara pipa yang telah dipotong sebesar  $60^\circ$ .
5. Setelah jarak didapat Untuk beban yang sama disediakan 3 spesimen.
6. Selanjutnya spesimen akan direndam dengan Menuangkan media korosi ke bak penampung.
7. Memberi gantungan pada akuarium untuk tempat spesimen yang akan di gantung.
8. Pengujian dilakukan dengan waktu 15 hari.
9. Pengamatan pertama dilakukan setelah spesimen direndam selama 5 hari, pengamatan kedua selama 10 hari dan yang ketiga selama 15 hari. Setiap pengamatan beban yang di berikan pada spesimen 3 kN, 4kN, dan 5kN.
10. Setelah pengujian selesai keluarkan spesimen pada alat uji korosi retak tegang
11. Kemudian spesimen dibersihkan dengan jalan mencelupkan spesimen kedalam larutan penghilang karat selama 5 menit, setelah itu sikat dengan menggunakan sikat halus.

12. Setelah halus spesimen dicelupkan ke dalam larutan aquades selama 5 menit, kemudian angkat dan keringkan.
13. Setelah spesimen kering, specimen ditimbang beratnya, kemudian catat hasil penimbangan kedalam table.
14. Langkah tersebut diulang pada beban berbeda.

### 3.5.1 Uji Komposisi

Dalam penelitian stress corrosion cracking ini bahan yang digunakan sebagai material uji adalah AISI 304. Material ini dipilih karena pipa gas bawah laut menggunakan AISI 304.

Komposisi kimia dan sifat sifat mekanik dari material AISI 304 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi AISI 304

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.219	0.245	1.278	0.018	0.011	0.02	0.15

### 3.5.2 Metalografi

Bertujuan untuk mengetahui luas area retak yang terjadi pada benda uji. spesimen benda uji. Metalografi dilakukan pada pembesaran 20X.

### 3.5.3 Pengujian kekerasan

Setelah material di uji dengan mikrografi selanjutnya digunakan untuk pengujian kekerasan, untuk mengetahui tingkat kekerasan benda uji, maka dilakukan

pengujian kekerasan pada beberapa titik spesimen baik sebelum maupun sesudah pengujian pada beban pembebanan 3 kN, 4 kN kg, dan 5 kN yang dilakukan dengan menggunakan metode uji mikro vikers, yang dilakukan secara memanjang dari sisi kiri kesisi tengah dari benda uji, dengan jumlah jejak adalah 3 jejak, jarak antar jejak 0,1 mm (Tabel 3.2 ). Hasil pengujian kekerasan mikro vikers pada benda uji baja karbon rendah dengan variasi pembebanan.

Tabel 3.2 uji kekerasan AISI 304.

No	Benda Uji	d <sub>1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>2</sub> ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	Rata-rata (VHN)
1	Tanpa pembebanan				
		Rata - rata total			
2	Pembebanan 3 kN				
		Rata - rata total			
3	Pembebanan 4 kN				
		Rata – rata total			
4	Pembebanan 5 kN				
		Rata- rata total			

### 3.6 Pengambilan Data

Pengambilan data sebelum spesimen di uji, spesimen akan dilakukan penimbangan berat awal untuk setiap spesimen yang di uji dengan variasi

pembebanan yang telah ditentukan, setelah mendapatkan berat awal spesimen, spesimen akan di uji dengan dengan metode C-ring

### 3.6.1 Berdasarkan kehilangan berat spesimen

Pengambilan data berdasarkan kehilangan berat dari spesimen yang telah terkorosi selama periode 120 jam ( 5hari), 240 jam (10hari) dan 360 jam (15 hari) hari. Dengan melakukan penimbangan berat awal dan berat akhir spesimen untuk mengetahui berat yang hilang dicatat dalam tabel 3.3 dibawah ini.

Tabel 3.3 kehilangan berat pada media korosi dengan beban 3 kN, 4 kN dan 5 kN

Spesimen	Beban (kN)	Waktu (jam)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Kehilangan berat (gram)
1	3	360			
2	3	240			
3	3	120			
4	4	360			
5	4	240			
6	4	120			
7	5	360			
8	5	240			
9	5	120			

Perhitungan kehilangan berat spesimen setelah dilakukan pencelupan dengan waktu yang telah ditentukan dapat menggunakan rumus, sebagai berikut :

$$\Delta W = W_0 - W_2$$

Dimana :

$\Delta W$  = Kehilangan Berat (gram)

$W_0$  = Berat Awal Spesimen Pengujian (gram)

$W_2$  = Berat akhir spesimen setelah di bersihkan (gram)

### 3.7 Perhitungan Laju Korosi

Setelah didapat data kehilangan berat dari spesimen plat maka selanjutnya dilakukan perhitungan laju korosi (*corrosion rate calculation from mass loss*) yang dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut.

$$CR (mm/y) = \frac{(K \times W)}{A \times T \times D}$$

Dimana :  $CR$  = Corrosion Rate/laju korosi (mm/y)

$K$  = konstanta untuk merubah satuan ( $8.76 \times 10^4$ )

$W$  = berat yang hilang (g)

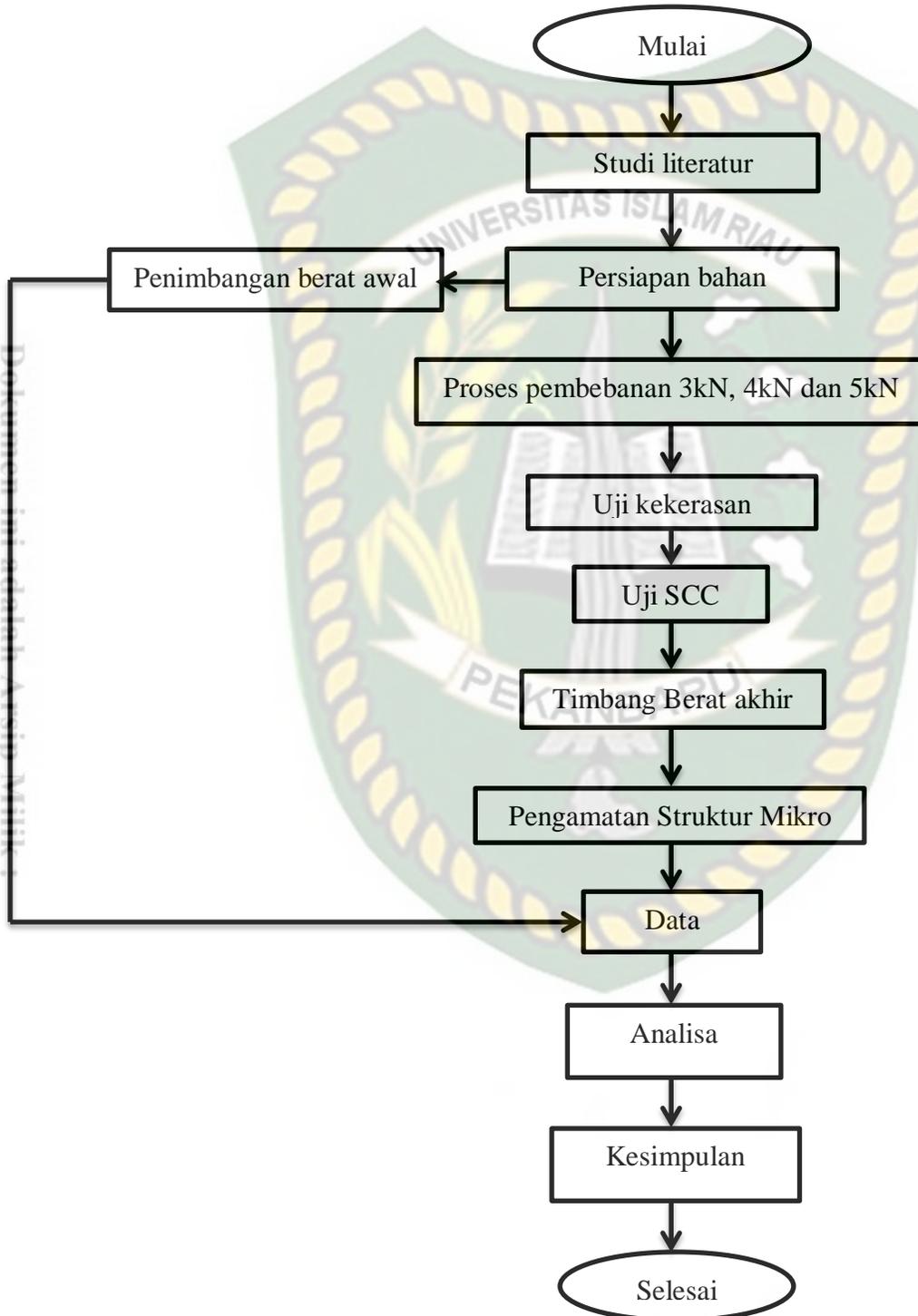
$D$  = massa jenis baja ( $7,86 \text{ g/cm}^3$ )

$A$  = luas permukaan terkorosi ( $\text{cm}^2$ )

$T$  = waktu exposure (jam)

### 3.8 Diagram Alir Penelitian

Untuk mempermudah penelitian ini maka dibuat diagram alir sebagai berikut:



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Kekerasan Material

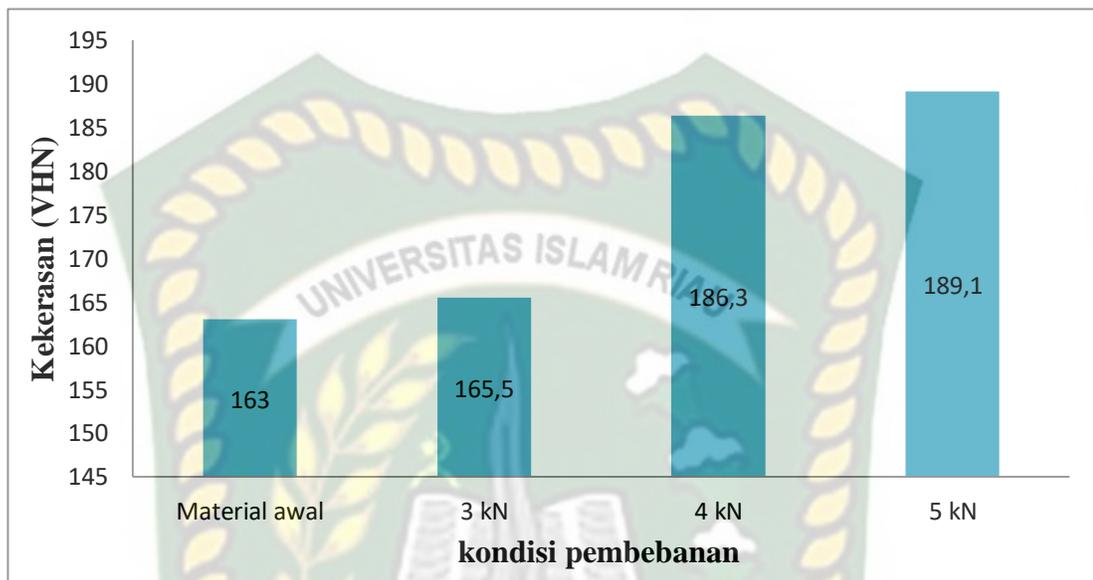
Untuk mengetahui pengaruh pembebanan yang diberikan terhadap kekerasan material maka pengujian kekerasan dilakukan sebelum material diberi beban (keadaan awal) dan setelah diberikan beban. Uji kekerasan dilakukan dengan metode Vickers.

Pengujian dilakukan pada 3 lokasi berbeda untuk setiap material. Dengan menggunakan diameter jejak rata-rata maka dihitung nilai kekerasan seperti diperlihatkan pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 Data hasil kekerasan vikers**

No	Benda Uji	d <sub>1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>2</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d Rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (VHN)
1	Material awal	0,72	0,74	0,73	173,9
		0,80	0,77	0,785	150,4
		0,75	0,75	0,75	164,8
		Kekerasan rata - rata			163
2	Pembebanan 3 KN	0,75	0,75	0,75	164,8
		0,75	0,75	0,75	164,8
		0,75	0,74	0,745	167
		Kekerasan rata - rata			165,5
3	Pembebanan 4 KN	0,72	0,7	0,71	183,89
		0,65	0,64	0,645	222,82
		0,79	0,77	0,78	152,3
		Kekerasan rata - rata			186,3
4	Pembebanan 5 KN	0,70	0,70	0,70	189,1
		0,70	0,70	0,70	189,1
		0,70	0,70	0,70	189,1
		Kekerasan rata - rata			189,1

Nilai kekerasan rata-rata pada setiap variasi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Nilai kekerasan specimen baja stainless steel 304 ssetelah diberi beban berbeda.

Nilai kekerasan material *stainless steel* sebelum diberi beban adalah sebesar 163 VHN. Pemberian beban sebesar 3 kN pada material menyebabkan nilai kekerasan naik menjadi 165,5, pemberian beban 4kN maka kekerasan akan naik menjadi 186 VHN, sedangkan pemberian beban 5 kN menyebabkan kekerasan material naik menjadi 189,1 VHN. Ini menunjukkan bahwa beban yang diberikan meningkatkan kekerasan material. Semakin besar beban yang diberikan maka nilai kekerasan juga akan semakin tinggi. Hal ini berarti bahwa beban yang diberikan telah menyebabkan terjadinya deformasi plastis pada material. Berdasarkan kenaikan kekerasan ini juga ditunjukkan bahwa material memiliki tegangan akibat dari

deformasi yang terjadi. Adanya tegangan dalam material menjadi persyaratan untuk terjadinya SCC pada material.

#### 4.2 Kehilangan Berat

Setelah diberikan beban, material kemudian direndam dalam air asin selama 120 jam (5hari), 240 jam (10hari) dan 360 jam (15hari). Sebelum direndam dalam air asin sebagai media korosif, material ditimbang untuk mendapatkan berat awal dan setelah direndam selama waktu yang ditentukan, material kembali ditimbang untuk mendapatkan berat akhir. Data kehilangan berat pada spesimen diperlihatkan pada Tabel 4.2

Table 4.2 kehilangan berat material setelah pencelupan.

Spesimen	Beban (KgN)	Waktu (jam)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Kehilangan berat (gram)
1	3	120	26,79	26,78	0,01
2	3	240	27,57	27,55	0,02
3	3	360	26,27	26,22	0,05
4	4	120	27,71	27,70	0,01
5	4	240	27,82	27,73	0,09
6	4	360	27,95	27,82	0,13
7	5	120	26,97	26,94	0,03
8	5	240	28,41	27,83	0,58
9	5	360	26,66	25,65	1,01

Kehilangan berat yang terjadi berdasarkan table di atas dapat dibuat dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kehilangan berat berdasarkan beban dan waktu.

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa beban yang diberikan pada material mempengaruhi kehilangan berat yang terjadi setelah pencelupan dalam media korosi. Semakin besar beban yang diberikan maka kehilangan berat juga meningkat. Namun demikian pada waktu pencelupan 5 hari, kenaikan kehilangan berat tidak signifikan yaitu hanya naik dari 0,01 gram pada beban 3 kN menjadi 0,03 gram pada beban 5 kN. Pada waktu pencelupan 10 hari dan 15 hari, peningkatan kehilangan berat terjadi dengan drastis dari 0,01 gram pada beban 3 kN menjadi 0,58 gram pada beban 5 kN untuk pencelupan 10 hari dan dari 0,05 gram pada beban 3 kN menjadi 1,01 gram pada beban 5 kN untuk waktu pencelupan 15 hari. Pada ketiga beban yang diberikan, maka kenaikan yang tinggi terjadi ketika beban meningkat dari 4 kN menjadi 5 kN. Berdasarkan Gambar 4.2 grafik peningkatan kehilangan berat berbentuk linier pada

waktu celup 5 hari, namun pada waktu celup 10 hari dan 15 hari, grafik tidak lagi linier tetapi naik drastis dari beban 4 kN ke 5 kN.

### 4.3 Laju Korosi

Perhitungan laju korosi dilakukan dengan metode kehilangan berat. Berat sampel sebelum ( $W_1$ ) dan setelah terkena lingkungan air laut ( $W_2$ ) dicatat menggunakan timbangan digital untuk menentukan laju korosi. Perbedaan berat sampel adalah yang paling sering digunakan sebagai ukuran korosi atau dasar untuk perhitungan laju korosi.

$$\Delta W = W_1 - W_2 \quad (2.2)$$

Dimana :  $\Delta W$  = Kehilangan berat, ( gram ).

$W_1$  = Berat awal, ( gram ).

$W_2$  = Berat akhir setelah pengujian, ( gram )

Laju korosi yang dialami oleh specimen uji dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Baboian Robert, Nace Corrosion Engineer's Reference Book, 2002 : 111).

$$CR (mm/y) = \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \quad (2.1)$$

Dimana :

$CR$  = Corrosion Rate/laju korosi (mm/tahun)

$K$  = Konstanta untuk merubah satuan (  $8.76 \times 10^4$  )

$W$  =  $\Delta W$  = Berat yang hilang (gram)

D = Massa jenis SS 304 (8 gram/cm<sup>3</sup>)

A = Luas area total (cm<sup>2</sup>),

T = Waktu exposure ( jam)

SS 304 sebagai specimen uji sebagiannya tercelup dalam air laut selama proses uji celup berlangsung. Luas specimen uji yang tercelup memiliki dimensi sebagai berikut:

D<sub>0</sub> = diameter dalam ( 2,667 cm)

D<sub>1</sub> = diameter luar ( 1,88 cm )

L = lebar ( 2 cm )

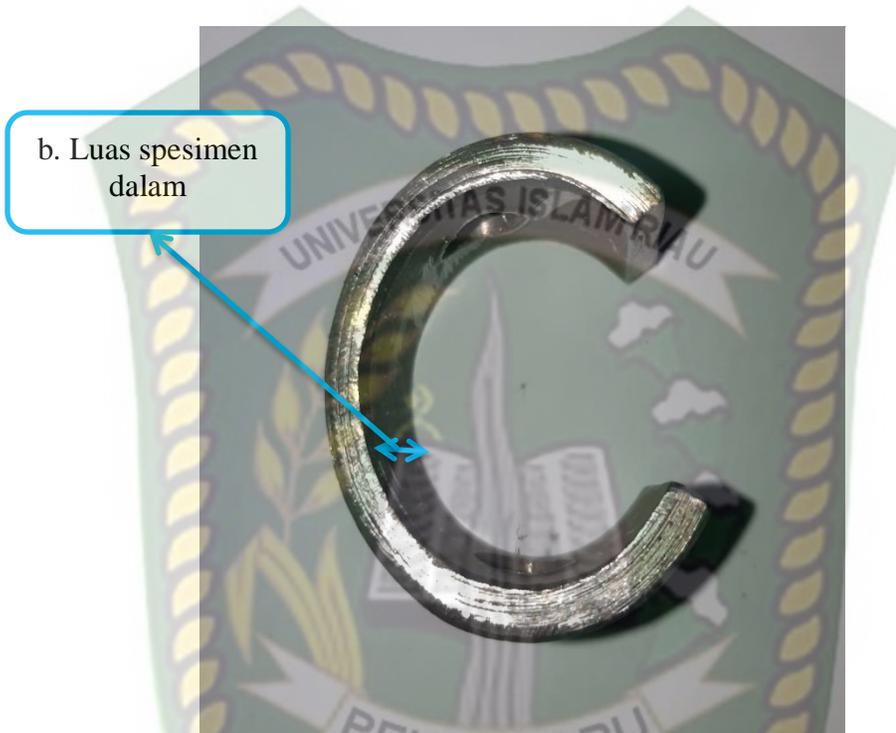


Perhitungan luas area material yang terendam media korosi adalah sebagai berikut :

a. Keliling lingkaran luar =  $\pi \cdot D_0$   
= 3.14 x 2,667 cm  
= 8,37cm<sup>2</sup>

Keliling spesimen bagian luar =  $\frac{300}{360^\circ} \times 8,37 \text{ cm}$   
= 6,97 cm

$$\begin{aligned} \text{Maka luas bagian luar} &= 6,97 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \\ &= 13,94 \text{ cm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{b. Keliling lingkaran dalam} &= \pi \cdot D_1 \\ &= 3,14 \times 1,88 \text{ cm} \\ &= 5,9 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling lingkaran bagian dalam} &= \frac{300}{360} \times 5,9 \text{ cm} \\ &= 4,9 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka luas spesimen bagian dalam} &= 4,9 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \\ &= 9,8 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$



c. luas bidang

$$\begin{aligned}
 \text{c. luas dari bidang samping} &= 2 \times \frac{300}{360^\circ} \times \left[ \frac{3,14}{4} (D_0)^2 - \frac{3,14}{4} (D_1)^2 \right] \\
 &= 2 \times \frac{300}{360^\circ} \times \left[ \frac{3,14}{4} (2,66 \text{ cm})^2 - \frac{3,14}{4} (1,88)^2 \right] \\
 &= 4,6 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

A = luas spesimen bagian luar + luas spesimen dalam + luas bidang

$$= 13,94 \text{ cm}^2 + 9,8 \text{ cm}^2 + 4,6 \text{ cm}^2$$

$$= 28,34 \text{ cm}^2$$

a. Spesimen 1 waktu pencelupan 5 hari.

Kehilangan berat specimen 1 adalah :

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (26,79 - 26,78) \text{ gram} \\ &= 0,01 \text{ gram}\end{aligned}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 3 dengan waktu pencelupan selama 120 jam adalah :

$$\begin{aligned}CR \text{ (mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\ &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 0,01 \text{ gram})}{28,34 \text{ cm}^2 \times 120 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 0,03219 \text{ mm/y}\end{aligned}$$

b. Spesimen 2 waktu pencelupan 10 hari.

Kehilangan berat specimen 2 adalah :

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (27,57 - 27,55) \text{ gram} \\ &= 0,02 \text{ gram}\end{aligned}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 2 dengan waktu pencelupan selama 240 jam adalah :

$$\begin{aligned}CR \text{ (mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\ &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 0,02 \text{ gram})}{28,34 \text{ cm}^2 \times 240 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3}\end{aligned}$$

$$= 0,03219 \text{ mm/y}$$

- c. Spesimen 3 waktu pencelupan 15 hari.

Kehilangan berat specimen 3 adalah :

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (26,27 - 26,22) \text{ gram} \\ &= 0,05 \text{ gram}\end{aligned}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 1 dengan waktu pencelupan selama 360 jam adalah :

$$\begin{aligned}CR \text{ (mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\ &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 0,05 \text{ gram})}{28,34 \text{ cm}^2 \times 360 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 0,05366 \text{ mm/y}\end{aligned}$$

- d. Spesimen 4 waktu pencelupan 5 hari.

Kehilangan berat specimen 4 adalah :

$$\begin{aligned}\Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (27,71 - 27,70) \text{ gram} \\ &= 0,01 \text{ gram}\end{aligned}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 4 dengan waktu pencelupan selama 120 jam adalah :

$$\begin{aligned}
 CR \text{ (mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\
 &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 0,01 \text{ gram})}{28,34\text{cm}^2 \times 120 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3} \\
 &= 0,03219 \text{ mm/y}
 \end{aligned}$$

e. Spesimen 5 waktu pencelupan 10 hari.

Kehilangan berat specimen 5 adalah :

$$\begin{aligned}
 \Delta W &= W_1 - W_2 \\
 &= (27,82 - 27,73) \text{ gram} \\
 &= 0,09 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 5 dengan waktu pencelupan selama 240 jam adalah :

$$\begin{aligned}
 CR \text{ (mm/y)} &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\
 &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 0,09 \text{ gram})}{28,34\text{cm}^2 \times 240 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3} \\
 &= 0,14489 \text{ mm/y}
 \end{aligned}$$

f. Spesimen 6 waktu pencelupan 15 hari.

Kehilangan berat specimen 6 adalah :

$$\begin{aligned}
 \Delta W &= W_1 - W_2 \\
 &= (27,95 - 27,82) \text{ gram} \\
 &= 0,13 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 1 dengan waktu pencelupan selama 360 jam adalah :

$$\begin{aligned} CR (mm/y) &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\ &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 0,13 \text{ gram})}{28,34 \text{ cm}^2 \times 360 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 0,13952 \text{ mm/y} \end{aligned}$$

g. Spesimen 7 waktu pencelupan 5 hari.

Kehilangan berat specimen 7 adalah :

$$\begin{aligned} \Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (26,97 - 26,94) \text{ gram} \\ &= 0,03 \text{ gram} \end{aligned}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 9 dengan waktu pencelupan selama 120 jam adalah :

$$\begin{aligned} CR (mm/y) &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\ &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 0,03 \text{ gram})}{28,34 \text{ cm}^2 \times 120 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 0,09659 \text{ mm/y} \end{aligned}$$

h. Spesimen 8 waktu pencelupan 10 hari.

Kehilangan berat specimen 8 adalah :

$$\begin{aligned} \Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (28,41 - 27,83) \text{ gram} \end{aligned}$$

$$= 0,58 \text{ gram}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 8 dengan waktu pencelupan selama 240 jam adalah :

$$\begin{aligned} CR (mm/y) &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\ &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 0,58 \text{ gram})}{28,34 \text{ cm}^2 \times 240 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 0,93375 \text{ mm/y} \end{aligned}$$

i. Spesimen 9 waktu pencelupan 15 hari.

Kehilangan berat specimen 9 adalah :

$$\begin{aligned} \Delta W &= W_1 - W_2 \\ &= (26,66 - 25,65) \text{ gram} \\ &= 1,01 \text{ gram} \end{aligned}$$

Sehingga laju korosi yang dialami oleh specimen 7 dengan waktu pencelupan selama 360 jam adalah :

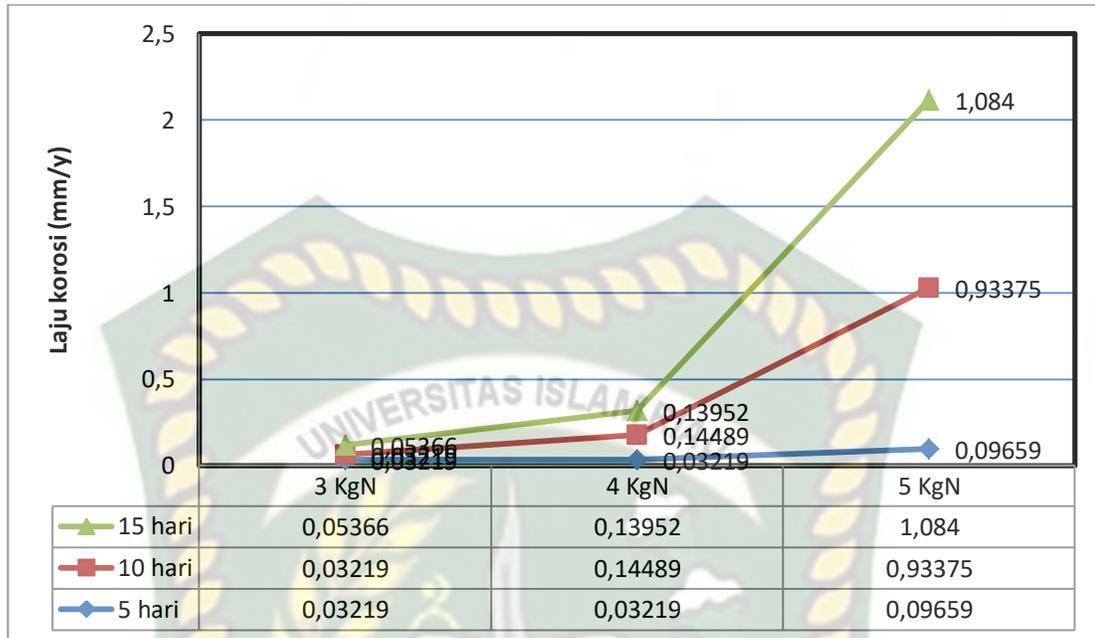
$$\begin{aligned} CR (mm/y) &= \frac{(K \times W)}{A \times T \times D} \\ &= \frac{(8,76 \times 10^4 \times 1,01 \text{ gram})}{28,34 \text{ cm}^2 \times 360 \text{ jam} \times 8 \text{ gram/cm}^3} \\ &= 1,08400 \text{ mm/y} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan laju korosi diperlihatkan catat pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil perhitungan laju korosi

Spesimen	Beban (KgN)	Waktu (jam)	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Kehilangan berat (gram)	Laju korosi (mm/y)
1	3	120	26,35	26,34	0,01	0,03219
2	3	240	27,57	27,55	0,02	0,03219
3	3	360	26,27	26,22	0,05	0,05366
4	4	120	27,71	27,70	0,01	0,03219
5	4	240	27,82	27,73	0,09	0,14489
6	4	360	27,95	27,82	0,13	0,13952
7	5	120	26,97	26,94	0,03	0,09659
8	5	240	28,41	27,83	0,58	0,93375
9	5	360	26,66	25,65	1,01	1,08400

Data laju korosi dapat dilihat pada gambar Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik laju korosi

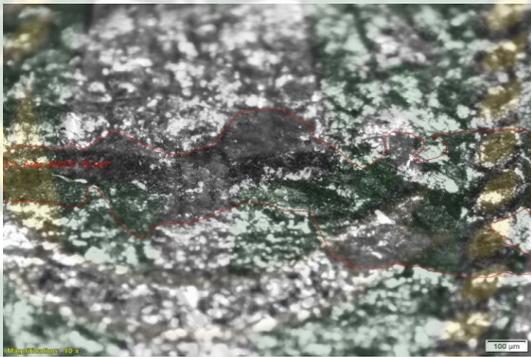
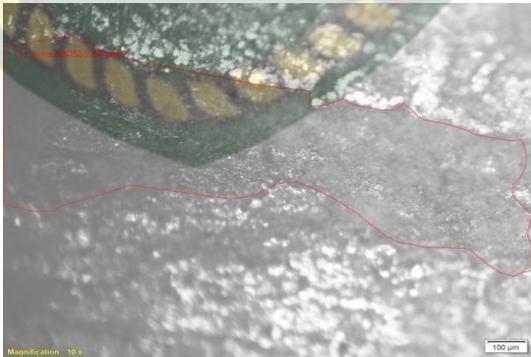
Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa besarnya beban yang diberikan berpengaruh pada laju korosi yang terjadi. Meningkatnya beban dari 3 kN, 4 kN dan 5kN menyebabkan laju korosi juga naik. Laju korosi yang terjadi pada spesimen dengan pemberian beban 3 KN adalah relatif rendah, begitu juga dengan beban 4 KN. Laju korosi terbesar dialami dengan spesimen yang diberi beban 5 KN. Grafik pada Gambar 4.3 juga memperlihatkan trend yang sama dengan grafik kehilangan berat pada Gambar 4.2. Peningkatan beban dari 4 kN menjadi 5 kN berpengaruh besar dengan naiknya laju korosi secara drastis untuk material yang direndam selama 10 hari dan 15 hari. Sedangkan pada material yang direndam selama 5 hari, grafik menunjukkan kenaikan secara linier bila dihubungkan dengan kenaikan beban. Dapat

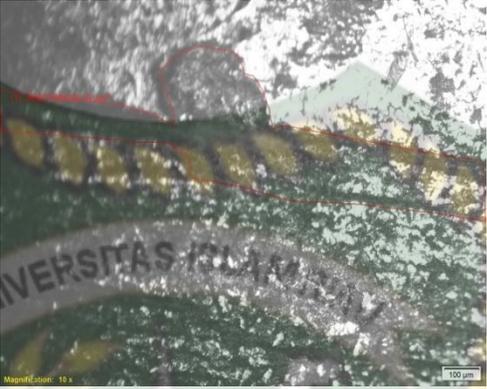
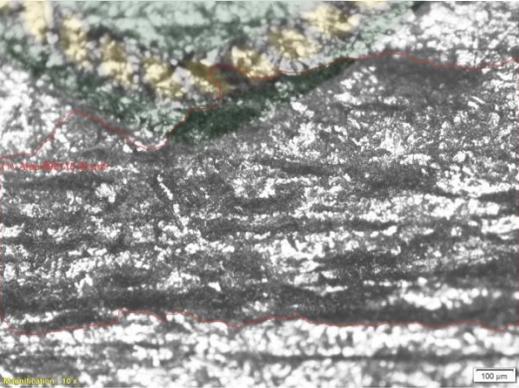
dilihat bahwa laju korosi tertinggi ditunjukkan oleh material yang mengalami pembebanan 5kN dengan waktu pencelupan 15 hari yaitu 1.084 mm/y.

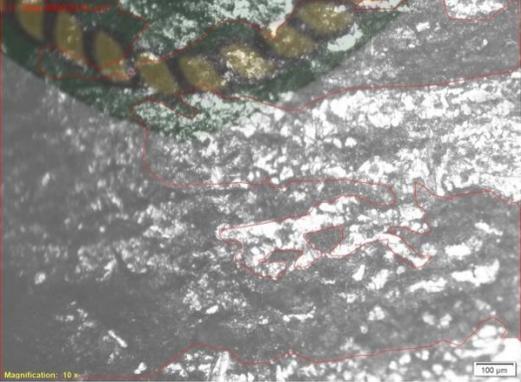
#### 4.4 Pengamatan retak

Pengamatan retak ini dilakukan dengan mikroskop optik bertujuan untuk melihat retak yang tgerjadi pada spesimen akibat SCC. Selanjutnya pada masing masing foto diamati besarnya area retak yang terjadi antara spesimen untuk mengetahui pengaruh pembebanan pada media air laut.

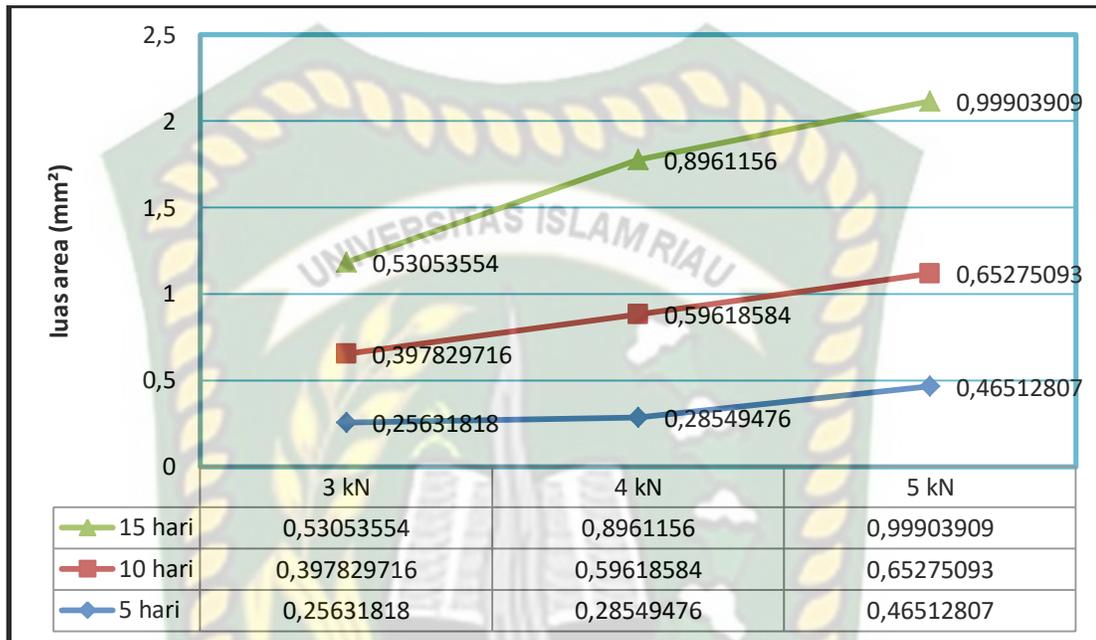
Pengamatan metalografi pada daerah titik tengah spesimen terlihatnya adanya perbedaan besarnya area retak yang terjadi pada spesimen. Dibawah ini dapat di lihat foto makro baja *stainlees steel* 304 yang mengalami retak.

Beban	Waktu	Gambar retak pada spesimen	Luas area retak( $\mu\text{m}^2$ )
3 kN	5 hari		285494,76
	10 hari		3978297,16
	15 hari		530535,54

Beban	Waktu	Gambar retak pada spesimen	Luas area retak( $\mu\text{m}^2$ )
	5 hari		285494,76
4 kN	10 hari		596185,84
	15 hari		896115,60

Beban	Waktu	Gambar retak pada spesimen	Luas area retak( $\mu\text{m}^2$ )
5 kN	5 hari		46512807
	10 hari		652750,93
	15 hari		999039,09

Adapun nilai perbandingan luas area retak yang terjadi pada spesimen setelah pencelupan dengan variasi pembebanan dan waktu dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 grafik luas area retak

Berdasarkan gambar diatas terlihat peningkatan luas area retak yang terjadi seiring bertambahnya beban dan waktu yang di alami oleh spesimen semakin besar beban dan semakin lama waktu yang diberikan terhadap spesimen maka semakin besar retak yang dialami spesimen.

#### 4.5 Pembahasan

Bedasarkan hasil pengujian kekerasan pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa dengan bertambahnya beban yang diberikan dapat meningkatkan kekerasan pada material. Adanya pembebanan menyebabkan terjadi deformasi plastis yang menyebabkan material berubah bentuk karena adanya pemberian tekan dengan beban

3 kN, 4 kN dan 5 kN. Secara keseluruhan nilai kekerasan selalu meningkat seiring dengan bertambahnya beban, nilai kekerasan yang tertinggi terdapat pada material yang di berikan beban paling besar.

Peningkatan pembebanan juga berpengaruh pada kehilangan berat material setelah direndam dalam media korosi dalam waktu 5 hari, 10 hari dan 15 hari. Waktu pencelupan yang berbeda memperlihatkan pengaruh yang berbeda pada kehilangan berat. Pada pencelupan 5 hari, kenaikan beban 3 kN, 4 kN dan 5 kN menghasilkan peningkatan kehilangan berat secara linier. Namun pada waktu pencelupan 10 hari dan 15 hari kenaikan beban 4 kN menjadi 5 kN tidak sama pengaruhnya pada material dibanding kenaikan beban 3 kN menjadi 4 kN. Ketika beban naik dari 4 kN menjadi 5 kN, kehilangan berat mengalami peningkatan yang tajam. Hal yang sama juga ditunjukkan oleh peningkatan laju korosi seperti diperlihatkan pada Gambar 4.3. Dari analisa diatas dapat disimpulkan bahwa selain air laut ternyata waktu dan beban yang diberikan terhadap material sangat berpengaruh terhadap kehilangan berat pada material. Semakin besar beban dan semakin lama waktu pencelupan pada media yang terkorosi maka resiko kehilangan berat akan semakin besar.

Pengamatan dengan mikroskop optik untuk mengetahui luas area retak pada beban dan waktu pencelupan berbeda juga memperlihatkan bahwa peningkatan beban meningkatkan luas area retak demikian juga dengan lamanya waktu pencelupan. Gambar 4.4 menunjukkan luas area retak dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu beban dan lama waktu pencelupan. Pada gambar dilihat luas area retak selalu meningkat dimulai

dari yang terkecil yaitu saat perendaman 5 hari dengan beban 3 kN mengalami retak sebesar  $0,25631818 \mu\text{m}^2$  dan yang terbesar dialami oleh spesimen dengan perendaman 15 hari dengan beban 5 kN mengalami luas area retak sebesar  $0,99903909 \mu\text{m}^2$ .



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Bedasarkan penelitian tentang pengaruh pembebanan terhadap laju korosi dengan variasi waktu pada stainless steel 304 pada media air laut dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemberian beban pada material menyebabkan nilai kekerasan meningkat. Peningkatan nilai kekerasan ini seiring dengan peningkatan beban yang diberikan yaitu dari 163 VHN pada material tanpa beban menjadi 165,5, 186 dan 189,1 VHN untuk material setelah diberi beban 3 kN, 4 kN dan 5 kN. Hal ini disebabkan karena terjadinya deformasi plastis pada material.
2. Pemberian beban menyebabkan laju korosi meningkat. Laju korosi terendah ditunjukkan oleh material dengan beban 3kN yaitu 0,3219 mm/y sedangkan laju korosi tertinggi diperlihatkan oleh material setelah diberi beban 5 kN yaitu 1,084 mm/y.
3. Selain beban, lamanya waktu perendaman juga berpengaruh pada laju korosi. Waktu perendaman 5 hari menunjukkan peningkatan beban berpengaruh secara linier pada laju korosi. Tetapi pada waktu perendaman 10 hari 15 hari, laju korosi naik tajam ketika beban meningkat dari 4 kg menjadi 5 kg.

4. Besarnya area retak yang terjadi pada material yang telah diuji tergantung dengan lamanya waktu celup dan besarnya beban yang diberikan terhadap material, semakin lama pencelupan dan semakin besar beban yang diberikan kepada material uji maka area retak akan semakin besar.
5. Agar laju korosi yang terjadi tidak meningkat tajam, maka beban yang diberikan sebaiknya tidak melebihi 4 kN.

## 5.2 Saran

Pada pengujian selanjutnya disarankan untuk menambahkan perlakuan panas pada material untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas pada penurunan tegangan yang terjadi dan laju korosi yg dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

ADRIAN. 2009. "PERILAKU KOROSI MATERIAL BAJA PADUAN AKIBAT PENGARUH KONDENSAT YANG BERASAL DARI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI."

Armanto, H. dan Daryanto. 1999. "Ilmu Bahan."

Baboian Robert, Nace. 2002. "Corrosion Engineering."

Badaruddin, Mohammad. 2014. "Efek Shot Peening Terhadap Korosi Retak Tegang ( SCC ) Baja Karbon Rendah Dalam Lingkungan Air Laut Efek Shot Peening Terhadap Korosi Retak Tegang ( SCC ) Baja Karbon Rendah Dalam Lingkungan Air Laut." (January 2005).

Bayuseno, Athanasius Priharyoto et al. 2014. "ANALISIS STRESS CORROSION CRACKING AUSTENITIC STAINLESS STEEL ( AISI 304 ) DENGAN METODE U-BEND PADA MEDIA KOROSIF HCL 1M." 2(1): 110–18.

Benjamin D Craig. 2006. "Corrosion Prevention and Control : A Program Management Guide for Selecting Materials."

Indra, Febriana, dkk. 2008. "Steinless Steel."

Industri, Fakultas Teknologi. 2016. "TERHADAP PITTING CORROSION PADUAN."

John C. Lippold and darmian J. Kotecki. 2005. "Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels."

Munasir. 2009. "Laju Korosi Baja SC 42 Dalam Medium Air Laut Dengan Metode Immers Total."

parmansyah. 2017. "HUBUNGAN ANTARA BIOFOULING DENGAN KOROSI MATERIAL BADAN KAPAL PADA MEDIA AIR LAUT."

Priyotomo, Gadang. 2016. "Korosi Retak Tegang Material Stainless Steel AISI 304 Di Lingkungan MgCl<sub>2</sub> KOROSI RETAK TEGANG MATERIAL STAINLESS STEEL AISI 304 DI LINGKUNGAN MgCl<sub>2</sub> Material." (August 2008).

Putrandono, Fajar Eka et al. 2014. "Online : [Http://Ejournal-S1.Undip.Ac.Id/Index.Php/Jtm](http://Ejournal-S1.Undip.Ac.Id/Index.Php/Jtm) ANALISIS STRESS CORROSION CRACKING AISI C20500 DENGAN VARIASI Jurnal Teknik Mesin S-1 , No . 2 , Tahun 2014 Online : [Http://Ejournal-S1.Undip.Ac.Id/Index.Php/Jtm](http://Ejournal-S1.Undip.Ac.Id/Index.Php/Jtm)." 2(2): 92–100.

Sasono, eko julianto. 2010. "Efektivitas Penggunaan Anoda Korban Panduan Aluminium Pada Pelat Baja Kapal Aisi E2512 Terhadap Laju Korosi Di Dalam Media Air Laut." : 57.

Seitovirta, Mika. 2013. "Handbook of Stainless Steel."

Sitorus, Ardiles Jeremia et al. 2012. "PENGARUH TEGANGAN TERHADAP KERENTANAN KOROSI RETAK TEGANG SS 304 DALAM LINGKUNGAN NaCl DENGAN METODE BENT BEAM KOROSI RETAK TEGANG SS 304 DALAM LINGKUNGAN."

surdia,T.;Saito, S. 1999. "Pengetahuan Bahan Teknik."

Tretheway, KR, dan Chamberlin, J. 1991. "Korosi Untuk Mahasiswa Dan Rekayasawan."

Utomo, Budi. 2012. "Jenis Korosi Dan Penanggulangannya." *Kapal* 6(2): 138–41.

