



**PENGARUH VARIASI SUDUT BENDING PIPA SEAMLESS SCH  
40 TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA MEDIA AIR  
LAUT**

**SKRIPSI**

Oleh :

**Anugrah V Ilannuri  
111910101086**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**



**PENGARUH VARIASI SUDUT BENDING PIPA SEAMLESS SCH  
40 TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA MEDIA AIR  
LAUT**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**Anugrah V Ilannuri  
111910101086**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2015**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Isnaini Mufa dan Ayahanda Fathan Arif tercinta yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, kasih sayang, dan dukungan yang tidak kenal lelah hingga saat ini serta doa yang tiada hentinya beliau haturkan dengan penuh keikhlasan hati;
2. Adikku Cindra Fani Syafira dan Brilian Farel Adhani yang selalu memberi dukungan demi terciptanya skripsi ini;
3. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang tiada lelah membimbing dan mengarahkan, semoga menjadi ilmu yang bermanfaat dan barokah dikemudian hari. Bapak Sumarji S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing anggota yang telah meluangkan waktunya memberikan masukan, dan ide dalam penulisan skripsi ini. Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Penguji Utama, Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang sudah memberikan saran dan masukan yang sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Saudaraku Teknik Mesin 2011 Universitas Jember yang senantiasa memberikan motivasi dan semangat persaudaraan selama perkuliahan hingga saat ini dan teruslah bersaudara hingga kita bisa berbagi kesenangan dan kebahagiaan lagi di surga-NYA kelak;
5. Sahabatku Ika Fitriyah, Apriando Woda, Kiki Rooster, Audrey Reagusta, Irwan Ardiansyah, Ja'far Sodik, dan Sandra Dwi Permana yang tidak pernah lelah untuk mengingatkan untuk selalu semangat;
6. Serta civitas akademik baik dilingkungan UNEJ maupun seluruh instansi pendidikan, perusahaan dan lembaga terkait.

## MOTTO

*“Barang siapa bertawakkal pada Allah, maka Allah akan memberikan kecukupan padanya, sesungguhnya Allah lah yang akan melaksanakan urusan (yang dikehendakinya)-Nya.”*  
(terjemahan surat Ath-Thalaq ayat 3)<sup>\*)</sup>

*“dan Allah menyertai orang-orang yang sabar.”*  
(terjemahan surat Al-Anfal ayat 66)<sup>\*)</sup>

*“Bukan seberapa besar kamu punya pensil, tapi bagaimana caranya kamu tulis nama kamu.”*  
(Dave Mustain)

## **PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anugrah V Ilannuri

NIM : 111910101086

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “PENGARUH VARIASI SUDUT BENDING PIPA SEAMLESS SCH 40 TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA MEDIA AIR LAUT” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Desember 2015

Yang menyatakan,

(Anugrah V Ilannuri)

NIM 111910101086

# **SKRIPSI**

## **PENGARUH VARIASI SUDUT BENDING PIPA SEAMLESS SCH 40 TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA MEDIA AIR LAUT**

Oleh :

Anugrah V Ilannuri  
NIM 111910101086

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Sumarji, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Santoso Mulyadi, S.T., M.T.

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Sudut Bending Pipa Seamless Sch 40 Terhadap Ketahanan Korosi pada Media Air Laut” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, tanggal : Kamis, 31 Desember 2015

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

### Tim Penguji

Ketua,

Sekretaris,

Sumarji, S.T., M.T.  
NIP 19680202 19972 1 001

Santoso Mulyadi, S.T., M.T.  
NIP 19700228 199702 1 001

Anggota I,

Anggota II,

Ir. FX. Kristianta, M.Eng.  
NIP 19650120 200112 1 001

Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T.  
NIP 19691201 199602 1 001

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Ir. Widyono Hadi, M.T.  
NIP. 19610414 198902 1 001

## RINGKASAN

**Pengaruh Variasi Sudut Bending Pipa Seamless Sch 40 Terhadap Ketahanan Korosi Pada Media Air Laut;** Anugrah V Ilannuri, 111910101086; 2015; 81 halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Korosi merupakan suatu bentuk kerusakan yang terjadi pada logam. Faktor utama penyebab terjadinya korosi adalah lingkungan yang bersifat korosif. Pada sistem perpipaan biasanya pipa tersusun dengan bentuk yang berbeda-beda. Ada pipa dengan bentuk yang lurus maupun pipa dengan bentuk bengkok. Dari segi katahan korosi, pipa bengkok laju korosinya akan jauh terjadi lebih hebat dibandingkan pada bagian pipa yang lurus.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut bending pipa seamless sch 40 terhadap ketahanan korosi pada media air laut. Pada penelitian ini memvariasikan sudut bending dengan lama perendaman. Sudut yang digunakan yaitu  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ , dan  $180^{\circ}$  dengan lama perendaman 28 hari. Pengambilan data diambil setiap hari ke 7, 14, 21 dan 28.

Penelitian ini dilakukan di 3 tempat berbeda. Laboratorium Kerja bangku dan Plat Fakultas Teknik Universitas Jember untuk melakukan *pembendingan* dan pemotongan spesimen. Laboratorium Biologi Fakultas Farmasi Universitas Jember untuk melakukan penimbangan spesimen. Laboratorium Pengujian Bahan – UB untuk melakukan pengujian struktur mikro spesimen.

Dari hasil penelitian didapat nilai laju korosi tertinggi pada sudut  $180^{\circ}$  yaitu sebesar  $2,0421 \text{ mg/dm}^2\text{day}$  dengan waktu perendaman 21 hari.

## **SUMMARY**

***Effect Of Angle Bending Variation Sch 40 Seamless Pipe Of Corrosion Resistance In Seawater Media***; Anugrah V Ilannuri, 111910101086; 2015; 81 Pages; *Mechanical Engineering Department of Engineering Faculty, University of Jember.*

*Corrosion is a form of damage to the metal. The main factor is the cause of the corrosion environment. In pipeline system, usually pipe is composed by different shape. There is a pipe with a straight shape and elbow pipe. In terms of corrosion resistance, corrosion rate of elbow pipe much more powerful than straight pipe.*

*This study aims to determine the effect of Angle bending variation SCH 40 Seamless pipe of corrosion resistance in seawater media. In this study, varying the angle bending of the seamless pipe by soaking time. Angle bending used were 0<sup>0</sup>, 45<sup>0</sup>, 90<sup>0</sup> and 180<sup>0</sup>, soaking time 28 days. Collecting data is taken every day to 7, 14, 21 and 28.*

*This research was conducted in three different places. Materials Testing Laboratory of the Technical University of Jember for bending and cutting specimens. Laboratory of Biology, Faculty of Pharmacy, University of Jember to weighing of the specimen. Materials Testing Laboratory - UB for testing micro specimens.*

*The result is the value of the highest corrosion rate 2,0421 mg/dm<sup>2</sup> day at 180<sup>0</sup> angle bending and immersion time 21 day.*

## **PRAKATA**

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Sudut Bending Pipa Seamless Sch 40 Terhadap Ketahanan Korosi pada Media Air Laut”. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai sumber inspirasi dan panutan umat manusia dalam menjalani kehidupan di dunia ini. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu karena tidak lain tidak lepas dari bantuan berbagai pihak selama penyusunan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan nikmat dan karunia yang tidak pernah henti dapat penulis rasakan setiap detik dalam hidup ini;
2. Ibunda Isnaini Mufa dan Ayahanda Fathan Arif tercinta yang senantiasa mendoakan dan tiada hentinya memberikan arahan, bimbingan, motivasi, perhatian, materi dan mengajarkan pelajaran hidup yang tidak kenal lelah, juga yang utama adalah doa yang selalu beliau haturkan setiap saat;
3. Adikku Cindra Fani Syafira dan Brilian Farel Adhani yang selalu memberi dukungan demi terciptanya skripsi ini;
4. Bapak Sumarji S.T. M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, Bapak Santoso Mulyadi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing anggota yang telah meluangkan waktunya, memberikan masukan, dan ide dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Ir. FX. Kristianta, M.Eng. selaku Dosen Penguji Utama, Bapak Dedi Dwi Laksana, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji anggota yang sudah memberikan saran dan masukan yang sangat membantu dalam penyelesaian skripsi ini;

6. Bapak Dosen Universitas Jember khususnya Jurusan Teknik Mesin yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
7. Saudara - saudaraku Teknik Mesin 2011 Universitas Jember yang tidak bisa penulis sebutkan satu – persatu. Semoga kalian semua mendapatkan yang terbaik;
8. Sahabatku Ika Fitriyah, Apriando Woda, Kiki Rooster, Audrey Reagusta, Irwan Ardiansyah, Ja'far Sodik dan Sandra Dwi Permana yang tidak pernah lelah untuk mengingatkan untuk selalu semangat;
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa manusia tidak luput dari salah dan lupa sehingga penulis sangat menerima adanya kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Semoga hasil dari penelitian pada skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada semua pihak.

Jember, Desember 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

	HALAMAN
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>MOTTO</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>PEMBIMBING</b> .....	v
<b>PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Batasan Masalah</b> .....	2
<b>1.4 Tujuan</b> .....	2
<b>1.5 Manfaat</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Pengertian Korosi</b> .....	4
2.1.1 Teori Korosi Berdasarkan Reaksi Elektrokimia .....	5
2.1.2 Teori Korosi Berdasarkan Hukum Termodinamika.....	7
<b>2.2 Korosi Pada Baja</b> .....	8
<b>2.3 Korosi Baja pada Lingkungan Air</b> .....	8

<b>2.4 Jenis-Jenis Korosi .....</b>	<b>9</b>
<b>2.5 Laju Korosi.....</b>	<b>12</b>
2.5.1 Metode Perhitungan Laju Korosi .....	13
<b>2.6 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi .....</b>	<b>14</b>
<b>2.7 Air Laut.....</b>	<b>16</b>
<b>2.8 Baja Karbon .....</b>	<b>19</b>
<b>2.9 Struktur Mikro.....</b>	<b>20</b>
<b>2.10 Pengetahuan Dasar Pipa .....</b>	<b>24</b>
2.10.1 Pengertian Pipa .....	24
2.10.2 Klasifikasi Pipa .....	25
2.10.2 Pengertian Pipa Seamless SCH 40.....	26
<b>2.11 Teori Dasar Bending.....</b>	<b>28</b>
<b>2.12 Hipotesis .....</b>	<b>29</b>
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....</b>	<b>30</b>
3.3.1 Alat .....	30
3.3.2 Bahan .....	31
<b>3.4 Prosedur Penelitian .....</b>	<b>31</b>
<b>3.5 Pelaksanaan Penelitian.....</b>	<b>32</b>
3.5.1 Persiapan alat.....	32
3.5.2 Persiapan dan pembuatan spesimen uji .....	32
3.5.3 Persiapan media korosi.....	34
3.5.5 Pengambilan dan Pembersihan Material .....	35
3.5.6 Pengamatan <i>Metallography</i> .....	35
<b>3.6 Analisis Data.....</b>	<b>37</b>
3.6.1 Analisis dengan Metode Gravimetri.....	37

3.6.2 Pengambilan Data.....	37
<b>3.7 Variabel Penelitian .....</b>	<b>38</b>
3.7.1 Variabel Bebas.....	38
3.7.2 Variabel Terikat.....	38
<b>3.8 Diagram Alir Proses .....</b>	<b>39</b>
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1 Analisis Laju Korosi .....</b>	<b>41</b>
4.1.1 Analisis Laju Korosi Sudut Bending $0^0$ .....	41
4.1.2 Analisis Laju Korosi Sudut Bending $45^0$ .....	42
4.1.3 Analisis Laju Korosi Sudut Bending $90^0$ .....	44
4.1.4 Analisis Laju Korosi Sudut Bending $180^0$ .....	45
4.1.5 Analisis Laju Korosi Berbagai Variasi Sudut Bending Pipa Seamless SCH 40 .. .....	47
<b>4.2 Analisis Struktur Makro.....</b>	<b>48</b>
4.2.1 Analisis struktur makro pada pipa seamless sch 40 sebelum dilakukan perendaman pada media air laut.....	48
4.2.2 Analisis struktur makro pada pipa seamless sch 40 sebelum dilakukan perendaman pada media air laut.....	50
<b>4.3 Analisis Struktur Mikro.....</b>	<b>52</b>
4.3.1 Analisis struktur mikro pada sudut <i>bending</i> $0^0$ .....	52
4.3.2 Analisis struktur mikro pada sudut <i>bending</i> $45^0$ .....	54
4.3.3 Analisis struktur mikro pada sudut <i>bending</i> $90^0$ .....	55
4.3.4 Analisis struktur mikro pada sudut <i>bending</i> $180^0$ .....	57
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2 Saran.....</b>	<b>59</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>64</b>

## DAFTAR GAMBAR

### HALAMAN

2.1 Sel Korosi.....	6
2.2 Sebuah Profil Energi Termodinamika Untuk Logam Dan Senyawa - Senyawanya .....	7
2.3 Korosi Celah .....	10
2.4 Korosi Sumuran .....	10
2.5 Korosi Merata.....	11
2.6 Korosi Erosi .....	11
2.7 Korosi Retak Tegang.....	13
2.8 Diagram Fasa Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	20
2.9 Ilustrasi struktur kristal BCC .....	21
2.10 Ilustrasi struktur kristal BCC .....	21
2.11 Pipa SCH 40 Seamless .....	26
2.12 Metode bending pada pipa .....	29
3.1 Spesimen Uji dengan sudut 0° .....	33
3.2 Spesimen Uji dengan sudut 45° .....	33
3.3 Spesimen Uji dengan sudut 90° .....	33
3.4 Spesimen Uji dengan sudut 180° .....	34
3.5 Proses perendaman specimen uji .....	35
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	40
4.1 Pengaruh sudut bending 0° pada pipa seamless sch 40 terhadap laju korosi .....	41
4.2 Pengaruh sudut bending 45° pada pipa seamless sch 40 terhadap laju korosi .....	43
4.3 Pengaruh sudut bending 90° pada pipa seamless sch 40 terhadap laju korosi .....	44

4.4 Pengaruh sudut bending $180^0$ pada pipa seamless sch 40 terhadap laju korosi .....	46
4.5 Pengaruh berbagai variasi sudut bending pipa seamless sch 40 terhadap laju korosi.....	47
4.6 Foto permukaan pipa seamless sch 40 pada sudut bending $0^0$ , sudut bending $45^0$ , sudut bending $90^0$ , dan sudut bending $180^0$ sebelum dilakukan perendaman pada media air laut.....	49
4.7 Foto permukaan pipa seamless sch 40 pada sudut bending $0^0$ , sudut bending $45^0$ , sudut bending $90^0$ , dan sudut bending $180^0$ setelah dilakukan perendaman pada media air laut.....	51
4.8 Foto mikro pembesaran 200x pada sudut $0^0$ , sebelum direndam media air laut setelah direndam media air laut, dan perbesaran gambar butir struktur mikro.....	53
4.8 Foto mikro pembesaran 200x pada sudut $45^0$ , sebelum direndam media air laut setelah direndam media air laut, dan perbesaran gambar butir struktur mikro.....	54
4.8 Foto mikro pembesaran 200x pada sudut $90^0$ , sebelum direndam media air laut setelah direndam media air laut, dan perbesaran gambar butir struktur mikro.....	55
4.8 Foto mikro pembesaran 200x pada sudut $180^0$ , sebelum direndam media air laut setelah direndam media air laut, dan perbesaran gambar butir struktur mikro.....	57

## DAFTAR TABEL

	HALAMAN
2.1 Ukuran, Spesifikasi dan Berat Nominal Pipa Schedule 40 .....	27
2.2 komposisi kimia Pipa Seamless .....	28

## DAFTAR LAMPIRAN

	HALAMAN
<b>LAMPIRAN A. TABEL PENGAMBILAN DATA</b> .....	64
A.1 Tabel Lampiran Laju Korosi Konsentrasi $0^{\circ}$ .....	64
A.2 Tabel Lampiran Laju Korosi Konsentrasi $45^{\circ}$ .....	64
A.3 Tabel Lampiran Laju Korosi Konsentrasi $90^{\circ}$ .....	65
A.4 Tabel Lampiran Laju Korosi Konsentrasi $180^{\circ}$ .....	66
A.5 Perhitungan luas permukaan spesimen .....	67
A.5 Perhitungan Laju Korosi .....	67
<b>LAMPIRAN B. GAMBAR ALAT PENELITIAN</b> .....	69
<b>LAMPIRAN C. BAHAN PENELITIAN</b> .....	71

## **BAB 1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Saat ini sumber daya alam berupa minyak dan gas alam merupakan kebutuhan yang mendasar dalam kehidupan sehari-hari. Sumber daya alam ini nantinya akan di jadikan bahan baku utama pembentuk energi. Kebutuhan energi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya populasi manusia dan industri – industri yang membutuhkan energi dari sumber daya alam sebagai pembangkitnya. Sebagai contoh, sumber daya alam berupa minyak bumi dan gas alam di dapat dengan cara penambangan lepas pantai (offshore area) dan penambangan darat (onshore area) (Riva'i *et al*, 2015).

Indonesia memiliki cadangan gas alam terbesar ketiga di wilayah Asia Pasifik (setelah Australia dan Republik Rakyat Tiongkok), berkontribusi untuk 1,5% dari total cadangan gas dunia (BP Statistical Review of World Energy, 2015).

Proses produksi Gas Alam yang umum dipakai sebagai pipa penyalur, baik flowline maupun pipeline biasanya menggunakan material baja karbon. Ada 3 faktor masalah besar dalam penggunaan material tersebut yang berkaitan dengan korosi yang biasanya terjadi pada proses tersebut. 3 faktor tersebut antara lain terjadinya kebocoran akibat pengaruh adanya gas CO<sub>2</sub> yang terlarut dalam media air, adanya laju aliran fluida dalam pipa dan lingkungan bersifat korosif (Nurhamzah, 2011).

Pipa sch 40 adalah pipa yang telah dilakukan percobaan pengetesan dengan tekanan air, aman sampai pada tekanan 40 kg/cm<sup>2</sup>, dan seamless berasal dari bahasa Inggris yang berarti tanpa keling/las. Jadi secara utuh pengertian dari pipa schedule (sch) 40 seamless adalah pipa tanpa sambungan/tanpa las dengan kekuatan pengetesan sampai pada tekanan 40 kg/cm<sup>2</sup> (Jokosisworo, 2012).

Sistem perpipaan biasanya tersusun dengan bentuk yang berbeda-beda. Ada pipa dengan bentuk yang lurus maupun pipa dengan bentuk bengkok. Dari segi katahan korosi, elbow pipe (pipa bengkok/bending) laju korosinya akan jauh terjadi lebih hebat dibandingkan pada bagian pipa yang lurus. Selain kegagalan akibat hoop

stress, penipisan dinding pipa yang diakibatkan oleh fenomena *internal corrosion* dapat juga berpeluang menimbulkan kegagalan struktur pada elbow pipe yang disebut keretakan (Putri *et al*, 2012).

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana pengaruh variasi sudut bending pipa seamless Sch 40 terhadap laju korosi?
2. Bagaimana pengaruh variasi sudut bending pipa seamless Sch 40 terhadap struktur mikro sebelum dan sesudah terjadinya korosi?

## **1.3 Batasan Masalah**

1. Spesimen yang digunakan pipa seamless Sch 40.
2. Temperatur, pH dan kelembaban udara di anggap konstan.
3. Proses pengerjaan bending pipa menggunakan proses pengerjaan dingin.
4. Proses bending pipa menggunakan metode compression bending.
5. Tidak membahas tekanan pada alat bending.
6. Pengujian laju korosi pipa seamless Sch 40 dengan menggunakan media air laut.
7. Hanya mengamati korosi pada bagian permukaan luar pipa.
8. Melakukan pengamatan struktur makro dan struktur mikro.

## **1.4 Tujuan**

Berdasarkan latar belakang yang tertulis di atas, tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi sudut bending pipa seamless Sch 40 terhadap laju korosi.
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi sudut bending pipa seamless Sch 40 terhadap struktur mikro sebelum dan sesudah terjadinya korosi.

### **1.5 Manfaat**

Dari ulasan tujuan diatas, dapat kita ambil manfaat dari penelitian yang dilakukan tersebut sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui pengaruh variasi sudut bending pipa seamless SCH 40 terhadap laju korosi.
2. Dapat mengetahui pengaruh variasi sudut bending pipa seamless SCH 40 terhadap struktur mikro sebelum dan sesudah terjadinya korosi.
3. Dapat memberikan informasi, wawasan kepada pihak terkait, ataupun sebagai acuan bagi peneliti selanjutnya.

## **BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Korosi**

Menurut Nurhamzah (2011), korosi didefinisikan sebagai degradasi dari material yang diakibatkan oleh reaksi kimia dengan material lain dan lingkungan. Akibat adanya reaksi korosi, suatu material akan mengalami perubahan sifat ke arah yang lebih rendah atau dapat dikatakan kemampuan dari material tersebut akan berkurang. Dalam bidang metalurgi, peristiwa korosi dapat dipandang sebagai suatu peristiwa atau reaksi senyawa kembali ke bentuk asalnya atau bisa disebut sebagai kebalikan dari proses metalurgi ekstraksi.

Peristiwa korosi terjadi akibat adanya reaksi kimia dan elektrokimia. Namun, untuk terjadinya peristiwa korosi terdapat beberapa elemen utama yang harus dipenuhi agar reaksi tersebut dapat berlangsung. Elemen-elemen utama tersebut adalah sebagai berikut :

#### **a. Material**

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu material akan bersifat sebagai anoda. Anoda adalah suatu bagian dari suatu reaksi yang akan mengalami oksidasi. Akibat reaksi oksidasi, suatu logam akan kehilangan elektron, dan senyawa logam tersebut ion berubah menjadi ion-ion bebas.

#### **b. Lingkungan**

Dalam suatu peristiwa korosi, suatu lingkungan akan bersifat sebagai katoda. Katoda adalah suatu bagian dari reaksi yang akan mengalami reduksi. Akibat reaksi reduksi dari anoda. Beberapa lingkungan yang dapat bersifat katoda adalah Lingkungan air, atmosfer, gas, mineral acid, tanah, dan minyak.

#### **c. Reaksi antara material dan lingkungan**

Adanya reaksi antara suatu material dengan lingkungannya merupakan suatu persyaratan yang sangat penting dalam terjadinya suatu peristiwa korosi. Reaksi korosi hanya akan terjadi jika terdapat hubungan atau kontak langsung antara material

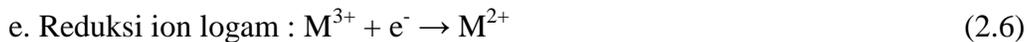
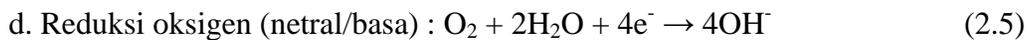
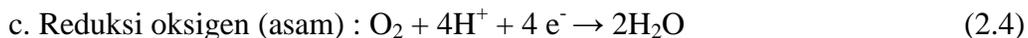
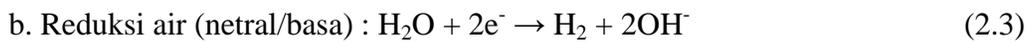
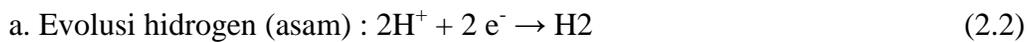
dan lingkungan. Akibat adanya hubungan tersebut, akan terjadi reaksi reduksi dan oksidasi yang berlangsung secara spontan.

#### d. Elektrolit

Untuk mendukung suatu reaksi reduksi dan oksidasi dan melengkapi sirkuit elektrik, antara anoda dan katoda harus dilengkapi dengan elektrolit. Elektrolit menghantarkan listrik karena mengandung ion-ion yang mampu menghantarkan elektroequivalen force sehingga reaksi dapat berlangsung. Reaksi korosi logam melibatkan dua reaksi setengah sel, yaitu reaksi oksidasi pada anoda dan reaksi reduksi pada katoda. Reaksi katoda dan anoda yang terjadi dalam proses korosi adalah sebagai berikut.



Katoda :



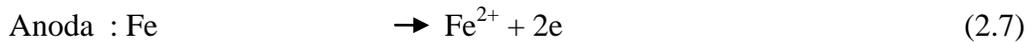
#### 2.1.1 Teori Korosi Berdasarkan Reaksi Elektrokimia

Mekanisme korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). Mekanisme korosi melalui reaksi elektrokimia melibatkan reaksi anodik di daerah anodik. Reaksi anodik (oksidasi) diindikasikan melalui peningkatan valensi atau produk elektronelektron. Reaksi anodik yang terjadi pada proses korosi logam yaitu :

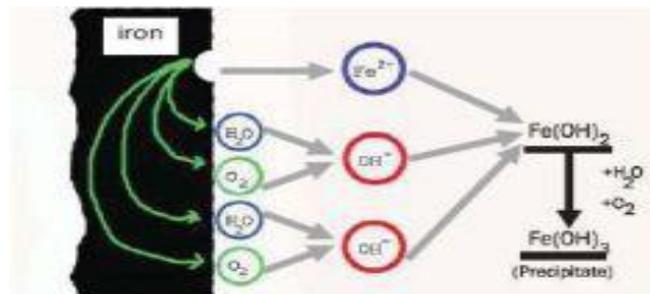


Proses korosi dari logam M adalah proses oksidasi logam menjadi satu ion ( $n^{+}$ ) dalam pelepasan  $n$  elektron. Harga dari  $n$  bergantung dari sifat logam.

Peristiwa korosi pada struktur pipa, baik yang terjadi dilingkungan tanah dan air harus melibatkan syarat-syarat diatas. Peristiwa korosi pada struktur pipa memiliki reaksi anoda dan katoda :



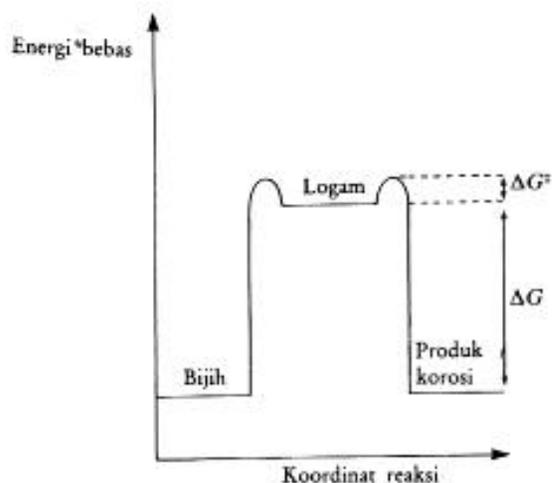
Pada reaksi (2.7) dan (2.8) melibatkan elektron. Reaksi anodik adalah reaksi perubahan logam baja menjadi ion  $\text{Fe}^{2+}$  dengan melepaskan 2 elektron dimana terjadi penambahan bilangan oksidasi dari 0 menjadi 2, sedangkan reaksi katodik adalah reaksi pelarutan oksigen  $\text{O}_2$  didalam air menjadi ion  $\text{OH}^-$  dengan membutuhkan 4 elektron dimana terjadi pengurangan bilangan oksidasi 0 menjadi - 4. Elektron ini akan mengalir dari reaksi anodik menuju reaksi katodik untuk mencapai kesetimbangan yang dinamis. Pergerakan elektron ini mengakibatkan terjadinya arus listrik yang arahnya berlawanan dengan arah aliran elektron. Arah aliran elektron berasal dari anoda menuju katoda sehingga arah aliran arus listrik berasal dari katoda menuju anoda. (Chodijah,2008 ). Korosi terjadi melalui perantara dimana perantara tersebut adalah lingkungannya dan biasa disebut sebagai elektrolit. Skema sel korosi secara umum dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Sel Korosi (Sumber: Supardi, 1997)

### 2.1.2 Teori Korosi Berdasarkan Hukum Termodinamika

Dalam bebas kebanyakan logam ditemukan dalam keadaan tergabung secara kimia yang disebut ore. Bijih-bijih ini bisa berupa oksida, sulfida, karbonat atau senyawa lain yang lebih kompleks. Dengan adanya teori termodinamika, dapat dikatakan bahwa bijih atau senyawa lain berada pada energi yang terendah. Energi yang besar diperlukan untuk memisahkan logam misalnya besi dari bijihnya seperti besi oksida, ini dilakukan dengan melalui pemanasan (dengan agen pereduksi) dalam sebuah blast Furnace (tanur hembus) dengan temperature sekitar  $1600^{\circ}\text{C}$ . Oleh karena itu logam-logam dalam keadaan tidak bergabung dengan bahan lain memiliki tingkat energi yang tinggi, seperti digambarkan pada gambar 2.2 yang menggunakan profil energi untuk menggambarkan perubahan termodinamika yang dialami suatu atom logam, sejak masih dalam bentuk bijih, atom logam dan dalam bentuk hasil korosi. Hukum termodinamika menggambarkan keadaan energi yang tinggi yang akan berubah ke energi yang rendah. Kecenderungan ini membuat logam – logam bergabung kembali dengan unsur-unsur yang ada dilingkungan, yang akhirnya membentuk gejala yang disebut korosi.



Gambar 2.2 Sebuah Profil Energi Termodinamika Untuk Logam Dan Senyawa-Senyawanya (Chodijah, 2008)

Selisih energi bebas antara logam dengan produk korosinya ( $\Delta G$ ) dalam gambar 2.2 hanya menggambarkan logam yang mengalami korosi bukan penentuan laju korosinya. Energi bebas merupakan faktor satu-satunya yang menentukan suatu korosi berlangsung spontan atau tidak. Setiap energi bebas suatu unsur dinyatakan sebagai  $G$  dan perubahan energi dinyatakan sebagai  $\Delta G$ . Peralihan energi tinggi ke energi rendah, yang menyebutkan bahwa energi yang diberikan dengan tanda negatif dan energi yang diserap oleh sistem dengan tanda positif. Jadi agar suatu reaksi dapat berjalan spontan maka  $\Delta G$  harus negatif. Semua korosi bergantung pada temperatur, ini karena tingkat energi bebas unsur-unsur yang terlibat bergantung pada temperatur.

## 2.2 Korosi Pada Baja

Korosi pada baja timbul dari adanya ketidakstabilan termodinamika. Baja ketika diproses dari besi, yang dibuat didalam blast furnace dengan mereduksi bijih besi seperti hematite ( $Fe_2O_3$ ) dengan karbon dalam bentuk kokas. Ini dapat diilustrasikan dengan persamaan kimia sederhana:



Reaksi ini terjadi pada temperatur tinggi. Produk akhir, baik besi maupun baja, tidaklah stabil karena energi yang diberikan pada proses ini sangatlah besar. Akibatnya, saat baja terekspose ke uap air, oksigen, atau air, maka baja ini cenderung kembali ke bentuk awalnya, dengan persamaan kimia:



Karat ( $Fe_2O_3.H_2O$ ) adalah oksida hidrat, yang serupa dengan hematit. Ini menjelaskan mengapa baja cenderung untuk berkarat pada kebanyakan situasi.

## 2.3 Korosi Baja pada Lingkungan Air

Pada kehidupan kita, air digunakan untuk berbagai macam tujuan sebagai pendukung kehidupan, mulai dari kehidupan sehari-hari sampai dalam industrial. Baja dan paduannya merupakan material yang paling banyak diaplikasikan untuk lingkungan air.

Reaksi korosi yang terjadi pada baja di lingkungan air adalah:



Karena air mengalami kontak dengan atmosfer sehingga mengandung oksigen yang terlarut. Air biasanya bersifat netral, sehingga reaksi katodik yang terjadi adalah reduksi oksigen.



Secara keseluruhan, reaksi yang terjadi adalah:



$\text{Fe}(\text{OH})_2$  atau *iron (II) hydroxide* mengendap dan tidak stabil. Dengan adanya oksigen di air,  $2\text{Fe}(\text{OH})_2$  teroksidasi kembali membentuk  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  atau *hydrated iron (III) oxide*.

Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Ferrous hidroksida ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ) diubah menjadi *hydrat ferric oxide* atau biasa disebut karat, dengan oksigen:



$\text{Fe}(\text{OH})_2$  merupakan endapan berwarna hijau atau hijau kehitaman, sedangkan  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  merupakan endapan berwarna coklat kemerahan.

## 2.4 Jenis-Jenis Korosi

Korosi merupakan suatu peristiwa penurunan kualitas dari logam, yang mengakibatkan terjadinya kerusakan atau kerugian. Jika dilihat dari kerusakan pada material logam tersebut, terdapat beberapa bentuk dan proses korosi yang menyebabkan penurunan kualitas tersebut. Dari bentuk dan proses tersebut dapat dilihat jenis korosi yang dialami, adapun jenis-jenis korosi tersebut sebagai berikut:

### 1. Korosi celah

Korosi celah terjadi pada permukaan logam akibat adanya celah logam yang menghubungkan antara keduanya. Celah tersebut dapat berupa antara logam dengan logam atau logam dengan bahan non logam.



Gambar 2.3 Korosi Celah (Sumber: Utomo, 2009)

## 2. Korosi sumuran

Korosi jenis ini merupakan korosi yang terjadi akibat adanya goresan pada permukaan yang melindungi logam. Korosi ini diawali dengan rusaknya lapisan proteksi logam (oksida) yang kemudian menyerang pada lokasi anodik. Misalnya pada baja yang terkena tetesan air hujan, dan korosi pitting dimulai dari lokasi anodik (pusat tetesan air tersebut).

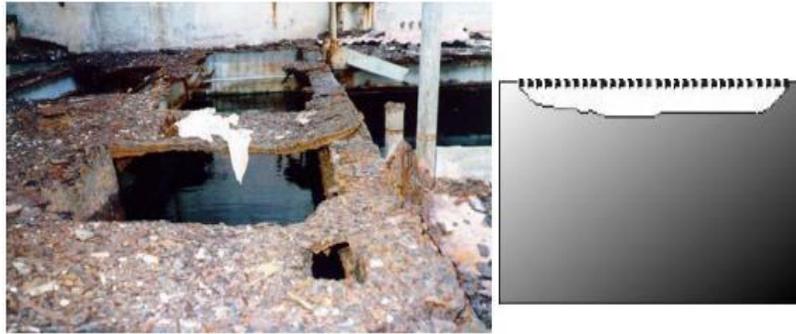


Gambar 2.4 Korosi Sumuran (Sumber: Utomo, 2009)

## 3. Korosi merata

Korosi ini merupakan bentuk yang paling umum dijumpai pada peristiwa korosi. Korosi seragam adalah kerusakan logam dari permukaannya akibat korosi secara merata. Agar terjadi korosi yang seragam, lingkungan harus memiliki akses yang sama ke seluruh permukaan logam dan logam harus sejenis dari segi metalurgi

dan komposisi, dengan adanya keseragaman maka pelepasan electron akan merata pada seluruh permukaan. Meskipun demikian syarat tersebut tidak mutlak dan derajat ketidakteragaman masih dapat ditoleransi sampai batas tertentu untuk terjadinya korosi yang seragam (Novarullah, 2008).



Gambar 2.5 Korosi merata pada logam. (Sumber : Studi Efektifitas Literatur Universitas Indonesia. (Online)).

#### 4. Korosi erosi

Korosi erosi melibatkan dengan fluida yang bergerak pada permukaan bahan. Sehingga terjadi adanya degradasi permukaan logam dengan menghilangya lapisan pelindung dan korosi terjadi. Korosi ini terjadi ada bahan yang bergerak pada fluida korosif atau fluida korosif yang bergerak.



Gambar 2.6 Korosi Erosi (Sumber: Utomo, 2009)

## 5. Korosi retak tegang

Gaya-gaya seperti tarikan (tensile) atau kompresi (Compressive) berpengaruh sangat kecil pada proses pengkaratan. Adanya kombinasi antara regangan tarik (tensile stress) dan lingkungan yang korosif, maka akan terjadi kegagalan material berupa retakan yang disebut retak karat regangan.



Gambar 2.7 Korosi Tegangan (Sumber: Utomo, 2009)

## 2.5 Laju Korosi

Menurut Novianto (2010), cepat lambatnya laju korosi dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satu faktor yang mempengaruhi adalah lingkungan. Faktor lingkungan sangat berperan pada kecepatan laju korosi. Di lingkungan terdapat 4 elemen yang mempengaruhi laju korosi tersebut antara lain:

1. Anoda
2. Katoda
3. Media transfer elektron/arus
4. Lingkungan yang bersifat elektrolit

Dari keempat elemen tersebut dapat menyebabkan korosi, sehingga untuk mencegah adanya korosi yaitu dengan cara menghilangkan salah satu elemen tersebut. Dari keempat elemen tersebut memiliki fungsi tersendiri. Seperti pada anoda, maksudnya adalah sebagai penyebab terjadinya reaksi anodik. Anoda bertindak sebagai mendonorkan elektron ke katoda karena sifat logamnya yang lebih

reaktif, transfer elektron tersebut dapat terjadi karena adanya perbedaan potensial antara anoda dan katoda.

Adanya media transfer elektron dapat menyebabkan terjadinya korosi, karena adanya perpindahan elektron-elektron dengan adanya kontak listrik. Kontak listrik tersebut dapat terjadi pada lingkungan yang bersifat elektrolit. Elektrolit dapat menghantarkan listrik dengan sifat asam, basah, larutan larutan garam. Karena adanya elektrolit tersebut mengakibatkan adanya kontak listrik antara anoda dan katoda.

Sehingga apabila tidak ada salah satu saja dari syarat elemen diatas maka laju korosi akan lambat atau bahkan tidak terjadi korosi. Namun, pada permukaan bahan logam dapat muncul anoda dan katoda jika ada pasangan galvanik. Suatu pasangan bahan logam yang memunculkan anoda dan katoda akibat adanya kontak langsung antara dua logam berbeda disebut pasangan sel galvanik.

Beberapa faktor penyebab korosi adalah lingkungannya. Lingkungan sendiri salahsatu kondisinya yang sering menyebabkan terjadinya korosi adalah air laut, atau udara yang mengandung percikan–percikan (kabut) dari air laut. Laju korosi yang terjadi ada baja karbon yang paling cepat terjadi di lingkungan laut, yaitu pada hampasan gelombang. Karena terdapat oksigen juga saat terjadi hampasan tersebut. Selain itu juga pada kondisi kelembaban tinggi yang terjadi pada material logam. Lapisan tersebut dapat berasal dari air laut yang terbawa angin dan udara yang membasahi permukaan material termasuk yang tersembunyi. Lapisan tipis air laut dari kabut tersebut tidak akan mengalir bebas dan tetap sampai menguap karena hembusan angin atau naiknya temperatur. Serangan korosi tersebut kebanyakan terjadi pada besi, baja, nikel, tembaga dan seng dengan kelembaban relatif 60%. Jika kelembaban tersebut terjadi hingga 80% maka besi dan baja menjadi higroskopik (menyerap air) sehingga laju serangan korosi meningkat lagi (Suriadi, 2007).

### 2.5.1 Metode perhitungan laju korosi

#### 1. Metode kehilangan berat

Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu

penelitian hingga mendapatkan jumlah kehilangan akibat korosi yang terjadi. Untuk mendapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Laju korosi} = \frac{240000 \times w}{A \times T \times D} \text{ (mdd)} \quad (2.17)$$

Dimana :

Mdd = laju korosi, (mg/dm<sup>2</sup> day)

W = berat yang hilang, (g)

A = luas, (cm<sup>2</sup>)

T = waktu, (jam)

D = density, (g/cm<sup>3</sup>)

Metode ini adalah mengukur kembali berat awal dari benda uji (objek yang ingin diketahui laju korosi yang terjadi padanya), kekurangan berat dari pada berat awal merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat dikembalikan kedalam rumus untuk mendapatkan laju kehilangan beratnya.

## 2. Metode Elektrokimia

Metode elektrokimia adalah metode mengukur laju korosi dengan mengukur beda potensial objek hingga didapat laju korosi yang terjadi, metode ini mengukur laju korosi pada saat diukur saja, dimana memperkirakan laju tersebut dengan waktu yang panjang (memperkirakan walaupun hasil yang terjadi antara satu waktu dengan waktu lainnya berbeda). Kelemahan metode ini adalah tidak dapat menggambarkan secara pasti laju korosi yang terjadi secara akurat karena hanya dapat mengukur laju korosi hanya pada waktu tertentu saja, hingga secara umur pemakaian maupun kondisi untuk dapat ditreatmen tidak dapat diketahui. Kelebihan metode ini adalah kita langsung dapat mengetahui laju korosi pada saat diukur, hingga waktu pengukuran tidak memakan waktu yang lama.

### 2.6 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Pada korosi terdapat berbagai hal yang mempengaruhi cepat tidaknya laju korosi. Material yang terkena serangan korosi dapat bertahan tergantung dari faktor

laju korosi yang menyerang material tersebut. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi cepat lambatnya laju korosi yang menyerang suatu material sebagai berikut:

a. Temperatur

Temperatur merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi laju korosi. Menurut Trethewey (1991), kenaikan temperatur pada lingkungan mengakibatkan laju korosi pada suatu material semakin cepat. Karena pada saat temperatur naik 10 °C pada suhu kamar terjadi reaksi oksidasi pada logam naik hingga 2-50 kali. Namun pada temperatur yang tinggi, kelarutan oksigen tersebut akan menurun, sehingga laju reaksi katodik menjadi lebih rendah dan membatasi korosi. Oksigen berpengaruh pada laju korosi bereaksi dengan ion logam yang membentuk oksida, yang penting terhadap reaksi katodik.

b. Oksigen

Konsentrasi oksigen yang ada pada lingkungan yang bereaksi langsung dengan material juga berpengaruh pada laju korosi. Oksigen yang ada di lingkungan akan mempengaruhi laju korosi, karena oksigen akan berkombinasi dengan ion logam membentuk oksida, hidroksida, dan garam logam. Selain itu, volume air yang ada pada lingkungan seperti tanah berpengaruh pada jumlah konsentrasi oksigen yang ada. Seperti ada tanah yang kering, sehingga kondisi menjadi aerob dan kecepatan difusi oksigen menjadi lebih cepat. Menurut Haryono (2010), adanya oksigen yang terdapat di dalam udara dapat bersentuhan dengan permukaan logam yang lembab. Sehingga kemungkinan menjadi korosi lebih besar. Di dalam air (lingkungan terbuka), adanya oksigen menyebabkan korosi.

c. Air

Air ataupun uap air dalam jumlah banyak ataupun sedikit akan sangat berpengaruh terhadap laju korosi pada logam. Reaksinya bukan hanya antara logam dengan oksigen saja, melainkan juga dengan uap air yang menjadi reaksi elektrokimia karena air berfungsi sebagai:

1. Perekasi, misalnya pada logam besi akan berwarna coklat karena terjadinya besi hidroksida.
2. Katalisator. Besi akan cepat bereaksi dengan  $O_2$  dari udara sekitar apabila terdapat uap air.
3. Pelarut. Produk-produk korosi akan larut dalam air seperti besi sulfat dan besi klorida.
4. Elektrolit lemah, yaitu sebagai penghantar arus yang kecil atau lemah.

#### d. Lingkungan industri

Faktor lingkungan industri juga mempengaruhi logam yang terkorosi, logam yang terkorosi terjadi karena adanya kontak antara logam dengan zat-zat kimia. Korosi di lingkungan industri yang menggunakan bahan kimia, seperti pada pembuatan  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ , dan sebagainya maka akan sangat bersifat korosif.

Pengendalian korosi di lingkungan industri adalah sebagai berikut:

1. Dipilih/dicarikan bahan logam untuk konstruksi yang paling ekonomis tetapi teknisnya masih dapat dipertanggungjawabkan.
2. Dapat pula memilih bahan non logam seperti plastik, keramik, beton dan sebagainya dengan tidak boleh mengesampingkan kondisi kerjanya.
3. Memberi logam lindung yang tepat atau lapis lindung lainnya.

#### e. Lingkungan laut

Udara lingkungan laut jauh lebih korosif dibandingkan dengan daerah pedalaman, karena disamping komposisi kimia seperti udara biasa juga akan mengandung garam-garam dan zat lain yang ada pada air laut. Hal ini disebabkan karena ombak yang membentur dan membuat percikan air laut. Percikan air laut yang berupa titik air yang halus akan terbawa oleh angin dan sangat berpengaruh pada korosifitas udara terhadap logam.

## 2.7 Air Laut

Air laut merupakan faktor penting dalam mempengaruhi proses terjadinya korosi. Sebagian besar laju korosi pada konstruksi baja di laut ataupun di pesisir

pantai (marine) sangat dipengaruhi oleh ion-ion yang terdapat pada laut. Hal-hal yang dapat mempengaruhi keadaan air laut adalah sebagai berikut:

### 1. Densitas

Densitas adalah massa jenis air laut dalam  $\text{kg m}^{-3}$  yang sangat bergantung pada temperatur (T), salinitas (S), dan tekanan (p). Ketergantungan ini dikenal dengan persamaan keadaan air laut (Equation Of State of Sea Water) :

$$\rho = \rho(T,S,p) \quad (2.18)$$

Penentuan dasar pertama dalam membuat persamaan di atas dilakukan oleh Knudsen dan Ekman pada tahun 1902. Pada persamaan mereka,  $\rho$  dinyatakan dalam  $\text{g cm}^{-3}$ . Penentuan dasar yang baru didasarkan pada data tekanan dan salinitas dengan kisaran yang lebih besar, menghasilkan persamaan densitas baru yang dikenal sebagai Persamaan Keadaan Internasional (The International Equation of State, 1980). Persamaan ini menggunakan temperatur dalam  $^{\circ}\text{C}$ , salinitas dari Skala Salinitas Praktis dan tekanan dalam dbar ( $1 \text{ dbar} = 10.000 \text{ pascal} = 10.000 \text{ N m}^{-2}$ ). Densitas dalam persamaan ini dinyatakan dalam  $\text{kg m}^{-3}$ . Jadi, densitas dengan harga  $1,025 \text{ g cm}^{-3}$  dalam rumusan yang lama sama dengan densitas dengan harga  $1025 \text{ kg m}^{-3}$  dalam Persamaan Keadaan Internasional (Anonim, 2006).

### 2. Organisme laut

Air laut merupakan media yang aktif bagi sejumlah mikro organisma. Mikro organisma ini bersama-sama dengan permukaan logam dalam air laut akan membentuk biofouling menyebabkan terjadinya korosi merata atau lokal. Larutnya beberapa partikel padat pada air laut akan menimbulkan proses dinamik yang terus menerus, dimulai dari adsorpsi material organik terlarut, mati dan terjadi pembentukan lapisan film yang disebabkan oleh ganggang dan bakteri yang mana akan menyebabkan terjadinya tumbuhan hidup. Terbentuknya lapisan film ini hanya dalam waktu relatif singkat, yaitu dua jam dari saat logam dicelupkan ke dalam air laut. Lapisan ini akan mengubah sifat kimia pada permukaan logam dalam elektrolit.

Ketika  $\text{CO}_2$  terlarut, maka akan bereaksi dengan air membentuk kesetimbangan bentuk ionik ( $\text{CO}_2(\text{aq})$ ), asam karbonat ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )

dan karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). perbandingan dari jenis ini bergantung pada temperatur air laut dan alkalinitas (kapasitas penetralan asam dari sebuah larutan).

Terlarutnya  $\text{CO}_2$  juga akan menyebabkan naiknya konsentrasi ion hidrogen di lautan sehingga mengurangi pH lautan, sejak dimulai revolusi industri lautan turun sebesar 0,1 satuan.

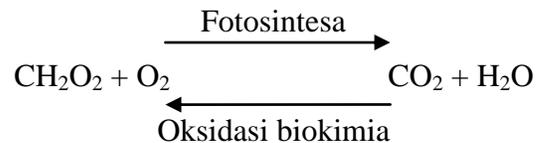
### 3. Salinitas

Salinitas adalah berat keseluruhan dalam gram, garam-garam non organik dalam 1 kg air laut apabila seluruh unsur-unsur bromida dan iodida digantikan dengan jumlah yang sesuai dari unsur-unsur klorida dan semua unsur-unsur karbonat digantikan dengan unsur-unsur oksida.

### 4. Keasaman (pH) air laut

Air laut umumnya mempunyai pH lebih besar dari delapan pada permukaan. pada pH ini, 93% dari total karbon anorganik ada dalam bentuk  $\text{HCO}_3^-$ , 6% sebagai  $\text{CO}_3^{2-}$ , dan 1% sebagai  $\text{CO}_2$ .

Konsentrasi ion karbonat relatif sangat tinggi pada permukaan dan permukaan air hampir selalu jenuh dengan kalsium karbonat. Hal ini menyebabkan terjadinya pengendapan jenuh calcareous scale pada permukaan logam. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  dan  $\text{O}_2$  mempunyai hubungan yang erat dengan pH air laut dalam proses fotosintesa dan oksidasi biokimia dengan reaksi sebagai berikut :



Reaksi dari kiri ke kanan, oksigen terlarut dipakai dan  $\text{CO}_2$  dihasilkan. Hasil  $\text{CO}_2$  akan membuat air lebih asam yang mana hal ini akan menurunkan pH dan juga menurunkan kejenuhan terhadap karbonat. Walaupun pH mempunyai pengaruh yang sangat kecil terhadap kecepatan korosi air laut, tetapi dalam hubungannya dengan deposit calcareous mempunyai pengaruh yang besar. Pengendapan kerak biasanya terjadi pada pH yang lebih tinggi dimana ion  $\text{OH}^-$  dihasilkan selama reduksi oksigen terlarut.

## 2.8 Baja Karbon

Baja (steel) merupakan suatu besi yang mengandung kadar karbon pada komposisi penyusunnya dengan kadungan karbon sekitar 1,7%. Baja memiliki kandungan utama berupa besi (Fe) dan unsur lain seperti belerang, phosphor, silicon, mangan, dan lain-lain. Selain itu, besi juga terdapat komposisi paduan lain yang bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang sering disebut dengan baja paduan. Unsur besi (Fe) rentan terhadap kelembaban dan keasaman. Baja karbon adalah paduan dari unsur Fe dan C, biasanya tercampur juga dengan unsur-unsur lain seperti, silicon 0,20-0,70%; Mn 0,50-1,00%; P <0,60% dan S <0,06% (Kuswanto, 2010).

Baja karbon menurut komposisi kimianya dibedakan menjadi:

### 1. Baja karbon rendah

Baja karbon rendah merupakan paduan antara besi dan karbon yang memiliki presentase rendah, dengan kandungan karbon sekitar 0,05-0,3%. Berbentuk pelat tipis yang sifatnya mudah ditempa dan mudah di mesin. Aplikasi baja karbon rendah ini adalah sebagai bodi mobil, bus dan lain-lain.

### 2. Baja karbon menengah

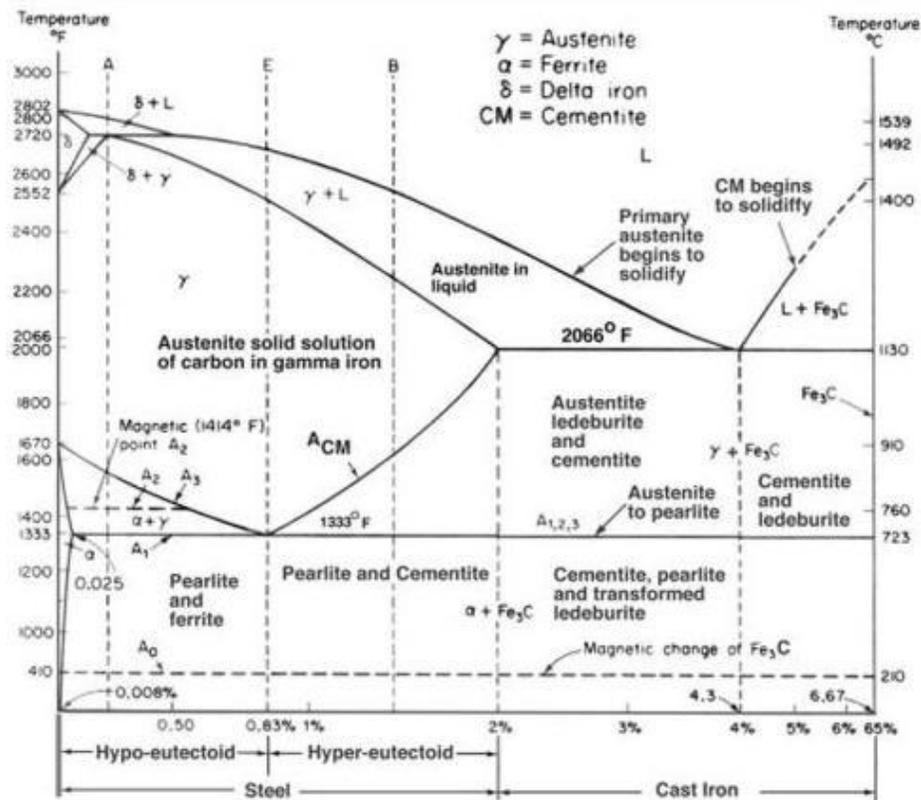
Baja karbon ini memiliki presentase karbon yang sedikit lebih besar dari baja karbon rendah. Baja karbon ini memiliki komposisi karbon sebesar 0,3-0,5% C dengan sifat yang lebih tinggi dari pada baja karbon rendah, sulit dibengkokkan, dilas dan dipotong. Aplikasi baja ini biasanya digunakan pada konstruksi bangunan, komponen mesin dan lain-lain.

### 3. Baja karbon tinggi

Baja karbon tinggi memiliki presentase karbon yang paling tinggi yaitu sekitar 0,60-1,50% C. Baja karbon ini sangat kuat dan sulit dibengkokkan, dan dipotong. Aplikasinya biasa digunakan pada material kawat, kikir, pahat dan gergaji.

## 2.9 Struktur Mikro

Diagram kesetimbangan fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C adalah alat penting untuk memahami struktur mikro dan sifat-sifat baja karbon.

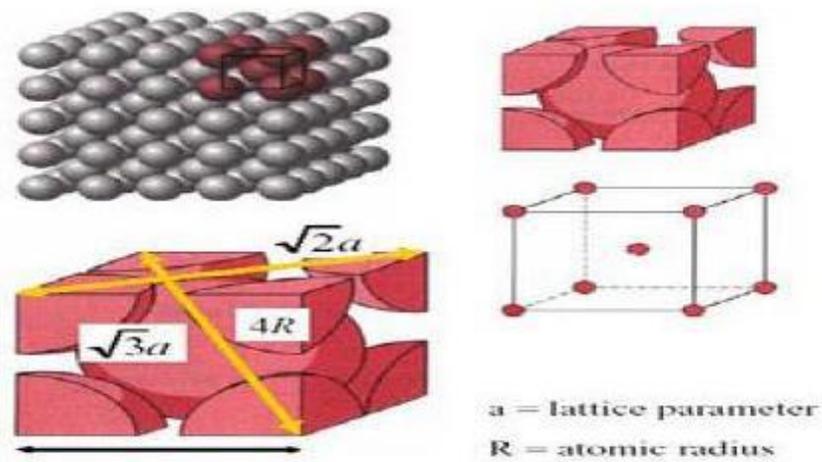


Gambar 2.8 Diagram Fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C. (Rullyani, 2010).

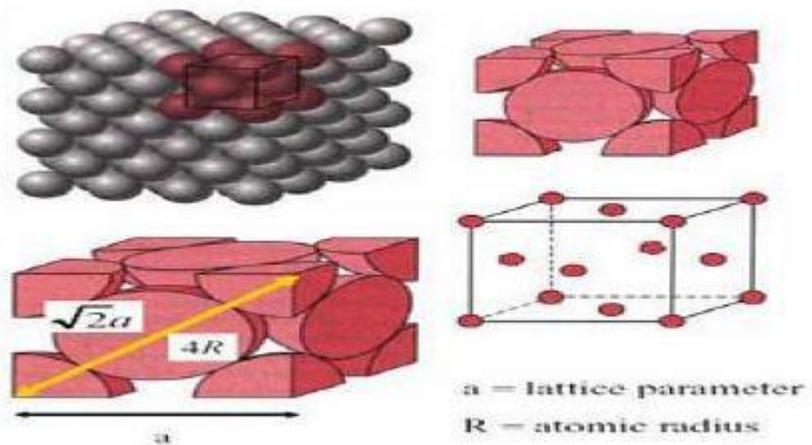
Karbon larut di dalam besi dalam bentuk larutan padat (solution) hingga 0,05% berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki alpha ferrite pada temperatur ruang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk hard intermetallic stoichiometric compound (Fe<sub>3</sub>C) yang dikenal sebagai cementite atau carbide. Selain larutan padat alpha-ferrite yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fase-fase penting lainnya, yaitu delta-ferrite dan gamma-austenite. Logam Fe bersifat polymorphism yaitu memiliki struktur kristal berbeda pada temperatur

berbeda. Pada Fe murni, misalnya, alpha-ferrite akan berubah menjadi gamma-austenite saat dipanaskan melewati temperature 910°C.

Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400°C gamma-austenite akan kembali berubah menjadi delta-ferrite. (Alpha dan Delta) Ferrite dalam hal ini memiliki struktur kristal BCC sedangkan (Gamma) Austenite memiliki struktur kristal FCC.



Gambar 2.9 Ilustrasi struktur kristal BCC (Rullyani, 2010).



Gambar 2.10 Ilustrasi struktur kristal BCC (Rullyani, 2010)

## 1. Ferrite

Ferrite adalah fase larutan padat yang memiliki struktur BCC (body centered cubic). Ferrite dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu alpha-ferrite atau pada temperatur tinggi, yaitu delta-ferrite. Secara umum fase ini bersifat lunak (soft), ulet (ductile), dan magnetik (magnetic) hingga temperatur tertentu, yaitu  $T_{curie}$ . Kelarutan karbon di dalam fase ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon di dalam fase larutan padat lain di dalam baja, yaitu fase Austenite. Pada temperatur ruang, kelarutan karbon di dalam alpha-ferrite hanyalah sekitar 0,05%. Berbagai jenis baja dan besi tuang dibuat dengan mengeksploitasi sifat-sifat ferrite. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fase tunggal ferrite misalnya, banyak diproduksi untuk proses pembentukan logam lembaran. Dewasa ini bahkan telah dikembangkan baja berkadar karbon ultra rendah untuk karakteristik mampu bentuk yang lebih baik. Kenaikan kadar karbon secara umum akan meningkatkan sifat-sifat mekanik ferrite sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Untuk paduan baja dengan fase tunggal ferrite, faktor lain yang berpengaruh signifikan terhadap sifat-sifat mekanik adalah ukuran butir (Rullyani, 2010).

## 2. Pearlite

Pearlite adalah suatu campuran lamellar dari ferrite dan cementite. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi Austenite melalui reaksi eutektoid pada keadaan setimbang, di mana lapisan ferrite dan cementite terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi eutektoid. Pearlite memiliki struktur yang lebih keras daripada ferrite, yang terutama disebabkan oleh adanya fase cementite atau carbide dalam bentuk lamel-lamel.

### 3. Austenite

Fase Austenite memiliki struktur atom FCC (Face Centered Cubic). Dalam keadaan setimbang fase Austenite ditemukan pada temperatur tinggi. Fase ini bersifat non magnetik dan ulet (ductile) pada temperatur tinggi. Kelarutan atom karbon di dalam larutan padat Austenite lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon pada fase Ferrite. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intertisi di dalam fase Austenite (atau kristal FCC) dan fase Ferrite (atau kristal BCC).

Perbedaan ini dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena transformasi fase pada saat pendinginan Austenite yang berlangsung secara cepat. Selain pada temperatur tinggi, Austenite pada sistem Ferrous dapat pula direkayasa agar stabil pada temperatur ruang. Elemen-elemen seperti Mangan dan Nickel misalnya dapat menurunkan laju transformasi dari gamma-austenite menjadi alpha-ferrite. Dalam jumlah tertentu elemen-elemen tersebut akan menyebabkan Austenite stabil pada temperatur ruang.

### 4. Cementite

Cementite atau carbide dalam sistem paduan berbasis besi adalah stoichiometric inter-metallic compound  $Fe_3C$  yang keras (hard) dan getas (brittle). Nama cementite berasal dari kata caementum yang berarti stone chip atau lempengan batu. Cementite sebenarnya dapat terurai menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu Fe dan C sehingga sering disebut sebagai fase metastabil. Namun, untuk keperluan praktis, fase ini dapat dianggap sebagai fase stabil. Cementite sangat penting perannya di dalam membentuk sifat-sifat mekanik akhir baja. Cementite dapat berada di dalam sistem besi baja dalam berbagai bentuk seperti: bentuk bola (sphere), bentuk lembaran (berselang seling dengan alpha-ferrite), atau partikel-partikel carbide kecil. Bentuk, ukuran, dan distribusi karbon dapat direkayasa melalui siklus pemanasan dan pendinginan. Jarak rata-rata antar karbida, dikenal sebagai lintasan Ferrite rata-rata

(Ferrite Mean Path), adalah parameter penting yang dapat menjelaskan variasi sifat-sifat besi baja. Variasi sifat luluh baja diketahui berbanding lurus dengan logaritmik lintasan ferrite rata-rata.

## 5. Martensite

Martensite adalah mikro konstituen yang terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konstituen ini terbentuk saat Austenite didinginkan secara sangat cepat, misalnya melalui proses quenching pada medium air. Transformasi berlangsung pada kecepatan sangat cepat, mendekati orde kecepatan suara, sehingga tidak memungkinkan terjadi proses difusi karbon. Transformasi martensite diklasifikasikan sebagai proses transformasi tanpa difusi yang tidak tergantung waktu (diffusionless time-independent transformation). Martensite yang terbentuk berbentuk seperti jarum yang bersifat sangat keras (hard) dan getas (brittle). Fase martensite adalah fase metastabil yang akan membentuk fase yang lebih stabil apabila diberikan perlakuan panas. Martensite yang keras dan getas diduga terjadi karena proses transformasi secara mekanik (geser) akibat adanya atom karbon yang terperangkap pada struktur kristal pada saat terjadi transformasi polimorf dari FCC ke BCC. Hal ini dapat dipahami dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon di dalam FCC dan BCC serta ruang intertisi maksimum pada kedua struktur kristal tersebut.

## 2.10 Pengetahuan Dasar Pipa

### 2.10.1 Pengertian Pipa

Menurut Sugiono (2010), pipa yaitu didefinisikan sebagai lingkaran panjang dari, logam, metal, kayu dan seterusnya, yang berfungsi untuk mengalirkan (fluida) air, gas, minyak dan cairan-cairan lain dari suatu tempat ke tempat lainnya sesuai dengan kebutuhan yang dikehendaki.

### 2.10.2 Klasifikasi Pipa

Yang dimaksud dengan klasifikasi pipa merupakan parameter utama yang terdapat pada pipa, dari pipa dibuat dalam satuan dimana ukuran standar inchi (..')

Ukuran-ukuran yang perlu diperhatikan dalam pipa ialah :

- Diameter dalam (Di)
- Diameter luar (Do)
- Tebal pipa
- Panjang pipa

Ketebalan dinding pipa nominal menurut ANSI (American National Standard Institute) dibedakan menurut ukuran pipa.

Terdapat tiga jenis ukuran pipa :

- Ukuran normal

Pipa dengan ukuran normal digunakan dengan tekanan normal.

- Ukuran Extra Strong

Jenis pipa ini mempunyai ketebalan dinding ekstra kuat dirancang untuk tekanan hidrolik.

- Ukuran Double Extra Strong

Pipa ini dirancang untuk tekanan yang sangat tinggi. Ketebalan dan ukuran pipa adalah sangat berhubungan, hal ini disebabkan karena ketebalan pipa tergantung dari ukuran pipa itu sendiri seperti. Diameter, Ketebalan, Schedule.

Spesifikasi umum dapat dilihat pada ASTM (American Society of Testing Materials). Dimana disitu di terangkan mengenai diameter, ketebalan serta schedule pipa. Diameter luar (out side diameter), ditetapkan sama, walaupun ketebalan (thickness) berbeda untuk setiap schedule. Diameter dalam (inside diameter), ditetapkan berbeda untuk setiap schedule. Diameter nominal adalah diameter pipa yang dipilih untuk pemasangan ataupun perdagangan (Commodity). Ketebalan dan schedule, sangatlah berhubungan, hal ini karena ketebalan pipa tergantung dari pada pipa itu sendiri. Schedule pipa ini dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Schedule : 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 160.

2. Schedule standard.
3. Schedule extra strong (XS)
4. Schedule double extra strong (XXS)
5. Schedule special

#### 2.10.3 Pengertian Pipa Seamless SCH 40

Pipa SCH 40 Seamless adalah bahwa pipa tersebut telah dilakukan percobaan pengetesan dengan tekanan air, aman sampai pada tekanan  $40 \text{ kg/cm}^2$ , dan seamless berasal dari bahasa Inggris yang berarti tanpa kelim/las. Jadi secara utuh pengertian dari pipa schedule (sch) 40 seamless adalah pipa tanpa sambungan/tanpa las dengan kekuatan pengetesan sampai pada tekanan  $40 \text{ kg/cm}^2$ . Dalam hal ini pipa akan ditunjukkan oleh pabrik pembuat dengan sertifikat yang telah diapprove / disetujui oleh suatu badan independen (Jokosisworo, 2012).



Gambar 2.11 Pipa SCH 40 Seamless (Steelindonesia.com, 2011).

Tabel 2.1 Ukuran, Spesifikasi dan Berat Nominal Pipa Schedule 40 (jualvalveflangers.wordpress.com, 2009).

Product	Size Ø	Diameter (mm)		Tebal	Weight(kg)
	(Inch)	Luar	Dalam	(mm)	
Pipa Sch40	½	21.7	16.1	2.8	7.86
Pipa Sch40	¾	27.2	21.4	2.9	10.44
Pipa Sch40	1	34	27.2	3.4	15.42
Pipa Sch40	1 ¼	42.7	35.5	3.6	20.82
Pipa Sch40	1 ½	48.6	41.2	3.7	24.6
Pipa Sch40	2	60.5	52.7	3.9	32.64
Pipa Sch40	2 ½	76.3	65.9	5.2	54.72
Pipa Sch40	3	89.1	78.1	5.5	67.8
Pipa Sch40	4	114.3	102.3	6	96
Pipa Sch40	5	139.8	126.6	6.6	130.2
Pipa Sch40	6	165.2	151	7.1	166.2
Pipa Sch40	8	216.3	199.9	8.2	252.6
Pipa Sch40	10	267.4	248.8	9.3	355.2
Pipa Sch40	12	318.5	297.9	10.3	469.8
Pipa Sch40	14	355.6	333.4	11.1	565.8
Pipa Sch40	16	406.4	381	12.7	738

Tabel 2.2 komposisi kimia Pipa Seamless (API, 2014).

(1) Grade & Class	(2) Carbon, Maximum <sup>a</sup>	(3) Manganese, Maximum <sup>a</sup>	(4) Phosphorus		(5) Sulfur, Maximum	(6) Titanium, Maximum	(7) Other
			Minimum	Maximum			
Seamless							
A25, C1 I	0.21	0.60		0.030	0.030		
A25, C1 II	0.21	0.60	0.045	0.080	0.030		
A	0.22	0.90		0.030	0.030		
B	0.28	1.20		0.030	0.030	0.04	b, c, d
X42	0.28	1.30		0.030	0.030	0.04	c, d
X46, X52, X56	0.28	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X60 <sup>f</sup>	0.28	1.40		0.030	0.030	0.04	c, d
X65 <sup>f</sup> , X70 <sup>f</sup>	0.28	1.40		0.030	0.030	0.06	c, d

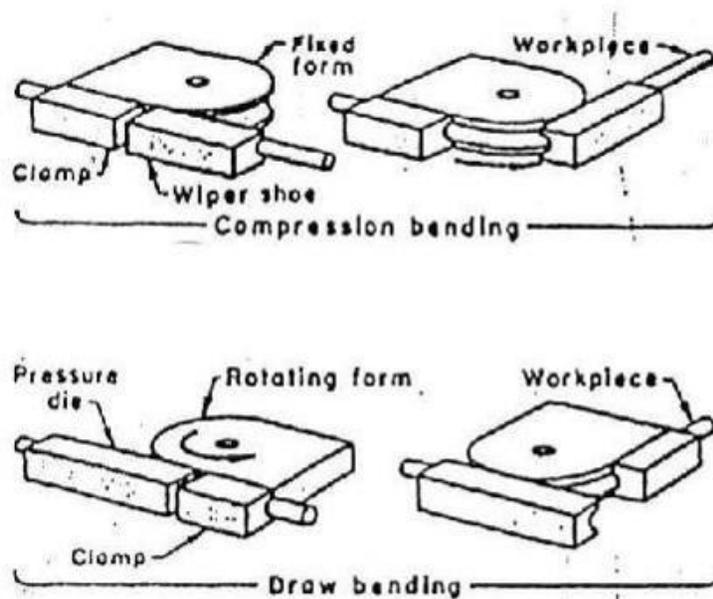
### 2.11 Teori Dasar Bending

Menurut Putri *et al* (2012), bending merupakan salah satu bagian dari proses pembentukan. Pada proses pembentukan, material yang dikerjakan harus dapat berubah bentuk secara plastis di bawah suatu beban tanpa mengalami gangguan pada keutuhan materi tersebut (retak dan pecah). Berdasarkan proses pengerjaan maka proses bending dapat digolongkan dalam proses pengerjaan dingin, yaitu dilakukan di bawah temperatur rekristalisasi dan biasanya pada proses ini akan terjadi perubahan sifat mekanis bahan, seperti terjadinya pengerasan regang (strain hardening), kenaikan kekuatan, akan tetapi keuletannya berkurang.

Pada proses pembentukan logam diharapkan terjadi deformasi elastis yang diikuti oleh deformasi plastis. Deformasi elastis adalah deformasi yang kembali ke bentuknya semula bila beban dihilangkan. Pada daerah deformasi elastis berlaku Hukum Hooke, yaitu tegangan akan sebanding dengan regangan dikalikan modulus elastisitas (modulus Young). Proses bending adalah suatu proses yang mengubah benda dari bentuk yang lurus menjadi lengkungan. Pada proses ini bagian luar dari

benda akan mengalami tarikan dan bagian dalam akan mengalami tekanan. Macam-macam metode bending meliputi penekukan secara manual, penekukan bertenaga, dan penekukan otomatis. Ada dua macam metode bending yang biasanya digunakan untuk menekuk pipa, yaitu:

- *Draw bending*
- *Compression bending*



Gambar 2.12 Metode bending pada pipa ( Putri *et al*, 2012)

## 2.12 Hipotesis

Hipotesis awal penelitian ini, pemberian sudut bending berpengaruh pada laju korosi pipa seamless Sch 40. Semakin besar sudut bending maka tegangan yang dihasilkan semakin besar, tegangan yang besar menyebabkan energi dalam yang dihasilkan semakin besar pula, sehingga nilai laju korosi akan semakin meningkat.

## **BAB 3. METODE PENELITIAN**

### **3.1 Jenis Penelitian dan Rancangan Penelitian**

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengkajian literatur yang telah didapatkan dari jurnal dan buku. Dalam penelitian ini mencakup bagaimana pengaruh variasi sudut bending pipa seamless Sch 40 terhadap ketahanan korosi dan struktur mikro. Rancangan penelitian dengan menggunakan penelitian faktorial dimana penelitian ini berdasarkan faktor sudut bending yang dilakukan pada pipa seamless Sch 40.

### **3.2 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan spesimen terlebih dahulu dan melakukan pengujian terhadap spesimen yang telah dibuat tersebut. Untuk pembuatan spesimen uji dan proses *bending* dilakukan di Laboratorium Kerja Bangku dan Plat Fakultas Teknik Universitas Jember, dan pengujian laju korosi menggunakan media air laut. Penelitian ini dilakukan selama 4 bulan yaitu bulan Juli sampai dengan Oktober 2015.

### **3.3 Alat dan Bahan Penelitian**

#### 3.3.1 Alat

Alat yang digunakan sebagai berikut:

1. Neraca digital
2. Alat *Bending*
3. Mikroskop Olympus U-MSSP4
4. Gelas kaca
5. Jangka sorong
6. Busur derajat
7. Kertas gosok (amplas)

8. Mesin polisher
9. Kamera Digital
10. Gergaji besi
11. Wadah medium korosif sebanyak 16 buah

### 3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Spesimen Pipa seamless SCH 40 ( API 5L grade B)
2. Air Laut
3. Larutan HCl
4. HNO<sub>3</sub>
5. Etanol
6. Aquades
7. Tisu

### 3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah penelitian sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian.
2. Melakukan proses bending pada spesimen uji sesuai sudut yang telah di variasikan.
3. Memotong bahan spesimen uji sesuai dengan dimensi yang diinginkan sejumlah 64 buah spesimen.
4. Membersihkan permukaan spesimen menggunakan larutan HCL
5. Membersihkan sisa-sisa larutan HCL pada permukaan spesimen menggunakan aquades.
6. Menghilangkan sisa-sisa aquades dengan tisu.
7. Menimbang berat awal spesimen.
8. Menyiapkan air laut sebagai media korosi.

9. Melakukan proses perendaman spesimen uji pada media air laut selama 4 minggu.
10. Melakukan proses pembersihan korosi pada specimen setelah proses perendaman menggunakan larutan HCL.
11. Membersihkan sisa-sisa larutan HCL pada permukaan spesimen menggunakan aquades.
12. Menghilangkan sisa-sisa aquades dengan tisu
13. Melakukan penimbangan pada spesimen uji.
14. Melakukan pengamatan struktur mikro dengan Mikroskop Olympus U-MSSP4
15. Analisis data dan kesimpulan.

### **3.5 Pelaksanaan Penelitian**

#### **3.5.1 Persiapan Alat**

Persiapan alat dilakukan sebelum melakukan proses penelitian. Persiapan tersebut dapat berupa pengecekan fungsi-fungsi peralatan yang dibutuhkan agar tidak menimbulkan masalah saat proses penelitian berjalan.

#### **3.5.2 Persiapan dan Pembuatan Spesimen Uji**

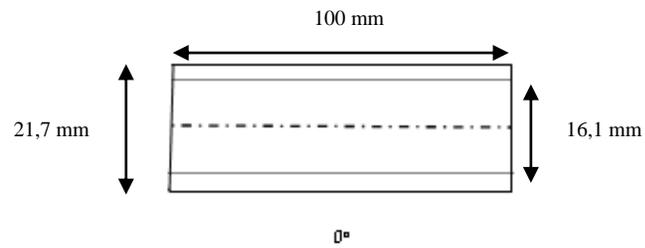
Persiapan specimen dilakukan dengan melakukan proses bending menggunakan alat bending dan pemotongan specimen uji sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Pipa seamless SCH 40. Adapun dimensi material yang digunakan sebagai berikut:

a. Pada pipa dengan sudut  $0^0$

Panjang = 100 mm

Diameter luar = 21.7 mm

Diameter dalam = 16.1 mm

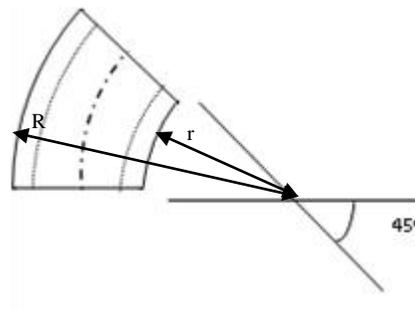


Gambar 3.1 Spesimen Uji dengan sudut 0°

b. Pada pipa dengan sudut 45°

Jari-jari luar (R) = 100,6 mm

Jari-jari dalam (r) = 86,1 mm

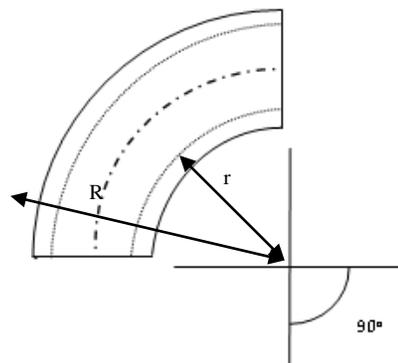


Gambar 3.2 Spesimen Uji dengan sudut 45°

c. Pada pipa dengan sudut 90°

Jari-jari luar (R) = 84,5 mm

Jari-jari dalam (r) = 65,5 mm

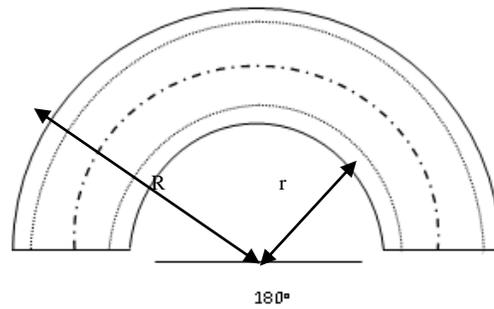


Gambar 3.3 Spesimen Uji dengan sudut 90°

d. Pada pipa dengan sudut  $180^{\circ}$

Jari-jari luar (R) = 94,7 mm

Jari-jari dalam (r) = 74,3 mm

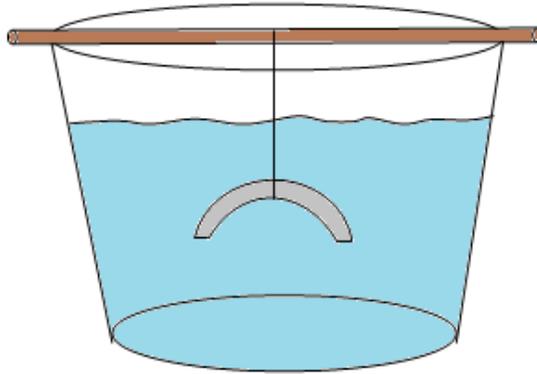


Gambar 3.4 Spesimen Uji dengan sudut  $180^{\circ}$

Adapun persiapan dengan yang dilakukan dengan cara membending specimen uji, kemudian memotongnya dengan menggunakan gergaji potong, dan melakukan pengikiran untuk mendapatkan kerataan pada bagian-bagian ujung specimen sesuai dengan dimensi yang diinginkan. Selanjutnya adalah pengambilan data awal dengan cara menimbang berat specimen sebelum dilakukannya proses perendaman.

### 3.5.3 Persiapan media korosi

Media korosi menggunakan air laut untuk mengetahui laju korosi pada pipa Seamless Sch 40. Air laut dimasukkan ke dalam wadah bak penampung larutan. Kemudian dilanjutkan dengan memasukkan specimen uji ke dalam bak tersebut. Proses perendaman ini dibiarkan hingga batas waktu perendaman yang telah ditentukan.



Gambar 3.5 Proses perendaman specimen uji

#### 3.5.4 Pengambilan dan Pembersihan Material

Pengambilan spesimen dilakukan pada hari ke 7, 14, 21, dan 28. Setiap selesai pengambilan dilakukan pembersihan spesimen dengan membersihkan spesimen pada media larutan HCl dan air 1000 mL sesuai dengan ASTM G1-90 “*Standart Practice for Cleaning Procedure for Removal of Corrosion Products*”. Setelah direndam, dibersihkan dari kotoran yang menempel pada permukaan logam dengan sikat kecil dan kemudian dibersihkan dengan tisu. Setelah itu dilakukan penimbangan kembali untuk mendata atau menghitung pengurangan berat spesimen tersebut.

#### 3.5.5 Pengamatan Metallography

Setelah proses pengambilan dan perhitungan dilakukan, selanjutnya adalah melakukan pengamatan metallography melalui beberapa proses penghalusan permukaan logam, setelah permukaan halus kurang lebih seperti cermin kemudian selanjutnya dilakukan fotomikro.

Spesimen yang difoto mikro adalah pipa seamless sch 40 yang belum mendapatkan proses apapun dan yang telah direndam dalam larutan medium korosif dalam berbagai variasi sudut *bending* dan waktu perendaman.

Langkah-langkah pengamatan struktur mikro dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

a. Proses Grinding

Penggosokan dilakukan secara bertahap menggunakan mesin grinding. Tahap awal yaitu menghilangkan goresan – goresan yang agak kasar hingga merata dan halus (bekas goresan harus sejajar). Pada tahap ini penggosokan dilakukan dengan kertas gosok (amplas) mulai dari grid 400 dan dilanjutkan grid 600, 800, 1000, 1200, sampai yang terakhir grid 1500 semua penggosokan dilakukan searah dan selalu dialiri dengan air. Fungsinya adalah untuk melarutkan beram dalam air serta permukaan spesimen tidak panas.

b. Polishing

Polishing dilakukan pada mesin polisher, yaitu piringan yang di atasnya diberi lapisan kain beludru. Polishing dilakukan dengan sedikit menekan benda kerja ke kain beludru dengan menambahkan pasta sampai bekas goresan akibat proses gerinding hilang dan permukaan spesimen terlihat rata.

c. Etching

Proses mengetsa adalah proses mencelupkan spesimen kedalam larutan kimia. Larutan yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $\text{HNO}_3$  dan etanol 97% selama 55 detik lalu dimasukkan kedalam air bersih, kemudian spesimen tersebut dibersihkan dengan tisu kering. Hal ini bertujuan untuk memperjelas gambar struktur mikro pada mikroskop dan untuk melengkapi analisis yang dilakukan.

d. Pengambilan Foto Mikro

Pemeriksaan foto mikro bertujuan untuk mengetahui struktur mikro yang diperoleh dari hasil proses pengkorosian pada pipa seamless sch 40. Cara yang digunakan adalah dengan menggunakan mikroskop optik metalurgy. Pengambilan foto dilakukan pada permukaan yang terdapat korosinya untuk mengetahui terjadinya korosi dan jenis korosi yang terjadi. Pengambilan foto mikro harus tepat dan dapat mewakili seluruh struktur dalam variasi.

### 3.6 Analisis Data

#### 3.6.1 Analisis dengan Metode Gravimetri

Metode yang digunakan setelah dilakukannya pengujian ketahanan korosi adalah dengan cara metode gravimetri. Metode ini dilakukan dengan cara menghitung laju korosi berdasarkan berat yang hilang terhadap waktu. Tentunya sebelum menghitung menggunakan rumus metode ini dilakukan penimbangan berat specimen yang telah dilakukan uji ketahanan korosi. Untuk menghitung laju korosinya menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Laju korosi} = \frac{240000 \times w}{A \times T \times D} \text{ (mdd)}$$

Dimana :

Mdd = laju korosi, ( $mg / dm^2 \text{ day}$ )

W = berat yang hilang, (g)

A = luas, ( $cm^2$ )

T = waktu, (jam)

D = *density*, ( $g/cm^3$ ) (ASTM G1-90, 1999)

Data yang dihasilkan adalah menghitung masa benda uji sebelum dan setelah perendaman untuk dibandingkan. Konversi satunya adalah massa perluasan terhadap waktu perendaman (mdd) pada Pipa Seamless SCH 40.

#### 3.6.2 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dari sebelum proses pengujian korosi, setelah pengujian korosi, dan setelah proses pembersihan korosi. Fungsinya adalah untuk mempermudah penelitian yang sedang dilakukan dan mendapatkan hasil penelitian tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan waktu perendaman specimen uji. Pengambilan data dilakukan setiap 7 hari dalam total

waktu 28 hari. Setiap variasi dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali guna memperoleh hasil yang valid.

### **3.7 Variabel Penelitian**

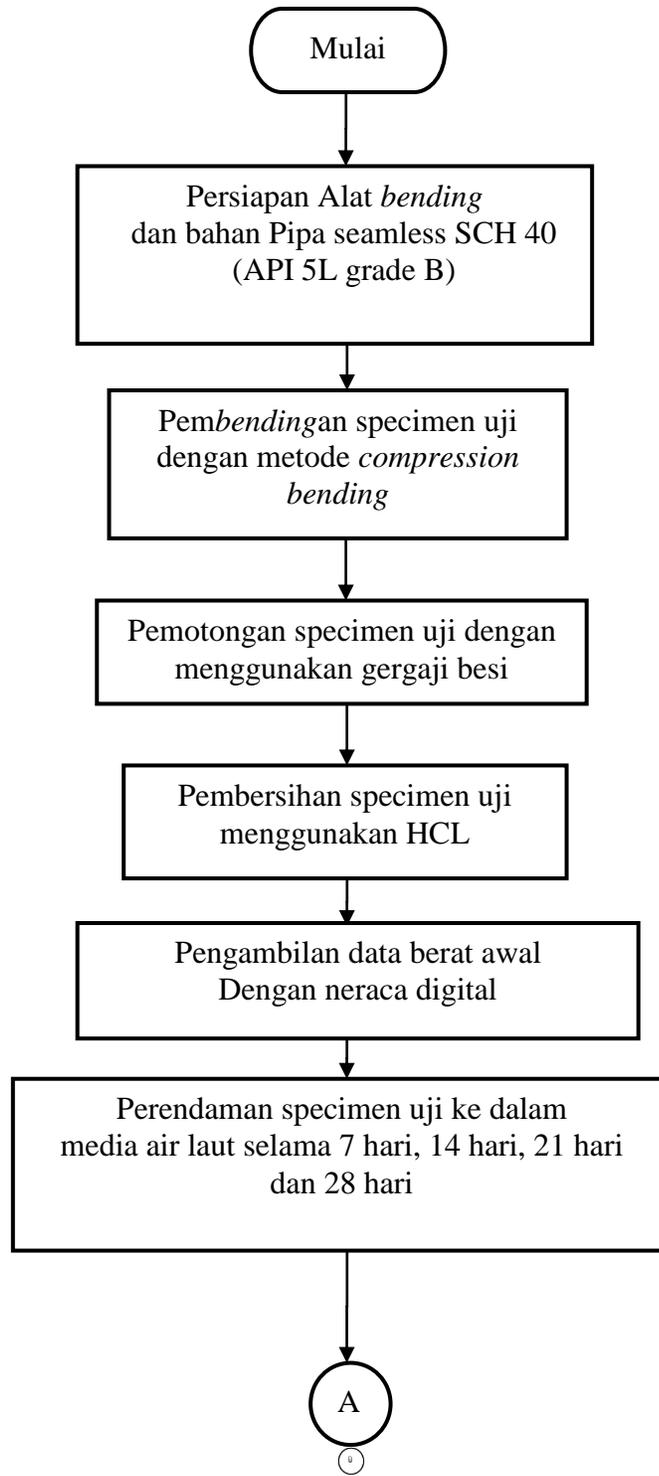
Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga diperoleh informasi tentang hal tersebut, kemudian ditarik kesimpulan

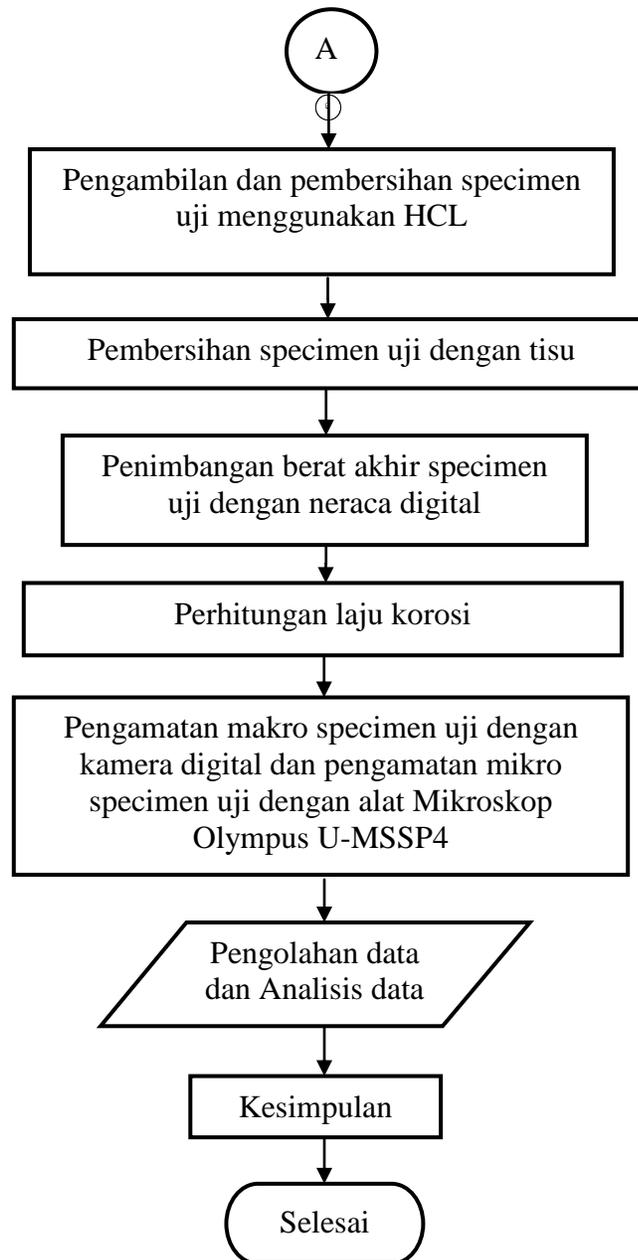
3.7.1 Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas pada percobaan ini adalah variasi sudut *bending* yaitu  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ , dan  $180^{\circ}$  kemudian waktu perendaman yaitu 7 hari, 14 hari, 21 hari, dan 28 hari.

#### 3.7.2 Variabel Terikat

Variabel Terikat merupakan suatu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil perhitungan *weight loss* dan laju korosi.

### 3.8 Diagram Alir Proses





Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian