

Studi Laju Korosi dan *Surface* Morfologi Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 dengan Variasi Sudut Bending

Apri Malani Putri, Imam Rochani dan Heri Supomo

Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: imamr@oe.its.ac.id

Abstrak— Proses bending banyak digunakan dalam proses produksi pada pipa. Proses ini akan menghasilkan peristiwa *tensile* dan *compress*, maka stress yang terjadi akibat gaya tekan atau gaya tarik ini akan bekerja simultan pada lingkungan korosif yang dapat menyebabkan terjadinya korosi. Deformasi yang terjadi ini akan mengakibatkan perbedaan tingkat laju korosi pada setiap perubahannya, yaitu dengan sudut bending yang berbeda. Oleh karena itu, untuk membuktikannya dilakukanlah penelitian dengan tiga sudut bending yang berbeda yaitu 60°, 90°, dan 135°. Material yang digunakan adalah pipa bawah laut API 5L Grade X65. Pipa ini dibending dengan sudut di atas, kemudian dipotong tiga spesimen pada setiap intrados dan ekstrados pipa untuk setiap sudut bending. Pengujian laju korosi dengan menggunakan sel tiga elektroda dengan campuran larutan FeCl₃ dan 0,3% aquades. Dari hasil penelitian diperoleh nilai laju korosi untuk intrados bending pipa ; sudut bending 60° adalah 0,75 mm/year, sudut 90° adalah 0,64 mm/year, dan untuk sudut 135° adalah 0,43 mm/year. Sedangkan untuk ekstrados pipa; sudut 60° nilai laju korosinya adalah 0,59 mm/year, sudut 90° adalah 0,49 mm/year, dan untuk sudut bending 135° nilai laju korosinya adalah 0,4 mm/year. Analisa *surface* morfologi yang dilakukan pada spesimen menyimpulkan bahwa semakin tinggi nilai laju korosi, maka bentuk permukaan dari spesimen akan semakin kasar, begitupun sebaliknya.

Kata Kunci— pipa bawah laut API 5L Grade X65, laju korosi, sudut bending, *surface* morfologi.

I. PENDAHULUAN

KOROSI yang terjadi akibat *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 [1]. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian tentang laju korosi pada pipa yang dibending.

Pada penelitian ini, akan dilakukan percobaan tentang laju korosi pada tiga sudut bending dan mengetahui bentuk permukaan dari spesimen yang terkorosi. Pengujian akan dilakukan di lingkungan laboratorium. Pada pengujian ini menggunakan variasi tiga sudut bending sebagai parameter perubahan CPR (Corrosion Penetration Rate) atau yang lebih dikenal dengan laju korosi. Pipa yang akan dijadikan spesimen

uji sebelumnya berbentuk pipa lurus kemudian dibending (dibengkokkan) dengan menggunakan *pipe bender*. Pipa yang sudah dibending akan dipotong menjadi enam spesimen, dengan tiga spesimen dari intrados pipa dan tiga spesimen lainnya dari ekstrados pipa, masing-masing spesimen berukuran 25mm × 50 mm [2]. Metode pengujian laju korosi menggunakan sel tiga elektroda.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai laju korosi pada setiap sudut bending, dan menganalisa pengaruh sudut bending terhadap laju korosi, serta mengetahui *surface* morfologi spesimen yang terkorosi.

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi akademisi dan praktisi dalam menambah khasanah ilmu dan dapat dijadikan acuan untuk menghambat laju korosi pada pipa bending dalam industri *pipeline*, serta dapat mengurangi kegagalan pada pipa dalam bidang korosi.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Teori Dasar Bending

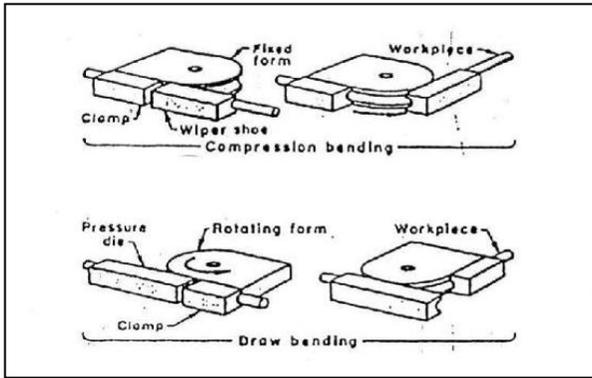
Bending merupakan salah satu bagian dari proses pembentukan. Pada proses pembentukan, material yang dikerjakan harus dapat berubah bentuk secara plastis di bawah suatu beban tanpa mengalami gangguan pada keutuhan materi tersebut (retak dan pecah). Berdasarkan proses pengerjaan maka proses bending dapat 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*

Salah satu dari metode di atas digunakan dalam perencanaan ini, yaitu metode draw bending. Metode ini adalah yang paling akurat dalam bending pipa. Cara kerja metode draw bending adalah benda yang akan dibending diapit oleh bending die dan dikunci oleh *clamping die* dalam posisinya, kemudian dibending *die* diputar sehingga melakukan proses penekukan bahan. Pada metode *compression bending*, yang berputar adalah *clamping die* [3].



Gambar. 1. Metode-metode pada proses bending.

B. *Baja API 5L Grade X65*

Pipa baja API 5L grade X65 merupakan jenis pipa yang banyak dipakai pada struktur anjungan minyak bumi dan gas. Pipa baja API 5L grade X65 banyak digunakan pada pipa penyalur gas, air, dan minyak. Dengan grade X65 menunjukkan pipa bawah laut ini mempunyai tegangan minimum yang diizinkan sebesar 65.000 psi atau 448 Mpa.

C. *Korosi*

Korosi didefinisikan sebagai kehancuran atau kerusakan material karena reaksi dengan lingkungan. Beberapa pengertian menekankan bahwa definisi harus dibatasi untuk logam, tetapi sering para ahli korosi harus mempertimbangkan baik logam dan non logam untuk solusi dari masalah yang diberikan. Untuk tujuan buku ini kami meliputi keramik, plastik, karet, dan bahan non metalik. Sebagai contoh, kerusakan cat dan karet oleh sinar matahari atau bahan kimia, fluks dari lapisan dari tungku pembuatan baja, dan menyerang dari logam padat dengan logam cair lain (korosi logam cair) semua dianggap korosi [4].

Laju korosi dihitung dengan menggunakan rumus Faraday, yaitu :

$$CPR = K \frac{a \cdot i}{n \cdot D}$$

dengan :

CPR : Laju korosi (mm/year)

K : konstanta (0,00327 untuk mm/year)

a : berat atom yang terkorosi (gram/mol)

i : kerapatan arus ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

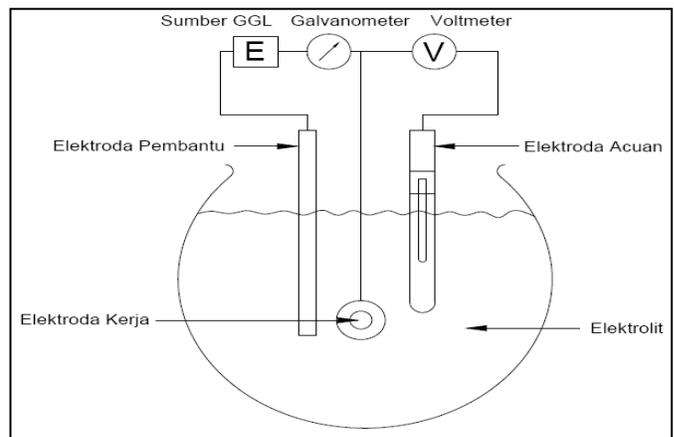
n : jumlah elektron logam terkorosi

D : densitas logam (gram/cm^3)

D. *Sel 3 Elektroda*

Sel tiga elektroda adalah perangkat laboratorium baku untuk penelitian kuantitatif terhadap sifat-sifat korosi bahan-bahan. Sesungguhnya ini merupakan versi yang sempurna dari sel korosi basah. Komponen sel tiga elektroda adalah sebagai berikut :

- Elektroda kerja (*working electrode*). Ini sebutan yang diberikan kepada elektroda yang diteliti.
- Elektroda pembantu (*auxiliary electrode*). Sebutan ini diberikan kepada elektroda kedua yang dimaksudkan khusus untuk mengangkut arus dalam rangkaian yang terbentuk dalam penelitian.
- Elektroda acuan. Elektroda ini dimaksudkan sebagai titik dasar yang sangat mantap untuk mengacukan pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Arus yang mengalir melalui elektroda ini harus sekecil-kecilnya sehingga dapat diabaikan [5].



Gambar. 2. Sel tiga elektroda.

E. *Scanning Electron Microscope*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop yang berfungsi untuk melihat benda-benda yang kecil. Prinsip kerjanya sama dengan mikroskop optik dengan beberapa perbedaan yaitu:

- Berkas sinar yang digunakan untuk melihat benda-benda kecil adalah elektron bukan cahaya.
- Resolusi minimum mikroskop elektron dapat mencapai 1,5 nm sedangkan resolusi minimum mikroskop optik adalah sekitar 100 nm.
- Depth of Field* (DoF) yang lebih panjang.

Jika dilihat dari pembentukan citra/gambar dari obyek, mikroskop elektron dapat dipisahkan menjadi dua yaitu Scanning Electron Microscope (SEM) dan Transmission Electron Microscope (TEM). Pada SEM, citra spesimen dihasilkan sebagai akibat interaksi antara berkas elektron terfokus yang dipindahkan pada permukaan spesimen yang dianalisis sedangkan pada TEM, gambar dihasilkan oleh berkas elektron yang menembus spesimen yang dianalisis[6][7].

III. METODOLOGI

Pipa baja API 5L Grade X65 yang sudah dibending, dipotong pada bagian intrados dan ekstrados menjadi masing-masing tiga spesimen pada setiap sudut bending dengan ukuran

25mm × 50mm tiap spesimen. Kemudian dilakukan uji laju korosi dengan menggunakan sel tiga elektroda dengan analisis polarisasi linear dari seperangkat peralatan Potensiotat Autolab dan software NOVA yang sudah diinstal di komputer.

Setelah itu, dilakukan foto SEM di Laboratorium pada tiga spesimen dengan nilai laju korosi tertinggi untuk melihat bentuk permukaan yang sudah tekorosi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Laju Korosi pada Intrados Pipa

Setelah dilakukan pengujian laju korosi di Laboratorium Elektrokimia, maka diperoleh hasil praktikum seperti yang disajikan pada tabel 2.1 di bawah ini:

Tabel 1. Nilai Laju Korosi pada Intrados

No.	Sudut Bending	Rata-rata(mm/year)
1.	60°	0,74
2.	90°	0,64
3.	135°	0,43

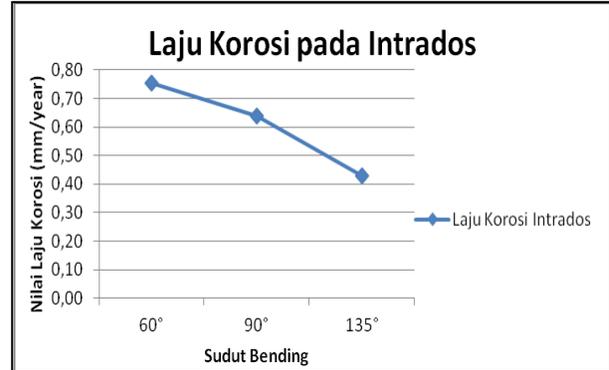
Setelah dilakukan pengujian, dari tabel 1 di atas dapat dilihat bahwa nilai laju korosi pada sudut 60° intrados adalah yang paling tinggi di antara sudut lainnya karena ketika penekukan pipa, sudut 60° mengalami tekuk yang lebih besar dibanding yang lainnya. Ini berarti, ia mengalami pemendekan yang artinya ia mendapat compression (gaya tekan) yang lebih besar. Kita tahu sendiri bahwa gaya tekan dapat mengakibatkan stress yang dapat menyebabkan korosi. Jenis korosi ini yaitu Stress Corrosion Cracking (SCC) yang terjadi secara simultan antara tegangan tarik yang bekerja pada bahan tersebut dengan lingkungan korosif. Panjang awal yang bernilai L₀ setelah diberi perlakuan bending mengalami panjang L₁, yaitu L₀ > L₁, ini berarti pipa pada bagian ini mengalami pemendekan (ΔL= minus) akibat stress yang diperoleh dari penekukan. Semakin besar stress yang diperoleh, maka akan semakin tinggi korosi yang terjadi. Hal ini sudah sangat jelas terlihat pada sudut 60° ini.

Bending 90° adalah salah satu sudut bending yang paling banyak ditemukan di lapangan karena perubahan arahnya yang cukup signifikan. Dari tabel 1 di atas, terlihat bahwa di antara tiga sudut lainnya sudut 90° mempunyai nilai laju korosi dengan tingkat medium. Hal ini disebabkan gaya tekan (compress) yang diterimanya tidak terlalu besar sehingga nilai laju korosinya pun tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan sudut bending 60°. Perbandingan nilai laju korosi antar spesimen pun tidak terlalu mencolok karena elbow yang dibagi menjadi tiga bagian itu mendapat compression yang sama yaitu sama-sama dalam kondisi tekuk yang homogen. Kategori korosi untuk sudut 90° intrados adalah cukup baik.

Berdasarkan tabel 1 di atas, sudut bending 135° adalah elbow dengan nilai korosi paling kecil jika dibandingkan dengan dua elbow lainnya. Penyebabnya adalah sudut 135° ini sudah hampir mendekati sudut 180°, yang artinya pipa dalam

keadaan hampir lurus. Berarti gaya tekan yang diterimanya pun tidak seberapa. Semakin tidak ada gaya yang bekerja pada material, maka nilai *corrosion rate* akan semakin kecil sebab compress maupun tensile (tarik) yang diterimanya semakin berkurang. Berdasarkan tabel “Perbandingan Ketahanan Korosi Material Berdasarkan Nilai Laju Korosi” halaman 34[8], kategori korosi untuk sudut 135° intrados adalah baik.

Pada peristiwa korosi retak tegang, semakin besar tegangan yang diberikan/terdapat pada material maka semakin cepat perpatahan terjadi. Penjelasan di atas, dapat dirangkum dalam gambar 1 di bawah ini :



Gambar. 3. Perbandingan rata-rata nilai laju korosi pada tiap sudut intrados.

Perhitungan Manual

Berdasarkan rumus Faraday yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, diperoleh nilai laju korosi:

$$= 0,00327 \frac{55,85 \text{ gr/mol} \times 68,17 \mu\text{A/m}^2}{2 \times 7,86 \text{ gr/cm}^3}$$

CPR = 0,79 mm/year

Contoh di atas adalah untuk sudut 60°, perhitungan dengan cara yang sama digunakan untuk setiap sudut bending.

B. Uji Laju Korosi pada Ekstrados Pipa

Dari hasil uji laboratorium pada ekstrados pipa diperoleh nilai laju korosi adalah pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Nilai Laju Korosi pada Ekstrados

No.	Sudut Bending	Rata-rata(mm/year)
1.	60°	0,59
2.	90°	0,49
3.	135°	0,4

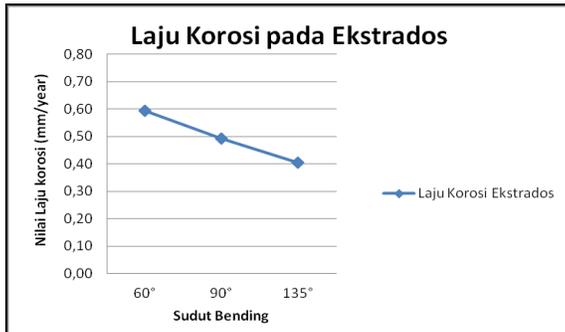
Dari tabel 2 di atas, dapat dilihat bahwa sudut 60° adalah nilai laju korosi tertinggi di antara tiga sudut lainnya karena tensile (tarik) yang diperolehnya ketika proses penekukan adalah paling besar. Dengan gaya tarik yang besar ini, secara langsung akan mengakibatkan pemanjangan pada pipa (elongation) jika dibandingkan dengan pipa yang sebelum ditekuk. Besarnya tegangan bending statis yang diberikan akan semakin mempercepat terjadinya kegagalan specimen [9].

Perubahan panjang ini dengan L_0 sebagai panjang awal sebelum ditekuk lebih panjang daripada L_1 sebagai panjang setelah ditekuk, maka ΔL inilah yang akan menyebabkan terjadinya korosi. Akibat ΔL yang cukup besar pada sudut ini, maka akan diikuti oleh corrosion rate yang besar pula. Berdasarkan tabel di atas, nilai laju korosi sudut bending 60° ekstrados yaitu 0,59 mm/year termasuk kategori cukup baik.

Untuk pipa yang ditekuk dengan kemiringan sudut 90° ini, nilai laju korosinya tergolong sedang jika dibandingkan dengan dua sudut lainnya. Sama halnya seperti pada intrados pipa, pada sudut 90° ekstrados ini tensile yang diterimanya tidak terlalu besar sehingga stress yang terjadi pun juga tidak besar. Hal ini mengakibatkan nilai laju korosinya pun tidak terlalu tinggi. Kategori korosi untuk sudut 90° ekstrados adalah baik.

Pada tabel 2 terlihat bahwa sudut bending 135° mempunyai nilai laju korosi paling kecil di antara yang lainnya. Ini disebabkan posisi tekuk yang tidak terlalu mendapat perlakuan tensile sehingga nilai laju korosinya pun rendah. Kategori korosi untuk sudut 135° ekstrados adalah baik.

Uraian di atas, dapat dilihat lebih jelasnya pada gambar 2 di bawah ini:



Gambar. 4. Perbandingan rata-rata nilai laju korosi pada tiap sudut ekstrados.

Perhitungan Manual

Berdasarkan rumus Faraday yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, diperoleh nilai laju korosi:

$$= 0,00327 \frac{55,85 \text{ gr/mol} \times 48,58 \text{ } \mu\text{A/m}^2}{2 \times 7,86 \text{ gr/cm}^3}$$

CPR = 0,56 mm/year

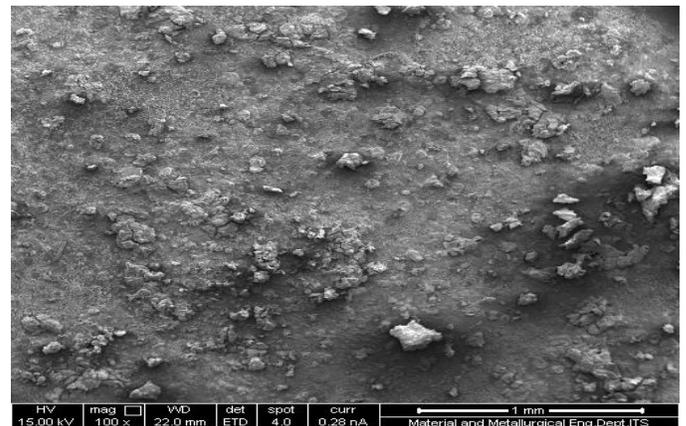
Contoh di atas adalah untuk sudut 90° , perhitungan dengan cara yang sama digunakan untuk setiap sudut bending.

C. Analisis Foto Scanning Electron Microscop (SEM)

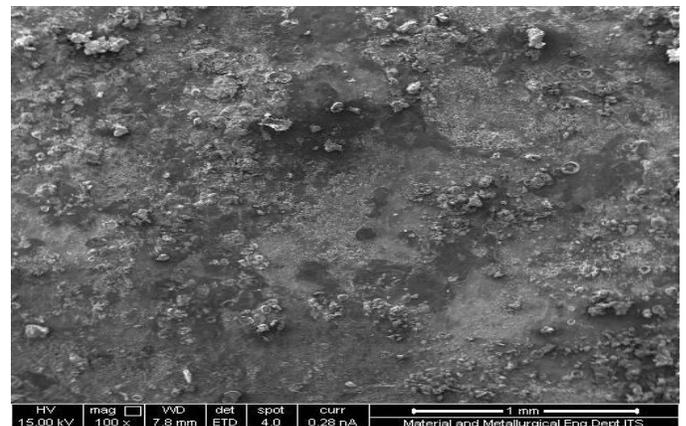
Foto SEM dilakukan untuk mengetahui karakteristik korosi yang terjadi. Analisis foto SEM hanya dilakukan untuk tiga nilai laju korosi terekstrim, yaitu pada sudut 60° intrados pipa.

Elektron sekunder menghasilkan topografi dari benda yang dianalisa, permukaan yang tinggi berwarna lebih cerah dari permukaan rendah. Sedangkan *backscattered* elektron memberikan perbedaan berat molekul dari atom – atom yang menyusun permukaan, atom dengan berat molekul tinggi akan berwarna lebih cerah daripada atom dengan berat molekul rendah. Pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa susunan atom dari bajanya sudah berubah, perubahan ikatan inilah yang

menyebabkan zat-zat yang mampu mengakselesrasi laju korosi akan gampang masuk dan menyebabkan korosi akan lebih parah terjadi



(a)



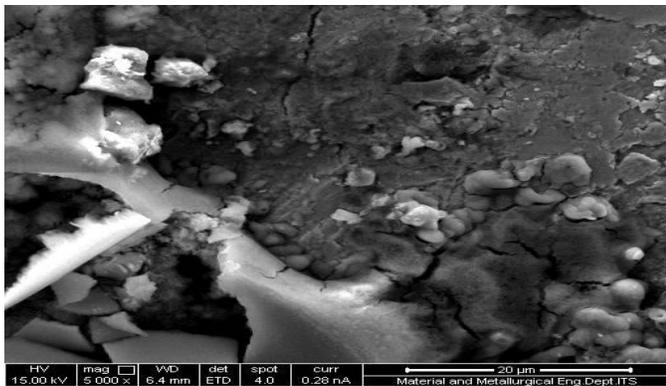
(b)



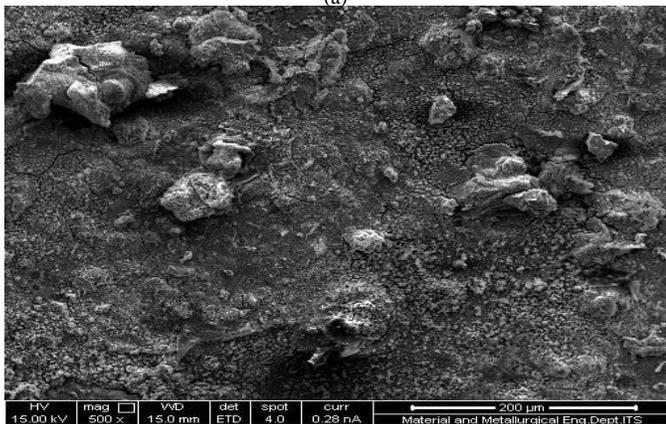
(c)

Gambar. 5. Perbesaran 100x untuk setiap spesimen pada intrados pipa

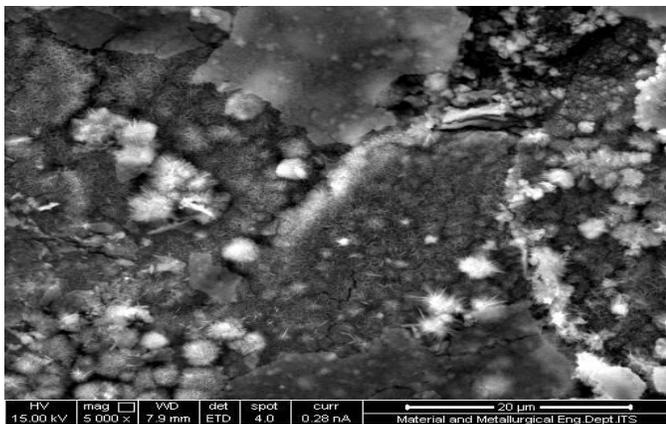
Pada Gambar 6 , kerusakan permukaan yang terkorosi sangat jelas terlihat. Dari gambar di atas terlihat bagian yang sudah terkorosi sudah tidak *smooth*. Bentuk permukaannya sangat kasar karena molekul atomnya sudah berubah ikatannya. Bentuk permukaan yang berubah itu diakibatkan oleh korosi retak tegang yang terjadi karena pengaruh elbow yang mengakibatkan *tensile* dan *compress* pada material sehingga mengubah susunan ikatan atom.



(a)



(b)



(c)

Gambar. 6. Perbesaran 5000x untuk setiap spesimen pada intrados pipa.

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari percobaan laju korosi ini adalah:

1. Nilai laju korosi yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Nilai laju korosi pada intrados pipa untuk sudut 60° , yaitu 0,75 mm/year. Ini termasuk kategori korosi cukup baik. Dan untuk sudut 90° adalah 0,64 mm/year termasuk kategori cukup baik. Laju korosi terkecil yaitu pada sudut 135° sebesar 0,43 mm/year termasuk kategori baik.

- Nilai laju korosi terbesar yaitu pada ekstrados pipa adalah sudut 60° , yaitu 0,59 mm/year merupakan kategori korosi cukup baik. Dan untuk sudut 90° nilai laju korosinya yaitu 0,49 mm/year termasuk kategori baik. Laju korosi terkecil yaitu pada sudut 135° sebesar 0,45 mm/year termasuk kategori baik.

2. Semakin kecil sudut bending, maka nilai laju korosinya akan semakin tinggi. Dan sebaliknya, semakin besar sudut bending, maka tingkat laju korosi material tersebut akan semakin berkurang. Laju korosi pada pipa dengan sudut bending (elbow) dipengaruhi oleh *tensile* (tarik) dan *compress* (tekan) yang terjadi pada pipa ketika proses penekukan. Ini merupakan salah satu bentuk korosi retak tegang (Stress Corrosin Cracking).

Korosi retak tegang dapat terjadi karena adanya faktor tegangan pada logam paduan. Kriteria tegangan adalah tegangan tarik dengan besar yang mencukupi untuk terjadinya retakan. Tegangan ini dapat muncul dari beberapa sumber: tegangan aplikasi, tegangan sisa, tegangan thermal, dan proses pengerjaan dingin (bending).

3. Susunan atom dari material yang terkorosi sudah berubah, perubahan ikatan inilah yang menyebabkan zat-zat yang mampu mengakselerasi laju korosi akan gampang masuk dan menyebabkan korosi akan lebih parah terjadi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kedua dosen pembimbing, Bapak Imam Rochani dan Bapak Heri Supomo atas bimbingan untuk penelitian ini. Tidak lupa kepada PT. PAL Surabaya atas material pipanya terutama kepada Bapak Imam. Selanjutnya kepada Bapak Pardi di Laboratorium Produksi Jurusan Teknik Perkapalan ITS, dan kepala Laboratorium Elektrokimia, Teknik Kimia FTI ITS atas bantuannya selama penulis melakukan praktikum.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arif Rahman Hakim. Analisa Resiko pada Elbow Pipe Akibat Internal Corrosion dengan Metode RBI". Tugas Akhir. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember 2009.
- [2] ASTM A370-02 Standart Test Methods and Difinition For Mechanical Testing Of Steel Product. Washington : API Published Service. 2002.
- [3] Teori Bending : www.petra.ac.id/library.
- [4] Fontana, Mars G, Corrosion Engineering Third Edition, New York : Mc Graw- Hill. 1986.
- [5] Trethewey, K. R. & Chamberlain, J.. Korosi. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama. 1991.
- [6] <http://mse.iastate.edu/microscopy/college.html>.
- [7] <http://yudiprasetyo53.wordpress.com/2011/11/07/scanning-electron-microscope-sem-dan-optical-emission-spectroscopy-oes/>.
- [8] Jones, Deny A. Principles and Prevention of Corrosion 2nd edition. Prentice Hall, Upper Saddle River. NJ 07458. 1996
- [9] Badarudin M, Ahmad Suudi, dan Arinal Hamni. Perilaku Korosi Retak Tegang *Stainless Steel* 304 dalam Lingkungan Asam Sulfat Akibat *Prestrain*. Bandar Lampung: Jurusan T.Mesin Univ Lampung (2006) 67-71.