

Studi Eksperimen Perbandingan Laju Korosi pada Plat ASTM (American Society For Testing and Material) A36 dengan Menggunakan Variasi Sudut Bending

Amri Royan Hidayat, Imam Rochani dan Heri Supomo

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

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

Abstrak—Proses pembentukan plat baja dalam industri kelautan diketahui bervariasi proses pengerjaannya, tidak hanya pengelasan saja, namun dapat pula konstruksi *bending* (bengkok). *Bending*, mempunyai dua variasi metode yaitu *hot bending* dan *cold bending*. Untuk mengetahui metode mana yang lebih tepat digunakan pada industri kelautan, dilakukan penelitian dengan menggunakan perbandingan kedua metode bending tersebut menggunakan variasi sudut yakni 90° dan 135° . Masing-masing sudut yang digunakan dibagi menjadi tiga spesimen yang akan mempengaruhi laju korosi pada plat tersebut. Uji laboratorium dengan menggunakan NaCl 2% dilakukan untuk mengetahui berapa laju korosi dari metode *hot bending* dan metode *cold bending*. Perhitungan kemudian dilakukan setelah hasil laju korosi didapat, untuk menentukan grafik laju korosi dari variasi *bending* tersebut.

Hasil uji laju korosi pada metode *cold bending* dengan sudut bending 90° adalah 0,54 mm/year, dan untuk sudut bending 135° adalah 0,32 mm/year. Sedangkan hasil uji laju korosi pada metode *hot bending* dengan sudut bending 90° adalah 0,53 mm/year, dan untuk sudut bending 135° adalah 0,24 mm/year. Metode *cold bending* diketahui mempunyai nilai laju korosi lebih besar dibandingkan metode *hot bending*. Morfologi permukaan spesimen dianalisa dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Permukaan spesimen dengan metode *cold bending* diketahui mengalami perubahan yang cukup besar dibanding spesimen dengan metode *hot bending*.

Kata Kunci— *Cold bending*, *hot bending*, laju korosi, dan SEM.

I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN logam pada industri kelautan sering digunakan sebagai bahan utama karena kekuatan yang dimiliki oleh logam lebih kuat dan harga yang lebih ekonomis. Logam yang mendominasi adalah baja. Baja adalah logam dari biji besi (tambang) yang diproses melalui beberapa langkah yang digunakan untuk kehidupan manusia sehari - hari dan serta mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Baja juga merupakan logam yang paling banyak penggunaannya. Hal ini karena kelimpahan besi di kulit bumi cukup besar. Berbagai upaya dilakukan untuk mempermudah penggunaan baja, salah satunya adalah dengan dibentuk lembaran yang dinamakan plat baja[1].

Variasi desain pada penggunaan plat baja suatu struktur industri kelautan, tidak hanya terbatas pada pengelasan

(disambung), namun juga terdapat plat baja yang di bengkokkan (*bending*). Metode *bending* sendiri terdiri dari dua macam yaitu metode *hot bending* yang dilakukan dengan cara pemanasan pada plat dengan suhu tertentu, dan *cold bending* yang dilakukan dengan cara memberikan tekanan pada plat dengan bentuk tertentu. Proses pemberian tekanan ini sangat mungkin menimbulkan korosi pada material.

Korosi adalah kerusakan atau keausan dari material akibat terjadinya reaksi lingkungan yang didukung oleh faktor-faktor tertentu [2]. Secara spesifik korosi di definisikan sebagai kumpulan dari keseluruhan proses dengan jalan dimana metal atau *alloy* yang digunakan untuk material struktur berubah bentuk dari bersifat metal menjadi beberapa kombinasi dari kondisi yang disebabkan oleh interaksi dengan lingkungan[2].

Pada studi eksperimen ini diteliti bagaimana perbandingan laju korosi pada plat ASTM A36 dengan menggunakan variasi *bending* yaitu metode *hot bending* dan metode *cold bending* pada sudut 90° dan 135° . Masing-masing variasi sudut menggunakan 3 spesimen. Pengujian ini dilakukan di laboratorium laju korosi Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS untuk mengetahui berapa laju korosi dari metode *hot bending* dan metode *cold bending* tersebut. Setelah hasil laju korosi didapat, langkah selanjutnya adalah perhitungan untuk menentukan grafik laju korosi dari variasi *bending* tersebut.

II. METODOLOGI

A. Bahan dan Peralatan

1) Bahan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material jenis Plat A36. Dimensi permaterial yang digunakan, panjang 60 cm, lebar 20 cm dan tebal 0,8 cm. Variasi sudut bending untuk tiap metode *cold bending* dan *hot bending* yang digunakan 90° dan 135° .

2) Peralatan

Peralatan yang digunakan antara lain mesin bending, seperangkat peralatan uji elektrokimia dan *Scanning Electron microscopy* (SEM).

B. Prosedur Kerja

1) Proses Bending pada Bahan Uji

a. Cold Bending

Pada Proses cold bending masing-masing material plat ASTM A36 dibentuk sudut 90⁰ dan 135⁰. Dimana pengerjaan proses ini yaitu dengan cara memberikan tekanan dari atas material untuk membentuk sudut yang diinginkan, dan pada mesin bending ini syarat yang diberikan tekanan adalah benda kerja tidak boleh melebihi 1/10 dari beban yang ada pada tekanan.

b. Hot Bending

Proses perlakuan panas adalah kombinasi dari operasi pemanasan dan pendinginan dengan kecepatan tertentu yang dilakukan terhadap bahan uji dalam keadaan padat untuk membentuk sudut 90⁰ dan sudut 135⁰, sebagai suatu upaya untuk memperoleh sifat-sifat tertentu. Proses perlakuan panas pada dasarnya terdiri dari beberapa tahapan, dimulai dengan pemanasan sampai ke temperatur tertentu karena pada proses ini dibutuhkan ketepatan operasi pemanasan dan operasi pendinginan, lalu diikuti dengan penahanan selama beberapa saat, baru kemudian dilakukan pendinginan dengan kecepatan tertentu

2) Proses Pembentukan Spesimen dari Bahan Uji

Setelah plat dibending, kemudian dipotong untuk dijadikan tiga spesimen pada setiap plat di masing-masing sudut dan masing-masing metode bending, total spesimen keseluruhan adalah 12 spesimen. Spesimen yang dipotong berukuran 5cm×2cm. Pemotongan plat menggunakan oksigen asitilyn yang biasa disebut las blander atau cutter wire.

3) Proses Pembersihan Spesimen

Setelah pemotongan plat selanjutnya dilakukan proses *brushing*, yaitu membersihkan kotoran-kotoran yang menempel pada pipa dan untuk membuang sisa karat yang ada sehingga ketika diuji laju korosinya, plat bebas dari kotoran. Proses *brushing* sama seperti menggerinda. Setelah *dibrushing*, plat siap untuk diuji laju korosinya.

4) Analisis Laju Korosi

Pengujian laju korosi menggunakan sel tiga elektroda dalam larutan NaCl 2% ditambah aquades. Sebelum pengujian laju korosi, spesimen ditimbang dulu massa sebelum terkorosinya untuk dilakukan perhitungan laju korosi secara manual. Kemudian spesimen ditutupi dulu menggunakan lem *epoxy* dan di tengahnya dibiarkan terbuka sebesar 1 x 1 cm sebagai sampel uji.

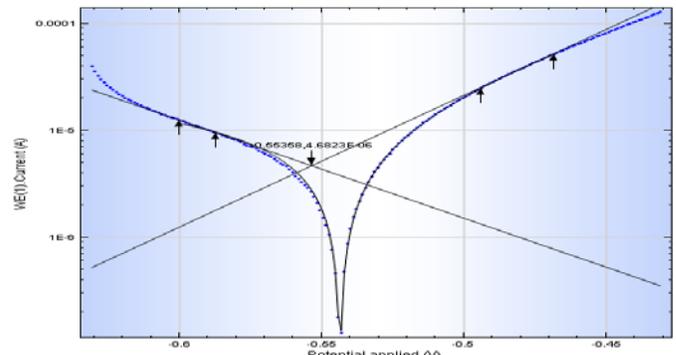
Pengujian Laju Korosi menggunakan sel 3 elektroda dengan bantuan software AUTOLAB ANOVA yang dilakukan di Laboratorium Elektrokimia Jurusan Teknik Kimia FTI ITS. ANOVA adalah suatu program yang biasa digunakan dalam penelitian elektrokimia. Dalam prakteknya, ANOVA dihubungkan dengan potensiostat sehingga arus yang dihasilkan pada setiap tegangan yang diberikan dapat direkam oleh komputer secara langsung. Dalam pengujian korosi ini digunakan potensio dinamik untuk melakukan Analisis Tafel untuk mendapatkan data arus korosi (*I_{corr}*) dan laju korosi (*Corrosion Rate*) [3].

5) Scanning Electron Microscopy (SEM)

Analisa SEM dilakukan untuk mengetahui bentuk permukaan morfologi bagian yang terkorosi [4]. Spesimen

Tabel 1.
Tabel hasil pengujian Laju korosi dengan metode *Cold bending*.

Sudut Bending	Nilai Laju Korosi pada <i>Cold bending</i> (mm/year)dalam bentuk spesimen			Total (mm/year)	Rata-rata (mm/year)
	1	2	3		
1. 90°	0,23	0,97	0,41	1,61	0,54
2. 135°	0,3	0,37	0,3	0,97	0,32



Gambar 1. Hasil pengujian laju korosi spesimen 1 pada sudut 90° dengan metode *Cold bending*.

yang dianalisa adalah dua spesimen dengan bagian yang sama, yaitu spesimen dengan sudut bending 90° spesimen dua. Hal ini bertujuan untuk membandingkan morfologi kedua spesimen yang memiliki nilai laju korosi yang paling tinggi pada masing-masing metode tersebut.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Uji Laboratorium dengan Metode *Cold bending*

Setelah proses *cold bending* dilakukan tahap selanjutnya adalah pengujian laju korosi di Laboratorium Elektrokimia Jurusan Teknik Kimia ITS Surabaya. Dari hasil pengujian laju korosi diperoleh hasil praktikum pada sudut 90° dan sudut 135° seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Berikut adalah salah satu hasil lab pada spesimen 1 dengan menggunakan metode *Cold bending* pada sudut 90° dari hasil uji korosi dengan menggunakan software NOVA (hal yang sama juga dilakukan terhadap sudut lainnya dan dengan variasi metode *bending*) seperti pada Gambar 1.

B. Hasil Uji Laboratorium dengan Metode *Hot bending*

Metode lain yang dilakukan adalah proses *hot bending*. Selanjutnya hasil hot bending tersebut dilakukan tahap pengujian laju korosi di Laboratorium Elektrokimia Jurusan Teknik Kimia ITS Surabaya. Dari hasil pengujian laju korosi diperoleh hasil praktikum pada sudut 90° dan sudut 135° seperti yang disajikan pada Tabel 2.

C. Hasil Perhitungan Manual

Perhitungan manual dengan menggunakan persamaan 2.4 adalah seperti di bawah ini:

- Sudut 90°

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

Tabel 2.
Tabel hasil pengujian Laju korosi dengan metode *Hot bending*.

Sudut Bending	Nilai Laju Korosi pada <i>Cold bending</i> (mm/year)dalam bentuk spesimen			Total (mm/year)	Rata-rata (mm/year)
	1	2	3		
	1. 90°	0,36	0,77		
2. 135°	0,16	0,35	0,20	0,71	0,24

Tabel 3.

Nilai laju korosi pada metode *cold bending* dengan perhitungan manual.

No.	Sudut Bending	Nilai Laju Korosi pada <i>Cold bending</i> (mm/year)dalam bentuk spesimen			Total (mm/year)	Rata-rata (mm/year)
		1	2	3		
		1. 90°	0,23	0,97		
2. 135°	0,3	0,37	0,3	0,97	0,32	

Tabel 4.

Nilai laju korosi pada metode *Hot bending* dengan perhitungan manual.

No	Sudut Bendin g	Nilai Laju Korosi pada <i>Cold bending</i> (mm/year)			Total (mm/year)	Rata-rata (mm/year)
		1	2	3		
		1. 90°	0,361	0,769		
2. 135°	0,163	0,350	0,2062	0,7209	0,2403	

$$CPR = 0,00327 \frac{55,85 \text{ gr/mol} \times 45,98 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7,86 \text{ gr/cm}^3}$$

CPR = 0,53 mm/year

- Sudut 135°

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

$$CPR = 0,00327 \frac{55,85 \text{ gr/mol} \times 27,92 \mu\text{A/cm}^2}{2 \times 7,86 \text{ gr/cm}^3}$$

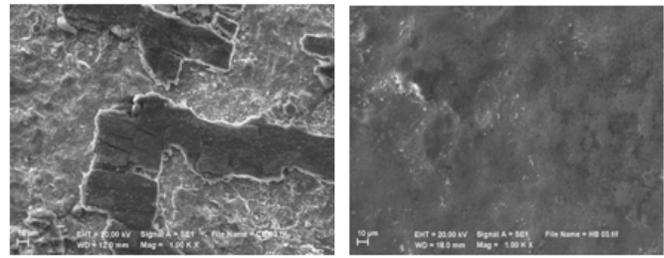
CPR = 0,32 mm/year

Perhitungan yang sama dilakukan untuk sudut lainnya pada setiap spesimen, seperti pada Tabel 3. Dari Tabel 3, perbandingan hasil yang diperoleh dari uji laboratorium dengan hasil perhitungan manual adalah sama (jika diambil dua desimal di belakang koma), maka dapat dikatakan hasil dari keduanya adalah valid.

Perhitungan yang sama dilakukan untuk sudut lainnya pada setiap spesimen, seperti pada Tabel 4. Dari Tabel 4 di atas, perbandingan hasil yang diperoleh dari uji laboratorium dengan hasil perhitungan manual adalah sama (jika diambil dua desimal di belakang koma), maka dapat dikatakan hasil dari keduanya adalah valid.

D. Analisis Hasil SEM (Scanning Electron Microscope)

Setelah didapatkan hasil laju korosi pada tiap metode *bending*, spesimen kemudian dianalisis dengan menggunakan SEM. Pada proses analisis SEM spesimen yang digunakan



(a)

(b)

Gambar 2. Perbesaran 1000× pada metode *Cold bending* (a) dan *Hot bending* (b).

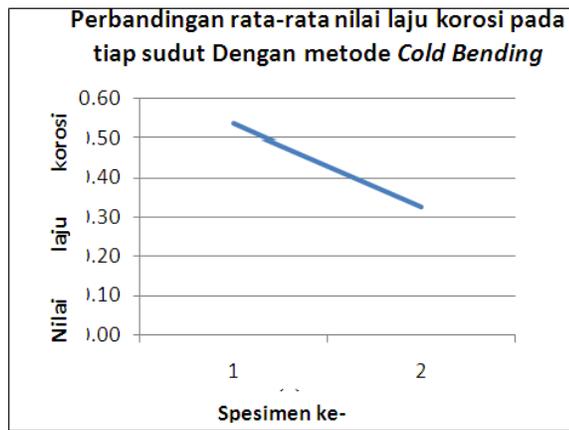
hanya satu pada setiap metode *bending*, yaitu sudut bending 90° pada spesimen no. 2. Pemilihan spesimen tersebut dikarenakan pada spesimen no. 2 sudut bending 90° memiliki nilai laju korosi paling tinggi dari spesimen-spesimen lain, yaitu berkisar antara nilai 0,77-0,97 mm/year. Proses analisis ini bertujuan untuk mengetahui bentuk permukaan (surface morfologi) bagian yang terkorosi. Bagian ini diperbesar 100×, 500×, 1000×, 2000×, 3000×, dan 5000×. Semakin besar perbesaran gambar menunjukkan perubahan bentuk yang signifikan, dari permukaan yang terlihat hanya kasar saja hingga permukaan yang terlihat kasar ditambah dengan material plat yang sudah rusak akibat terjadinya korosi. Apabila perbesaran yang dilakukan semakin tinggi, maka gambar yang dihasilkan pun akan semakin jelas. Gambar 2a-2b adalah gambar dimana bentuk permukaan bagian yang terkorosi pada sudut 90° pada spesimen no. 2 dengan perbesaran 1000×.

E. Pembahasan (Diskusi)

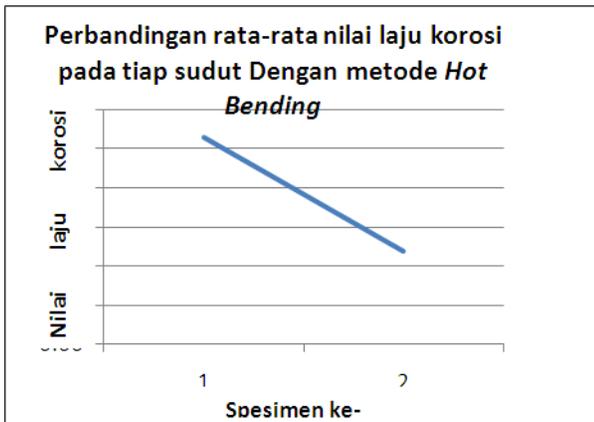
1) Analisa Perbandingan Laju Korosi

Metode *cold bending* pada sudut 90° memiliki nilai laju korosi tertinggi dibandingkan yang lain. Hal ini dikarenakan metode *cold bending* mengalami tekuk. Ini berarti, ia mengalami pemendekan yang artinya ia mendapat *compression* (gaya tekan) yang lebih besar dibandingkan metode *hot bending*. Seperti diketahui 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 [2]. Sedangkan pada metode *hot bending* timbulnya korosi disebabkan oleh perlakuan panas yang diberikan pada plat. Jenis korosi ini dinamakan *Hot Corrosion* yang disebabkan oleh kombinasi antara oksidasi dan reaksi-reaksi dengan belerang, natrium, vanadium dan pengotor- pengotor lain yang terdapat di udara dan bahan bakar[6].

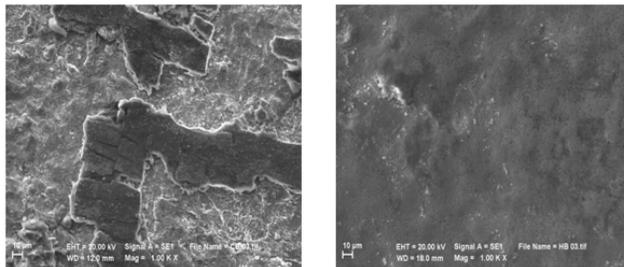
Panjang awal yang bernilai L_0 setelah diberi perlakuan *bending* mengalami panjang L_1 , yaitu $L_0 > L_1$, ini berarti plat pada bagian ini mengalami pemendekan ($\Delta L = \text{minus}$) akibat perlakuan di setiap metode *bending* yang digunakan[5]. Semakin besar perlakuan *bending* yang diperoleh, maka akan semakin tinggi korosi yang terjadi. Berdasarkan Tabel laju korosi, laju korosi pada sudut *bending* ini kedua metode *bending* dikategorikan cukup baik.



Gambar 3. Perbandingan rata-rata nilai laju korosi pada tiap sudut dengan metode *Cold bending*.



Gambar 4. Perbandingan rata-rata nilai laju korosi pada tiap sudut dengan metode *Hot bending*.



Gambar 5. Hasil foto SEM dengan perbesaran 3000x metode *Cold bending* (a) dan *Hot bending* (b).

a. Sudut *Bending* 135°

Sudut *bending* 135° memiliki perlakuan *bending* yang lebih sedikit dibandingkan 90°. Dari Gambar 5a-5b, terlihat bahwa di antara dua sudut lainnya sudut 135° mempunyai nilai laju korosi dengan tingkat medium. Dibandingkan dengan metode *hot bending*, nilai laju korosi pada sudut 135° metode *Cold bending* adalah yang paling tinggi, dikarenakan metode *Cold bending* mengalami tekuk. Ini berarti, ia mengalami pemendekan yang artinya ia mendapat *compression* (gaya tekan) yang lebih besar. Seperti diketahui 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[2]. Sedangkan pada metode *hot bending* timbulnya korosi disebabkan oleh perlakuan panas yang di berikan pada plat. Jenis korosi ini dinamakan *Hot Corrosion* terjadi pada turbin gas disebabkan oleh kombinasi antara oksidasi dan reaksi-reaksi dengan belerang, natrium, vanadium dan pengotor- pengotor lain yang terdapat di udara dan bahan bakar[6].

2) Analisa Perbandingan Rata-Rata Pada Metode *Bending*

Pada rata-rata nilai laju korosi disetiap metode *bending* terlihat bahwa semakin besar perlakuan yang diberikan atau yang terdapat pada material maka semakin cepat perpatahan terjadi. Penjelasan di atas, namun perbedaan metode *bending* juga memberikan pengaruh pada nilai korosi. Dalam eksperimen ini didapatkan bahwa nilai laju korosi dengan metode *cold bending* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai laju korosi pada metode *hot bending*. Hal ini dikarenakan proses pengerjaan dilakukan dengan memanaskan baja hingga menjadi fasa austenit penuh dan didinginkan di udara (pendinginan tungku) hingga mencapai suhu kamar. Fasa yang dihasilkan berstruktur ferrite dan pearlite tergantung komposisi unsur karbon[7]. dapat dirangkum dalam Gambar 3-4.

3) Analisa foto *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Scanning electron microscope diketahui merupakan jenis mikroskop elektron untuk memindai gambar permukaan suatu sample padat dengan menggunakan sinar elektron berenergi tinggi dalam pola pemindai pixel. Untuk dapat membentuk sample yang berisi informasi tentang topografi/morfologi permukaan sample, hamburan elektron dalam membentuk bayangan elektron berinteraksi dengan atom-atom membentuk sample yang menghasilkan sinyal yang berisi informasi morfologi permukaan sample tersebut [4].

Perbedaan pada metode *bending* memberikan dampak yang cukup besar pada morfologi kedua spesimen. Adanya gaya tarik pada *Cold bending* menimbulkan tegangan pada spesimen yang berdampak pada berubahnya permukaan plat, yang terlihat sudah tidak *smooth*. Bentuk permukaan spesimen pada metode *Cold bending* sangat kasar karena molekul atomnya sudah berubah ikatan. Sedangkan pada *Hot bending* perlakuan panasnya tidak lebih dari titik lebur plat baja (*Melting point* atau titik lebur baja sebesar 1500° C). Sehingga permukaan sisi morfologinya, spesimen yang menggunakan metode *Hot bending* masih terlihat lebih *smooth* dibandingkan spesimen yang menggunakan *Cold bending*. Sifat mekanik baja tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tetapi juga tergantung pada strukturmikro. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki strukturmikro yang berbeda, dan sifat mekanik akan berbeda.

Gambar 5 menunjukkan hasil foto SEM dengan perbesaran 3000x untuk sudut 90° spesimen no.2. Dari Gambar 5 terlihat bagian yang terkorosi sudah tidak *smooth*. Bentuk permukaannya sangat kasar karena molekul atomnya sudah berubah antar ikatannya. Suatu struktur kristal yang sempurna, tegangan diserap secara merata oleh semua ikatan yang bersangkutan, tetapi bila ada gaya tarik yang diterima satu bagian berbeda dengan bagian lain, susunan atom dari material yang terkorosi akan berubah, perubahan ikatan inilah yang menyebabkan zat-zat yang mampu mempercepat laju korosi

akan mudah masuk dan menyebabkan korosi akan lebih parah terjadi. Sehingga, semakin tinggi nilai laju korosinya maka morfologi permukaannya akan semakin kasar, begitu juga sebaliknya. Dari Gambar 6 terlihat jelas struktur pada spesimen dengan menggunakan metode *Cold bending* tidak seperti metode *Hot bending* yang terlihat masih *smooth*. Walaupun tetap ada bagian yang sudah mulai berubah strukturnya

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian laju korosi ini adalah :

1. Nilai laju korosi yang dihasilkan pada metode *Cold Bending* pada sudut 90° adalah 0,54 mm/year, sedangkan pada sudut 145° 0,32 mm/year. Dan nilai laju korosi pada metode *Hot Bending* pada sudut 90° adalah 0,53 mm/year, sedangkan pada sudut 145° adalah 0,24 mm/year.
2. Penggunaan metode bending dengan menggunakan *hot bending* memiliki nilai laju korosi yang lebih kecil dibandingkan dengan nilai laju korosi pada metode *cold bending*, walaupun penggunaan metodenya lebih mudah *cold bending*. Dengan catatan, sudut bending sangat berpengaruh besar pada nilai laju korosi, 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.

3. Susunan morfologi atom pada material dengan menggunakan metode *cold bending* yang terkorosi mengalami perubahan yang lebih besar dibandingkan menggunakan metode *hot bending*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Callister, W. D.. "Material Science and Engineering An Introduction", Wiley 7ed (2007).
- [2] Supomo, Heri. *Buku Ajar Korosi*. Surabaya: Jurusan Teknik Perkapalan FTK – ITS (2003).
- [3] Malani, A.P. "Studi Laju Korosi dan *Surface* Morfologi Pipa Bawah Laut API 5L Grade X65 dengan Variasi Sudut Bending, " *Tugas Akhir*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2012).
- [4] Fansuri, Hamzah dan M. Niniet, "Pelatihan Instrumentasi," *Scanning Electron Microscope*. Surabaya: Laboratium Energi ITS (2011).
- [5] Sulaiman, " Pengaruh Proses Pelengkungan dan Pemanasan Garis Pelat Baja Kapal Aisi E 2512 terhadap Nilai Kekerasan dan Laju Korosi", *Thesis*, Semarang: Universitas Diponegoro (2010).
- [6] Trethewey, K. R. & Chamberlain, J. *Korosi*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama (1991).
- [7] Zakharov, B.. *Heat Treatment of Metal*. Moscow: Peace Publisher (1962).