

## ANALISIS *STRESS CORROSION CRACKING* LOGAM TEMBAGA DENGAN METODE *U-BEND* PADA MEDIA KOROSI $\text{NH}_4\text{OH}$ 1M

\*Ardia Wanandi Suwarno<sup>1</sup>, Athanasius Priharyoto Bayuseno<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: ardiawanandi@gmail.com

### Abstrak

*Stress corrosion cracking* adalah salah satu jenis korosi yang melibatkan kombinasi tegangan tarik dan pengaruh dari lingkungan yang korosif. *Stress corrosion cracking* sangat berbahaya karena sulit diprediksi kapan terjadinya. Sehingga material secara tiba-tiba dapat mengalami kegagalan tanpa kita dapat mencegahnya. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *strip* tembaga dengan metode *U-Bend*, dengan variasi ketebalan 3 mm dan 5 mm pada media korosif  $\text{NH}_4\text{OH}$  1M. Parameter yang digunakan yaitu pengurangan berat spesimen, nilai kekerasan dan struktur mikro sebelum dan setelah proses *stress corrosion cracking*. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa material setelah mengalami proses *stress corrosion cracking* mengalami penurunan sifat mekanis, terlihat dari penurunan nilai kekerasan dan ukuran butir yang membesar. Dari variasi ketebalan spesimen diperoleh bahwa laju korosi pada spesimen dengan ketebalan 3 mm lebih besar daripada laju korosi spesimen dengan ketebalan 5 mm.

**Kata Kunci:** Laju korosi, *Stress corrosion cracking*, Tembaga

### Abstract

*Stress corrosion cracking* is one of a kind corrosion involving combination of tensile stress and corrosive environment. *Stress corrosion cracking* is very dangerous because it is difficult to predict when it happens. So that the material can suddenly fail with no one can prevent it. The research was conducted on copper strip with *U-Bend* method, using a variety of thickness 3 mm and 5 mm in the corrosive media  $\text{NH}_4\text{OH}$  1M. The parameters used in this study is the weight loss of the specimen, the hardness number and microstructure before and after *Stress Corrosion Cracking*. The result show that *stress corrosion cracking* caused decrease of mechanical properties, is evident from the decrease in the value of hardness and enlargement of the grain size ( grain size ) on the test specimen. While the comparison of the variation of specimen's thickness it was found that the corrosion rate in the specimen with thickness 3 mm is greater than the rate of corrosion specimen with thickness 5 mm.

**Keywords:** Copper , Corrosion rate, *Stress corrosion cracknig*

### 1. Pendahuluan

Logam seperti besi, aluminium, tembaga, dll sangat penting di dalam kehidupan modern sekarang ini, karena logam tersebut memiliki sifat mekanis dan fisik yang diperlukan untuk keperluan industri. Akan tetapi logam dapat mudah bereaksi dengan lingkungan sekitarnya, misalnya uap air, oksigen, asam, amonia dll sehingga logam akan mengalami kerusakan karena reaksi kimia dengan bahan-bahan di atas. Reaksi antara logam dengan lingkungan korosif merupakan suatu reaksi kimia alamiah yang akan menghasilkan karat (*rust*).

Reaksi korosi adalah reaksi elektro kimia antara anoda dan katoda elektrolit. Logam yang mengalami korosi akan rusak atau daya tahannya berkurang. Berkurangnya daya tahan logam yang digunakan di dalam industri sudah barang tentu sangat berbahaya bagi lingkungan ataupun akan menurunkan produktivitas industri. Secara ekonomi diperkirakan sekitar 25 % dari logam-logam yang digunakan rusak akibat korosi. Suatu angka yang sangat besar sekali Oleh karena itu dibutuhkan cara atau metoda tertentu untuk mengurangi laju korosi di dalam suatu logam [1].

Mekanisme SCC terjadi dari beberapa tahap [2] :

- Pemicu retak atau tahap 1 (*initial cracking*)
- Perambatan retak perambatan secara merata atau tahap 2
- Perambatan akhir dan patah atau tahap 3

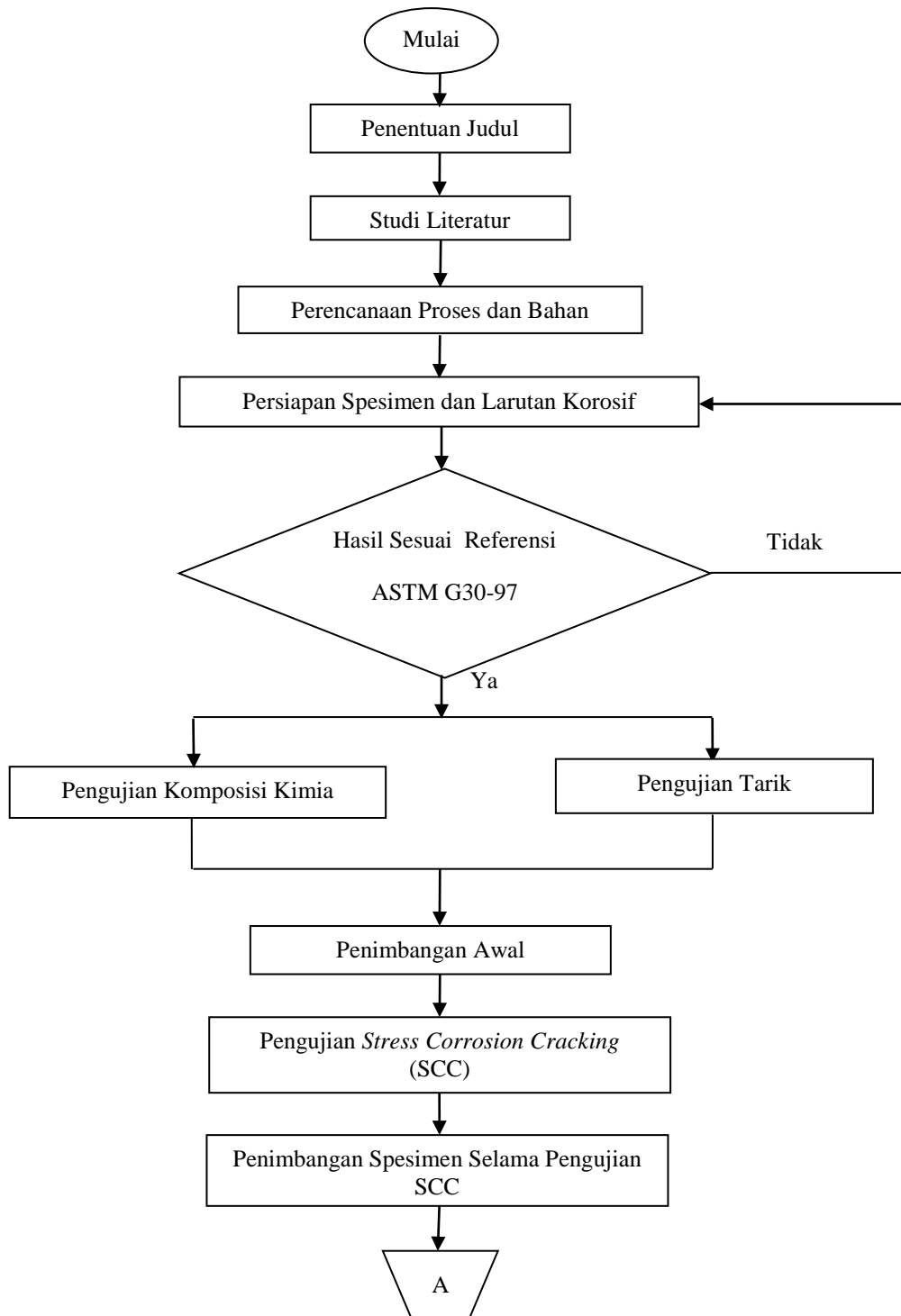
Adapun tujuan penelitian ini adalah :

- Mendapatkan laju korosi pada tembaga setelah pengujian *Stress Corrosion Cracking* (SCC).
- Mengevaluasi ketahanan tembaga terhadap *Stress Corrosion Cracking* (SCC) didalam media korosif  $\text{NH}_4\text{OH}$  1M.

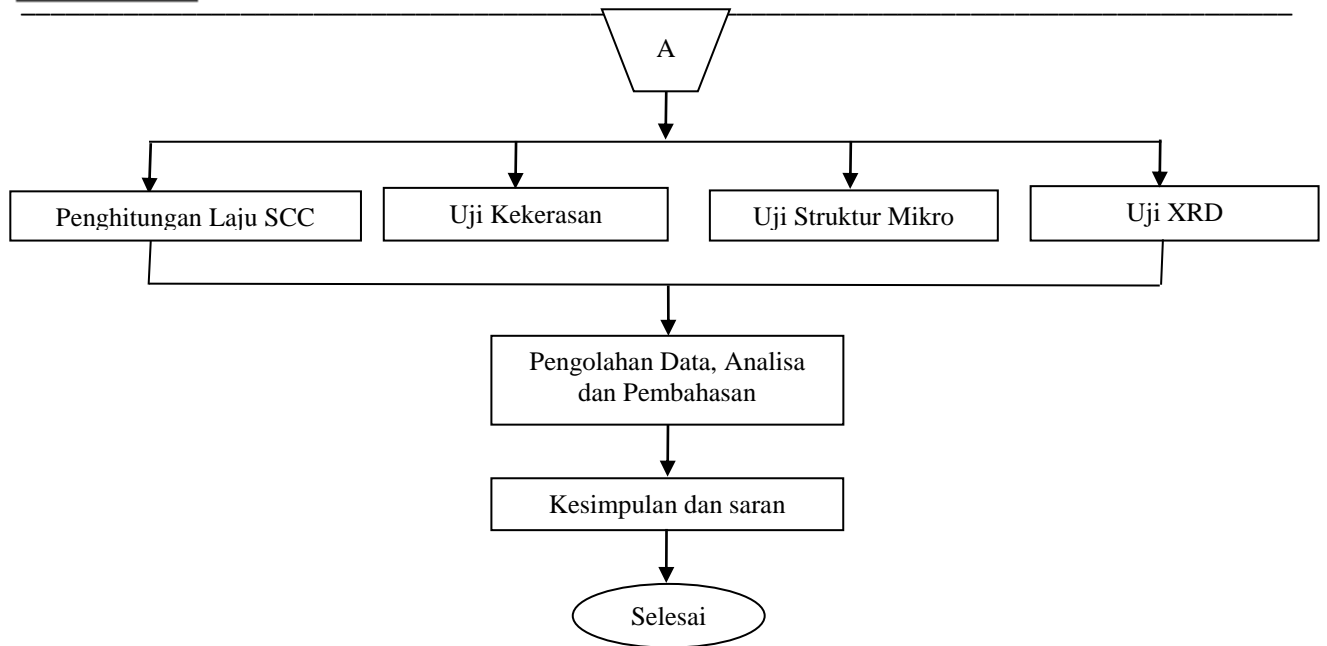
- c. Mengevaluasi perubahan struktur mikro tembaga setelah mengalami *Stress Corrosion Cracking* (SCC).
- d. Mengetahui pengaruh larutan korosif  $\text{NH}_4\text{OH}$  1M terhadap tembaga.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Metode penelitian ini berisi tentang langkah-langkah pengujian untuk menganalisis proses *stress corrosion cracking* (SCC) pada logam tembaga. Diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Alir



**Gambar 1.** Diagram Alir (lanjutan)

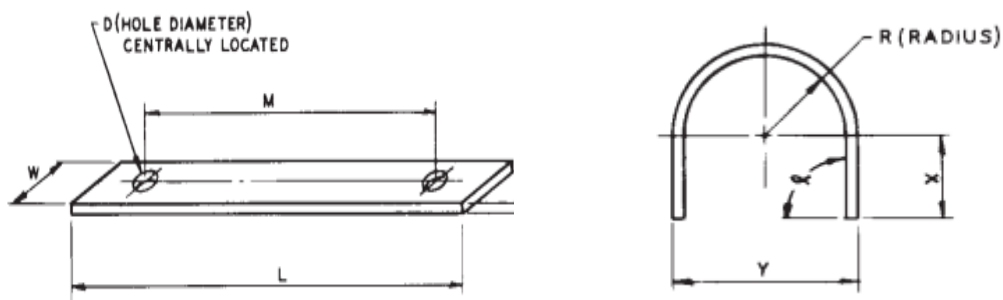
### 2.1 Persiapan Spesimen

Dalam penelitian ini, spesimen yang digunakan adalah plat *strip* tembaga dengan variasi ketebalan 3 mm dan 5 mm dengan lebar yang sama. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Plat *Strip* Tembaga

Logam tembaga tersebut mempunyai sifat mekanik awal adalah  $\sigma_y = 233$  MPa,  $\sigma_u = 285$  Mpa, dan elongasi = 5,42%. Pembuatan spesimen mengacu pada standar pengujian ASTM G30-97, dengan spesifikasi dimensi dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 1.



**Gambar 3.** Bentuk dan Dimensi Spesimen Uji [3]

**Tabel 1.** Spesifikasi Dimensi Spesimen Uji

No.	L, mm	M, mm	W, mm	T, mm	D, mm	Y, mm	R, mm	$\alpha$ , rad
1.	250	200	20	3	6	32	13	1,57
2.	250	200	20	5	6	36	13	1,57

## 2.2 Peralatan yang Digunakan

### a. Mesin Bending

Mesin *bending* digunakan untuk membentuk spesimen *u-bend*. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro dengan mesin *bending* yang dipakai adalah *Universal Testing Machine*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 4. Mesin Bending

### b. Timbangan Digital

Timbangan yang digunakan merupakan timbangan digital yang mempunyai ketelitian tinggi 0,01 dan 0,0001 gram. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Timbangan Digital

### c. Resin, Katalis, dan Kobalt

Resin, katalis, dan kobalt digunakan sebagai bahan campuran untuk membuat *mounting*.

### d. $\text{NH}_4\text{OH}$ , $\text{H}_2\text{O}_2$ , Aquades

$\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , dan aquades dengan perbandingan 7.5 ml : 22.5 ml : 20 ml digunakan sebagai campuran pengetsan untuk keperluan pengambilan gambar struktur mikro dengan menggunakan mikroskop optik.

### e. Rockwell Hardness Tester

Digunakan untuk menguji nilai kekerasan material, membandingkan nilai kekerasan material sebelum dan setelah dilakukan pengujian SCC. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rockwell Hardness Tester Type HR150A

#### f. Mikroskop Optik dan *Optilab Filter*

Mikroskop optik digunakan untuk mengamati struktur mikro. Mikroskop optik yang digunakan adalah mikroskop *Olympus BX41M*, dan kamera *Olympus C-5060*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 7.

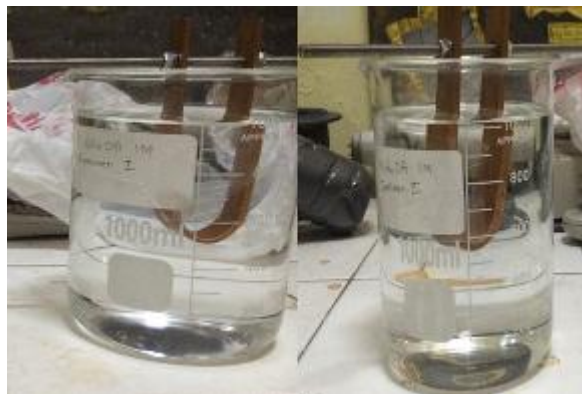


Gambar 7. Mikroskop Optik dan *Optilab Filter*

### 2.3 Pengujian Spesimen

#### a. Pengujian Korosi

Dalam pengujian *stress corrosion cracking* ini dilakukan pengujian kehilangan berat (*weight loss*) untuk mencari laju korosi dari spesimen uji, pengujian kekerasan untuk mengetahui adanya penurunan sifat mekanis dari material tersebut dan pengujian struktur mikro untuk mengetahui pengaruh pengujian SCC terhadap perubahan ukuran diameter butir dari struktur mikro spesimen uji. Pengujian SCC dilakukan selama 61 hari (1464 jam) dari tiap masing - masing spesimen uji. Pengujian dilakukan dengan melakukan perendaman menggunakan media korosi  $\text{NH}_4\text{OH}$  1M pada masing - masing spesimen uji. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Proses Perendaman Spesimen *U-Bend* pada  $\text{NH}_4\text{OH}$  1M

Dilakukan penimbangan spesimen selama proses korosi per tiga hari selama 61 hari (1464 jam). Dalam perhitungan laju korosi digunakan metode *weight loss* dengan data pengurangan berat selama pengujian. Perhitungan laju korosi dengan metode *weight loss* dihitung menggunakan persamaan [4] :

$$\text{Laju korosi} = \frac{KW}{DAT}$$

(1)

dimana, K, W, D, A, dan T bernilai konstan dalam hal ini menggunakan  $8,76 \times 10^4$  untuk laju korosi dalam milimeter per tahun, W, penurunan berat dalam gram, D, massa jenis  $\text{g/cm}^3$  (8,94 untuk tembaga), A, daerah uji dalam  $\text{cm}^2$  dan waktu ekspos dalam jam.

#### b. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dengan tujuan untuk mengetahui efek *stress corrosion cracking* terhadap nilai kekerasan material, dengan membandingkan nilai kekerasan akhir sebelum spesimen dilakukan pengujian *stress corrosion cracking* dengan spesimen setelah dilakukan pengujian *stress corrosion cracking*.

#### c. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi dilakukan dengan tujuan mempelajari bentuk struktur mikro setelah diberikan perlakuan pada suatu material, dalam hal ini proses *stress corrosion cracking*. Dari gambar struktur mikro, kita dapat menginterpretasikan perubahan sifat dan karakteristik material tersebut. Dalam hal ini analisa yang digunakan adalah

*grain size*. *Grain size* digunakan untuk membandingkan kekuatan suatu material. Dalam perhitungan *grain size* sesuai dengan standar ASTM E 112-96, salah satunya dapat menggunakan *linear intercept method*. Dari persamaan tersebut, kita menggunakan garis yang diletakkan secara acak dalam gambar struktur mikro, kemudian menghitung jumlah butir dan jumlah persimpangan batas butir yang dilalui oleh garis tersebut. Kemudian rata-rata *line length intersected* dapat dicari dengan menggunakan persamaan [3]:

$$\text{Rata - rata Line Length Intersected} = \frac{\text{Line Length (mm)}}{\text{Rata - rata jumlah butir}} \quad (2)$$

Dari hasil perhitungan rata - rata *line length intersected* kemudian kita dapat mengetahui diameter butir (*d*) dengan persamaan berikut :

$$d = \frac{\text{Rata - rata Line Length Intersected}}{\text{Perbesaran}} \quad (3)$$

dimana, *d* = Rata-rata diameter butir / *grain size* (mm)

#### d. Pengujian XRD

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui senyawa berwarna hitam yang menempel pada permukaan spesimen setelah pengujian *stress corrosion cracking*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pengujian Kehilangan Berat (*Weight Loss*) dan Laju Korosi

Pengujian kehilangan berat dan laju korosi secara lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

**Tabel 2.** Data Pengujian Kehilangan Berat (*Weight Loss Test*)

Waktu Penimbangan	Spesimen 1		Spesimen 2	
	Berat (gram)	$\bar{m}$	Berat (gram)	$\bar{m}$
Ke-0	170,0020	170,0026	254,30	254,27
	170,0026		254,20	
	170,0032		254,31	
Ke-1	169,6969	169,6972	253,91	253,91
	169,6971		253,92	
	169,6975		253,90	
Ke-2	169,5880	169,5877	253,82	253,83
	169,5877		253,83	
	169,5873		253,85	
Ke-3	169,5601	169,5594	253,81	253,80
	169,5592		253,80	
	169,5589		253,79	
Ke-4	169,5257	169,5258	253,76	253,77
	169,5265		253,78	
	169,5252		253,77	
Ke-5	169,5034	169,5039	253,75	253,75
	169,5039		253,74	
	169,5043		253,75	
Ke-6	169,4710	169,4712	253,72	253,72
	169,4712		253,72	
	169,4715		253,73	

Ke-7	169,5269		253,82	
	169,5274	169,5268	253,80	253,82
	169,5262		253,83	
Ke-8	169,5438		253,84	
	169,5435	169,5434	253,85	253,85
	169,5430		253,85	
Ke-9	169,5440		253,86	
	169,5437	169,5438	253,86	253,86
	169,5438		253,87	
Ke-10	169,5661		253,88	
	169,5665	169,5662	253,90	253,89
	169,5660		253,89	
Ke-11	169,5838		253,91	
	169,5835	169,5835	253,93	253,92
	169,5833		253,92	
Ke-12	169,5850		253,94	
	169,5846	169,5850	253,95	253,94
	169,5854		253,94	
Ke-13	169,5885		253,97	
	169,5877	169,5879	253,96	253,96
	169,5875		253,96	
Ke-14	169,5850		253,94	
	169,5865	169,5857	253,95	253,94
	169,5855		253,93	
Ke-15	169,5794		253,89	
	169,5790	169,5789	253,90	253,90
	169,5784		253,91	
Ke-16	169,5803		253,93	
	169,5807	169,5807	253,94	253,93
	169,5812		253,92	
Ke-17	169,5820		253,95	
	169,5858	169,5837	253,97	253,96
	169,5832		253,96	
Ke-18	169,5847		253,98	
	169,5851	169,5848	253,98	253,98
	169,5845		253,97	
Ke-19	169,5890		253,99	
	169,5887	169,5886	254,01	254,01
	169,5882		254,02	
Ke-20	169,5901		254,04	
	169,5905	169,5904	254,05	254,04
	169,5907		254,03	

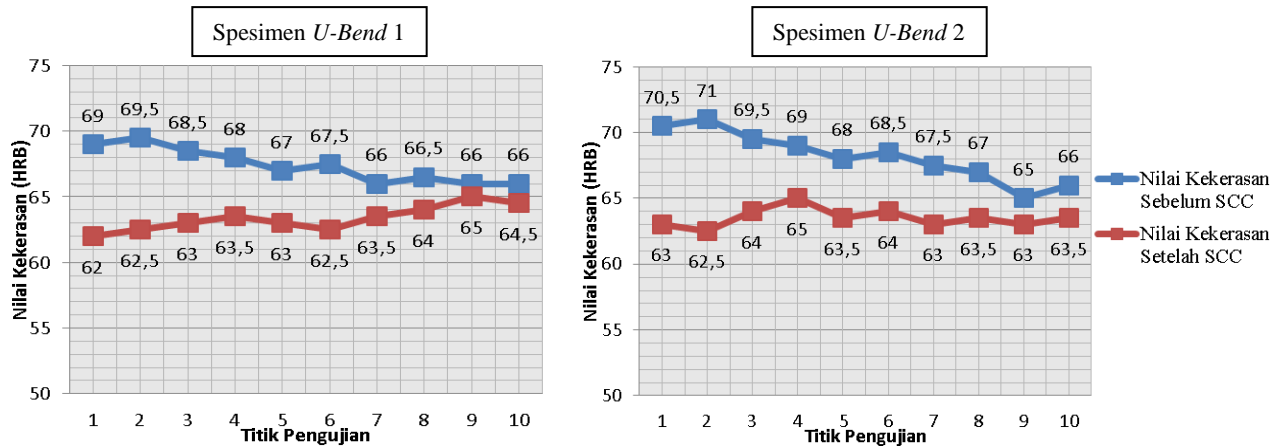
**Tabel 3.** Laju Korosi Spesiman Uji Tembaga

Kode	Metode Pengujian	$\Delta W$ (gram)	A (cm <sup>2</sup> )	T (jam)	Laju Korosi (mm/y)
Spesimen 1 (Tebal = 3 mm)	Bentuk : <i>U-Bend</i> Media korosif : NH <sub>4</sub> OH 1M	0,4122	92	1464	0,03
Spesimen 2 (Tebal = 5 mm)	Bentuk : <i>U-Bend</i> Media korosif : NH <sub>4</sub> OH 1M	0,23	100	1464	0,015

Dari data hasil pengujian yang didapat, bahwa tingkat kehilangan berat spesimen *u-bend* 1 (tebal = 3 mm) lebih tinggi dibandingkan spesimen *u-bend* 2 (tebal = 5 mm) dalam pengujian SCC dengan metode *u-bend* dengan dimensi spesimen dan larutan korosif yang sama. Didapatkan bahwa pada spesimen *u-bend* 1 (tebal = 3 mm) setelah dilakukan pengujian SCC selama 1464 jam mengalami kehilangan berat sebesar 0,4122 gram dan pada spesimen *u-bend* 2 (tebal = 5 mm) sebesar 0,23 gram.

### 3.3 Pengujian Kekerasan

Perbandingan nilai kekerasan sebelum dan setelah proses SCC seperti terlihat pada grafik pada Gambar 9.

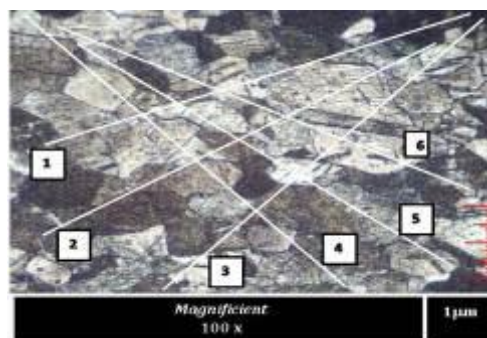


**Gambar 9.** Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan Spesimen Sebelum dan Setelah Pengujian SCC

Dari grafik pada Gambar 8 diketahui, bahwa terjadi penurunan nilai kekerasan pada spesimen setelah dilakukan pengujian SCC dengan media NH<sub>4</sub>OH 1M, baik pada spesimen *u-bend* 1 (tebal = 3 mm) maupun spesimen *u-bend* 2 (tebal = 5 mm). Penurunan nilai kekerasan ini adalah efek dari reaksi korosi media pengkorosi dengan material uji yang sudah mengalami perlakuan *bending*, sehingga mengakibatkan kekuatan material menurun

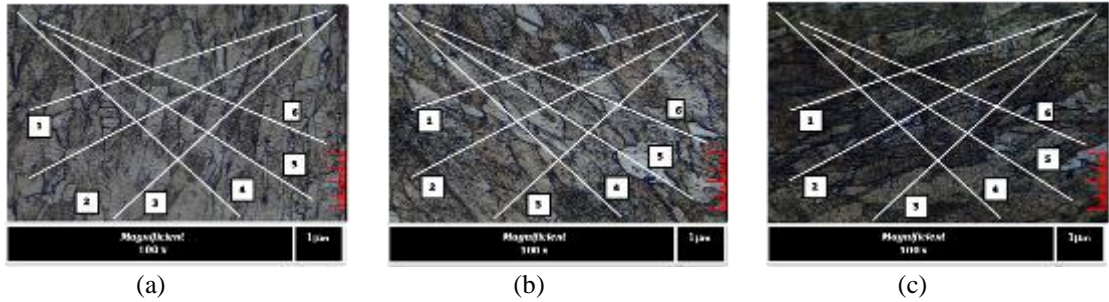
### 3.4 Perhitungan Grain Size

Perhitungan *grain size* dari gambar struktur mikro menggunakan *linear intercept method*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 10, 11, dan 12.

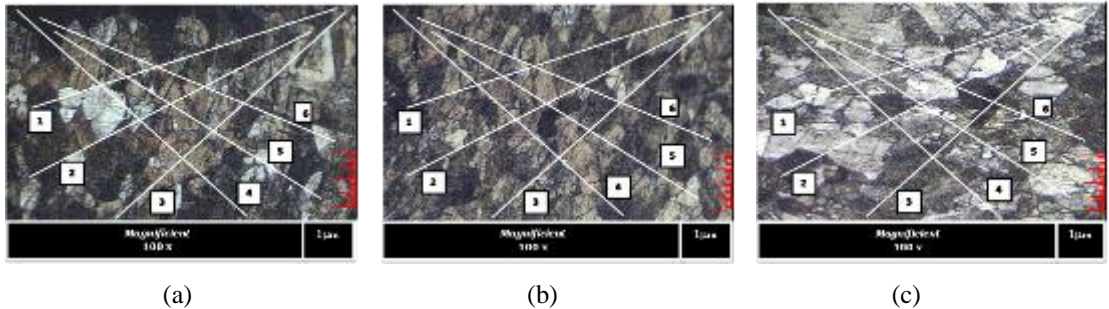


**Gambar 10.** Struktur Mikro Material Awal (*Raw Material*)





Gambar 11. Struktur Mikro Spesimen *U-Bend* 1 Titik Pengamatan a) A ; b) B ; c) C



Gambar 12. Struktur Mikro Spesimen 2 *U-Bend* Titik Pengamatan a) A ; b) B ; c) C

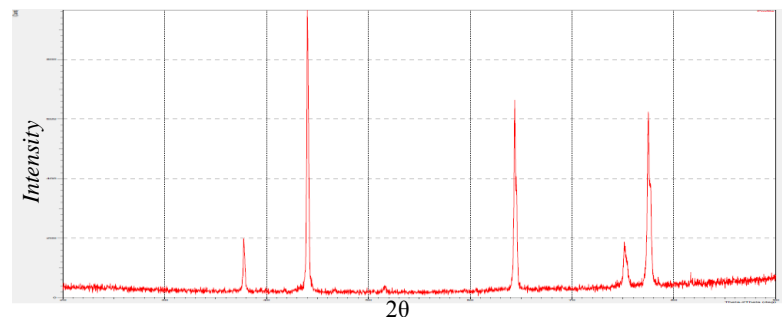
Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Diameter Butir / *Grain Size*

No	Kode Spesimen	Daerah Pengujian	Waktu Pengujian	Diameter butir rata-rata ( $\mu\text{m}$ )
1.	Material awal	-	0 jam	1,2
2.	Spesimen 1	A	1464 jam	1,375
		B	1464 jam	1,649
		C	1464 jam	1,886
4.	Spesimen 2	A	1464 jam	1,649
		B	1464 jam	1,375
		C	1464 jam	1,940

Dari perhitungan *grain size* pada Tabel 4 terlihat bahwa pada spesimen *u-bend* 1 dengan ketebalan 3 mm dan spesimen *u-bend* 2 dengan ketebalan 5 mm pada media korosi  $\text{NH}_4\text{OH}$  1M jika dibandingkan dengan diameter butir material awal, terjadi kenaikan diameter butir pada material setelah mengalami pengujian *stress corrosion cracking*.

### 3.5 Pengujian XRD

Data pengujian dan analisa XRD dapat dilihat pada Gambar 12 dan Tabel 5.



Gambar 13. Grafik XRD Spesimen Tembaga

**Tabel 5.** Analisa *Search Match* Hasil XRD

Sampel Hasil Pengujian XRD		Database XRD(PDF# 78-0428)	
2θs (deg)		2θD (deg)	2θs - 2θD
37,802		36,637	1,165
44,043		42,559	1,484
64,103		61,761	2,342
75,175		74,000	1,175
77,502		77,893	-391

Dari analisa pada Tabel 5 terlihat bahwa terjadi perbedaan (selisih) yang tidak terlalu besar antara sudut difraksi yang terukur (2θ) dari sampel hasil pengujian XRD dengan sudut difraksi yang terukur (2θ) dari database XRD PDF# 78-0428. Adanya perbedaan ini dikarenakan penyimpangan 2θ. Lapisan berwarna hitam yang melapisi seluruh permukaan spesimen tembaga yang berada pada larutan NH<sub>4</sub>OH kemungkinan berupa oksida tembaga (CuO), sesuai dengan database PDF# 78-0428. Hal inilah yang membuat data berat tembaga spesimen 1 dan 2 (Tabel 2) mengalami kenaikan mulai hari ke 21 hingga hari ke 61.

#### 4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap *stress corrosion cracking* logam tembaga pada lingkungan korosif NH<sub>4</sub>OH 1M, diketahui bahwa laju korosi spesimen *u-bend* 1 (tebal = 3 mm dan luas permukaan yang terkorosi = 92 cm<sup>2</sup>) adalah sebesar 0,03 mm/years, ini lebih besar dibandingkan dengan laju korosi spesimen *u-bend* 2 (tebal = 5 mm dan luas permukaan yang terkorosi = 100 cm<sup>2</sup>) yaitu 0,015 mm/years. Selain itu juga terjadi penurunan sifat mekanis material tersebut dilihat dari penurunan kekerasannya dan kenaikan *grain size* pada spesimen setelah pengujian *stress corrosion cracking* jika dibandingkan *grain size* sebelum *stress corrosion cracking*, baik pada spesimen *u-bend* 1 maupun spesimen *u-bend* 2. Dari pengujian XRD diketahui bahwa lapisan hitam pada penampang tembaga spesimen *u-bend* 1 dan spesimen *u-bend* 2 merupakan senyawa CuO yang merupakan hasil reaksi dari larutan korosif NH<sub>4</sub>OH dengan logam tembaga (Cu).

#### 5. Referensi

- [1] Wulpi, D. J. 1999. *Understanding How Components Fail*. (2<sup>nd</sup> ed.). United States of America : ASM International.
- [2] ASM International. 2004. Vol 13A “*Corrosion : Fundamentals, Testing, and Protection*”, metal park, Ohio.
- [3] ASTM International. 2003. “*Standard Practice for Making and Using U-Bend Stress-Corrosion Test Specimens*”, Designation G-30 -97 , Unites States.
- [4] ASTM International. 2004. “*Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens*”, Designation G-1, United States.