

ANALISIS *STRESS CORROSION CRACKING* LOGAM KUNINGAN DENGAN METODE U-BEND PADA MEDIA KOROSI SODIUM NITRAT 1M DAN MATTSSON PH=7,2

*Pratama Yudha Nugraha¹, A.P Bayuseno²,

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: pratamayudhanugraha@gmail.com

Abstrak

Stress corrosion cracking (SCC) adalah korosi yang disebabkan karena adanya aktivitas kombinasi antara tegangan tarik dan lingkungan, yang menyebabkan terjadinya perambatan retak. *Stress corrosion cracking (SCC)* sangat berbahaya karena sulit diprediksi kapan terjadinya, seringkali juga tidak bergantung pada laju korosinya. Masalah SCC masih menjadi kendala yang besar walaupun sudah banyak penelitian yang intensif telah dilakukan. Penelitian ini dilakukan pada logam kuningan dengan metode *U-Bend*, dengan menggunakan variasi media korosi sodium nitrat 1M dan Mattsson pH=7,2. Adapun parameter-parameter yang digunakan di dalam penelitian ini adalah pengurangan berat spesimen, nilai kekerasan dan struktur mikro. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa material setelah mengalami fenomena SCC mengalami penurunan sifat mekanis, ini terlihat dari penurunan nilai kekerasan dan pembesaran ukuran butir (*grain size*) pada spesimen uji. Sedangkan dari perbandingan variasi media korosi, didapatkan bahwa laju korosi dengan media sodium nitrat lebih besar dibanding laju korosi dengan larutan Mattsson pH=7,2.

Kata Kunci: *SCC, U-Bend, Sodium nitrat, Mattsson, grain size*

Abstract

Stress corrosion cracking (SCC) is corrosion caused by combination of tensile stress and the environment's activities, which leads to crack propagation. *Stress corrosion cracking (SCC)* is very dangerous because it is difficult to predict when it happens, often also not dependent on the rate of corrosion. SCC problem is still a major obstacle despite much intensive research has been carried out. The research was conducted on brass metal with *U - Bend* method, using a variety of media corrosion 1M sodium nitrate solution and pH = 7.2 Mattsson solution. The parameters used in this study is the weight loss of the specimen, the hardness number and microstructure. The result showed that the material failed because intergranular cracking. In other result, SCC was also 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 corrosion media, it was found that the corrosion rate with sodium nitrate solution medium is greater than the rate of corrosion with Mattsson's solution.

Keywords: *SCC, Sodium nitrate solution, Mattsson's solution, Intergranular, Grain size*

1. PENDAHULUAN

Di kehidupan manusia banyak sekali menggunakan suatu peralatan yang terbuat dari material logam, dimulai dari hal-hal paling sederhana seperti peralatan rumah tangga sampai pada hal-hal kompleks seperti konstruksi, kerangka kendaraan, hingga alat-alat produksi di dunia industri. Logam banyak digunakan karena sifatnya yang kuat dan tahan lama, di banding dengan material lain yang cocok untuk fungsi-fungsi tertentu.[1]

Stress corrosion cracking (SCC) adalah kasus korosi yang terjadi akibat adanya kombinasi antara adanya tegangan tarik dan lingkungan korosif, yang dapat menimbulkan pergerakan retak antar butir (*intergranular*) dan didalam butir (*transgranular*) pada logam tersebut. SCC sangat berbahaya karena SCC sulit diperkirakan kapan terjadinya dan dapat menyebabkan pengurangan dimensi dan kekuatan. Sehingga perlu untuk dilakukan suatu pengujian untuk mempelajari fenomena tersebut, tujuannya adalah untuk meminimalisir kesalahan dalam perancangan suatu alat, dapat memilih material yang tepat untuk komponennya, serta dapat memperkirakan umur komponen dilihat dari besarnya laju korosi pada komponen tersebut.[2]

SCC adalah proses kegagalan yang tertunda, karena retak yang terjadi dapat, menjalar dengan lambat sampai tegangan yang bekerja pada komponen logam akan naik dan mencapai tegangan patahnya.

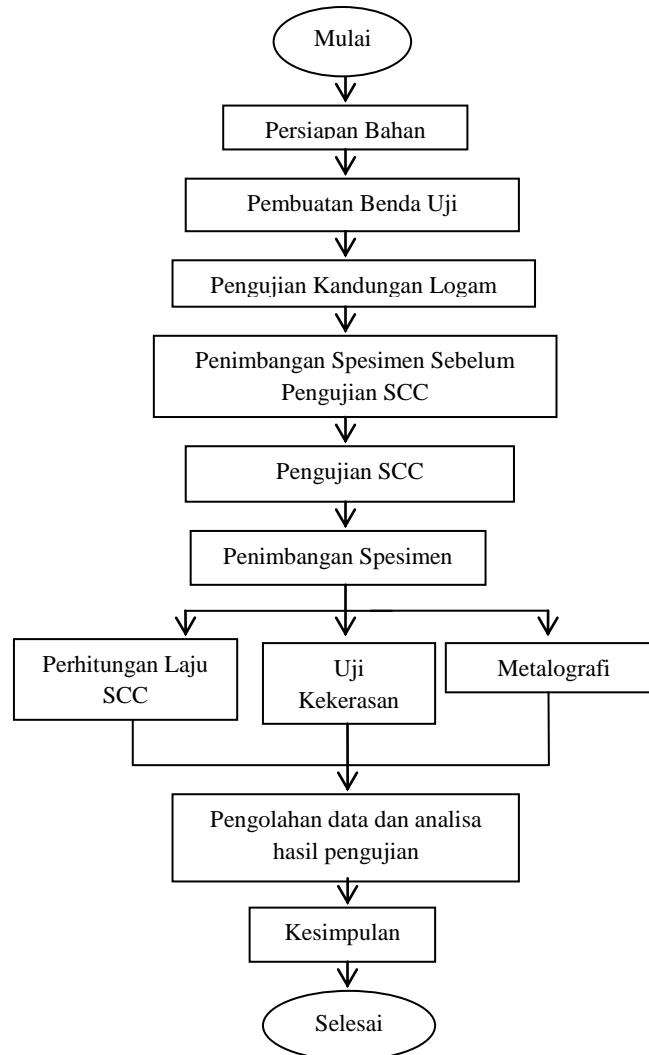
Mekanisme SCC terjadi dari beberapa tahap: [3]

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

Pada logam kuningan, secara umum retak akibat SCC akan merambat secara teratur pada arah normal tegangan tarik. Untuk *alpha brass* (73,5% Cu), retakan sering terjadi secara *transgranular*. *Stress corrosion cracking* (SCC) yang terjadi disebabkan oleh 2 hal, yaitu tegangan tarik dan lingkungan. Pada pembahasan ini lebih memfokuskan pada pengaruh lingkungan. Untuk logam kuningan sendiri ada beberapa lingkungan korosif yang mendukung terjadinya SCC, lingkungan tersebut antara lain amonia, nitrat dan asetat. [6]

Adapun penelitian ini bertujuan pertama untuk mendapatkan laju korosi pada logam kuningan untuk jenis korosi stress corrosion cracking (SCC). Kedua untuk mengevaluasi dengan membandingkan ketahanan logam kuningan terhadap SCC didalam media sodium nitrat 1M dan larutan Mattsson.

2. METODOLOGI PENELITIAN

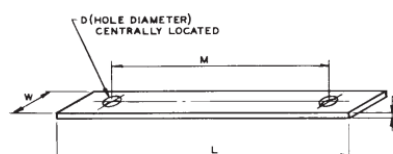


Gambar 1. Flowchart Penelitian

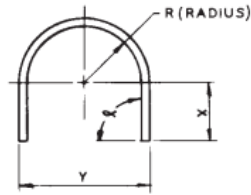
2.1 Pembuatan spesimen

Pengujian *stress corrosion cracking* pada penelitian ini menggunakan metode U-bend, sesuai dengan standar pengujian ASTM G 30-97. [4]

Dimana spesimen yang digunakan dalam pengujian berupa lembaran kuningan dengan dimensi tertentu diberi beban bending hingga spesimen membentuk U. Data gaya yang didapatkan selanjutnya akan digunakan untuk menganalisa tegangan. Adapaun ukuran dari spesimen awal dan setelah diberi gaya bending seperti berikut:



Gambar 2. Bentuk dan dimensi awal spesimen



Gambar 3. Bentuk dan dimensi akhir spesimen

Tabel 1. Spesifikasi dimensi awal spesimen uji

No	L(mm)	M, (mm)	W(mm)	T(mm)	D(mm)	Y(mm)	R(mm)
1	250	200	20	3	6	32	13

2.2 Benda uji

Untuk memudahkan dalam melakukan analisa data, maka diperlukan data-data awal seperti berikut:

a. Pengkodean spesimen

Pengkodean spesimen dilakukan untuk memudahkan dalam mengenali spesimen uji.

Tabel 2. Pengkodean spesimen uji

No	Kode	Perlakuan Korosi	Waktu
1	Spesimen 1	Perendaman pada larutan Sodium Nitrat 1M	10 hari
2	Spesimen 2	Perendaman pada larutan Mattsson	10 hari

b. Komposisi Benda Uji

Komposisi benda uji digunakan untuk mengkarakterisasi jenis logam kuningan yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3. Komposisi kuningan

Unsur	% komposisi	Unsur	% komposisi	Unsur	% komposisi
Cu	60,2	Mg	< 0,0050	Fe	0,0564
Zn	35,6	Cr	0,0367	Ni	0,366
Pb	1,56	Al	0,0404	Si	0,0802
Sn	1,11	As	0,0399	Cd	0,167
Mn	0,0355	Be	< 0,0020	Fe	0,0564
Ag	0,0237	Bi	0,0457	Zr	0,0070

c. Pengujian Sifat mekanis

Sifat mekanik ini digunakan sebagai pembanding dalam analisa tegangan, sehingga dapat disimpulkan kemudian apakah tegangan yang terjadi sesuai dengan syarat terjadi SCC.

Tabel 4. Sifat mekanis logam kuningan

No	PARAMETER	SATUAN	NILAI
1.	Kekuatan Luluh (σ_y)	Mega Pascal (Mpa)	245,3581
2.	Kekuatan maksimal (σ_{max})	Mega Pascal (Mpa)	331,565
3.	Regangan (%EL)	Percent (%)	12,26
4.	Kontraksi (%AR)	Percent (%)	76,26

2.3 Pengujian Spesimen Hasil Pengujian *Stress Corrosion Cracking*

1. Karakteristik Media pengkorosi

A. Larutan Natrium Nitrat

Sodium Nitrate atau Natrium Nitrat mempunyai rumus senyawa NaNO_3 , berwarna putih dan tidak berbau. Sodium Nitrat memiliki densitas sebesar $2,26 \text{ gr/cm}^3$. Titik leleh dari Sodium Nitrat adalah pada 308°C . Seperti Nitrat pada umumnya, Sodium Nitrat akan terurai jika dipanaskan pada temperatur 500°C . Pada suhu kamar, sodium nitrat akan larut didalam air pada dengan laju kelarutan $92,1 \text{ gr/100 m air}$. Sodium nitrat juga dapat larut didalam ammonia dan alkohol. Dari hasil pengujian pH didapatkan pH dari sodium nitrat 1M yang akan digunakan adalah 7,93.

B. Larutan Mattsson

Larutan Mattsson adalah gabungan dari dua larutan, yaitu larutan Ammonium sulfat $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ dan larutan tembaga(II) sulfat $(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$. Sehingga karakteristik larutan ini juga berpengaruh dari masing-masing karakteristik dari kedua larutan penyusunnya. Ammonium sulfat $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ merupakan salah satu garam yang mudah larut dalam air, dan berwarna. Selama pelarutan ammonium sulfat akan menghasilkan busa-busa kecil. Ammonium sulfat mempunyai berat molekul $132,14 \text{ gr/mol}$. Ammonium sulfat mengandung 21 % nitrogen sebagai kation ammonia, dan 24 % sebagai anion sulfatnya. Dari hasil pengukuran pH larutan Mattsson didapatkan pH larutan sebesar 7,21.

2. Pengujian Korosi

Pengujian korosi untuk benda uji *U-Bend* dilakukan perendaman terhadap media korosi masing-masing adalah sodium nitrat 1M dan larutan Mattsson dengan $\text{pH} = 7,2$. Dimana langkah-langkahnya antara lain melakukan penimbangan awal, kemudian penimbangan setiap parameter waktu pengamatan yaitu 1 hari. Terakhir adalah menghitung laju korosi berdasarkan data pengurangan berat (*weight loss*) yang didapat. Perhitungan laju korosi dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Laju korosi} = \frac{K W}{DAT} \quad (1)$$

Dimana :

K = konstanta ($8,76 \times 10^4$)

W = berat yang hilang selama percobaan (*weight loss*)
(gram)

D = densitas material (gr/cm^3)

A = luas permukaan yang terkorosi (cm^2)

T = lamanya waktu ekspos (jam)

3. Pengujian Nilai Kekerasan Material

Pengujian kekerasan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sefek SCC terhadap nilai kekerasan material dibandingkan sebelum dan setelah pengujian SCC. Nilai kekerasan dilakuakn dengan metode Rockwell skala HRB. Nilai kekerasan kemudian akan dikorelasikan dengan tegangan tarik sehingga kita dapat memperoleh data berupa tegangan tarik, dengan menggunakan hubungan antara tegangan tarik dan nilai kekerasan HB.

$$\sigma_u = 3,45 \text{ HB} \quad (2)$$

Dimana:

σ_u = Tensile stress (Mpa)

HB = Hardness Brinell Number

4. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk mempelajari struktur mikro setelah diberikan perlakuan terhadap materil, dalam hal ini adalah *stress corrosion cracking*. Dimana dari struktur mikro spesimen yang di uji akan digunakan untuk menganalisa bentuk patahan dan ukuran butir (*grain size*). Perhitungan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *linier intercept method*. [7]

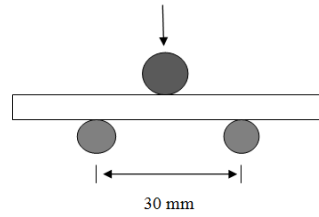
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi dengan data hasil pengujian *stress corrosion cracking* dengan membandingkan dengan sifat awal material. Data-data yang didapatkan antara lain: tegangan normal maksimum, data kehilangan berat (*weight loss*), data nilai kekerasan, dan struktur mikro.

3.1. Perhitungan tegangan *U-Bend* dengan menggunakan analisa struktur.

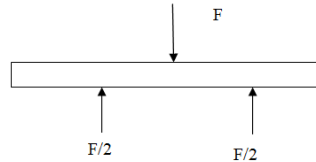
Parameter yang diketahui dari pengujian adalah:

Panjang (L)	=	250 mm
Lebar (w)	=	20 mm
Tebal (T)	=	3 mm
F bending	=	2 kN



Gambar 4. Permodelan pengujian

Dimana diagram benda bebas dapat terlihat seperti Gambar 5 dibawah.



Gambar 5. Diagram benda bebas perhitungan

Hasil dari perhitungan dapat terlihat pada Tabel 5 dibawah ini

Tabel 5. Hasil analisa tegangan

Parameter	Hasil
Tegangan normal maksimum	250 MPa
Tegangan geser maksimum	25 MPa

3.2 Data dan perhitungan laju korosi dari hasil dari pengujian *weight loss*

A. Spesimen 1 *U-Bend* dengan media korosi sodium nitrat 1M

Tabel 6. Hasil pengujian *weight loss* spesimen 1 *U-Bending* dengan media korosi Sodium Nitrat 1M

No	Waktu Pengukuran (Hari)	Berat (gr)	No	Waktu Pengukuran (Hari)	Berat (gr)
1.	Ke-0	144,6870	6.	Ke-5	144,5553
		144,6872			144,5550
		144,6870			144,5555
2.	Ke-1	144,6624	7.	Ke-6 (Retak)	144,5113
		144,6630			144,5111
		144,6629			144,5111
3.	Ke-2	144,6475	8.	Ke-7	144,5091
		144,6472			144,5090
		144,6470			144,5095
4.	Ke-3	144,6393	9.	Ke-8 (Patah)	144,5070
		144,6381			144,5069
		144,6372			144,5069
5.	Ke-4	144,5940			
		144,5945			
		144,5942			

Perhitungan laju korosi:

$$\begin{aligned} \text{Laju korosi(mm/y)} &= \frac{8,76 \times 10^4 W}{DAT} = \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,1779}{8,44 \times 92 \times 108} \\ &= 0,1858 \text{ mm/y} \end{aligned}$$

B. Spesimen 2 *U-Bending* dengan media korosi Mattsson pH= 7,2.

Tabel 7. Hasil pengujian *weight loss U-Bend* dengan media korosi Mattsson

No	Waktu Pengukuran (Hari)	Berat (gr)	No	Waktu Pengukuran (Hari)	Berat (gr)
1.	Ke-0	141,0079	3.	Ke-2	140,9229
		141,0080			140,9220
		141,0079			140,9225
2.	Ke-1	140,9795	4.	Ke-3 (Patah)	140,8945
		140,9795			140,8940
		140,9790			140,8941

Perhitungan Laju korosi:

$$\begin{aligned} \text{Laju korosi(mm/y)} &= \frac{8,76 \times 10^4 W}{DAT} \\ &= \frac{8,76 \times 10^4 \times 0,1137}{8,44 \times 93,84 \times 72} \\ &= 0,1746 \text{ mm/y} \end{aligned}$$

3.3 Pengujian nilai kekerasan

Dari pengujian kekerasan didapatkan data kekerasan material awal dan nilai kekerasan setelah pengujian SCC. Nilai kekerasan dikorelasikan dengan tegangan dan sebelumnya dilakukan konversi terlebih dahulu ke nilai kekerasan Brinell (HB). Sesuai dengan standar pengujian ASTM E 140 -05. [5]

A. Nilai kekerasan material awal

Tabel 8. Nilai kekerasan awal

No	HRB	HB	Tegangan tarik(Mpa)	No	HRB	HB	Tegangan tarik(Mpa)
1.	72,0	114,0	393,30	6.	69,5	111,0	382,95
2.	71,5	113,5	391,58	7.	71,5	113,5	391,58
3.	72,0	114,0	393,30	8.	71,0	113,0	389,85
4.	72,5	115,0	396,75	9.	73,0	116,0	400,20
5.	72,0	114,0	393,30	10.	70,0	112,0	386,40

B. Nilai kekerasan spesimen *U-Bend* dengan media korosi sodium nitrat 1M

Tabel 9. Nilai kekerasan spesimen 1 *U-Bend* dengan media korosi sodium nitrat 1M

No	Titik Pengujian	HRB	HB	Tegangan tarik (Mpa)	No	Titik Pengujian	HRB	HB	Tegangan tarik (Mpa)
1.	1	66,0	105,0	362,25	6.	6	67,5	107,0	369,15
2.	2	66,5	104,0	358,80	7.	7	67,5	107,0	369,15
3.	3	67,0	106,0	365,70	8.	8	68,0	108,0	372,60
4.	4	68,0	108,0	372,60	9.	9	67,0	106,0	365,70
5.	5	66,5	105,5	363,98	10.	10	66,0	105,0	362,25

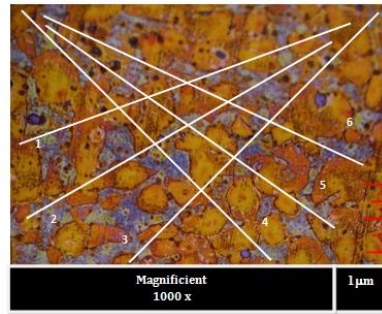
C. Nilai kekerasan spesimen *U-Bend* dengan media korosi Mattsson pH=7,2

Tabel 10. Nilai kekerasan spesimen *U-Bend* dengan media korosi Mattsson pH=7,2

No	Titik Pengujian	HRB	HB	Tegangan tarik (Mpa)	No	Titik Pengujian	HRB	HB	Tegangan tarik (Mpa)
1	1	68,0	108	372,60	6	6	68,0	108	372,60
2	2	55,0	87	300,15	7	7	67,0	106	365,70
3	3	79,0	129	445,05	8	8	64,5	102	351,90
4	4	69,0	110	379,50	9	9	64,5	102	351,90
5	5	68,5	109	376,05	10	10	64,0	101	348,45

3.4 Pengujian Struktur Mikro

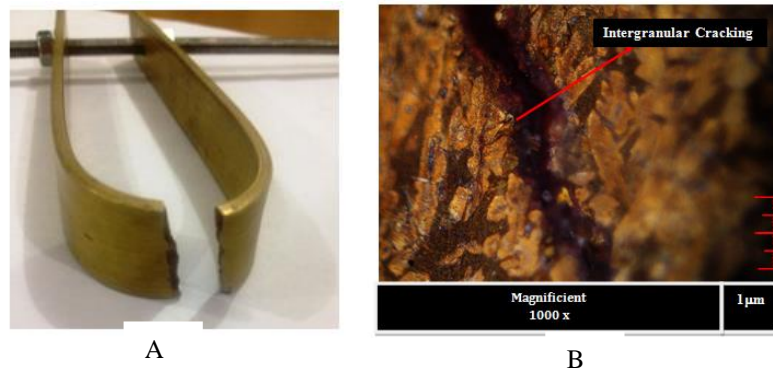
3.4.1. Struktur mikro logam kuning sebelum pengujian SCC (Material awal)



Gambar 6. Struktur mikro material awal

3.4.2 Pengujian Metalografi spesimen 1

A. Gambar visual dan bentuk patahan

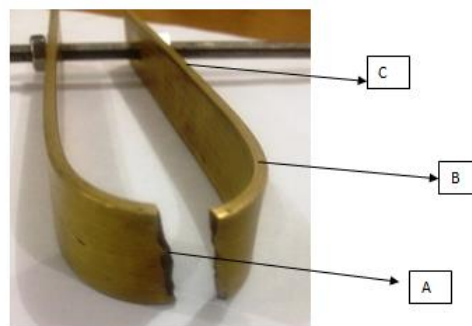


Gambar 7. (A) Gambar visual dan (B) bentuk patahan spesimen 1

Dari gambar struktur mikro terlihat pada spesimen 1 kegagalan disebabkan karena patah secara *intergranular* (antar butir), ini mengindikasikan bahwa serangan lebih dominan menyerang batas butir dari kuning.

B. Data struktur mikro spesimen 1

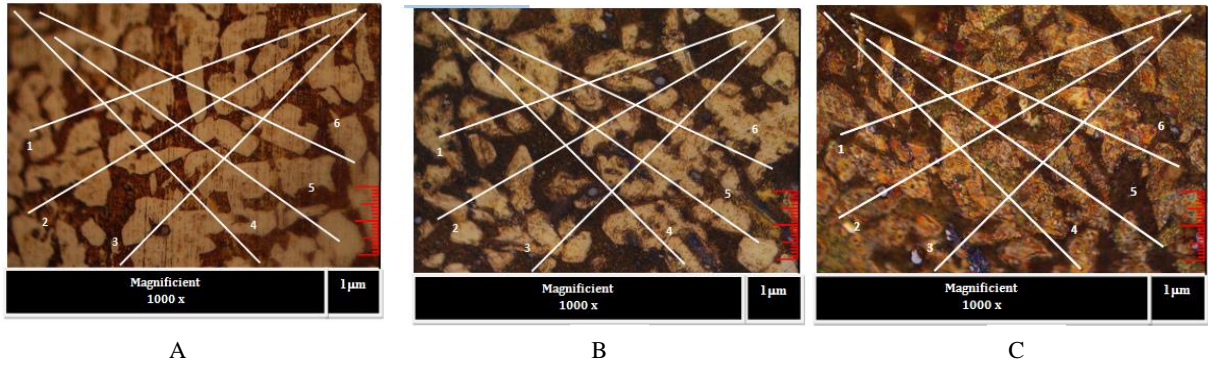
Daerah pengambilan data struktur mikro spesimen 1 dapat terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 8. Daerah pengamatan struktur mikro

Tabel 11. Daerah pengambilan sample struktur mikro spesimen 1

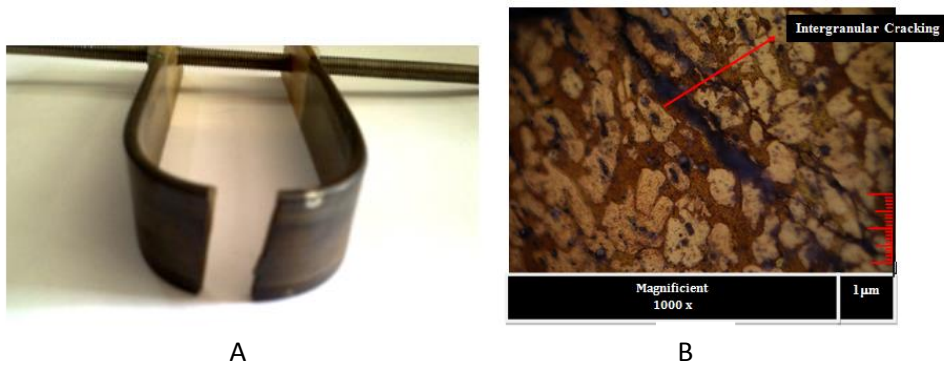
No	Titik Pengamatan	Keterangan
1.	A	Daerah penampang melintang patahan
2.	B	Daerah miring
3.	C	Daerah lurus



Gambar 9. Struktur mikro Spesimen 1(A) Daerah penampang patahan, (B) Daerah miring, dan (C) Daerah lurus

3.4.3. Pengujian Metalografi spesimen 2

A. Gambar Visual

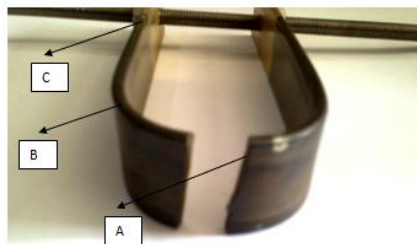


Gambar 10. (A) Gambar visual dan (B) bentuk patahan spesimen 2

Dari gambar struktur mikro terlihat pada spesimen 2 kegagalan disebabkan karena patah secara *intergranular* (antar butir), ini mengindikasikan bahwa serangan lebih dominan menyerang batas butir dari kuningan.

B. Data struktur mikro spesimen 2

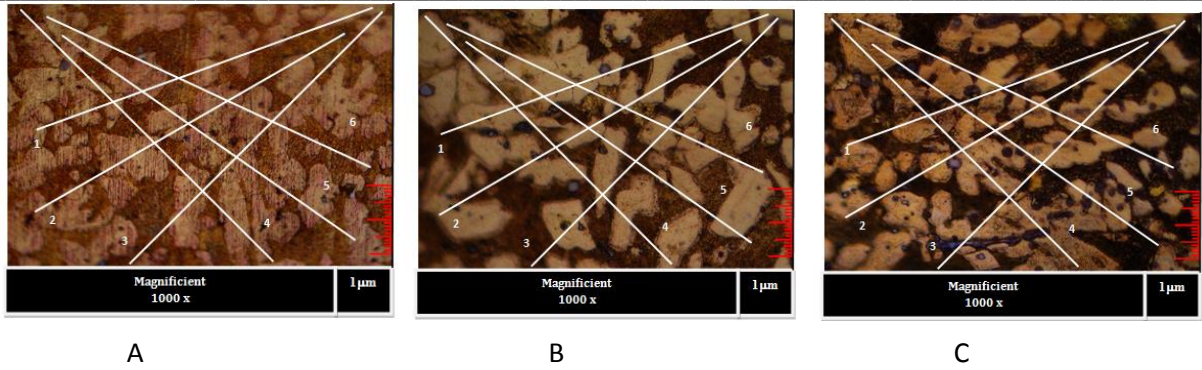
Daerah pengambilan data struktur mikro spesimen 2 dapat terlihat pada gambar 14 di bawah ini.



Gambar 11. Daerah pengamatan struktur mikro

Tabel 12. Daerah pengambilan sample struktur mikro spesimen 2

No	Titik Pengamatan	Keterangan
1.	A	Daerah penampang melintang patahan
2.	B	Daerah miring
3.	C	Daerah lurus



Gambar 12. Struktur mikro Spesimen 2(A) Daerah penampang patahan, (B) Daerah miring, dan (C) Daerah lurus

3.4.4. Perhitungan ukuran butir (*grain size*)

Perhitungan ukuran butir (*grain size*) menggunakan *liner intercept method*, tujuannya adalah untuk membandingkan antara logam kuningan sebelum SCC dan logam kuningan setelah terjadi SCC dengan mengkorelasikan besar butir terhadap kekuatan. [7]

A. Perhitungan grain size material awal

Tabel 13. Rata-rata *grain intesect* material awal

Nomor garis	Jumlah <i>grain intersected</i>	Rata-rata <i>grain intersected</i>
1	8	8,16
2	8	
3	7	
4	9	
5	8	
6	9	

Line length intersected rata-rata

$$= \frac{110 \text{ mm}}{8,16} = 13,48 \text{ mm}$$

Diameter butir rata-rata

$$= \frac{13,48}{1000} = 13,48 \times 10^{-3} \text{ mm} = 13,48 \text{ } \mu\text{m}$$

Untuk perhitungan selanjutnya menggunakan metode yang sama. Hingga didapatkan nilai seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 14. Hasil pengukuran grain size

No	KODE SPESIMEN	Daerah pengujian	Diameter butir rata-rata (μm)
1.	Material awal	-	13,48
2.	Spesimen 1	A	21,65
		B	18,60
		C	21,60
4.	Spesimen 2	A	21,30
		B	22,00
		C	20,30

Dari data grain size didapatkan adanya terjadi perubahan ukuran butir dari sebelum pengujian korosi dengan setelah mengalami SCC. Baik pada spesimen 1 dan spesimen 2 terjadi kenaikan ukuran butir (*grain size*). Ini mengindikasikan adanya penurunan sifat akibat dari stress corrosion cracking pada logam kuningan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan analisa yang telah dilakukan dalam pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari pengujian *weight loss* diketahui bahwa laju korosi spesimen 1 (*U-Bending* dengan dengan media korosi Sodium Nitrat) adalah sebesar 0,1858 mm/years, ini lebih besar dibandingkan dengan laju korosi spesimen 2 (*U-bending* dengan media korosi Mattsson) yaitu 0,1746 mm/years.
2. Spesimen 1 gagal dihari ke-9 pengujian, sedangkan spesimen 2 gagal dihari ke-3 pengujian, sehingga dapat disimpulkan larutan Mattsson (spesimen 2) lebih reaktif terhadap *Stress corrosion Cracking*(SCC) dibanding Sodium Nitrat (spesimen 1) pada logam Kuningan, karena waktu kegagalan yang lebih cepat, walaupun laju korosinya lebih kecil.
3. Jika dilihat dari ketahanan material, maka logam kuningan lebih besar kecenderungan terjadinya SCC pada lingkungan Amonia (Mattsson) dibandingkan dengan lingkungan nitrat
4. Dari pengujian kekerasan, didapatkan penurunan nilai kekerasan material setelah terjadinya SCC dibandingkan dengan nilai kekerasan material sebelum SCC, baik pada spesimen 1 dan spesimen 2, ini mengindikasikan terjadinya penurunan sifat dalam hal ini kekuatan akibat SCC.
5. Dari analisa struktur mikro, karakteristik perputahan pada spesimen 1 dan spesimen 2 merupakan perputahan secara intergranular. Kemudian dari analisa grain size juga didapatkan, rata-rata diameter butir setelah SCC lebih besar jika dibandingkan rata-rata diameter butir sebelum SCC, baik pada spesimen 1 dan spesimen 2, ini juga mengindikasikan bahwa terjadi penurunan sifat mekanik dalam hal ini kekuatan akibat dari proses SCC.
6. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa faktor yang dominan dalam terjadinya SCC adalah faktor tegangan, berdasarkan pada hasil laju korosi yang tidak terlalu besar dan masih dapat dikatakan aman. Sedangkan tegangan yang diberikan lebih dominan karena melebihi tegangan luluhnya.

5. REFERENSI

- [1]. Kenneth R. Trethwey, Jhon Chamberlain, 1991, "Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan", terjemahan Alex Tri Kantjono Widdodo, PT. Gramedia Pustaka, Jakarta 16.
- [2]. Bardal Einar, 2004. "*Corrosion and Protection*", The Norwegian University of Science and Technology: Trondheim, Norway.
- [3]. ASM International, 1987, "*Fundamentals, Testing, and Protection Vol 13A Corrosion*", metal park, Ohio.
- [4]. ASTM International, 2003, "*Standard Practice for Making and Using U-Bend Stress-Corrosion Test Specimens*", Designation G-30 -97 , Unites States.
- [5]. ASTM International, 2005, "*Standard Hardness Conversion Tables for Metals Relationship Among Brinell Hardness, Vickers Hardness, Rockwell Hardness, Superficial Hardness, Knoop Hardness, and Scleroscope Hardness*", Designation E 140 - 05 , Unites States.
- [6]. Saario, Timo., Laitinen, Timo., and Makela, Kari., 1999. "Literature Survey on Stress Corrosion Cracking of Cu in Presence of nitrites, ammonia, carbates, and acetates", Posiva Oy, Helsinki, Finland.
- [7]. ASTM International, 200, "Standard Test Methods for Determining Average Grain Size", Designation E 112 - 96, Unites States.