

# Characteristics of Surface Preparation in Dissimilar Welding Processes against Stress Corrosion Cracking

Osmar Buntu Lobo<sup>1\*</sup>, Djarot B. Darmadi<sup>2</sup> dan Oyong Novareza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prodi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

\*Corresponding author: [buntulobo.osmar@gmail.com](mailto:buntulobo.osmar@gmail.com)

**Abstract.** In order to avoid failure due of Stress Corrosoin Cracking – SCC, a material, i.e. metal, must be loaded below the  $K_{ISCC}$  threshold. Many SCC failures occur in welded joints, because in welding it is difficult to avoid the occurrence of voids (crack initiation) and residual stresses. If the welded joint is exposed in a corrosive environment, all prerequisite for SCC are fulfilled. The greater possibility of the existence of voids is provided for dissimilar welding joints. Therefore, this research investigated the SCC phenomenon that occurs in the dissimilar welded joints. The welding process is carried out at Hot Spot Capacitive Discharge Welding (CDW) machine. The welded joint were tested at the SCC constant load test which intentionally has been designed for this study. Surface preparation variation was made and is a independent variable in order to obtain the optimal joint. The surface preparation alters in the three different geometrical variation namely  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ , and  $\alpha_2$ . The test results showed that  $\alpha_1$  specimens refrain to SCC conditions more than  $\alpha_0$  and  $\alpha_2$  specimens. This higher resistance occurred because the  $\alpha_1$  surface preparation experienced better melting condition at interface.

**Keywords:** stress corrosion cracking, dissimilar welding, hot-spot capacitive discharge welding

**Abstrak.** Agar terhindar dari kegagalan akibat Retak Tegangan-Korosi (*Stress Corrosion Cracking-SCC*), maka material logam harus menerima beban dibawah ambang batas  $K_{ISCC}$ . Kegagalan SCC banyak terjadi pada sambungan las, karena pada sambungan las sulit untuk menghindari terjadinya void (*crack initiation*) dan tegangan sisa. Apabila sambungan las tersebut ditempatkan pada lingkungan korosif maka semua unsur SCC terpenuhi. Kemungkinan terjadinya void semakin besar jika dilakukan proses pengelasan *dissimilar* pada logam. Oleh karena itu, penelitian ini menginvestigasi fenomena SCC yang terjadi pada sambungan las *dissimilar*. Proses pengelasan/penyambungan dilakukan menggunakan mesin las *HotSpot Capacitive Discharge Welding* (CDW). Pengujian sambungan las tersebut menggunakan alat uji SCC *constant load test*, yang direkayasa khusus untuk kegiatan penelitian ini. Pada penelitian ini variasi *surface preparation* merupakan variabel bebas untuk mendapatkan sambungan yang optimal. Variabel bebas yang dimaksud adalah;  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ , dan  $\alpha_2$ . Hasil pengujian menunjukkan bahwa spesimen  $\alpha_1$  lebih tahan terhadap kondisi SCC jika dibandingkan dengan spesimen  $\alpha_0$  dan  $\alpha_2$ . Hal tersebut terjadi karena spesimen dengan variasi *surface preparation*  $\alpha_1$  dapat melebur dengan lebih baik jika dibandingkan variasi  $\alpha_0$  dan  $\alpha_2$ .

**Kata kunci:** stress corrosion cracking, dissimilar welding, hot-spot capacitive discharge welding.

---

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

## Pendahuluan

Seiring meningkatnya permintaan logam di pasaran, jenis dan kekuatan serta ketahanan logam yang dibutuhkan oleh industri juga akan semakin beragam. Logam memiliki kelebihan yaitu sebagai penghantar listrik dan panas yang baik [1]. Selain baja, terdapat berbagai jenis logam yang dimanfaatkan pada dunia industri seperti tembaga (Cu) dan kuningan (CuZn), khususnya untuk produk-produk kelistrikan, *tube*, *valve*, roda gigi pompa, impeller, turbin, kompresor serta aplikasi dalam bidang kedirgantaraan [2, 3].

Salah satu masalah yang timbul pada penggunaan logam secara umum adalah Retak Tegangan-Korosi (*Stress corrosion cracking-SCC*) [4]. SCC merupakan kegagalan pada logam yang disebabkan oleh faktor tegangan, retak, dan kerentanan terhadap lingkungan korosif (void) [5]. Kegagalan terjadi akibat fenomena rambatan retak baik secara *intergranular* (retak merambat pada batas butir) maupun *transgranular* (retak merambat dalam butir). Menurut Liu, pada sambungan las biasanya terdapat tegangan sisa akibat penggerjaan yang dilakukan [6]. Lebih lanjut

Du menyatakan bahwa deformasi plastis diatas 35% dan residual stress menyebabkan SCC [7].

Jenis cacat sambungan las merupakan tantangan yang sangat besar bagi para peneliti serta pelaku industri dalam menangani produk berbahan dasar logam secara khusus bahan pada penelitian ini yaitu tembaga dan kuningan. Dari penelitian sebelumnya tentang SCC terhadap tembaga dan kuningan dapat disimpulkan bahwa kedua material ini mempunyai karakter bahan khusus dan cara penanganan yang lebih rumit jika dibandingkan dengan baja karbon pada umumnya [2, 8, 9]. Oleh karena itu penelitian ini mengangkat topik pengelasan *dissimilar* atau pengelasan antar material yang berbeda, khususnya antara tembaga dan kuningan. Menurut Bayuseno [10] SCC terjadi melalui beberapa tahap, dimulai dari retak awal (*crack initiation*), perambatan retak (*crack propagation*), dan akhirnya patah (*final crack*). Proses terjadinya retak awal biasanya dimulai dari oksidasi yang terjadi pada permukaan batas butir, kemudian terjadi siklus pecahnya film oksida dan menipisnya lapisan kromium atau inkubasi, dan terakhir adalah nukleasi dimana udara mengeksplosi batas butiran [11]. SCC pada suatu material terjadi secara acak dan tidak terduga dan sering usaha pengendalian retak tidak memberikan hasil yang memuaskan. Jalan keluar yang paling praktis dan sering dipilih sebagai alternatif penanganan masalah ini adalah menggunakan material yang tahan terhadap korosi.

## Metode Penelitian

Bahan dasar penelitian adalah tembaga (Cu) dan kuningan (CuZn), kedua material tersebut disambung menjadi spesimen penelitian menggunakan mesin las *Hot-Spot Capacitive Discharge Welding (CDW)*. Sebelum proses pengelasan berlangsung, terlebih dahulu dilakukan *surface preparation* terhadap material dengan berbagai variasi.

Pengelasan CDW adalah variasi dari *resistance projection welding (RPW)*. Untuk pengelasan jenis ini, daya listrik disimpan dalam kapasitor, dan dikeluarkan melalui transformator ke dalam benda kerja [12].

Jika ditinjau dari material yang akan disambung, terdapat dua jenis pengelasan yaitu pengelasan *similar* (penyambungan material sejenis) dan pengelasan *dissimilar* (penyambungan material berbeda jenis). Untuk pengelasan similar, penyambungannya relatif lebih mudah karena material yang disambung homogen dan memiliki titik lebur yang sama. Sedangkan untuk pengelasan dissimilar, penerapannya relatif lebih sulit dan

membutuhkan pengetahuan material untuk memperoleh sambungan las yang optimal.

Parameter pengelasan ditentukan menurut buku pengoperasian. Berikut adalah parameter mesin las jenis CDW yang digunakan dalam proses pengelasan.

**Tabel 1.** Parameter pengelasan hot-spot CDW

No	Parameter	Nilai
1	Kuat tekan las	39,2N
2	Energi	100J
3	Diameter spesimen	1,6mm
4	Tegangan listrik	75VDC

Untuk melakukan uji ketahanan SCC sambungan las tersebut perlu dipapar di lingkungan korosif. Asam nitrat atau  $\text{HNO}_3$  digunakan sebagai larutan korosif pada saat pengujian berlangsung. Parameter konsentrasi larutan ditentukan untuk mengeliminasi variabel bebas yang terlibat. Penelitian ini menggunakan asam nitrat dengan konsentrasi 1 Molar. Untuk mendapatkan parameter konsentrasi larutan yang dimaksud, maka dilakukan perhitungan rumus kimia terlebih dahulu. Berikut perhitungan untuk memperoleh larutan  $\text{HNO}_3$  1M sebanyak 500mL.

$$\text{Normalitas}_{\text{HNO}_3} \cdot \text{Volume}_{\text{HNO}_3} = \text{Volume}_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{Volume}_{\text{H}_2\text{O}} \quad (1)$$

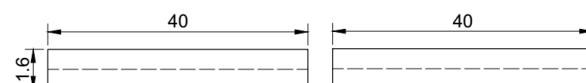
Normalitas  $\text{HNO}_3$  dengan persentase 65%

$$14,4 \cdot V_{\text{HNO}_3} = (1) \cdot (500 \text{ mL}) \\ V_{\text{HNO}_3} = 34,7 \text{ mL}$$

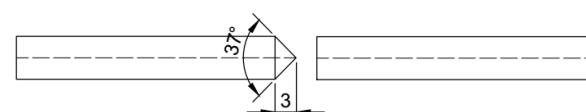
Maka,

$$\frac{V_{\text{HNO}_3}}{V_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{69,4 \text{ mL}}{(500 - 69,4) \text{ mL}} = \frac{69,4 \text{ mL}}{430,6 \text{ mL}}$$

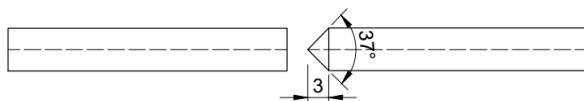
Spesimen uji dibedakan menjadi tiga bentuk yaitu; Spesimen  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ , dan  $\alpha_2$ . Penelitian yang dilakukan sebelumnya [12, 13] menunjukkan perbedaan hasil las dari spesimen yang berbeda parameter pengelasan dan bentuk ujung (*tip*) logam yang disambung. Berikut adalah dimensi dari material yang dimaksud sebelum dilakukan pengelasan:



**Gambar 1.** Spesimen  $\alpha_0$   
Tembaga (kiri) dan Kuningan (kanan)



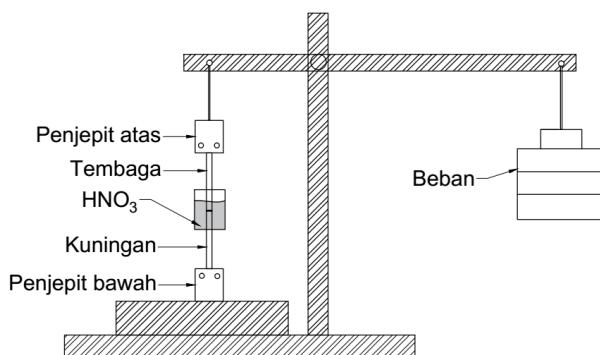
**Gambar 2.** Spesimen  $\alpha_1$   
Tembaga (kiri) dan Kuningan (kanan)



**Gambar 3.** Spesimen  $\alpha_2$   
Tembaga (kiri) dan Kuningan (kanan)

Hasil sambungan las inilah yang digunakan sebagai spesimen pengujian dalam penelitian ini. Semua proses pengelasan dan pengujian dilakukan pada suhu ruangan dan atmosfir normal.

Ada berbagai macam metode untuk menguji SCC, salah satunya adalah metode *constant load test* (CLT) [14, 15]. Metode CLT inilah yang digunakan dalam penelitian ini dengan rekayasa lingkungan. Keunggulan dari metode tersebut yaitu membutuhkan peralatan yang sederhana dengan biaya yang rendah, serta lokasi pengujian yang fleksibel [14]. Metode pengujian ini dapat mengukur nilai ambang batas stress/*Threshold* ( $\sigma_{th}$ ) dan waktu putus/*time to failure* ( $t_f$ ). Berikut adalah instalasi pengujian SCC;



**Gambar 4.** Instalasi alat uji SCC



**Gambar 5.** Foto alat uji SCC

Beban yang digunakan pada pengujian dalam bentuk bandul dengan berat 18kg. Pengujian SCC dilakukan dengan cara menempatkan spesimen kuningan pada penjepit bawah dan tembaga pada penjepit atas. Perlu dipastikan kedua penjepit mencekam spesimen dengan baik. *Stopwatch* dijalankan sesaat sebelum larutan korosif dituang kedalam bak penampung, karena larutan korosif akan segera bereaksi pada saat penuangan. Beban

pada mesin uji harus diletakkan secara perlahan-lahan agar spesimen tidak mengalami beban kejut yang dapat mempengaruhi kekuatan spesimen serta berpengaruh pada waktu patah spesimen. Berat beban tersebut selanjutnya dikonversi kedalam nilai tegangan atau beban aktual yang diterima oleh spesimen. Gaya aktual yang diterima oleh spesimen dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sum M_0 = 0 \quad (2)$$

$$(F_b \cdot 0,4m) + (F_1 \cdot 0,2m) - (F_2 \cdot 0,05m) - (F_a \cdot 0,1m) = 0$$

Keterangan:

$F_b$  = Gaya akibat beban ( $18\text{kg} \approx 176,5197\text{N}$ )

$F_1$  = Gaya dari 4/5 beban lengan pengungkit ( $2,25\text{kg} \approx 22,0649\text{N}$ )

$F_2$  = Gaya dari 1/5 beban lengan pengungkit ( $0,5625\text{kg} \approx 5,51624\text{N}$ )

Gaya aplikasi ( $F_a$ ) yang terjadi akibat beban 18kg adalah:

$$(176,5197\text{N} \cdot 0,4\text{m}) + (22,0649\text{N} \cdot 0,2\text{m}) - (5,5162\text{N} \cdot 0,05\text{m}) = F_a \cdot 0,1\text{m}$$

$$F_a = (74,34503\text{N} / 0,1)$$

$$F_a = 743,4503\text{N}$$

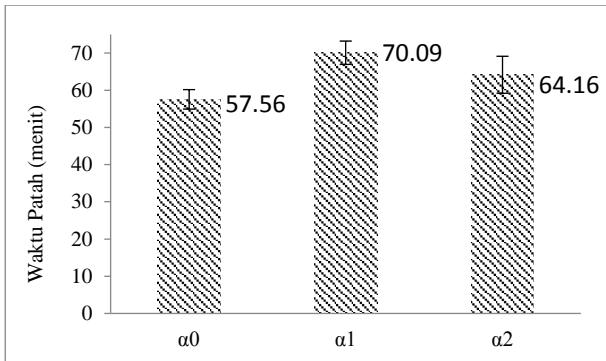
## Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pengujian kemudian dicatat dalam bentuk tabel hasil pengujian SCC variasi *surface preparation*. Berikut adalah tabel yang dimaksud:

**Tabel 2.** Data hasil pengujian

Percobaan ke-	Waktu patah (menit)		
	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
1	59,21	73,48	69,49
2	56,17	65,23	58,32
3	57,05	69,57	66,18
4	54,34	72,12	59,47
5	61,02	70,04	67,36
Rata-rata	57,56	70,09	64,16

Data pada tabel 2, diatas menunjukkan bahwa waktu patah tercepat terjadi pada spesimen  $\alpha_0$  percobaan ke-5 dan waktu patah terlama pada spesimen  $\alpha_1$  percobaan ke-1. Hasil rata-rata juga menunjukkan trend yang sama. Berikut adalah grafik yang diperoleh dari data hasil pengujian:

**Gambar 3.** Grafik variasi *surface treatment*

Gambar 3, diatas menunjukkan bentuk spesimen yang paling optimal dalam *surface preparation* pengelasan *dissimilar* antara tembaga dan kuningan berdiameter 1.6mm. Bentuk yang dimaksud adalah  $\alpha_1$  dimana terlihat hasil pengujian bentuk ini berada pada nilai tertinggi diikuti oleh spesimen  $\alpha_2$  dan yang terendah adalah  $\alpha_0$ . Spesimen  $\alpha_1$  yang berada pada nilai tertinggi dalam grafik berarti bahwa spesimen tersebut lebih tahan terhadap kondisi SCC. Karena sifat mampu las (*weldability*) tembaga untuk mesin CDW jenis ini lebih baik dan didukung oleh bentuk spesimen tembaga yang telah mengalami *surface preparation*, maka peleburan material menjadi lebih baik. Gambar 2, menunjukkan *surface preparation* yang diterapkan pada spesimen  $\alpha_1$ . Dengan bentuk tersebut maka diperoleh kualitas sambungan yang baik.

**Gambar 4.** Foto  $\alpha_0$ **Gambar 5.** Foto  $\alpha_1$ **Gambar 6.** Foto  $\alpha_2$ 

Pengamatan secara visual yang dilakukan pada gambar 4, 5 dan 6. Pengamatan tersebut menunjukkan bahwa hasil pengelasan yang paling baik adalah  $\alpha_1$  dimana peleburan  $\alpha_1$  terjadi secara maksimal, terbukti pada gambar 5, peleburan tembaga dan kuningan mempunyai *flash*, terlihat pula bekas patahan yang kokoh dimana kedua permukaan spesimen terdapat bercak patahan seperti pada kuningan banyak terdapat potongan tembaga dan begitu juga sebaliknya. Berbeda pada gambar 4 dan 6, menunjukkan peleburan yang tidak merata.

## Kesimpulan

Berdasar hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan geometri permukaan  $\alpha_1$  yakni dengan permukaan tembaga yang dilancipkan sementara permukaan kuningan dibiarkan tetap rata dapat diperoleh sambungan yang memiliki ketahanan terhadap SCC yang lebih baik. Hal ini disebabkan oleh peleburan antar muka yang lebih sempurna akibat geometri permukaan  $\alpha_1$ .

## Referensi

- [1] M. P. Groover, *Fundamentals of modern manufacturing, Material processing and Systems*, 4th ed. Jhon Wiley & Sons, Inc., 2010.
- [2] M. B. Kannan and P. K. Shukla, ‘Stress corrosion cracking (SCC) of copper and copper-based alloys’, *Stress Corros. Crack.*, no. 1998, pp. 409–426, 2011.
- [3] N. Scotchmer, ‘The Current Rise in the Use of Capacitor Discharge Welding’, *Weld. J.*, vol. 94, no. 2, pp. 32–36, 2015.
- [4] I. V. Ryakhovskikh, R. I. Bogdanov, and V. E. Ignatenko, ‘Intergranular stress corrosion cracking of steel gas pipelines in weak alkaline soil electrolytes’, *Eng. Fail. Anal.*, vol. 94, no. July, pp. 87–95, 2018.
- [5] X. He, C. Yinghao, L. Gangbo, and W. Shuai, ‘Crack Growth Driving Force at Tip of Stress Corrosion Cracking in Nuclear Structural Materials at Initial Stage’, *Rare Met. Mater. Eng.*, vol. 47, no. 8, pp. 2365–2370, 2018.
- [6] X. Liu and K. F. Chung, ‘Experimental and

- numerical investigation into temperature histories and residual stress distributions of high strength steel S690 welded H-sections’, *Eng. Struct.*, vol. 165, no. December 2017, pp. 396–411, 2018.
- [7] D. Du *et al.*, ‘SCC crack growth rate of cold worked 316L stainless steel in PWR environment’, *J. Nucl. Mater.*, vol. 456, pp. 228–234, 2015.
- [8] R. G. Metcalfe and N. Pearce-Boltec, ‘Stress corrosion cracking of a copper elbow fitting’, *Eng. Fail. Anal.*, vol. 90, no. September 2017, pp. 197–201, 2018.
- [9] P. Y. Nugraha and A. P. Bayuseno, ‘Analisis Stress Corrosion Cracking Logam Kuningan dengan Metode U-Bend pada media Korosi Sodium Nitrat dan Mattsson PH=7,2’, *J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 1, pp. 67–76, 2014.
- [10] A. P. Bayuseno and To'in, ‘Analisis Stress Corrosion Cracking Aisi 430 Dengan Variasi Pembebanan Pada Media Korosi HCl 0 , 8 M’, *ROTASI*, vol. 14, pp. 13–23, 2012.
- [11] T. Moss, W. Kuang, and G. S. Was, ‘Stress corrosion crack initiation in Alloy 690 in high temperature water’, *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 16–25, 2018.
- [12] J. E. Gould and S. Lewis, ‘Development of an Open Architecture Capacitive Discharge Welding System’.
- [13] A. Magda, M. Burca, and M. Lego, ‘Research Regarding Capacitor Discharge Stud Welding with Tip Ignition on Galvanized Thin Sheets Research Regarding Capacitor Discharge Stud Welding with Tip Ignition on Galvanized Thin Sheets’, in *Materials Science and Engineering PAPER*, 2018, p. 416.
- [14] W. Dietzel and P. B. Srinivasan, ‘Testing and evaluation methods for stress corrosion cracking (SCC) in metals’, in *Stress corrosion cracking: Theory and practice*, 2011, pp. 133–166.
- [15] T. Chida, Y. Hagihara, E. Akiyama, K. Iwanaga, and S. Takagi, ‘Comparison of Constant Load, SSRT and CSRT Methods for Hydrogen Embrittlement Evaluation Using Round Bar Specimens of High Strength Steels’, *ISIJ Int.*, vol. 56, no. December 2016, pp. 26–31, 2016.