

PENGARUH VARIASI TEGANGAN DAN WAKTU PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIS PADA PENGELASAN SPOT WELDING SAMBUNGAN DISSIMILAR TEMBAGA DAN STAINLESS STEEL 304

Wahyu Budi Santoso^a, Aris Widyo Nugroho^b, Muh. Budi Nur Rahman^c

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

wahyubs355@gmail.com, nugrohoaris@gmail.com, nurrahman_umy@yahoo.co.id

Abstrak

Proses penyambungan menggunakan metode pengelasan titik material logam tak sejenis telah banyak dilakukan. Penggunaan variasi tegangan dan waktu pengelasan akan mempengaruhi kualitas hasil dari sambungan las itu sendiri. Pengaturan parameter tegangan dan waktu pengelasan yang tepat akan menghasilkan kualitas sambungan yang baik. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan waktu pengelasan terhadap kekuatan tarik, nilai kekerasan dan struktur mikro sambungan tembaga dan stainless steel 304. Variasi tegangan yang digunakan adalah 2.02 V dan 2.30 V dan waktu yang digunakan adalah 4 detik, 5 detik dan 6 detik pada tiap variasi tegangannya. Spesimen uji menggunakan material tembaga dan *stainless steel 304* dengan ketebalan masing-masing plat 1mm dan ukuran panjang 100 mm x lebar 30 mm. Penelitian ini menggunakan jenis lapjoin dengan posisi tembaga diatas dan *stainless steel 304* dibawah. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa pengaruh variasi tegangan dan waktu pengelasan mengakibatkan terjadinya perubahan ukuran butir menjadi lebih besar pada daerah HAZ dan weld metal. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah weld metal yaitu: ± 79.1 HV pada tembaga dan ± 240 HV pada stainless steel 304. Nilai kapasitas beban tarik-geser tertinggi yaitu pada tegangan 2.30 V dan waktu 5 detik dengan nilai sebesar 1.2 kN dan nilai kapasitas beban tarik-geser terendah yaitu pada tegangan 2.03 V dan waktu 6 detik dengan nilai sebesar 0.37 kN, artinya semakin tinggi tegangan listrik yang diberikan maka kapasitas beban tarik-geser akan semakin tinggi. Parameter variasi tegangan dan waktu pengelasan sangat berpengaruh terhadap nilai beban tarik, struktur mikro dan kekerasan.

Kata kunci: Las titik (spot welding), tembaga, stainless steel 304, struktur mikro, kekerasan, kapasitas beban tarik-geser.

Abstract

The joining process using the method of spot welding of dissimilar metal materials has been carried out. The use of welding voltage and time variations will affect the quality of the results of the welding connection itself. Setting the voltage parameters and the right welding time will produce a good connection quality. The purpose of this study is to determine know the influence of variations in voltage and welding time on tensile strength, hardness values and microstructure of copper and stainless steel 304 joints. The voltage variations used are 2.02 V and 2.30 V and the time used are 4 seconds, 5 seconds and 6 seconds for each voltage variation. Test specimens using copper and stainless steel 304 material with a thickness of 1mm each plate and a length of 100 mm x width 30 mm. This research uses lapjoin type with copper position above and stainless steel 304 below. The results of microstructure testing show that the effect of stress variations and welding time causes changes in grain size to be greater in the HAZ and weld metal regions. The highest hardness values are in the weld metal area, namely: ± 79.1 HV in copper and ± 240 HV in stainless steel 304. The highest value of the tensile load capacity is at 2.30 V voltage and 5 seconds with a value of 1.2 kN and the value of the tensile load capacity -the lowest shift is at a voltage of 2.03 V and a time of 6 seconds with a value of 0.37 kN, meaning that the higher the applied voltage, the higher the drag load capacity will be. The variation parameters of welding stress and time greatly affect the value of tensile load, microstructure and hardness.

Keywords: Spot welding, copper, stainless steel 304, microstructure, hardness, shear drag capacity.

1. PENDAHULUAN

Las titik (*spot welding*) merupakan cara pengelasan dimana permukaan plat yang disambung ditekan dengan dialiri arus listrik yang besar melalui elektroda logam yang saling bersinggungan. Las titik merupakan salah satu proses yang tepat untuk diterapkan dalam industri otomotif. Metode ini dipilih karena dalam penyambungan lembaran plat tipis dapat mempersingkat waktu dan meningkatkan proses produksi. Selain itu keunggulan las titik yaitu proses yang cepat, mudah dan biaya yang ringan. Sebagai contoh penerapan las titik dalam industri yaitu pada konstruksi perkapalan, gerbong dan pintu kereta, industri karoseri atau *body* mobil, dan lain sebagainya (Ruukki, 2007).

Dalam proses pengelasan titik yaitu penyambungan dua plat logam atau lebih terdapat banyak faktor yang harus di perhatikan. Arus pengelasan, tahanan listrik dan waktu pengelasan merupakan faktor utama pengelasan pengelasan titik (Amsted, B.h., 2005). Faktor-faktor tersebut dapat mempengaruhi kualitas sambungan las yang terbentuk.

Namun tidak menutup kemungkinan ada faktor-faktor lain yang juga dapat mempengaruhi kualitas hasil pengelasan, salah satunya adalah siklus pengelasan. Dalam siklus pengelasan terdiri dari tiga siklus salah satunya adalah *holding time*. *Holding time* adalah waktu dimana gaya tekan tetep dipertahankan setelah arus berhenti supaya logam las membeku dan menghasilkan sambungan yang kuat.

Penyambungan material logam tidak sejenis lebih sulit daripada penyambungan logam sejenis karena sifat thermal yang berbeda dari masing-masing logam, serta parameter yang digunakan belum mendapatkan pengaturan yang sesuai (Mustakim dkk, 2017). Hasil dari sambungan las titik (*spot welding*) tidak hanya dipengaruhi oleh jenis material, tetapi juga dipengaruhi oleh beberapa parameter-parameter lain. Ada beberapa jenis material yang digunakan untuk pengelasan, dan jenis paling umum digunakan adalah baja dan paduan aluminium (Faozi, 2015).

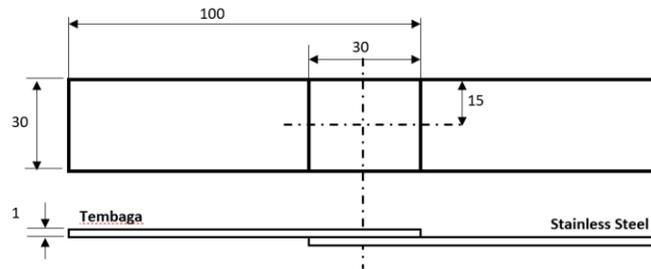
Meskipun baja adalah bahan utama yang digunakan dalam produksi mobil, bahan seperti aluminium, magnesium, plastik, dan komposit juga digunakan untuk mengurangi berat dari kendaraan. Karena ringan, daya tahan tinggi terhadap korosi, perawatan murah, dan mudah diperbaiki, penggunaan paduan aluminium telah banyak digunakan (Hayat, 2010). Tiga parameter utama dari las titik adalah arus pengelasan, waktu pengelasan dan gaya tekan elektroda. Variasi parameter ini sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik geser, kekerasan serta struktur mikro (Arumugam & Nor, 2015).

Penelitian tentang penyambungan dengan metode las titik (*spot welding*) pada material sejenis maupun tidak sejenis dengan mem-variasikan waktu pengelasan sudah banyak mendapat perhatian. Waluyo (2013) melakukan penelitian terhadap parameter tebal plat dan lama waktu penekanan las terhadap kekerasan permukaan, kekuatan tarik dan struktur mikro dengan sambungan *lap joint* untuk mencari tahu kualitas pengelasan titik terbaik pada material aluminium.

Dari uraian latar belakang diketahui bahwa penelitianx dengan menggunakan metode *spot welding dissimilar* material masih sedikit dilakukan dan belum didapatkan hasil yang optimal pada sambungan, maka didapatkan perumusan masalah yang harus diteliti tentang bagaimana pengaruh variasi tegangan dan waktu penekanan terhadap kapasitas beban tarik, kekerasan dan struktur mikro pada sambungan las metode *spot welding dissimilar* material antara tembaga dengan *stainless steel 304*.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan plat tembaga (CU) dan SS304 lembaran yang dipotong dengan ukuran 100 mm x 30 mm. Setelah spesimen dipotong kemudian disusun secara overlap dimana spesimen yang di atas adalah tembaga dan spesimen yang di bawah adalah stainless steel 304, seperti di tunjukan pada Gambar 1.



Gambar 1. Susunan plat sambungan lap joint (standart AWS D8.9-97)

2.1 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian metalografi ini dilakukan untuk menganalisa sifat mekanik dari suatu material, yang dilihat pada pengujian ini adalah struktur mikro pada daerah logam induk (*base metal*), HAZ (*heat affected zone*) dan logam las (*weld metal*) yang didapat menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran tertentu berdasar dari standar pengujian ASTM 407-07. Beberapa persiapan yang dilakukan sebelum melakukan pengujian yaitu memotong sambungan las dengan bentuk melintang. Setelah spesimen dipotong kemudian diampelas secara bertahap hingga permukaan yang akan diuji halus kemudian dilakukan proses pengetsaan. Etsa yang digunakan untuk pengamatan ini yaitu HNO₃ dan HCL dengan perbandingan 30 : 70. Setelah dilakukan pengetsaan spesimen dikeringkan dengan tisu dan kemudian dilakukan pengujian struktur mikro dilaboratorium mikro Teknik Mesin UMY.

2.2 Pengujian Kekerasan

Penelitian ini menggunakan pengujian kekerasan metode *Vickers*. Beban penekanan yang digunakan untuk pengujian kedua material sebesar 200 gf atau 1,961 N dengan waktu penekanan selama 5 detik. Hasil penekanan akan terbentuk sesuai indenter dari metode *Vickers* dan panjang dari diagonal-diagonalnya digunakan untuk menentukan nilai kekerasas *micro Vickers*.

Nilai kekerasan dari metode *Vickers* dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$HV = 1,854 \frac{P}{d^2}$$

Dengan HV = Angka kekerasan *Vickers*

P = Beban (kg)

d = Diagonal, rata-rata ukuran dari bekas injakan d₁ dan d₂ (mm)

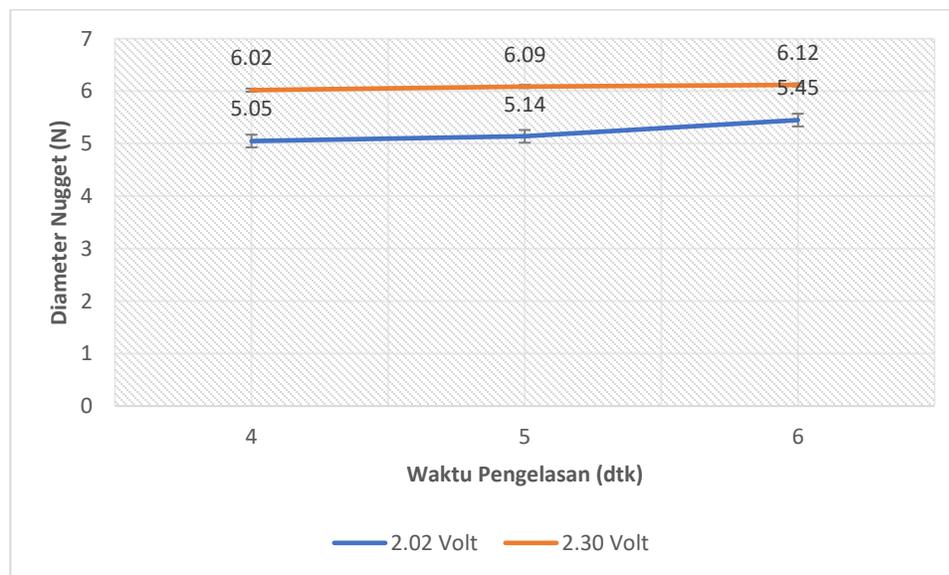
2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan waktu pengelasan terhadap *tensile load bearing capacity* (TLBC) atau kapasitas beban tarik sambungan las *spot welding* pada material tak sejenis antara tembaga dengan *stainless steel 304*.

Pengujian ini dilakukan di laboratorium pengelasan BLK Surakarta dengan menggunakan *universal testing machine* (UTM) type *instron 3367*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil menunjukkan bahwa diameter *nugget* mengalami peningkatan dari setiap variasi tegangan dan waktunya. Dari data yang diperoleh diketahui bahwa ukuran diameter *nugget* rata-rata yaitu sebesar 5.05 mm pada tegangan 2.02V dengan waktu 4 detik, sebesar 5.15 mm pada tegangan 2.02V dengan waktu 5 detik, sebesar 5.54 mm pada tegangan 2.02V dengan waktu 6 detik, sebesar 6.02 mm pada tegangan 2.30V dengan waktu 4 detik, sebesar 6.09 mm pada tegangan 2.30V dengan waktu 5 detik, sebesar 6.12 mm pada tegangan 2.30V dengan waktu 6 detik. Hasil ukuran diameter *nugget* dapat dilihat pada Gambar 2.

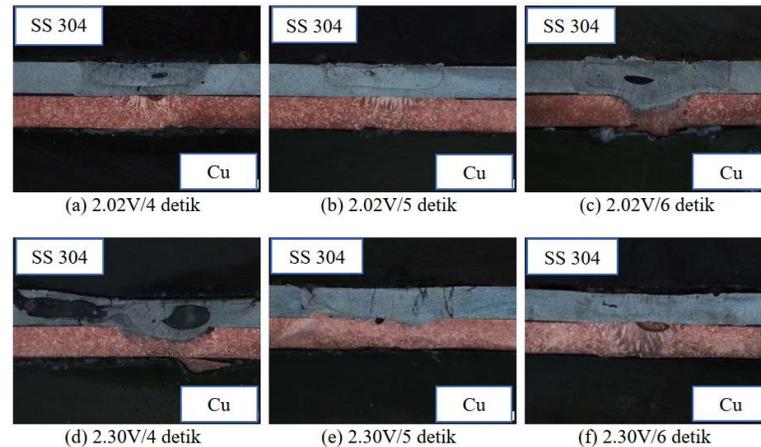


Gambar 2. Grafik ukuran diameter *nugget* tiap variasi las *spot welding*

3.1 Hasil Pengujian Struktur Mikro dan Makro

❖ Hasil foto makro

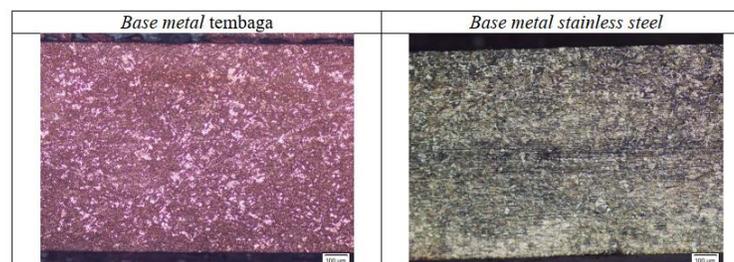
Hasil pengamatan dari foto makro menunjukkan bahwa pengelasan dengan metode *spot welding* pada tegangan 2.30V terdapat lubang dan retak pada daerah *nugget* sedangkan pada tegangan 2.02V hasil lasan cenderung lebih baik meskipun ada sedikit lubang pada daerah *nugget*. Hasil pengujian struktur makro setiap variasi tegangan dan waktu pengelasan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil struktur makro sambungan las *spot welding*

❖ Hasil foto pengujian struktur mikro

Hasil pengamatan menunjukkan foto struktur mikro dari pada daerah logam induk (*base metal*) tembaga dan *stainless steel 304*. Pada logam induk tembaga terdapat unsur kandungan Zn sehingga dapat disimpulkan bahwa jenis tembaga yang digunakan adalah paduan Cu-Zn. Sedangkan pada logam induk *stainless steel 304* terdapat struktur mikro jenis *austenite* dan *karbida*, hal ini dikarenakan *stainless steel 304* merupakan logam induk jenis baja tahan karat *austenite*. Hasil pengujian struktur mikro *base metal* dapat dilihat pada Gambar 4.



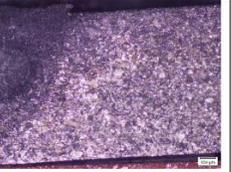
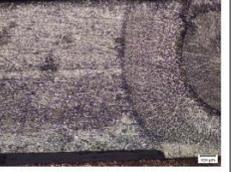
Gambar 4. Struktur mikro logam induk tembaga dan *stainless steel 304*

Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pada daerah HAZ tembaga dan *stainless steel 304* mengalami perubahan ukuran butir lebih besar dibandingkan pada logam induk. Hal ini terjadi karena masukan panas yang diterima pada daerah HAZ semakin besar, selain itu daerah HAZ juga mengalami siklus pemanasan yang cepat sehingga mengakibatkan butiran menjadi lebih besar dan mengakibatkan daerah HAZ menjadi getas (Raharjo & Ariawan, 2005).

Pengamatan struktur mikro pada daerah HAZ tembaga mengalami pertumbuhan butir yang signifikan pada saat pengelasan. Butir-butir logam las mengalami pengasaran dan pembesaran dikarenakan pengaruh panas yang berlangsung saat pengelasan semakin kasar butiran tersebut yang menunjukkan tingkat kekerasannya menurun (Hermawan, 2016). Pengamatan struktur mikro pada daerah HAZ *stainless steel 304* dominan *austenite* (berwarna terang) dengan ukuran butir besar Gambar 5. meunjukkan ukuran butir mengalami pembesaran seiring meningkatnya tegangan dan waktu pengelasan yang diberikan. Tingkat masukan panas yang tinggi siklus termal lebih panjang dan

cenderung menghasilkan struktur mikro kasar. Tingginya masukan panas yang diberikan menyebabkan proses pendinginan (*solidifikasi*) lambat yang mengakibatkan daerah HAZ lebar dan butiran struktur mengalami pembesaran (Kuntoro dkk, 2017).

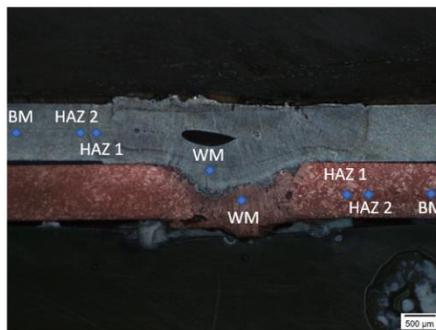
Weld metal merupakan bagian dari daerah las yang mencair kemudian membeku pada saat proses pengelasan setelah mengalami proses pendinginan (*solidifikasi*). Hasil penelitian uji struktur mikro menunjukkan bahwa tegangan dan waktu pengelasan berpengaruh terhadap struktur mikro pada sambungan las metode *spot welding* antara tembaga dengan *stainless steel 304*. Foto hasil pengamatan struktur mikro daerah HAZ dan *weld metal* dapat dilihat pada Gambar 5.

Tegangan dan Waktu	Weld Metal	HAZ (<i>Heat Affected Zone</i>)	
		Tembaga	Stainless Steel 304
2.02V/4 detik			
2.02V/5 detik			
2.02V/6 detik			
2.30V/4 detik			
2.30V/5 detik			
2.30V/6 detik			

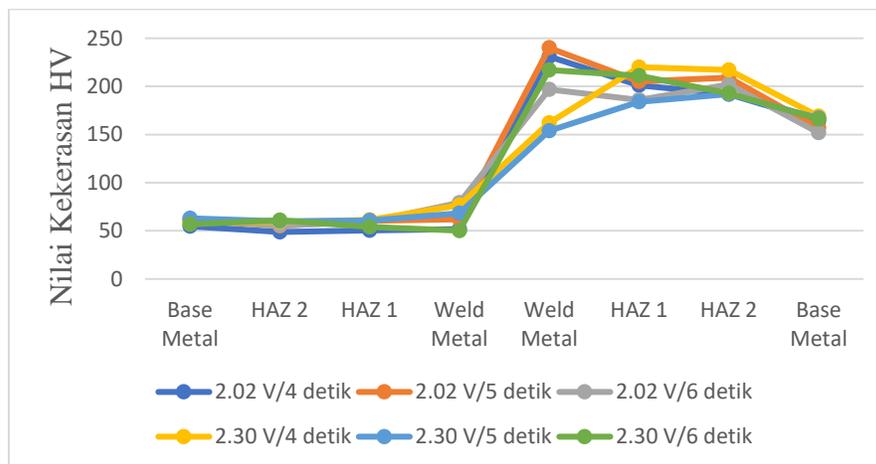
Gambar 5. Foto struktur mikro daerah HAZ dan *weld metal*

3.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro ini dilakukan untuk mengetahui nilai distribusi kekerasan pada tiap spesimen pengelasan, dimana daerah yang akan diuji yaitu terdiri dari *weld metal*, HAZ, dan logam induk (*base metal*) (Aji, 2015). Penitikan pada spesimen dilakukan sebanyak 8 kali yang meliputi daerah *weld metal*, HAZ, dan logam induk yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Posisi penitikan indentasi untuk pengujian kekerasan

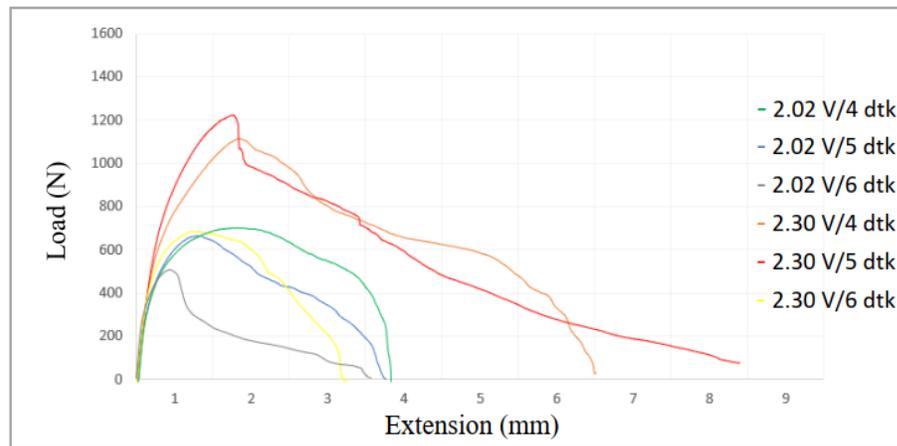


Gambar 7. Grafik hubungan antara kekerasan dengan tegangan dan waktu pengelasan

Dari grafik pada Gambar 7. dapat dilihat bahwa nilai kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ mengalami kenaikan dan penurunan seiring bertambahnya variasi tegangan dan waktu yang digunakan pada pengelasan. Meningkatnya nilai kekerasan disebabkan karena masukan panas dan pendinginan cepat yang terjadi pada saat proses pengelasan (Hendrawan & Rusmawan, 2014). Menurunnya nilai kekerasan disebabkan karena semakin besar kuat arus dan waktu yang digunakan maka masukan panas akan menjadi besar dan pendinginan yang terjadi berjalan dengan lambat (Faozi, 2015).

3.3 Hasil Pengujian Tarik-Geser

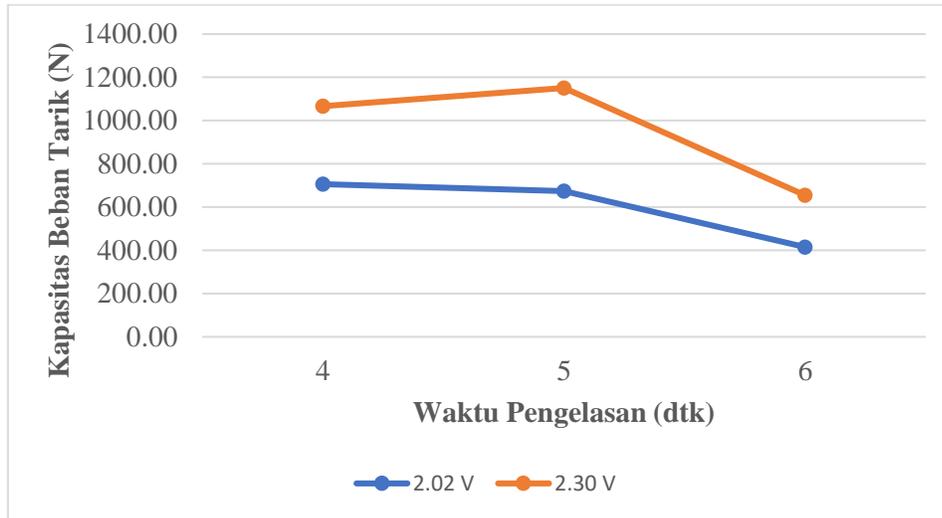
Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan dan waktu pengelasan terhadap *tensile load bearing capacity* (TLBC) atau kapasitas beban tarik sambungan las *spot welding* pada material tak sejenis antara tembaga dengan *stainless steel 304*. Pengujian ini dilakukan di laboratorium pengelasan BLK Surakarta dengan menggunakan *universal testing machine* (UTM). Hasil pengujian tarik tertinggi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik pengujian tarik tertinggi pada tiap variasi tegangan dan waktu pengelasan

Table 1 Nilai beban, luas *nugget*, dan kekuatan geser tiap variasi tegangan dan waktu pengelasan

Tegangan dan Waktu (V/dtk)	Kapasitas Beban Tarik (N)	Luas Nugget (mm ²)	rata-rata	Kekuatan Geser (N/mm ²)	rata-rata	Kegagalan Uji Tarik
2.02/4	708.17	20.58	20.05 ± 0.75	34.41	35.21 ± 1.14	<i>Interface Failure</i>
	703.09	19.52		36.02		
2.02/5	654.26	20.10	20.29 ± 0.26	32.55	33.23 ± 0.96	<i>Interface Failure</i>
	693.99	20.47		33.90		
2.02/6	376.09	19.52	19.92 ± 0.56	19.27	20.81 ± 2.19	<i>Interface Failure</i>
	454.17	20.31		22.36		
2.30/4	1001.60	29.47	29.06 ± 0.59	33.99	36.77 ± 3.93	<i>Interface Failure</i>
	1132.59	28.64		39.55		
2.30/5	1213.12	28.70	28.93 ± 0.32	42.27	39.81 ± 3.48	<i>Interface Failure</i>
	1088.66	29.15		37.35		
2.30/6	706.70	28.57	29.02 ± 0.64	24.74	22.59 ± 3.04	<i>Interface Failure</i>
	602.27	29.47		20.44		

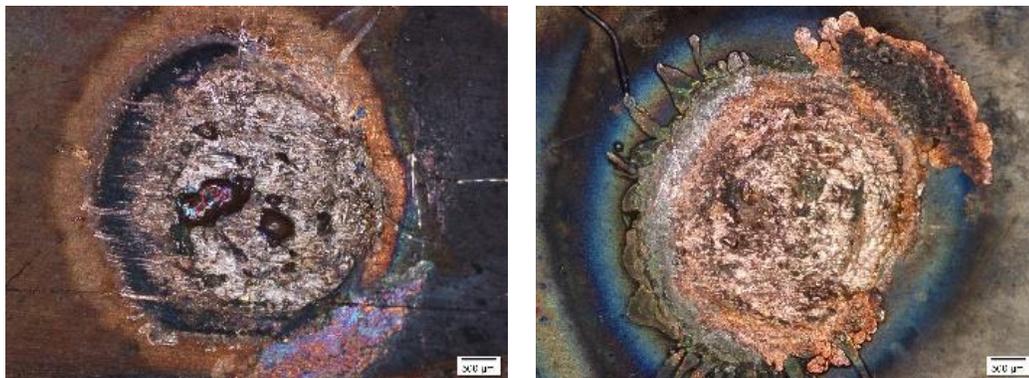


Gambar 9. Grafik kapasitas beban tarik tegangan 2.02 V dan 2.30 V

Dari data pengujian tarik menunjukkan bahwa nilai beban tarik tertinggi terdapat pada variasi tegangan 2.30 V dan waktu 5 detik yaitu sebesar 1213.12 N dengan nilai kekuatan geser rata-rata 39.81 (N/mm²). Dika dkk, (2019) memaparkan bahwa penurunan nilai kekuatan geser juga dapat disebabkan oleh heat input atau masukan panas yang semakin tinggi seiring meningkatnya variasi tegangan dan waktu yang diberikan sehingga menghasilkan logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan. Hasil kegagalan pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 10.



(a) 2.02V/4 dtk



(b) 2.30V/4 dtk

Gambar 10. Hasil patahan pengujian tarik-geser perbesaran (20x)

Mode kegagalan yang didapatkan pada penelitian ini adalah *interface failure* (IF) pada setiap variasi tegangan dan waktu yang digunakan. *Interface failure* yaitu mode kegagalan yang terjadi melalui perambatan retak melewati nugget, sedangkan *pollout failure* adalah mode kegagalan yang terjadi melewati penarikan *nugget* (Kuntoro dkk, 2017).

4. Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh variasi tegangan dan waktu pengelasan terhadap kapasitas beban tarik, kekerasan dan struktur mikro sambungan las metode *spot welding* antara tembaga dengan *stainless steel 304* telah selesai dilakukan dan dari analisis data didapat hasil sebaga berikut:

1. Pengamatan struktur mikro menunjukkan daerah HAZ tembaga dan *stainless steel 304* mengalami pembesaran ukuran butir. Pada daerah HAZ *stainless steel 304* terdapat struktur *austenite* yang mempunyai ukuran lebih besar dibanding pada logam induk, sedangkan pada daerah HAZ tembaga terdapat unsur kandungan Zn sehingga dapat disimpulkan bahwa tembaga yang digunakan adalah paduan Cu-Zn.
2. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah weld metal dimana pada daerah tersebut mengalami siklus termal. Daerah weld metal memiliki butiran struktur yang lebih besar dibandingkan daerah lainnya yang membuat nilai kekerasan menjadi lebih tinggi.
3. Nilai kapasitas beban tarik mengalami penurunan pada variasi 2.02 V seiring lamanya waktu pengelasan yang digunakan, akan tetapi pada variasi tegangan 2.30 V dengan waktu 4 detik menuju 5 detik mengalami kenaikan nilai pembebanan tarik. Nilai pembebanan tarik tertinggi terdapat pada variasi tegangan 2.30 V dengan waktu 5 detik sebesar 1213.12 N.

Berdasarkan dari pengalaman penulis yang didapatkan selama pelaksanaan penelitian, dalam penggunaan mesin las RSW tipe DN-16-1 proses pendinginan yang terdapat pada mesin las harus berjalan dengan normal agar tidak mempengaruhi hasil dari lasan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aji, WC. (2015). *Pengaruh Arus Listrik dan Jenis Gas Pelindung Terhadap Sifat Fisik Mekanik Sambungan Spot TIG Welding Logam Tak Sejenis Antara Baja dan Paduan Aluminium*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [2] Amsted B.H., Ostwald, Philip, Djaprie S., 2005. *Teknologi Mekanik*. (Penerjemah Sriati Djaprie Edisi ke-7 jilid 1). Erlangga, Jakarta
- [3] Faozi, S. (2015). *Pengaruh Arus Listrik dan Holding Time Terhadap Sifat Fisik-Mekanik Sambungan Spot TIG Welding Material Tak Sejenis antara Baja dan Paduan Aluminium*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [4] Hendrawan, MA., dan Rusmawan, DD. (2014). Studi Pengaruh Arus dan Waktu Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Titik (Spot Welding) Logam Tak Sejenis. *Simposium Nasional Teknologi Terapan*, 6-13.
- [5] Kuntoro, A. A., Triyono, & Sukanto, H. (2017). Pengaruh pre-strain dan tegangan listrik terhadap sifat fisik mekanik dan korosi sambungan las titik (RSW) logam beda jenis antara AISI 430 dan JSL AUS (J1). *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 63-70.
- [6] Mustakim., Kartikasari, R., Permana, BW. (2017). Pengaruh Arus dan Waktu Spot Welding Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Dissimilar AISI 1003 dengan AISI 1025. 968-972.
- [7] Raharjo, W. P., & Ariawan, D. (2005). Pengaruh Welding Time terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan , Sambungan Lap Baja Tahan Karat Feritik AISI 430 dengan Metode Resistance Spot Welding. *Mekanika*.
- [8] Ruukki, 2007, *Resistance Welding Manual*, Rautaruukki Corporation, Finlandia. Silaban, V., Waskito, & Purwantono. (2016). PENGARUH PARAMETER PENGELASAN SPOT WELDING. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesi*
- [9] Waluyo, J. (2013). *Pengaruh Tebal Pelat Aluminium dan Lama Penekanan pada Pengelasan Titik Terhadap Sifat Fisis, Mekanis dan Efisiensi Panas*, 56-64.