

## BAB IV

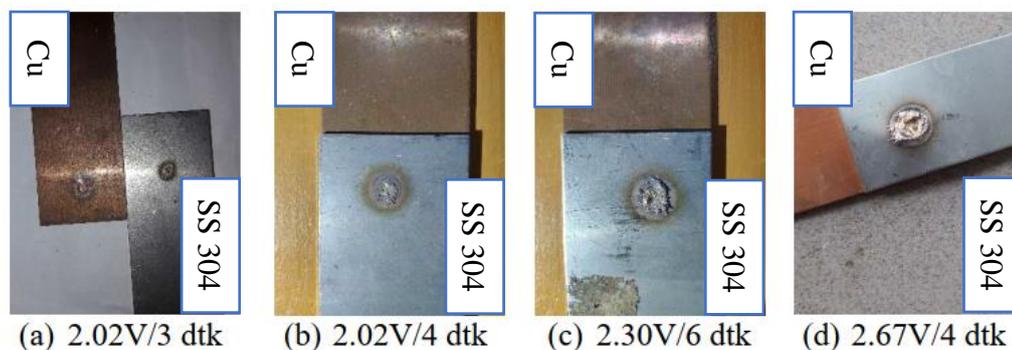
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan metode *spot welding* untuk menggabungkan dua material yang berbeda yaitu tembaga dan *stainless steel 304*. Variasi parameter yang digunakan adalah tegangan dan waktu pengelasan, dimana waktu yang digunakan sama pada setiap variasi tegangan. Tujuan dari variasi tersebut untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari hasil sambungan las *spot welding*. Sifat fisik dan mekanik didapat dengan melakukan beberapa tahapan pengujian yaitu kapasitas beban tarik, pengamatan foto metalografi dan kekerasan. Data-data yang telah diperoleh dari pengujian tersebut kemudian dianalisa dan dibahas untuk memperoleh kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

#### 4.1 Hasil Pengelasan

Pengelasan dengan metode *spot welding* pada dua material tidak sejenis antara tembaga dan *stainless steel 304* belum pernah dilakukan sebelumnya, maka dilakukan beberapa percobaan pengelasan untuk menentukan variasi variabel waktu penekanan yang akan digunakan terhadap spesimen tugas akhir mulai dari tegangan 2.02 V, 2.30 v dan 2.67 V sedangkan waktu yang digunakan adalah 3 detik, 4 detik, 5 detik dan 6 detik. Dengan melakukan beberapa percobaan pengelasan yang dilakukan sebelumnya, percobaan pertama menggunakan variasi tegangan 2.02 V dengan waktu 3 detik, pada percobaan ini material tembaga dan *stainless steel 304* tidak melebur sempurna atau penetrasi yang dihasilkan kurang dalam sehingga hasil lasan kurang kuat dan mudah terlepas. Percobaan kedua menggunakan variasi tegangan 2.02 V dan 2.30 V dengan waktu 4 detik, 5 detik dan 6 detik, pada percobaan ini material tembaga dan *stainless steel 304* melebur dengan baik sehingga hasil sambungannya cukup kuat. Percobaan ketiga menggunakan variasi tegangan 2.67 V dengan waktu 4 detik, pada percobaan ini material *stainless steel 304* jebol dikarena tidak mampu menahan tegangan 2.67 V dengan waktu 4 detik karena heat input (masukan panas) yang diberikan melebihi

titik lebur dari material tersebut. Hasil dari percobaan pengelasan antara tembaga dengan stainless steel dapat dilihat pada Gambar 4.1.

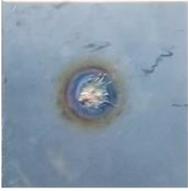
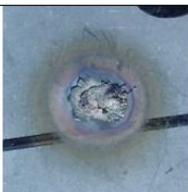
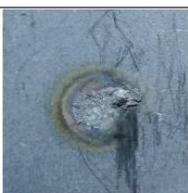
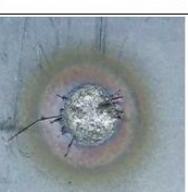


**Gambar 4.1** Hasil percobaan pengelasan *spot welding* antara tembaga dengan SS 304

Berdasarkan dari beberapa hasil percobaan, penelitian ini akan menggunakan parameter tegangan 2.02 V dan 2.30 V dengan waktu penekanan 4 detik, 5 detik dan 6 detik dan pembebanan yang digunakan sebesar 15 kg. Penelitian ini setiap variasi pengelasannya memerlukan 4 buah spesimen sambungan las, 3 spesimen digunakan untuk pengujian tarik dan 1 spesimen digunakan untuk uji struktur mikro dan uji kekerasan.

Waktu penekanan merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap hasil dari diameter *nugget* lasan dimana ketika waktu yang diberikan semakin besar akan membuat ukuran diameter *nugget* semakin besar. Raharjo & Ariawan (2005) meneliti bahwa bertambahnya waktu pengelasan maka bertambah juga *heat input* (masukan panas), masukan panas tersebut akan mengakibatkan logam mencair dan terjadi penekanan oleh gaya elektroda sehingga diameter *nugget* yang dihasilkan semakin besar. Selain itu Faozi (2015) juga menyatakan bahwa diameter *nugget* meningkat ukurannya karena *heat input* (masukan panas) yang dihasilkan berbeda pada setiap variasi. Besarnya *heat input* (masukan panas) akan berbanding lurus dengan kenaikan waktu pengelasan yang digunakan. Table 4.1 menunjukkan *nugget* dari hasil lasan pada setiap variasi dan Gambar 4.2 menunjukkan metode dari pengukuran diameter *nugget* hasil lasan.

**Tabel 4.1** Nugget lasan tembaga dengan SS 304 dilihat dari sisi SS 304

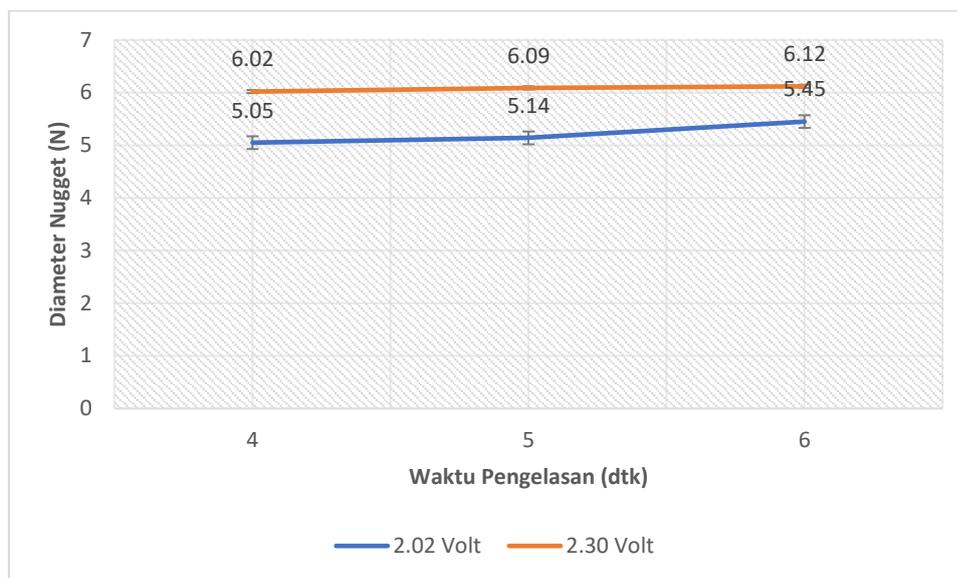
Nugget		Spesimen			
		1	2	3	4
Variasi Tegangan dan Waktu	2.02V/ 4 detik				
	2.02V/5 detik				
	2.02V/6 detik				
	2.30V/4 detik				
	2.30V/5 detik				
	2.30V/6 detik				



**Gambar 4.2** Metode pengukuran diameter *nugget* hasil *las spot welding* pada sisi permukaan SS 304

**Tabel 4.2** Ukuran diameter *nugget* pada setiap variasi pengelasan pada sisi permukaan SS 304

Tegangan dan Waktu (V/dtk)	Spesimen	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	rata-rata (mm)	St Dev (mm)
2.02/4	1	5.28	5.12	4.96	5.05	0.13
	2	5.14	5.08	4.74		
	3	5	5.04	4.98		
	4	5.08	5.14	5.02		
2.02/5	1	5.16	5.1	4.92	5.14	0.09
	2	5.06	5.12	5.14		
	3	5.22	5.14	5.24		
	4	5.24	5.2	5.18		
2.02/5	1	5.02	4.96	4.98	5.54	0.53
	2	5.14	5.08	5.04		
	3	6.02	5.94	5.88		
	4	6.18	6.06	6.12		
2.30/4	1	6.24	6.16	5.98	6.02	0.30
	2	6.14	6.02	5.96		
	3	6.16	5.12	6.04		
	4	6.14	6.18	6.1		
2.30/5	1	5.98	6.06	6.1	6.09	0.11
	2	5.92	6.14	6.22		
	3	6.2	6.24	6.16		
	4	5.96	6	6.12		
2.30/6	1	6.12	6.08	6.2	6.12	0.07
	2	6.16	6.1	6.12		
	3	6.08	6.14	6.04		
	4	5.96	6.2	6.18		

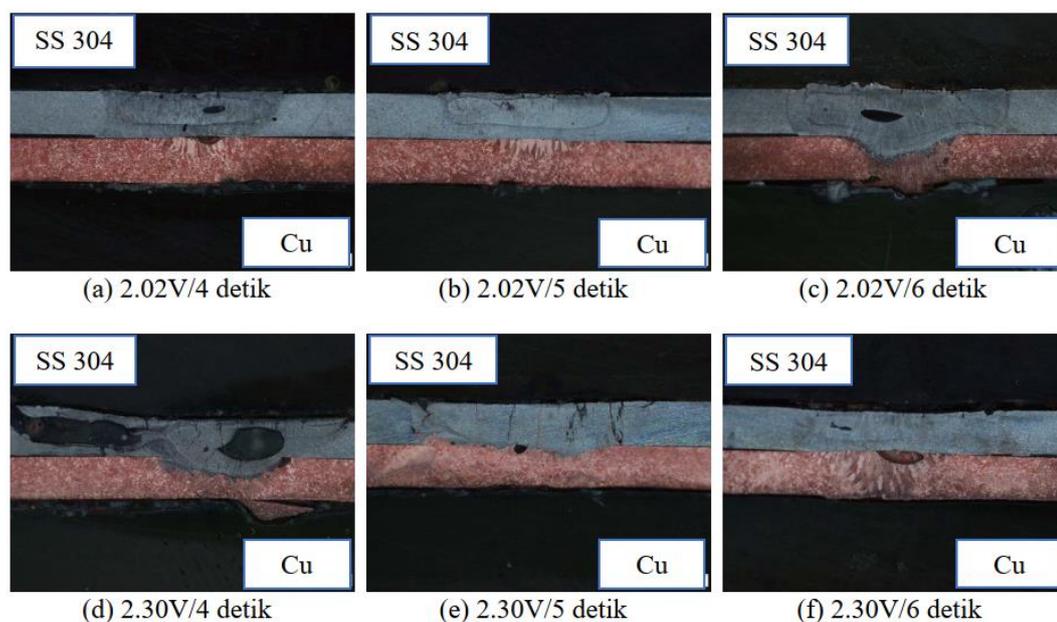


**Gambar 4.3** Ukuran diameter *nugget* tiap variasi las *spot welding*

Gambar 4.3 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. Subrammanian dkk (2015) diameter *nugget* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kuat arus yang digunakan, akan tetapi pada kuat arus tertentu nilai diameter *nugget* menurun yakni pada kuat arus tertinggi. Dari data pengukuran diameter *nugget* dapat disimpulkan bahwa nilai diameter terkecil pada variasi tegangan 2.02V dengan waktu 4 detik dan nilai diameter tertinggi pada variasi tegangan 2.30V dengan waktu 6 detik. Semakin tinggi variasi tegangan dan waktu pengelasan yang diberikan maka semakin tinggi pula nilai diameter *nugget* yang dihasilkan.

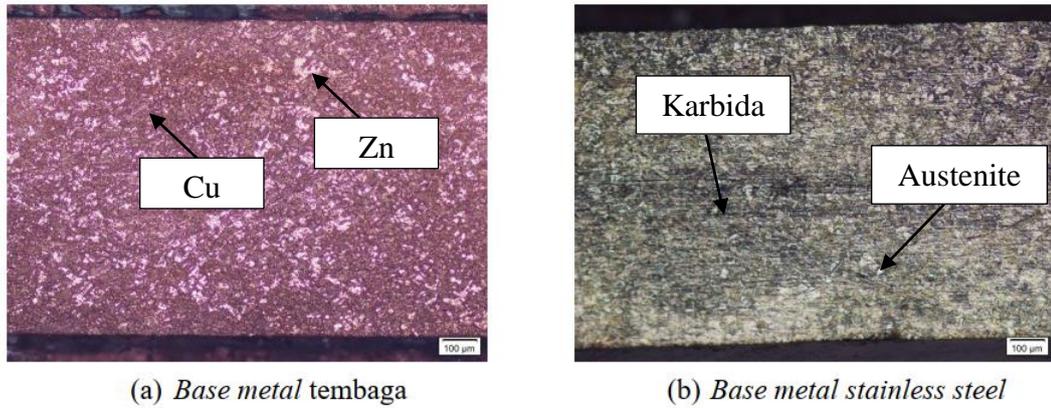
## 4.2 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro merupakan pengamatan metalografi pada setiap variasi spesimen hasil pengelasan, dimana pengamatan ini digunakan untuk melihat bagian-bagian hasil lasan diantaranya yaitu logam induk (*base metal*), HAZ (*heat affected zone*), dan logam las (*weld metal*). Sebelum dilakukan pengamatan struktur mikro perlu dilakukan pengamatan makro untuk mengetahui permukaan hasil sambungan lasan. Langkah yang dilakukan sebelum pengamatan makro dan mikro adalah memotong spesimen terlebih dahulu secara melintang pada daerah tengah sambungan lasan, kemudian dilakukan pengamplasan, dipoles dan dietsa. Gambar 4.4 menunjukkan hasil pengamatan makro spesimen uji pada setiap variasi pengelasan.



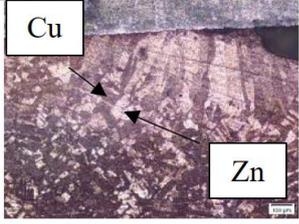
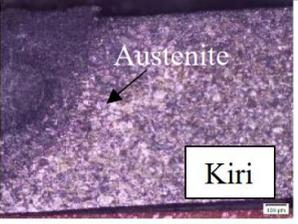
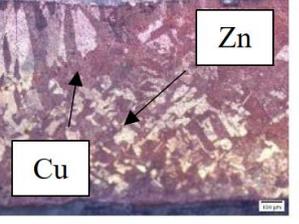
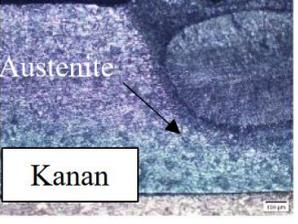
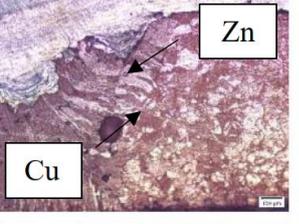
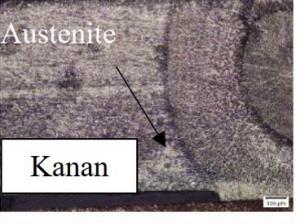
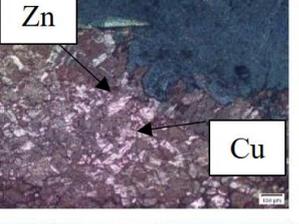
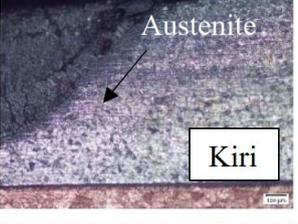
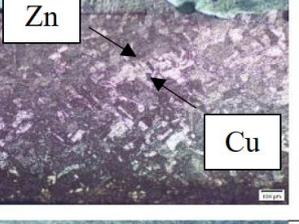
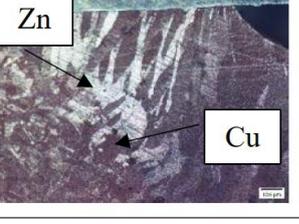
**Gambar 4.4** Hasil struktur makro sambungan las *spot welding*

Gambar 4.4 menunjukkan 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*.



**Gambar 4.5** Struktur mikro logam induk tembaga dan SS 304

Gambar 4.5 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*.

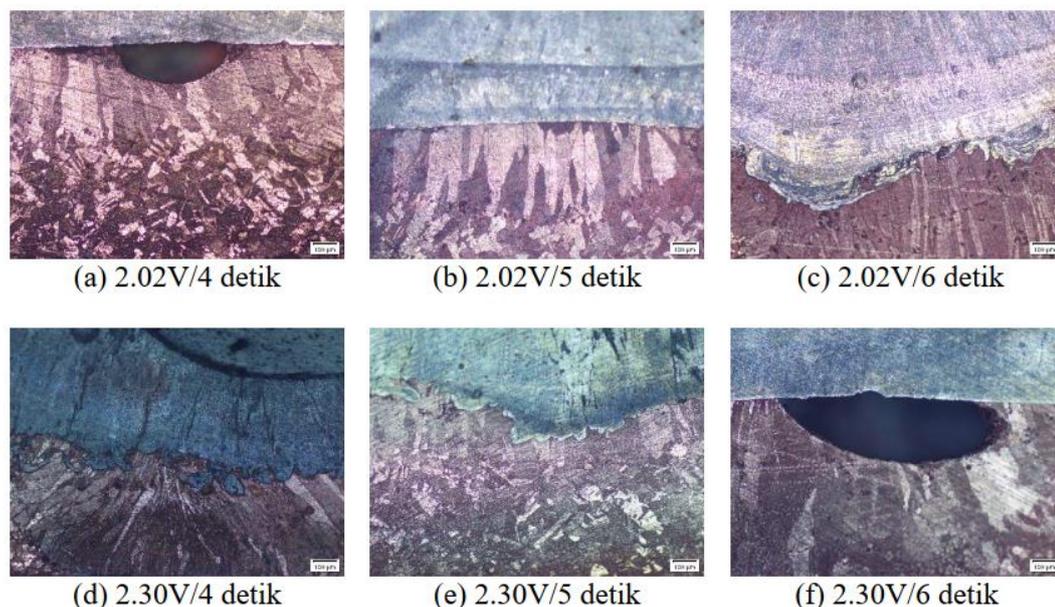
Tegangan dan Waktu	HAZ ( <i>Heat Affected Zone</i> )	
	Tembaga	<i>Stainless Steel 304</i>
2.02V/4 detik		
2.02V/5 detik		
2.02V/6 detik		
2.30V/4 detik		
2.30V/5 detik		
2.30V/6 detik		

**Gambar 4.6** Struktur mikro HAZ (*heat affected zone*) tembaga dan SS 304

Gambar 4.6 menunjukkan hasil dari pengujian struktur mikro daerah HAZ pada setiap variasi pengelasan. Daerah HAZ merupakan daerah yang terkena panas dan mengalami perubahan besar butir stuktur mikro tetapi tidak sampai terjadi peleburan. 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 4.6 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).



**Gambar 4.7** Struktur mikro *weld metal* tembaga dan SS 304

Gambar 4.7 menunjukkan hasil dari pengujian struktur mikro daerah *weld metal* pada setiap variasi pengelasan. *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*.

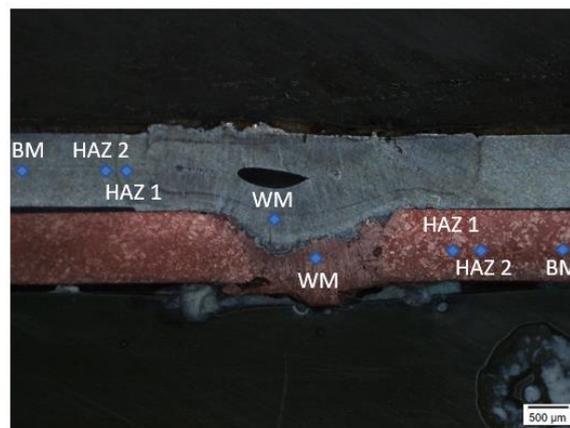
### 4.3 Pengujian Kekerasan

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 seperti pada Gambar 4.8.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata pada daerah logam induk tembaga memiliki nilai sebesar  $\pm 59.37$  HV dan *stainless steel 304* memiliki nilai sebesar  $\pm 162.5$  HV, daerah logam induk tidak mengalami perubahan kekerasan karena daerah ini tidak terpengaruh oleh panas pada saat pengelasan

berlangsung. Nilai kekerasan tertinggi daerah HAZ tembaga yaitu sebesar  $\pm 61.3$  HV dan nilai kekerasan tertinggi daerah HAZ *stainless steel 304* yaitu sebesar  $\pm 220$  HV. Sedangkan pada daerah *weld metal* tembaga nilai kekerasan tertinggi yaitu sebesar  $\pm 79.1$  HV dan nilai kekerasan tertinggi daerah *weld metal stainless steel 304* yaitu sebesar  $\pm 240$  HV.

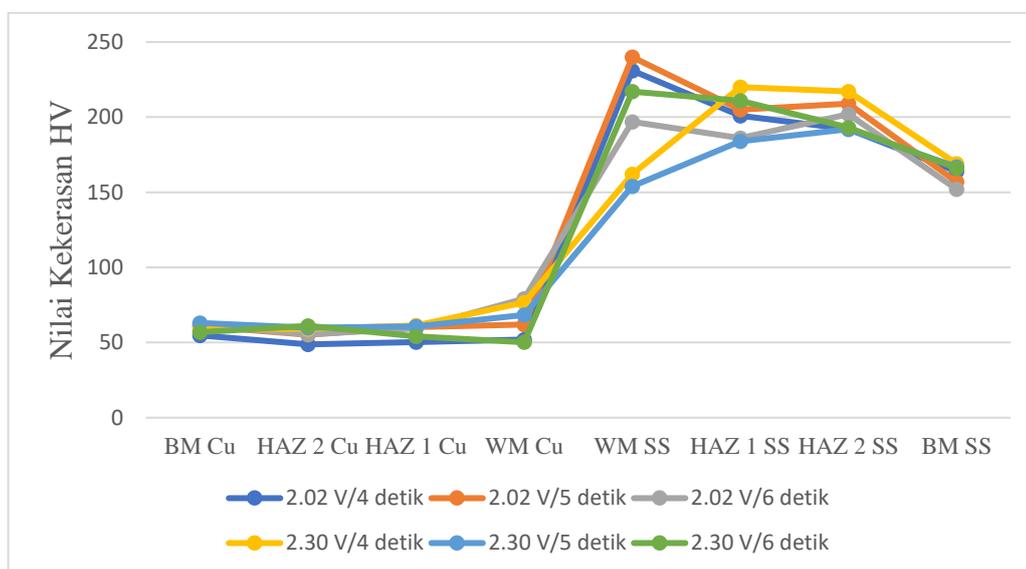
Nilai kekerasan tertinggi pada pengelasan beda material antara tembaga dengan *stainless steel 304* terdapat pada daerah *weld metal*, dimana pada daerah tersebut mengalami siklus termal dan pendinginan yang cepat. Hendrawan & Rusmawan (2014) nilai kekerasan pada daerah *weld metal* lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang lain, hal ini dikarenakan pada daerah *weld metal* mendapatkan masukan panas yang tinggi dan pendinginan yang cepat setelah proses pengelasan. Hasil pengujian kekerasan pada pengelasan beda material antara tembaga dengan *stainless steel 304* dapat dilihat pada Tabel 4.3.



**Gambar 4.8** Posisi penitikan indentasi untuk pengujian kekerasan

**Tabel 4.3** Nilai uji kekerasan tiap variasi tegangan dan waktu pengelasan

Tegangan dan waktu (V/dtk)	Tembaga				<i>Stainless Steel 304</i>			
	<i>Base Metal</i>	HAZ 2	HAZ 1	<i>Weld Metal</i>	<i>Weld Metal</i>	HAZ 1	HAZ 2	<i>Base Metal</i>
2.02/4	54.7	48.8	50.3	51.9	231	201	192	164
2.02/5	60.9	55.2	60.3	61.9	240	205	209	157
2.02/6	61.6	55.4	59.4	79.1	197	186	202	152
2.30/4	59.1	59.1	61.3	76.6	162	220	217	169
2.30/5	63.1	59.9	60.8	68.3	154	184	192	167
2.30/6	56.8	61.1	54.1	50.2	217	211	193	166



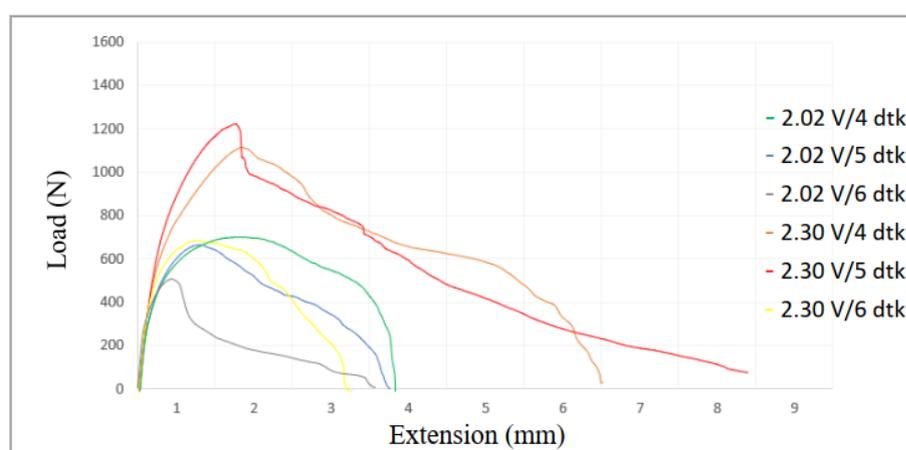
**Gambar 4.9** Hubungan antara kekerasan tiap variasi tegangan dan waktu pengelasan

Gambar 4.9 menunjukkan hubungan antara nilai kekerasan dengan variasi tegangan dan waktu pengelasan yang digunakan dalam penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* tembaga dengan variasi tegangan 2.02 V yaitu pada waktu 5 detik sebesar  $\pm 79.1$  HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ tembaga dengan variasi tegangan 2.02 V yaitu pada waktu 6 detik sebesar  $\pm 59.4$  HV. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal stainless steel 304* dengan variasi 2.02 V yaitu pada waktu 5 detik sebesar  $\pm 240$  HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ *stainless steel 304* dengan variasi tegangan 2.02 V yaitu pada waktu 5 detik sebesar  $\pm 209$  HV. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* tembaga dengan variasi tegangan 2.30 V yaitu pada waktu 4 detik sebesar  $\pm 76.6$  HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ tembaga dengan variasi tegangan 2.30 V yaitu pada waktu 4 detik sebesar  $\pm 61.3$  HV. Nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal stainless steel 304* dengan variasi tegangan 2.30 V yaitu pada waktu 6 detik sebesar  $\pm 217$  HV, sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ *stainless steel 304* dengan variasi tegangan 2.30 V yaitu pada waktu 4 detik sebesar  $\pm 220$  HV.

Dari grafik 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. Nilai kekerasan pada daerah HAZ *stainless steel 304* lebih rendah daripada daerah *weld metal*. Penurunan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ juga dipengaruhi oleh besarnya butiran yang terbentuk pada daerah tersebut (Firmansyah dkk, 2016). 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).

#### 4.4 Pengujian Tarik-Geser

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). Hasil pengujian tarik tertinggi dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10** Grafik hasil pengujian tarik tertinggi tiap variasi tegangan dan waktu pengelasan

Gambar 4.10 menunjukkan grafik nilai pembebanan tertinggi tiap variasi tegangan dan waktu dari pengujian tarik geser yang sudah dilakukan. Grafik menunjukkan bentuk yang relative sama pada setiap variasi tegangan dan waktu yang digunakan sehingga semakin tinggi pembebanan yang didapat maka nilai pertambahan panjang juga semakin tinggi.

**Tabel 4.4** Nilai pembebanan tarik geser rata-rata tiap variasi tegangan dan waktu pengelasan

Tegangan dan waktu (V/dtk)	Nilai Pembebanan (N)			
	P1	P2	P rata-rata	Stdev
2.02/4	708.17	703.09	705.63	3.59
2.02/5	654.26	693.99	674.13	28.09
2.02/6	376.09	454.17	415.13	55.21
2.30/4	1001.60	1132.59	1067.10	92.62
2.30/5	1213.12	1088.66	1150.89	88.01
2.30/6	706.70	602.27	654.49	73.84

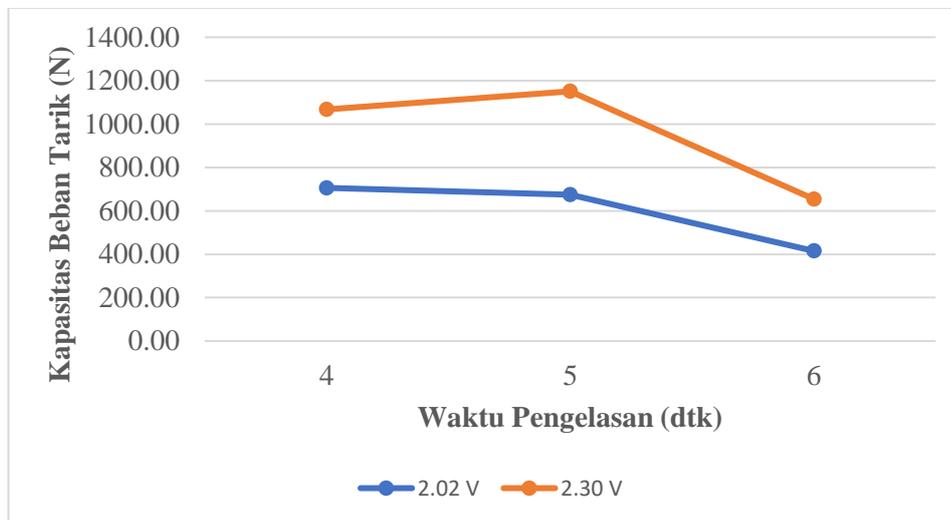
Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa kenaikan variasi tegangan dan waktu yang digunakan akan mengakibatkan nilai dari beban tarik-geser atau tensile load bearing capacity (TLBC) juga mengalami kenaikan.

Dari table 4.4 menunjukkan bahwa nilai rata-rata pembebanan dari setiap variasi tegangan dan waktu pengelasan berbeda-beda dimana nilai rata-rata beban tarik-geser pada variasi tegangan 2.02 V dan waktu 4 detik sebesar 705.63 N, pada variasi tegangan 2.02 V dan waktu 5 detik sebesar 674.13 N, pada variasi 2.02 V dan waktu 6 detik sebesar 415.13 N, pada variasi tegangan 2.30 V dan waktu 4 detik sebesar 1067.1 N, pada variasi tegangan 2.30 V dan waktu 5 detik sebesar 1150.89 N, pada variasi tegangan 2.30 V dan waktu 6 detik sebesar 654.49 N. Nilai pembebanan tarik-geser pada variasi tegangan 2.02 V tiap waktu pengelasannya mengalami penurunan yang disebabkan oleh masukan panas yang lebih lama sehingga diameter *nugget* menjadi tidak simetris yang mengakibatkan menurunnya kekuatan tarik-geser sambungan las. Sedangkan pada variasi tegangan 2.30 V dan waktu 5 detik mengalami kenaikan kekuatan tarik-geser yang disebabkan karena

hasil lasan pada variasi tersebut melebur dengan baik sehingga kekuatan tarik-geser menjadi meningkat.

**Tabel 4.5** Nilai kapasitas beban tarik, luas *nugget* dan kekuatan geser tiap variasi tegangan dan waktu pengelasan

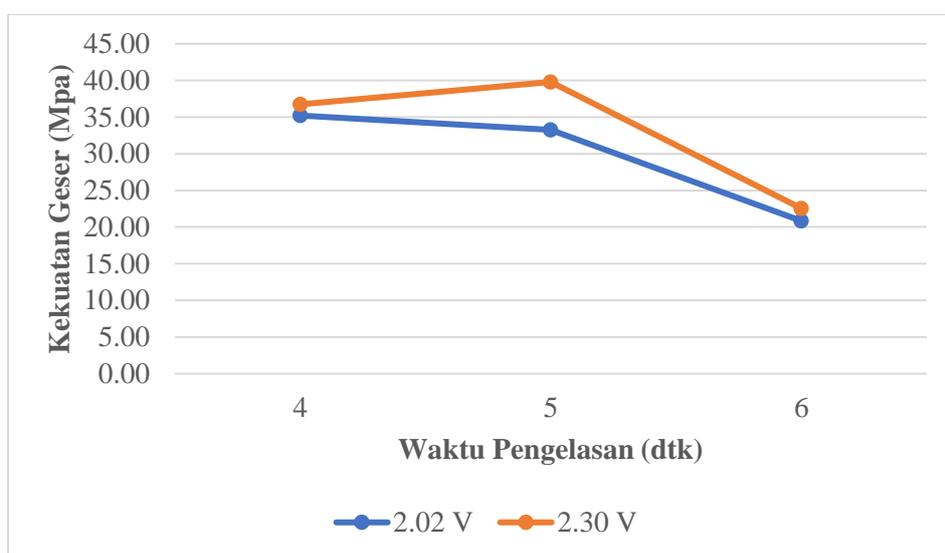
Tegangan dan Waktu (V/dtk)	Kapasitas Beban Tarik (N)	Luas Nugget (mm <sup>2</sup> )	rata-rata	Kekuatan Geser (Mpa)	rata-rata	Kegagalan Uji Tarik
2.02/4	708.17	20.58	20.05 ±	34.41	35.21	<i>Interface Failure</i>
	703.09	19.52	0.75	36.02	± 1.14	
2.02/5	654.26	20.10	20.29 ±	32.55	33.23	<i>Interface Failure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



**Gambar 4.11** Grafik kapasitas beban tarik tegangan 2.02 V dan 2.30 V

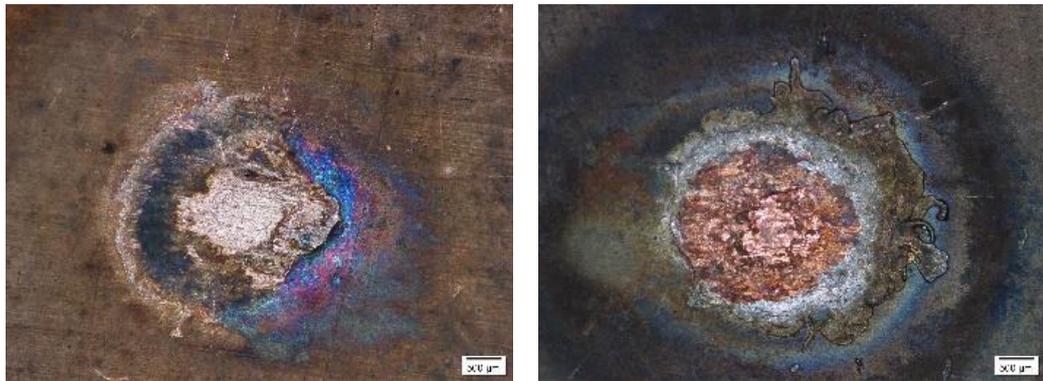
Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan antara kapasitas beban tarik tegangan 2.02 V dan 2.30 V. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa nilai beban tarik-geser mengalami penurunan pada tegangan 2.02 V seiring dengan semakin lamanya waktu pengelasan yang diberikan. Sedangkan pada tegangan 2.30 V diwaktu 4 detik

menuju 5 detik nilai beban tarik mengalami kenaikan dan mengalami penurunan kembali diwaktu 5 detik menuju 6 detik. 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.

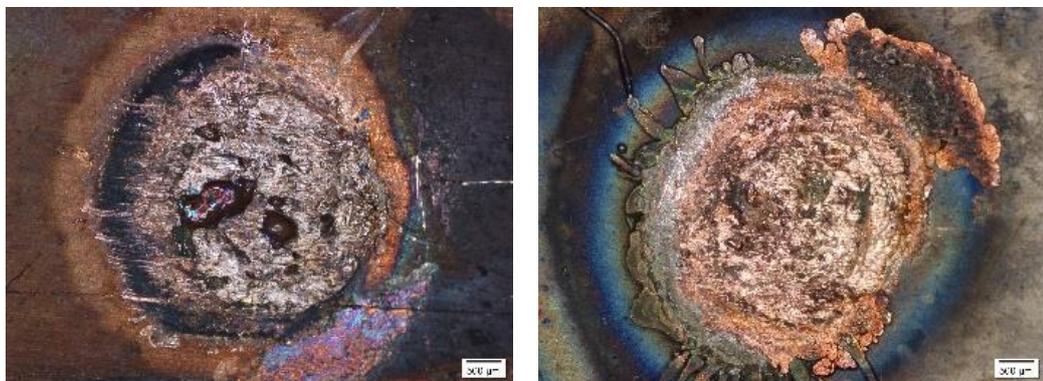


**Gambar 4.12** Grafik kekuatan geser tegangan 2.02 V dan 2.30 V

Gambar 4.12 menunjukkan perbandingan antara kekuatan geser tegangan 2.02 V dan 2.30 V. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa nilai kekuatan mengalami penurunan pada tegangan 2.02 V seiring dengan semakin lamanya waktu pengelasan yang diberikan. Sedangkan pada tegangan 2.30 V diwaktu 4 detik menuju 5 detik nilai tegangan mengalami kenaikan dan mengalami penurunan kembali diwaktu 5 detik menuju 6 detik. Haikal & Triyono, (2013) melakukan penelitian tentang pengelasan logam *dissimilar* (tak sejenis) memiliki *nugget* yang tidak simetris akibat perbedaan fisik dan sifat mekanis antara logam tak sejenis. Bentuk *nugget* yang tidak simetris mengakibatkan nilai kekuatan geser mengalami penurunan.



(a) 2.02V/4 dtk



(b) 2.30V/4 dtk

**Gambar 4.13** Hasil kegagalan pengujian tarik-geser perbesaran (20x)

Gambar 4.13. menunjukkan hasil kegagalan yang terjadi pada pengelasan *spot welding* dengan material tembaga dan *stainless steel 304*. Secara umum pada pengujian tarik-geser terjadi dua jenis mode kegagalan yaitu *interface failure* (IF) dan *pollout failure* (PF). *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).