

## **BAB IV**

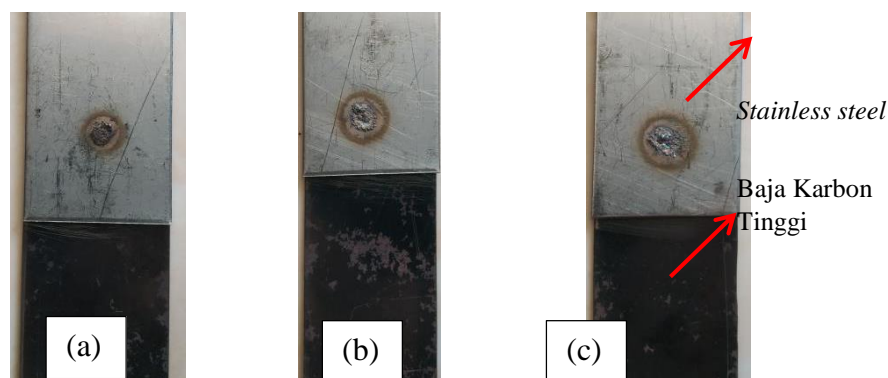
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu spot welding untuk menggabungkan dua material yang berbeda antara *stainless steel* 304 dan baja karbon tinggi, dengan menggunakan variasi parameter waktu penekanan dan tegangan listrik, dimana pada setiap variasi waktu yang digunakan sama. Tujuan dari variasi tersebut untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik hasil sambungan las. Sifat fisik dan mekanik didapat dengan melakukan beberapa tahap pengujian diantaranya: kapasitas beban tarik, pengamatan foto mikro dan kekerasan. Setelah melakukan pengujian data yang didapat kemudian dianalisa dan dibahas untuk memperoleh kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

#### **4.1 Hasil Pengelasan**

Proses pengelasan penyambungan dua material beda jenis antara *stainless steel* 304 dengan baja karbon tinggi yang menggunakan metode RSW (*Resistance Spot Welding*) memerlukan beberapa percobaan dalam menentukan variasi yang sesuai dalam menentukan variabel arus pengelasan yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan sifat material dan termal antara material *stainless steel* 304 dan baja karbon tinggi. Penentuan parameter las dengan variabel tegangan listrik pengelasan dilakukan percobaan pertama menggunakan variasi waktu 5 detik dan tegangan listrik 1,6 volt, dimana pada percobaan ini hasil pengelasan yang didapatkan sudah cukup kuat namun diameter nugget relatif kecil. Percobaan yang kedua dilakukan dengan menggunakan variasi waktu 5 detik dan tegangan listrik 1,79 volt, dan hasil sambungan yang didapatkan sudah cukup kuat namun pada permukaan nugget hasilnya kurang baik. Sedangkan pada percobaan yang ketiga dilakukan dengan menggunakan variasi waktu 5 detik dan tegangan listrik 2,02 volt, dalam percobaan ini didapatkan hasil sambungan yang kuat serta permukaan nugget cukup baik. Dari ketiga percobaan tersebut telah didapatkan tiga variasi parameter arus pengelasan dengan hasil sambungan las yang cukup kuat untuk dilakukan

pengujian selanjutnya. Hasil percobaan dari pengelasan RSW antara *stainless steel* 304 dengan baja karbon tinggi ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut:



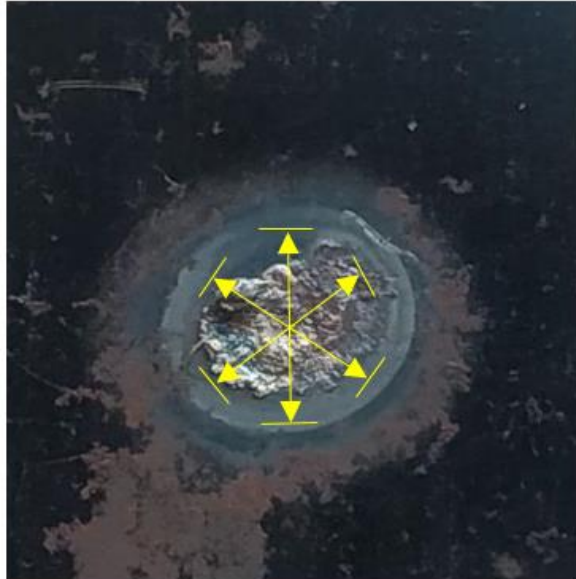
Gambar 4.1 Hasil percobaan pengelasan RSW (*resistance spot welding*)

Gambar 4.1 Menunjukkan foto hasil pengelasan material beda jenis antara *stainless steel* 304 dan baja karbon tinggi menggunakan parameter variasi (a) waktu 5 detik dan tegangan listrik 1,6 volt, (b) waktu 5 detik dan tegangan listrik 1,79 volt, (c) waktu 5 detik dan tegangan listrik 2,02 volt.
















Berdasarkan hasil dari beberapa percobaan, ketiga parameter variasi tersebut dapat digunakan dalam penelitian yaitu parameter waktu penekanan 5 detik dan variasi tegangan listrik, 1,6 volt, 1,79 volt dan 2,02 volt. Penelitian menggunakan 5 buah spesimen uji pada setiap masing masing variasi.

Tegangan listrik merupakan salah satu parameter yang penting dan sangat berpengaruh terhadap hasil sambungan las dan diameter nugget las. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan menghasilkan diameter nugget yang relatif kecil pada variasi tegangan listrik 1,6 volt, dengan meningkatnya variasi tegangan listrik pengelasan menunjukkan diameter nugget semakin besar. Penentuan parameter arus pengelasan sangat berpengaruh terhadap karakteristik dan hasil sambungan las. Apabila pemilihan parameter tegangan listrik pengelasan terlalu rendah, maka panas yang dihasilkan tidak dapat melelehkan material, sehingga daerah logam las yang dihasilkan kecil dan penembusan tidak dalam, sebaliknya jika parameter tegangan listrik pengelasan terlalu besar, maka proses pencairan logam induk sangat cepat sehingga daerah logam las yang dihasilkan lebih lebar (Arifin, 1997).

Diameter nugget yang meningkat ukurannya disebabkan oleh masukan panas yang dihasilkan pada setiap variasi parameter pengelasan. Besarnya masukan panas berbanding lurus dengan kenaikan arus pengelasan yang digunakan.



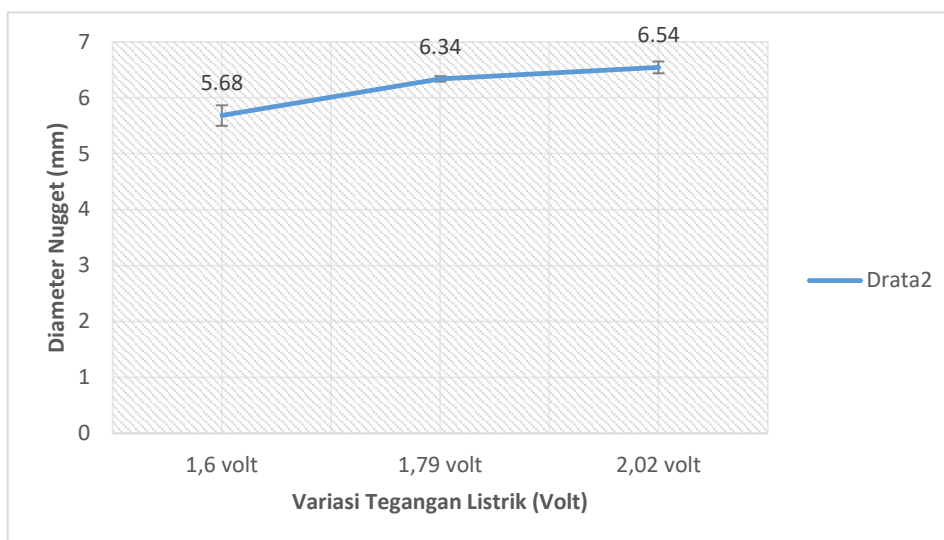
Gambar 4.2 Metode pengukuran diameter *nugget* hasil lasan RSW pada permukaan baja karbon tinggi.

Nugget		Variasi Tegangan Listrik Pengelasan		
		1,6 Volt	1,79 Volt	2,02 Volt
Spesimen	1			
	2			
	3			
	4			
	5			

Gambar 4.3 Nugget pada permukaan baja karbon dari hasil pengelasan titik *dissimilar* antara *stainless steel* 304 dengan baja karbon tinggi.

Tabel 4.1 ukuran luas diameter *nugget* hasil lasan spot welding

Tegangan	Spesimen	d1	d2	d3	Rata-rata	D Rata-rata	St.Dev
1,6 Volt	1	5,6	5,3	5,75	5,55	5,68	0,18
	2	5,6	5,7	5,6	5,63		
	3	6,1	5,95	5,9	5,98		
	4	5,6	5,4	5,6	5,53		
	5	6,1	5,3	5,75	5,72		
1,79 Volt	1	6,45	6,1	6,4	6,32	6,34	0,05
	2	6,7	6,4	6,1	6,40		
	3	6,4	6,2	6,2	6,27		
	4	6,3	6,4	6,3	6,33		
	5	6,1	6,6	6,4	6,37		
2,02 Volt	1	6,6	6,8	6,35	6,58	6,54	0,10
	2	6,5	6,85	6,7	6,68		
	3	6,3	6,4	6,55	6,42		
	4	6,3	6,8	6,6	6,57		
	5	6,5	6,4	6,5	6,47		



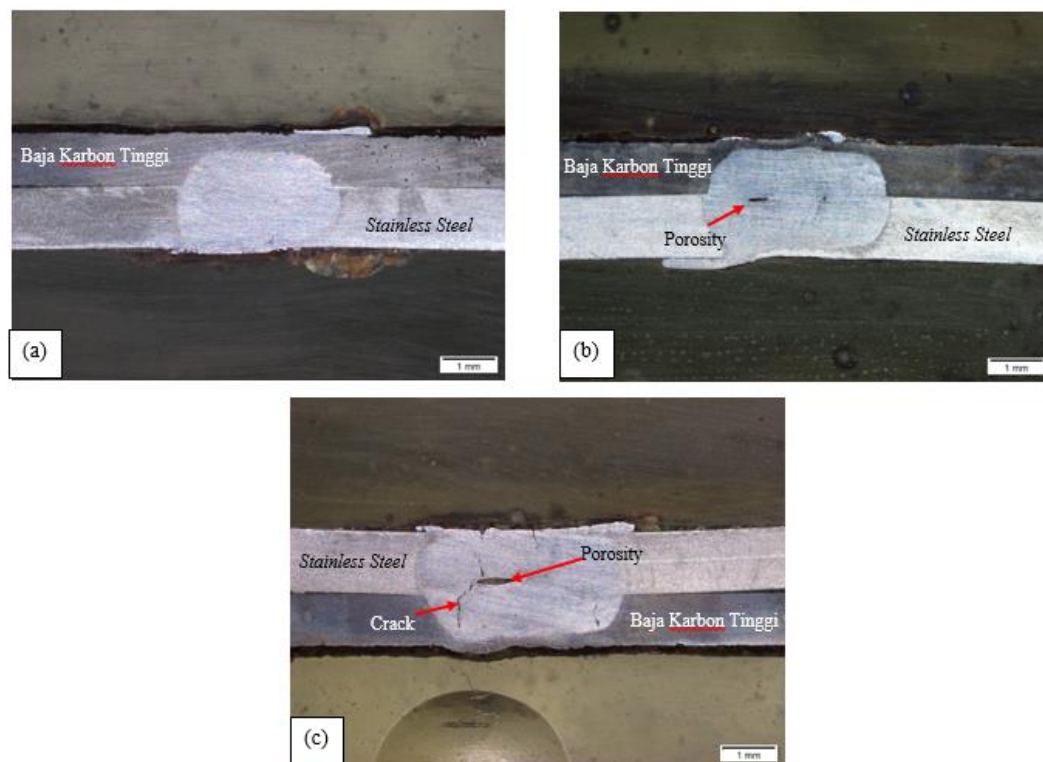
Gambar 4.4 Ukuran diameter *nugget* tiap variasi tegangan listrik.

Gambar 4.4 menunjukkan peningkatan ukuran diameter *nugget* setiap kenaikan variasi tegangan yang dilakukan saat pengelasan. Data yang diperoleh dari pengukuran diameter *nugget* rata-rata pada variasi tegangan 1,60 Volt sebesar 5,68 mm, variasi tegangan 1,79 Volt sebesar 6,34 mm, dan variasi tegangan 2,02 Volt sebesar 6,54 mm. Hasil pengelasan dengan parameter waktu yang tetap dan besar variasi tegangan listrik yang semakin meningkat, menunjukkan ukuran diameter *nugget* semakin besar seiring dengan variasi tegangan listrik yang tinggi saat pengelasan dilakukan. Data pengukuran menunjukkan diameter terkecil pada variasi tegangan listrik 1,60 Volt dan diameter terbesar pada variasi 2,02 Volt.

## 4.2 Pengujian Struktur Mikro

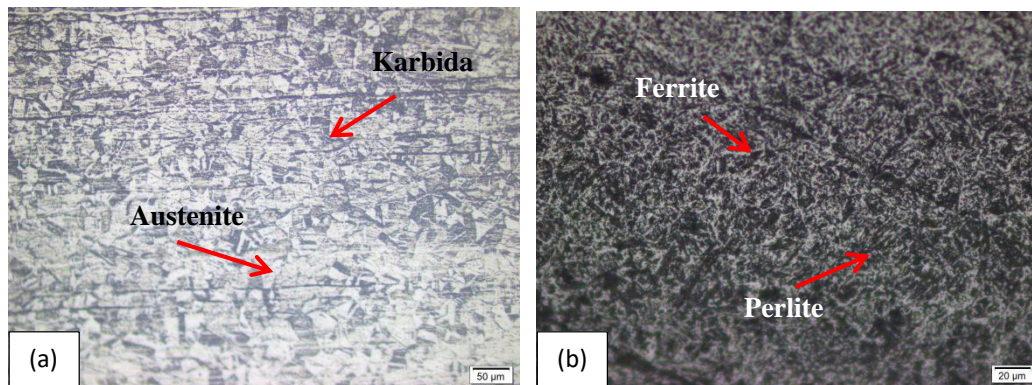
Pengujian struktur mikro dengan dilakukan pengamatan metalografi pada masing-masing variasi spesimen hasil las titik, dimana uji metalografi ini digunakan untuk melihat bagian-bagian struktur mikro hasil pengelasan diantaranya yaitu logam las (*weld metal*), HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam induk (*base metal*). Sebelum dilakukan uji metalografi perlu dilakukan pengamatan makro untuk mengetahui permukaan hasil sambungan pengelasan. Sebelum dilakukan pengamatan makro dan struktur mikro adalah dilakukan pemotongan spesimen

secara melintang pada daerah tengah sambungan las, kemudian diampelas, dipoles, dan di etsa. Jenis larutan etsa yang digunakan dalam pengamatan ini ada dua, yaitu aquades dan  $\text{HNO}_3$  untuk baja karbon tinggi dan larutan  $\text{HCl}$  dan  $\text{HNO}_3$  untuk *stainless steel* 304. Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengamatan makro pada spesimen uji dengan variasi tegangan.



Gambar 4.5 Hasil pengamatan makro sambungan lasan *resistance spot welding dissimilar metal* tiap variasi tegangan listrik pengelasan (a) 1,60 Volt, (b) 1,79 Volt, (c) 2,02 Volt.

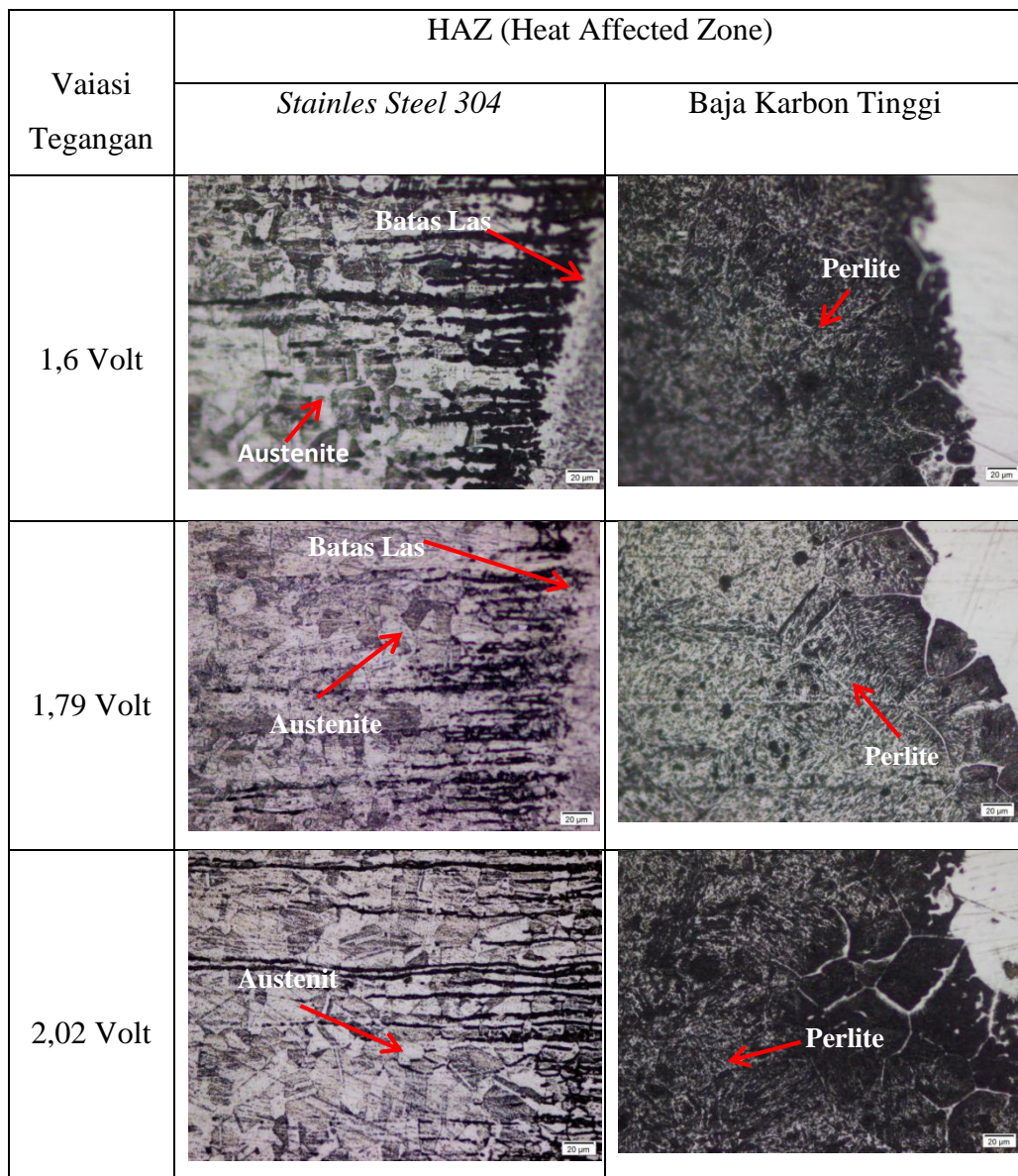
Hasil pengamatan uji makro menunjukkan bahwa pengelasan RSW (*Resistance Spot Welding*) dengan material *dissimilar* atau material beda jenis antara *stainless steel* 304 dengan baja karbon tinggi terlihat bagus, dimana penetrasi dari pengelasan yang dihasilkan menembus dan melebur dari kedua. Terdapat cacat lasan pada variasi 1,79 Volt dan 2,02 Volt dikarenakan variasi tegangan yang semakin tinggi dan mempengaruhi hasil pengelasan.



Gambar 4.6 Struktur mikro (a) *base metal stainless steel 304* dan (b) *base metal baja karbon tinggi*

Gambar 4.6 menunjukkan foto hasil uji struktur mikro pada daerah *base metal* (logam induk) *stainless steel 304* dan baja karbon tinggi. Pada daerah logam induk *stainless steel 304* terdapat jenis struktur mikro austenite dan karbida. Jumlah struktur mikro austenite lebih banyak dibandingkan karbida, hal ini dikarenakan *stainless steel 304* merupakan logam induk jenis baja tahan karat austenite.



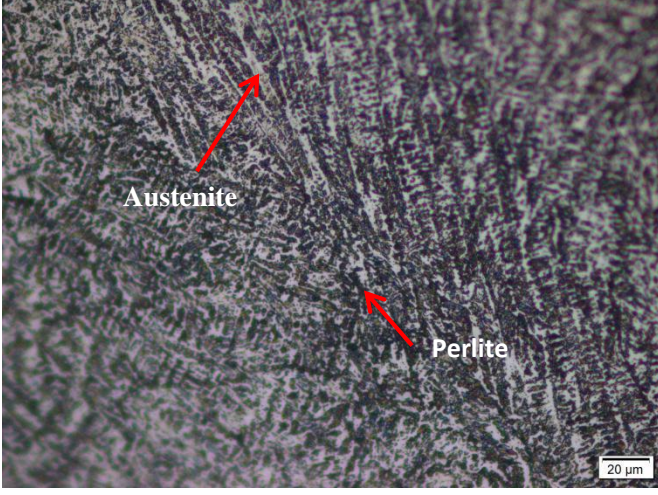
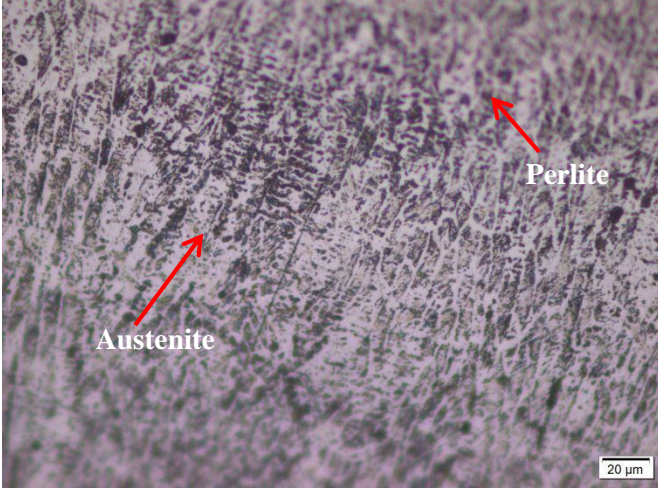
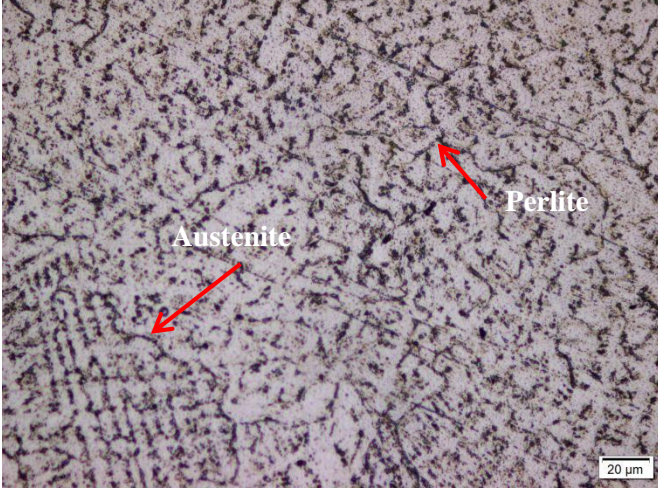


Gambar 4.7 Struktur mikro HAZ (*heat affected zone*) *Stainless Steel 304* dan baja karbon tinggi)

HAZ (*Heat Affected Zone*) merupakan daerah yang terkena penyebaran panas pengelasan dan mengalami perubahan butir struktur mikro, akan tetapi tidak terjadi peleburan material. Hasil pengamatan dari pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa pada daerah HAZ *stainless steel 304* terjadi perubahan ukuran butir menjadi lebih besar dibandingkan dengan logam induk. Hal ini terjadi karena masukan panas yang diterima pada daerah HAZ semakin besar, selain itu daerah HAZ juga mengalami pemanasan yang cepat sehingga butiran struktur mikro

menjadi lebih besar dan mengakibatkan daerah HAZ menjadi getas (Raharjo & Ariawan, 2005).

Pengamatan struktur mikro pada daerah HAZ *stainless steel 304* dominan *austenit* (berwarna terang) dengan ukuran butir besar. Gambar 4.7 menunjukkan ukuran butir mengalami perbesaran sering meningkatnya tegangan listrik pengelasan yang diberikan. Pengkasaran butir terjadi pada setiap variasi tegangan listrik 1,6 volt, 1,79 volt dan butiran paling besar terdapat pada variasi 2,02 volt. 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)

Variasi Waktu	<i>Weld metal</i>
1,6 Volt	 <p>A micrograph showing the microstructure of weld metal at 1.6 Volt. The image displays a complex, interlocking pattern of phases. Red arrows point to regions labeled 'Austenite' and 'Perlite'. A scale bar in the bottom right corner indicates 20 μm.</p>
1,79 Volt	 <p>A micrograph showing the microstructure of weld metal at 1.79 Volt. The image displays a complex, interlocking pattern of phases. Red arrows point to regions labeled 'Austenite' and 'Perlite'. A scale bar in the bottom right corner indicates 20 μm.</p>
2,02 Volt	 <p>A micrograph showing the microstructure of weld metal at 2.02 Volt. The image displays a complex, interlocking pattern of phases. Red arrows point to regions labeled 'Austenite' and 'Perlite'. A scale bar in the bottom right corner indicates 20 μm.</p>

Gambar 4.8 Struktur mikro daerah las atau *weld metal*

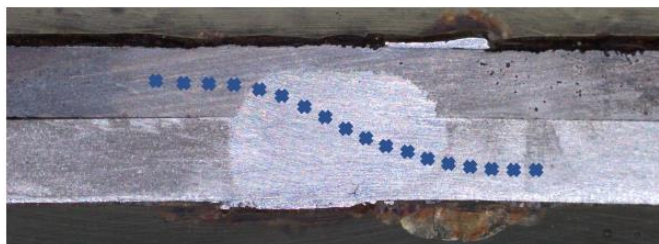
*Weld metal* merupakan daerah las yang pada saat proses pengelasan mengalami pencairan logam dan kemudian membeku setelah proses *solidifikasi*. Hasil penelitian uji struktur mikro menunjukkan bahwa tegangan listrik pengelasan berpengaruh terhadap struktur mikro pada sambungan *weld metal* metode RSW (*Resistance Spot Welding*) antara *stainless steel 304* dengan baja karbon tinggi.

Gambar 4.8 menunjukkan hasil pengamatan uji struktur mikro bahwa struktur mikro pada daerah *weld metal* didominasi oleh *austenite*, perlite pada setiap variasi tegangan listrik pengelasan.

### 4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro ini dilakukan untuk mengetahui nilai distribusi kekerasan pada spesimen lasan, dimana daerah yang akan diuji yaitu terdiri dari *weld metal*, HAZ, logam induk (*base metal*) (Aji, 2015). Pengujian Microhardness Vickers digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan listrik terhadap kekerasan mikro lasan yang berdasar pada ASTM E92. Penitikan pada specimen uji dilakukan 18 kali yang meliputi daerah *weld metal*, HAZ, dan logam induk (*base metal*) dengan jarak antara titik 1mm seperti pada gambar 4.7.

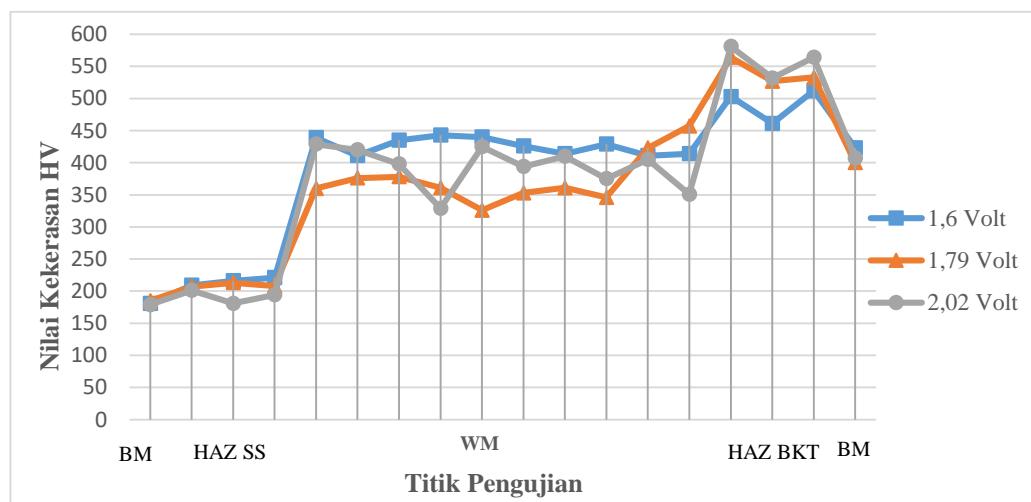
Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata pada daerah base metal (logam induk) baja karbon tinggi yaitu sebesar  $\pm 410$  HV dan nilai pada *stainless steel 304* sebesar  $\pm 181$  HV, daerah base metal tidak mengalami perubahan kekerasan karena tidak dipengaruhi oleh panas pada saat dilakukan pengelasan. Nilai rata-rata kekerasan tertinggi daerah HAZ pada baja karbon tinggi yaitu sebesar  $\pm 549$  HV dan nilai kekerasan tertinggi daerah HAZ pada *Stainless Steel 304* yaitu sebesar  $\pm 207$  HV, sedangkan pada daerah *weld metal* baja karbon tinggi di dapat nilai kekerasan tertinggi sebesar  $\pm 413$  HV. Nilai kekerasan tertinggi dari baja karbon tinggi dan *stainless steel 304* didapat pada daerah HAZ, hal ini dikarenakan masukan panas yang terjadi cepat sehingga mengakibatkan struktur butir yang lebih besar dan meningkatkan nilai kekerasan.



Gambar 4.9 Skema penitikan uji kekerasan Vickers.

Tabel 4.2 Nilai kekerasan spesimen uji setiap variasi tegangan listrik

Tegangan	BM	HAZ				WM				HAZ				BM				
1,6 Volt	181	209	216	221	439	411	435	443	440	426	414	429	411	414	503	461	512	423
1,79 Volt	185	207	213	208	360	376	378	361	326	353	361	346	423	457	564	527	533	400
2,02 Volt	179	201	181	194	429	420	398	329	425	394	410	375	405	351	581	532	564	407
Rata-rata	182	206	203	208	409	402	404	378	397	391	395	383	413	407	549	507	536	410



Gambar 4.10 Hubungan antara kekerasan dan tegangan listrik pengelasan pada material stainless steel 304 dan baja karbon tinggi.

Gambar 4.10 Menunjukkan hubungan antar nilai kekeraan dengan variasi tegangan listrik yang digunakan dalam penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan dari 10 titik pada daerah *weld metal* dengan variasi tegangan

listrik 1,6 Volt memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 440 HV. Pada daerah HAZ baja SS304 memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 221 HV dan pada baja karbon tinggi memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 512 HV. Selanjutnya pada variasi tegangan listrik 1,79 daerah *weld metal* memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 457 HV. Sedangkan pada daerah HAZ baja SS304 memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 213 HV dan pada baja karbon tinggi memiliki nilai kekerasan sebesar 564 HV. Pada variasi tegangan listrik 2,02 Volt memiliki nilai kekerasan tertinggi pada weld metal sebesar 425 HV. Sedangkan daerah HAZ baja SS304 memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 201 HV dan baja karbon tinggi memiliki nilai kekerasan sebesar 581 HV.

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kekerasan hasil las pada 18 titik daerah *weld metal* menunjukkan nilai kekerasan yang konstan, akan tetapi pada daerah HAZ baja SS304 cenderung mengalami penurunan nilai kekerasan, begitu juga pada *base metal* SS304 memiliki nilai kekerasan yang lebih kecil dibanding daerah HAZ. Hasil penelitian Faozi (2015) menyatakan bahwa penurunan nilai kekerasan disebabkan semakin besarnya kuat arus dan waktu yang digunakan maka masukan panas akan menjadi besar dan pendingin yang terjadi berjalan pelan. Nilai kekerasan pada daerah HAZ baja karbon tinggi mengalami kenaikan. Tingginya masukan panas yang diberikan menyebabkan proses pendinginan (*solidifikasi*) lambat yang mengakibatkan daerah HAZ lebar dan butiran struktur mengalami pembesaran (Kuntoro dkk, 2017). Nilai kekerasan pada daerah HAZ baja SS304 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).

Gambar 4.10 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ baja karbon tinggi sebesar  $\pm 581$  HV pada variasi tegangan listrik 2,02 Volt. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada daerah HAZ baja SS304 sebesar  $\pm 181$  HV pada variasi tegangan listrik 2,02 Volt.

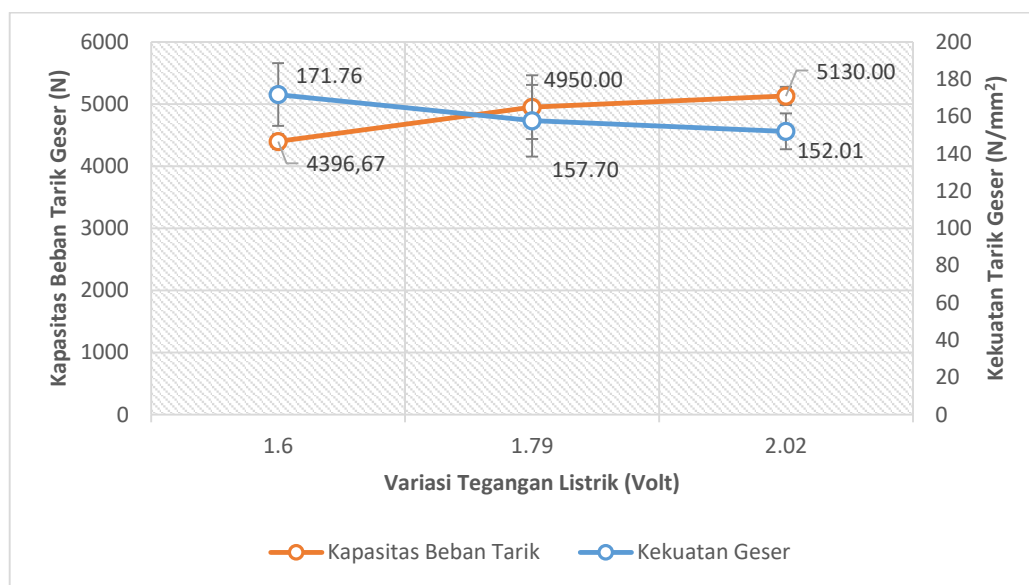
#### 4.4 Pengujian Tarik

Hasil dari pengelesan *dissimilar* (material beda jenis) yang telah dilakukan menggunakan metode RSW (*Resistance Spot Welding*) antara stainless steel 304 dengan baja karbon tinggi yang telah berhasil dilas selanjutnya dilakukan uji tarik. Proses uji tarik dilakukan di laboratorium bahan Universitas Gadjah Mada dengan menggunakan universal testing machine (UTM). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan terhadap tensile load bearing capacity (TLBC) atau kapasitas beban pada sambungan las spot dissimilar antara stainless steel 304 dengan baja karbon tinggi.

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa kenaikan variasi waktu yang diberikan akan mengakibatkan nilai beban tarik atau tensile load bearing capacity (TLBC) juga mengalami kenaikan. Long dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh waktu penekanan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada las titik antara baja karbon rendah dengan baja karbon kekuatan tinggi. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa nilai beban rata-rata mengalami peningkatan seiring meningkatnya tegangan listrik pengelasan yang diberikan.

Tabel 4.3 Nilai kapasitas beban tarik dan kekuatan geser

Variasi Tegangan Listrik (Volt)	Luas (mm <sup>2</sup> )	Kapasitas Beban Tarik (N)	Rata - Rata	Kekuatan Geser (N/mm <sup>2</sup> )	Rata - rata	Kegagalan Uji Tarik
1,6	24,18	4390	4396,67 ±120,14	181,56	171,76 ±16,86	Pullout (SC)
	24,91	4520		181,44		Pullout (SC)
	28,10	4280		152,30		Pullout (SC)
1,79	31,32	4670	4950,00 ±511,18	149,10	157,70 ±19,21	Pullout (SC)
	32,15	4640		144,31		Pullout (SC)
	30,83	5540		179,71		Pullout (SC)
2,02	34,02	4980	5130,00 ±145,26	146,38	152,01 ±9,57	Pullout (SC)
	35,06	5140		146,59		Pullout (SC)
	32,32	5270		163,05		Pullout (SC)







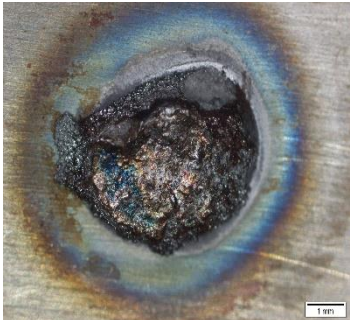

Gambar 4.11 Grafik perbandingan hasil uji tarik pada kekuatan geser rata-rata dan pembebanan maksimum rata-rata setiap variasi arus pengelasan RSW.



Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan antara kekuatan geser rata-rata dengan beban maksimum rata-rata. Dari hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan beban tarik mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya arus pengelasan yang diberikan, akan tetapi pada variasi tegangan listrik pengelasan 1,6 Volt, 1,79 Volt dan 2,02 Volt tidak mengalami penurunan beban tarik.

Dari data penelitian yang sudah didapat nilai kekuatan geser rata-rata mengalami penurunan seiring meningkatnya tegangan listrik yang diberikan. Penurunan nilai kekuatan geser rata-rata mungkin disebabkan hasil nugget yang tidak simetris. Penelitian yang dilakukan Haikal dan Triyono (2013), menunjukkan bahwa untuk pengelasan logam *dissimilar* (tak sejenis) memiliki *nugget* yang tidak simetris akibat dari perbedaan fisik dan sifat mekanis antar logam. Bentuk nugget yang tidak simetris ini juga mengakibatkan nilai kekuatan geser mengalami penurunan. Selain itu penelitian 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 listrik yang diberikan. Sehingga menghasilkan logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan.

Secara umum pada pengujian tarik geser terjadi dua jenis mode kegagalan yaitu *interface failure* (IF) dan *pullout failure* (PF). Hasil dari pengelasan *resistance spot welding* menghasilkan kualitas yang dapat diketahui dari sifat mekanis dan jenis mode kegagalan hasil pengelasan (Pouranvari dan Ranjbarnoodeh, 2011). Nilai pembebanan tertinggi dari pengelasan *resistance spot welding* (RSW) dipengaruhi oleh faktor fisik hasil lasan, salah satunya adalah ukuran *fusion zone interface*. Mode kegagalan dari pengelasan RSW secara signifikan dapat mempengaruhi TLBC (Abadi dan Pouranvari, 2010). Penelitian yang dilakukan oleh Hendrawan dan Rusmawan (2014) menyatakan bahwa mode kegagalan jenis *pullout* adalah salah satu jenis kegagalan dengan nilai beban tarik geser yang tinggi pada sambungan lasan. Gambar 4.10 menunjukkan hasil mode kegagalan pada spesimen pengelasan *dissimilar* RSW dengan variasi tegangan listrik yang berbeda.

		Mode Kegagalan	
		<i>Stainless Steel 304</i>	Baja Karbon Tinggi
Variasi Tegangan Listrik	1,60 Volt		
	1,79 Volt		
	2,02 Volt		

Gambar 4.12 Mode kegagalan pada setiap variasi tegangan listrik