

BAB IV

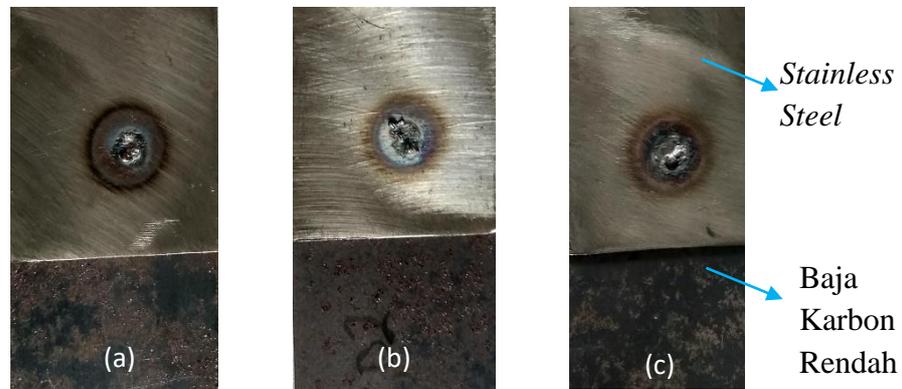
HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah spot welding menggunakan variasi parameter tekanan waktu dan tegangan, menggabungkan dua bahan yang berbeda antara stainless steel 430 dan baja karbon rendah dan menggunakan variasi waktu yang sama. Tujuan dari variasi ini adalah untuk menentukan sifat fisik dan mekanik dari sambungan yang dilas. Sifat fisik dan mekanik diperoleh dengan melakukan beberapa langkah uji, seperti kapasitas beban tarik, pengamatan mikroskopis, dan kekerasan. Setelah menguji data yang diperoleh kemudian dianalisis dan dibahas untuk mendapatkan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

4.1 Hasil Pengelasan

Dalam proses menggabungkan dua bahan yang berbeda, *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah SPHC JIS G131, menggunakan metode pengelasan *spot welding*, beberapa percobaan dilakukan untuk menentukan variasi tegangan listrik dan waktu penekanan pengelasan yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh perbedaan sifat material dan termal dari baja tahan karat 430 dan baja karbon rendah. Penentuan parameter pengelasan dengan tegangan variabel dilakukan untuk pertama kalinya menggunakan variasi 5 detik dan tegangan 1,79 volt, percobaan ini menghasilkan pengelasan cukup kuat namun relatif kecil pada permukaan nugget. Percobaan kedua dilakukan menggunakan variasi waktu 5 detik dan 2,02 volt listrik, dan sambungan yang dihasilkan cukup kuat, tetapi hasilnya tidak terlalu baik di permukaan nugget. Percobaan ketiga dilakukan dengan menggunakan variasi waktu 5 detik dan tegangan 2,30 volt, dalam percobaan ini menghasilkan sambungan yang kuat dan permukaan nugget cukup baik. Dari tiga percobaan, tiga variasi parameter tegangan pengelasan diperoleh, dan hasil sambungan las cukup kuat untuk pengujian lebih lanjut.

Hasil percobaan pengelasan RSW antara baja tahan karat 430 dengan baja karbon rendah ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut:



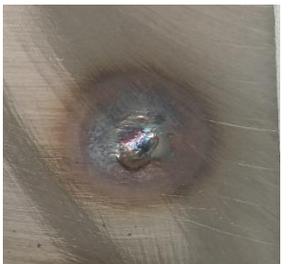
Gambar 4.1 Hasil percobaan pengelasan *spot welding*

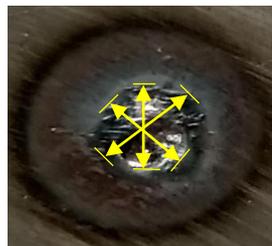
Gambar 4.1 Menunjukkan gambar pengelasan beda jenis bahan antara *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah dengan menggunakan berbagai parameter (a) 5 detik dan 1,79 volt listrik, (b) 5 detik dan 2,02 volt (c) 5 detik dan 2,30 volt.

Berdasarkan hasil beberapa percobaan, tiga variasi parameter dapat digunakan dalam penelitian: parameter waktu penekanan 5 detik, dan variasi tegangan 1,79 volt, 2,02 volt, dan 2,30 volt. Dalam penelitian ini, tiga spesimen digunakan untuk setiap variasi.

Tegangan adalah salah satu parameter penting dan memiliki pengaruh besar pada hasil diameter sambungan las dan *nugget* las. Menentukan parameter tegangan pengelasan memiliki efek signifikan pada sifat dan hasil sambungan las. Jika pemilihan parameter tegangan pengelasan terlalu rendah, panas yang dihasilkan tidak akan dapat melelehkan material, sehingga area logam las yang dihasilkan akan kecil dan penetrasi tidak akan dalam. Sebaliknya, jika parameter voltase daya las terlalu besar, proses peleburan logam induk sangat cepat dan area logam las lebih lebar (Fachruddin dkk 2016). Tabel 4.1 menunjukkan hasil *nugget* pengelasan untuk setiap variasi, dan Gambar 4.2 menunjukkan metode pengukuran *nugget* diameter.

Tabel 4.1 *Nugget* pada permukaan baja karbon dari hasil las *spot welding* beda jenis antara *stainless steel 403* dan baja karbon rendah.

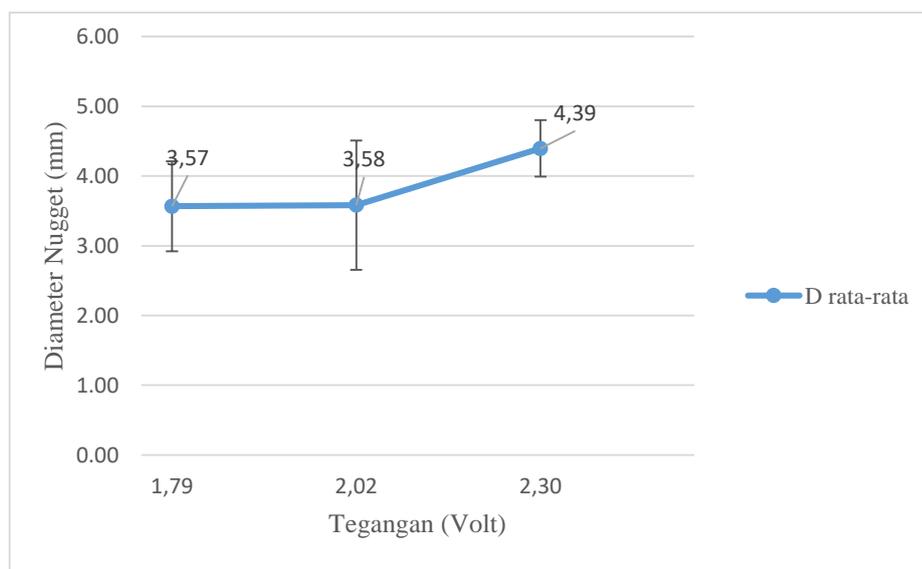
<i>Nugget</i>		Variasi Tegangan Pengelasan		
		1,79 Volt	2,02 Volt	2,30 Volt
Spesimen	1			
	2			
	3			



Gambar 4.2 Metode pengukuran diameter *nugget* hasil *spot welding* pada permukaan *stainless steel 430*.

Tabel 4.2 Ukuran rata-rata diameter *nugget* hasil lasan *spot welding*

Tegangan	Spesimen	d1	d2	d3	Rata - rata	D rata-rata	St.Dev
1,79	1	3,1	3,15	2,65	2,97	3,57	0,65
	2	3,3	3,75	3,5	3,52		
	3	3,6	4,25	4,8	4,22		
2,02	1	2,45	2,1	3,5	2,68	3,58	0,93
	2	3,5	3,5	3,35	3,45		
	3	4,75	4,35	4,75	4,62		
2,3	1	4,5	4,9	4,4	4,60	4,39	0,41
	2	4,8	4,45	4,6	4,62		
	3	3,8	4,4	3,7	3,97		

Gambar 4.3 Ukuran diameter *nugget* tiap variasi tegangan listrik.

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa ukuran diameter nugget meningkat dengan meningkatnya variasi tegangan selama pengelasan. Data yang diperoleh dari pengukuran diameter *nugget* rata-rata pada variasi tegangan 1,79 volt adalah 3,57 mm, variasi tegangan 2,02 volt pada 3,58 mm, dan variasi tegangan 2,30 volt pada 4,39 mm. Hasil pengelasan dengan variasi dalam parameter waktu tetap dan peningkatan tegangan menunjukkan bahwa ukuran diameter nugget saat pengelasan dilakukan dengan variasi tegangan tinggi. Data yang diukur menunjukkan diameter

minimum untuk variasi tegangan 1,79 volt dan diameter maksimum untuk variasi 2,30 volt.

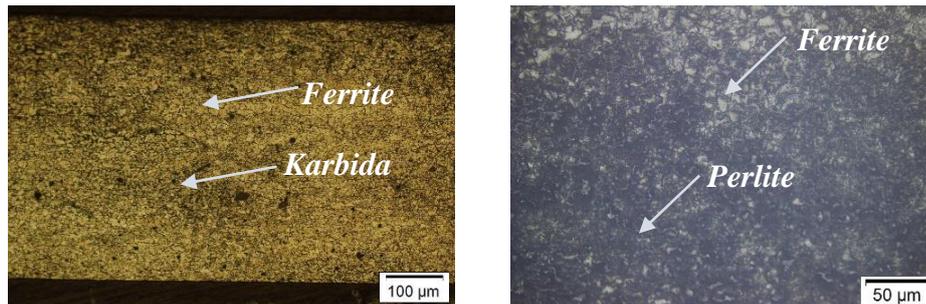
4.2 Pengujian Struktur Mikro

Uji mikrostruktur dari setiap variasi spesimen pengelasan dilakukan dengan pengamatan metalografi. Pengamatan ini digunakan untuk melihat bagian yang dilas: logam dasar, HAZ (zona yang terkena panas), dan logam las (*weld metal*). Sebelum mengamati struktur mikro, harus terlebih dahulu melihat makro untuk menemukan permukaan sambungan yang dilas. Sebelum pengamatan makro dan mikro, prosedur pertama-tama adalah memotong spesimen secara melintang di bagian tengah sambungan las, kemudian diampas, dipoles, dan dietsa. Dua jenis etsa digunakan untuk pengamatan ini. Yaitu, etsa baja karbon rendah menggunakan HNO₃, sedangkan *stainless steel* menggunakan larutan HCL dan HNO₃. Gambar 4.4 menunjukkan pengamatan makro benda uji pada setiap variasi tegangan.



Gambar 4.4 Hasil pengamatan makro sambungan *spot welding dissimilar metal* tiap variasi tegangan listrik pengelasan (a) 1,79 Volt, (b) 2,02 Volt, (c) 2,30 Volt.

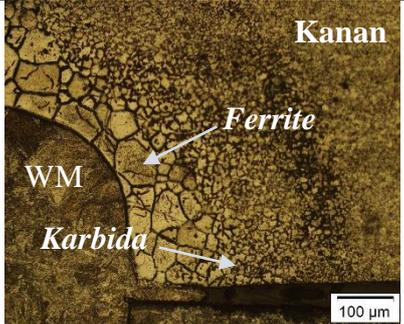
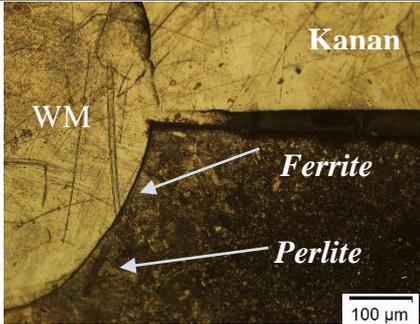
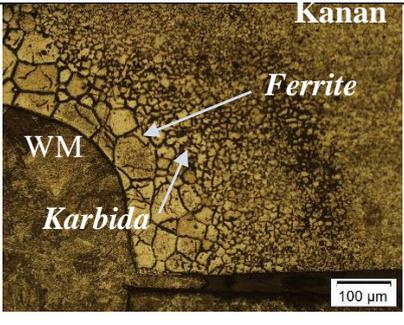
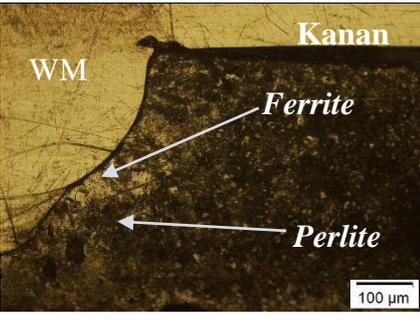
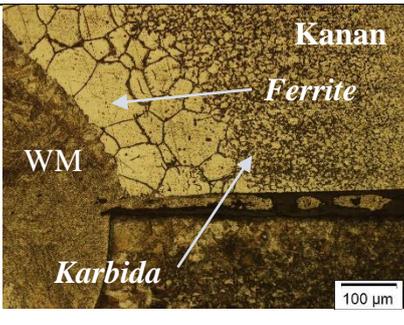
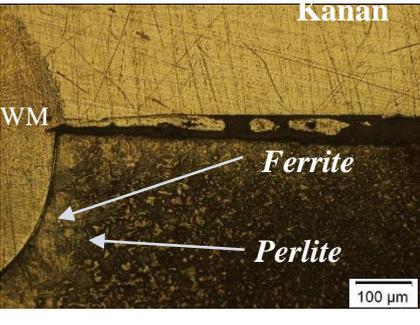
Pengamatan uji makro pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa pengelasan *spot welding* dengan bahan yang berbeda antara *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah (*resistance spot welding*) terlihat bagus, dimana penetrasi dari pengelasan yang dihasilkan menembus dan melebur dari kedua material. Variasi tegangan yang lebih tinggi mempengaruhi hasil pengelasan



Gambar 4.5 Struktur mikro (a) *base metal stainless steel* 430 dan (b) *base metal* baja karbon rendah.

Gambar 4.5 menunjukkan struktur mikro baja tahan karat 430 sebagai *ferrite* dan *karbida*. Karena baja tahan karat 430 adalah baja tahan karat feritik dengan kandungan $C \leq 0,12\%$, hampir semua struktur mikro baja tahan karat 430 didominasi oleh *ferrite*. Oleh karena itu, pada tingkat C yang sangat rendah, terjadi pembentukan karbida sedikit (Raharjo dan Ariawan, 2005). Pada baja karbon rendah, struktur logam induk yang dihasilkan adalah *ferrite* dan *perlite*. Struktur *ferrite* berwarna terang dan struktur *perlite* berwarna gelap. *Ferrite* memiliki sifat yang halus dan lembut, sedangkan partikel *perlite* memiliki sifat yang lebih kasar dan lebih keras (Amin. 2017).

Tabel 4.3 Struktur mikro HAZ *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah.

Variasi Tegangan	HAZ (<i>Heat Affected Zone</i>)	
	<i>Stainless Steel</i> 430	Baja Karbon Rendah
1, 79 Volt		
2,02 Volt		
2, 30 Volt		

HAZ (*Heat Affected Zone*) adalah area yang dipengaruhi oleh penyebaran panas pengelasan dan perubahan mikro, tetapi tidak ada peleburan material. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa ada perubahan ukuran butir baja tahan karat pada HAZ 430 yang lebih besar daripada logam dasar. Ini karena, selain input panas meningkat di wilayah HAZ, wilayah HAZ juga cepat dipanaskan, sehingga partikel

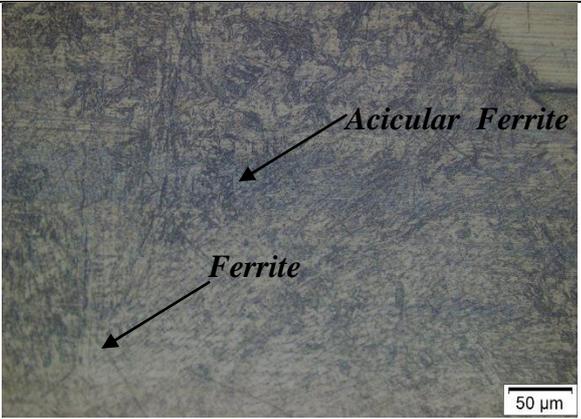
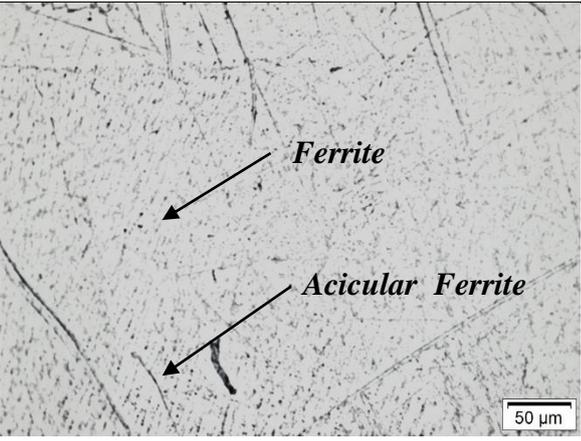
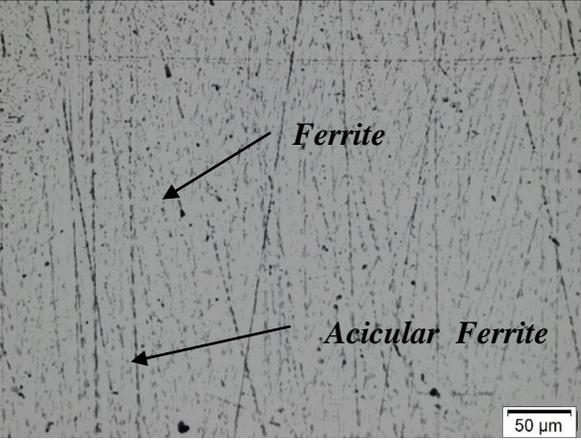
terstruktur halus dihasilkan lebih besar dan menjadi getas di wilayah HAZ (Raharjo & Ariawan, 2005).

Di sisi lain, struktur mikro di wilayah HAZ dari baja karbon rendah menunjukkan bahwa wilayah ini terdiri dari *ferrite* dan *perlite*. *Ferrite* dan *perlite* memiliki partikel yang lebih besar dari bahan dasarnya. Semakin lama waktu pengelasan yang diberikan, semakin besar ukuran butir. Hal ini disebabkan semakin lama waktu pengelasan yang digunakan, input panas yang dihasilkan lebih besar dan logam yang dekat dengan lasan terkena input panas yang lebih tinggi, menghasilkan laju pendinginan yang lebih lambat (Faozi, 2015). Tabel 4.3 menunjukkan foto hasil dari pengujian struktur mikro daerah HAZ SS 430 dan baja karbon rendah pada setiap variasi tegangan listrik.

Logam las adalah area lasan tempat logam meleleh selama proses pengelasan dan membeku setelah proses pemadatan. Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa tegangan pengelasan mempengaruhi struktur mikro metode sambungan logam las RSW (*Resistance Spot Welding*) antara baja tahan karat 430 dan baja karbon rendah.

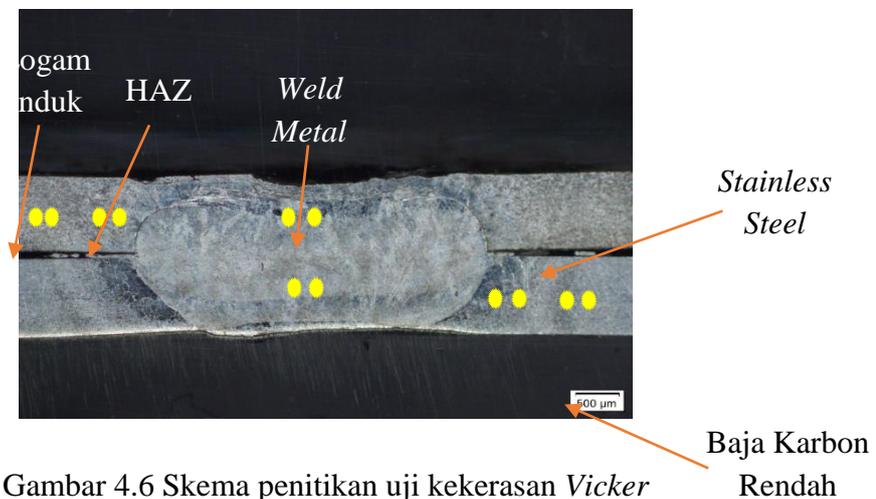
Tabel 4.4 menunjukkan hasil uji struktur mikro di mana struktur mikro di wilayah logam las didominasi oleh *ferrite* dan *acicular ferrite* pada setiap perubahan tegangan pengelasan.

Tabel 4.4 Struktur mikro daerah las atau *weld metal*

Variasi Tegangan	<i>Weld Metal</i>
1,79 Volt	 <p data-bbox="735 465 1316 884">Micrograph showing the microstructure of weld metal at 1,79 Volt. The structure consists of acicular ferrite (pointed to by an arrow) and ferrite (pointed to by another arrow). A scale bar in the bottom right corner indicates 50 μm.</p>
2,02 Volt	 <p data-bbox="735 925 1316 1366">Micrograph showing the microstructure of weld metal at 2,02 Volt. The structure consists of ferrite (pointed to by an arrow) and acicular ferrite (pointed to by another arrow). A scale bar in the bottom right corner indicates 50 μm.</p>
2,30 Volt	 <p data-bbox="735 1406 1316 1848">Micrograph showing the microstructure of weld metal at 2,30 Volt. The structure consists of ferrite (pointed to by an arrow) and acicular ferrite (pointed to by another arrow). A scale bar in the bottom right corner indicates 50 μm.</p>

4.3 Pengujian Kekerasan

Tujuan dari uji kekerasan mikro ini adalah untuk menentukan nilai distribusi kekerasan benda uji dari pengelasan *spot welding* di mana area yang akan diuji terdiri dari logam induk (*base metal*), HAZ (zona yang terkena panas), dan logam lasan (*weld metal*) (Fachruddin dkk, 2016). Uji *Microhardness Vickers* digunakan untuk menentukan pengaruh variasi tegangan pada kekerasan mikro las berdasarkan ASTM E92. Untuk setiap spesimen, penitikan 12x dilakukan pada logam induk, HAZ, dan logam las, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



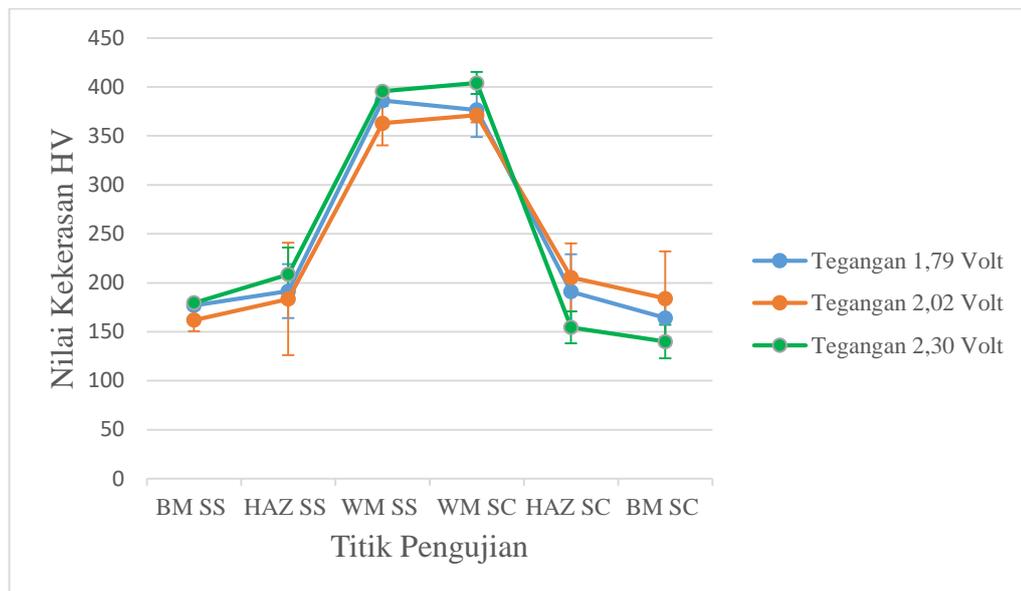
Gambar 4.6 Skema penitikan uji kekerasan Vicker

Tabel 4.5 Nilai kekerasan benda uji setiap variasi tegangan listrik

Stainless Steel												
Tegangan	Base Metal				HAZ				Weld Metal			
	1	2	Rata - rata	St.Dev	1	2	Rata - rata	St.Dev	1	2	Rata - rata	St. Dev
1,79 Volt	180	174	177	4,2	211	172	191,5	27,6	382	390	386	5,7
2,02 Volt	170	154	162	11,3	224	143	183,5	57,3	397	394	395,5	2,1
2,30 Volt	180	179	179,5	0,7	228	189	208,5	27,6	347	379	363	22,6
Baja Karbon Rendah												
Tegangan	Base Metal				HAZ				Weld Metal			
	1	2	Rata - rata	St. Dev	1	2	Rata - rata	St.Dev	1	2	Rata - rata	St. Dev
1,79 Volt	178	150	164	19,8	218	164	191	38,2	396	357	376,5	27,6
2,02 Volt	218	150	184	48,1	230	181	205,5	34,6	412	396	404	11,3
2,30 Volt	152	128	140	17,0	166	143	154,5	16,3	376	366	371	7,1

Tabel 4.5 menunjukkan hasil uji kekerasan untuk pengelasan baja tahan karat 430 dan baja karbon rendah. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, nilai kekerasan rata-rata pada bidang logam dasar *stainless steel* 430 memiliki nilai $\pm 172,8$ HV, baja karbon rendah memiliki nilai $\pm 162,7$ HV. Daerah logam dasar menunjukkan bahwa tidak ada perubahan panas karena tidak terpengaruh oleh panas selama pengelasan. Nilai kekerasan rata-rata tertinggi di wilayah HAZ dari baja *stainless steel* 430 adalah $\pm 208,5$ HV, dan nilai kekerasan rata-rata tertinggi di wilayah HAZ dari baja karbon rendah adalah $\pm 205,5$ HV. Kekerasan di wilayah HAZ meningkat, ini karena hasil tes struktur mikro menunjukkan bahwa di wilayah HAZ baja karbon rendah memiliki struktur *perlite*, yang memiliki partikel kasar dan keras. Di wilayah HAZ dari baja tahan karat 430, ada endapan kromium karbida yang meningkatkan nilai kekerasan karena endapan kromium karbida dapat menahan gerakan dislokasi ketika material terpapar pada beban eksternal (Fachrudin dkk, 2016). Selanjutnya, nilai kekerasan maksimum $\pm 395,5$ HV diperoleh di wilayah logam las *stainless steel* 430, dan nilai kekerasan maksimum ± 404 HV diperoleh di wilayah logam las baja karbon rendah.

Dalam penelitian ini, nilai kekerasan tertinggi untuk *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah ditemukan di area logam las. Di daerah ini, siklus termal dan pendinginan cepat selama proses pengelasan terjadi. Ini karena, menurut penelitian yang dilakukan oleh Hendrawan dan Rusmawan (2014), nilai kekerasan di daerah logam las lebih tinggi daripada di daerah lain. Hal ini dikarenakan input panas yang tinggi dan pendinginan yang cepat setelah proses pengelasan di area logam las. Wilayah HAZ memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah logam induk yang belum terpapar panas.



Gambar 4.7 Hubungan antara kekerasan dan tegangan listrik pengelasan pada material *stainless steel* dan baja karbon rendah.

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai kekerasan las untuk logam las *stainless steel* dan baja karbon rendah memiliki nilai kekerasan rata-rata tertinggi dengan variasi tegangan 2,30 volt. Peningkatan nilai kekerasan disebabkan oleh input panas dan pendinginan cepat yang dihasilkan selama proses pengelasan (Hendrawan & Rusmawan, 2014). Menurut Firmansyah dkk (2016), pengurangan nilai kekerasan di daerah logam las dan HAZ dipengaruhi oleh jumlah butiran yang terbentuk di wilayah tersebut. Hal lain yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan karena pengujian menggunakan micro Vickers sehingga lekukan dipengaruhi hanya oleh satu butir. Titik indentasi uji micro Vickers mempengaruhi butiran yang lebih kecil dengan kekerasan yang lebih rendah daripada butiran yang lebih besar dengan kekerasan yang lebih tinggi.

Perbandingan dengan penelitian (Hanafi N, 2019) Pengaruh Variasi Tegangan Listrik Pengelasan Titik (*Spot Welding*) terhadap Sifat Mekanis pada Sambungan *Dissimilar* Baja *Stainless Steel* AISI 304 dengan Baja Karbon Tinggi yaitu nilai rata-rata kekerasan tertinggi terdapat pada base metal atau logam induk, sedangkan penelitian ini rata-rata kekerasan tertinggi terdapat pada weld metal atau

logam lasan. Hal ini dapat disebabkan karena perbedaan material dan struktur logam tersebut.

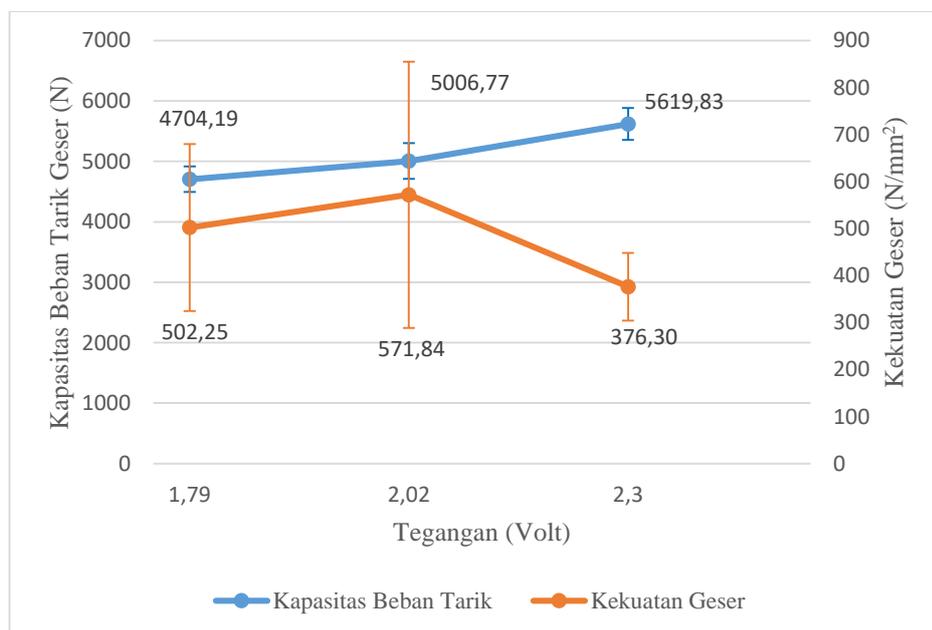
4.4 Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan untuk menentukan pengaruh variasi tegangan pengelasan pada *tensile load bearing capacity* (TLBC) atau kapasitas beban sambungan las. Uji ini dilakukan di Laboratorium Las BLK Surakarta menggunakan *Universal Test Machine* (UTM) dengan tipe Anstron 3367. Hasil pengelasan dari material beda jenis antara *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah SPHC JIS G3131 menggunakan metode RSW (*Resistance Spot Welding*) dan kemudian dilakukan uji tarik geser.

Tabel 4.6 Nilai kapasitas beban tarik dan kekuatan geser

Variasi Tegangan (volt)	Kapasitas Beban Tarik (N)	Rata - rata	Luas (mm ²)	Kekuatan Geser (N/mm ²)	Rata - rata	St.Dev
1,79	4687,68	±4704,19	6,92	677,88	±502,25	177,84
	4922,37		9,72	506,58		
	4502,51		13,97	322,29		
2,02	4835,56	±5006,77	5,66	854,74	±571,84	283,03
	5350,41		9,35	572,12		
	4834,33		16,75	288,68		
2,3	5339,07	±5619,83	16,63	321,13	±376,30	72,06
	5860,41		16,75	349,95		
	5660		12,36	457,83		

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa rata-rata beban tarik meningkat dengan variasi besar pada tegangan pengelasan yang digunakan. Nilai kekuatan geser rata-rata itu menurun dengan meningkatnya tegangan listrik. Penurunan nilai kekuatan geser rata-rata mungkin disebabkan hasil dari nugget asimetris. Penelitian yang dilakukan oleh Haikal dan Triyono (2013), menunjukkan bahwa pengelasan logam yang berbeda (*dissimilar metal*) memiliki nugget asimetris karena perbedaan fisik antara logam dan sifat mekanik. Karena bentuk nugget yang asimetris, nilai kekuatan geser juga berkurang. Selain itu, sebuah penelitian oleh Fachruddin dkk (2016), menjelaskan bahwa nilai kekuatan geser berkurang juga bisa disebabkan oleh input panas atau masukan panas yang meningkat dengan perubahan tegangan listrik. Ini karena semakin tinggi tegangan pengelasan, semakin besar area logam las, semakin dalam penetrasi semakin rendah kekuatan geser dan menambah kerapuhan. Itu tergantung pada diameter logam las yang terbentuk (*nugget*), diameter nugget bertambah besar seiring meningkatnya tegangan pengelasan.



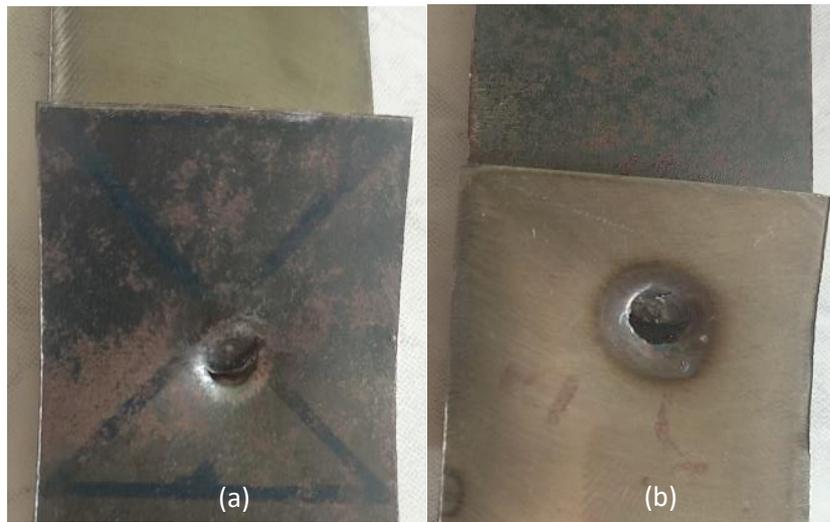
Gambar 4.8 Grafik perbandingan hasil uji tarik pada kekuatan geser rata-rata dan pembebanan maksimum rata-rata setiap variasi tegangan listrik.

Gambar 4.8 menunjukkan rasio kekuatan geser rata-rata terhadap beban maksimum rata-rata. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan beban tarik

meningkat dengan besarnya tegangan pengelasan yang diberikan, tetapi variasi tegangan pengelasan pada 1,79 volt, 2,03 volt dan 2,30 volt tidak mengalami penurunan beban tarik.

Secara umum ada dua jenis mode kegagalan dalam uji tarik geser: *interface failure* (IF) dan *pull-out failure* (PF). Hasil pengelasan titik (RSW) menghasilkan kualitas yang dapat diketahui dari sifat mekanik dan jenis mode kegagalan dari hasil pengelasan. Nilai beban maksimum pengelasan *resistance spot welding* (RSW) dipengaruhi oleh faktor fisik pengelasan, salah satunya adalah ukuran *fusion zone interface*. Mode kegagalan pengelasan RSW dapat memiliki efek signifikan pada TLBC (Abadi dan Pournvari, 2010).

Dari uji tarik geser yang dilakukan, jenis kegagalan pengelasan dari *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah SPHC JIS G3131 dalam bentuk *pull-out failure* pada semua variasi tegangan. Jenis kegagalan (*failure mode*) adalah cara sambungan las gagal. Mode kegagalan *interface failure* bahwa area sambungan keseluruhan kecil dan kekuatannya rendah, sehingga beban puncak dan energi patahan rendah. Di sisi lain, mode kegagalan tipe *pull-out* adalah salah satu jenis kegagalan di mana kekuatan geser sambungan yang dilas tinggi (Hendrawan dan Rusmawan, 2014). *Pullout failure* memiliki sobekan yang cenderung terjadi di wilayah HAZ dari baja karbon rendah. Ini disebabkan oleh nilai kekerasan, di mana baja karbon rendah memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih rendah daripada baja tahan karat. Gambar 4.9 menunjukkan hasil mode kegagalan spesimen pengelasan logam yang berbeda dengan variasi tegangan yang berbeda.



Gambar 4.9 Foto kegagalan pada setiap variasi tegangan listrik

Gambar 4.9 adalah hasil uji tarik geser (a) pada bagian baja karbon rendah mengalami *pull out*, (b) hasil pengujian tarik geser *stainless steel* juga mengalami *pull out*.