

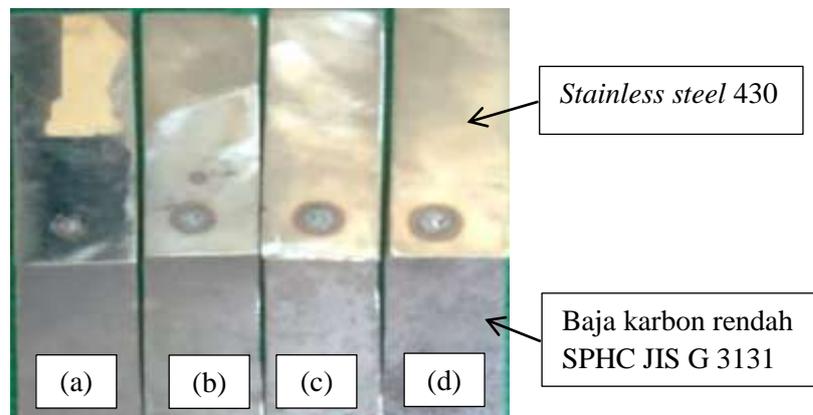
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyambungan material tidak sejenis (*dissimilar*) antara *stainless steel* 430 dengan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 dilakukan menggunakan metode las titik (*spot welding*). Pada penelitian ini variasi parameter yang digunakan adalah variasi waktu penekanan dengan tegangan listrik tetap. Tujuan dari variasi tersebut untuk mengetahui sifat fisis dan mekanis dari hasil sambungan las. Sifat fisis dan mekanis diperoleh dari beberapa tahap pengujian diantaranya pengamatan foto makro dan mikro, kekerasan, dan kapasitas beban tarik geser. Data yang diperoleh dari pengujian kemudian dianalisis dan dilakukan pembahasan untuk memperoleh kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

4.1 Hasil Pengelasan

Percobaan pengelasan *spot welding* sebelum menentukan variasi waktu dalam pengelasan adalah melakukan percobaan tegangan. Pada percobaan pertama tegangan 1.60 V dan waktu 1 detik menghasilkan las kurang sempurna tidak melekat dengan kuat. Pada percobaan kedua tegangan 1.79 V dan waktu 2 detik masih kurang sempurna karena luasan nugget cenderung kecil dan sambungan las kurang kuat. Pada percobaan ketiga dilakukan variasi dengan tegangan 2.67 V dan waktu 3 detik hasil sambungan yang didapatkan sudah cukup kuat tetapi permukaan kurang baik menyebabkan cacat pada *nugget*. Kemudian dilakukan percobaan keempat dengan menggunakan tegangan 2.02 V dan waktu 3 detik menghasilkan sambungan yang cukup kuat dan permukaan *nugget* cukup besar. Dari beberapa percobaan tersebut telah didapatkan variasi waktu dengan sambungan lasan yang kuat, untuk melakukan pengujian selanjutnya diambil data variasi waktu mulai dari 3 detik, 4 detik, 5 detik, dan 6 detik. Dari proses penelitian hasil percobaan pengelasan *spot welding* antara *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



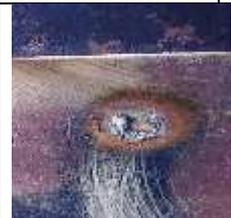
Gambar 4.1 Hasil dari pengelasan *spot welding* (a) variasi waktu 3 detik, (b) variasi waktu 4 detik, (c) variasi waktu 5 detik, (d) variasi waktu 6 detik.

Gambar 4.1 Menunjukkan dari hasil pengelasan spot welding material beda jenis antara stainless steel 430 dengan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 menggunakan beberapa variasi waktu pengelasan menunjukkan bahwa diameter *nugget* yang dihasilkan berbeda pada setiap variasi waktu yang digunakan. Terlihat bahwa kenaikan variasi waktu pengelasan mengakibatkan kenaikan pada diameter *nugget* dan luasan *nugget* yang dipengaruhi oleh *heat input*.

Berdasarkan hasil percobaan, keempat parameter variasi yang digunakan untuk penelitian adalah variasi waktu 3,4,5 dan 6 detik dengan tegangan tetap 2.02 V. Penelitian ini menggunakan 3 buah spesimen uji untuk setiap masing-masing variasi dalam pengelasan *spot welding*.

Parameter waktu penekanan pengelasan sangat mempengaruhi terhadap hasil sambungan lasan dan diameter *nugget* lasan. Hasil dari percobaan yang sudah dilakukan semakin lama waktu pengelasan sangat berpengaruh terhadap diameter *nugget* akan menjadi lebih besar. Penentuan parameter waktu pengelasan juga berpengaruh terhadap hasil sambungan lasan. Apabila pemilihan parameter waktu pengelasan terlalu cepat, maka hasil panas tidak dapat melelehkan material sehingga daerah *nugget* kecil dan penembusan tidak dalam. Sebaliknya apabila parameter waktu las terlalu lama maka panas yang dihasilkan juga akan tinggi sehingga *nugget* logam yang dihasilkan akan menjadi besar. Gambar 4.2 menunjukkan *nugget* hasil lasan *stainless steel* 430 dengan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131.

Tabel 4.1 *Nugget* lasan *stainless steel* 430 dengan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131

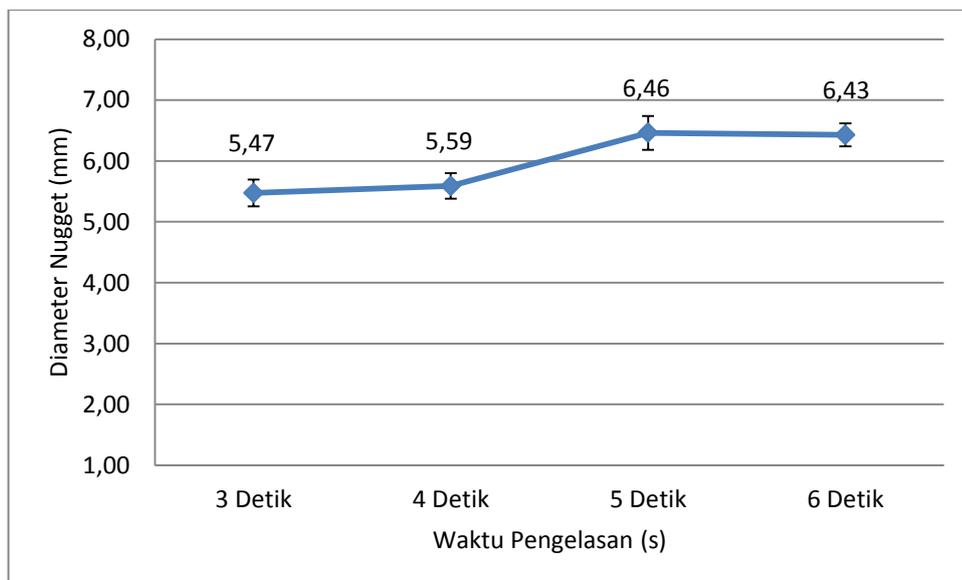
Nugget Spesimen	Variasi Waktu Pengelasan			
	3 detik	4 detik	5 detik	6 detik
1				
2				
3				



Gambar 4.2 Pengukuran diameter *nugget* hasil lasan *spot welding* pada permukaan *stainless steel* 430

Tabel 4.2 Ukuran luas diameter *nugget* hasil lasan *spot welding*.

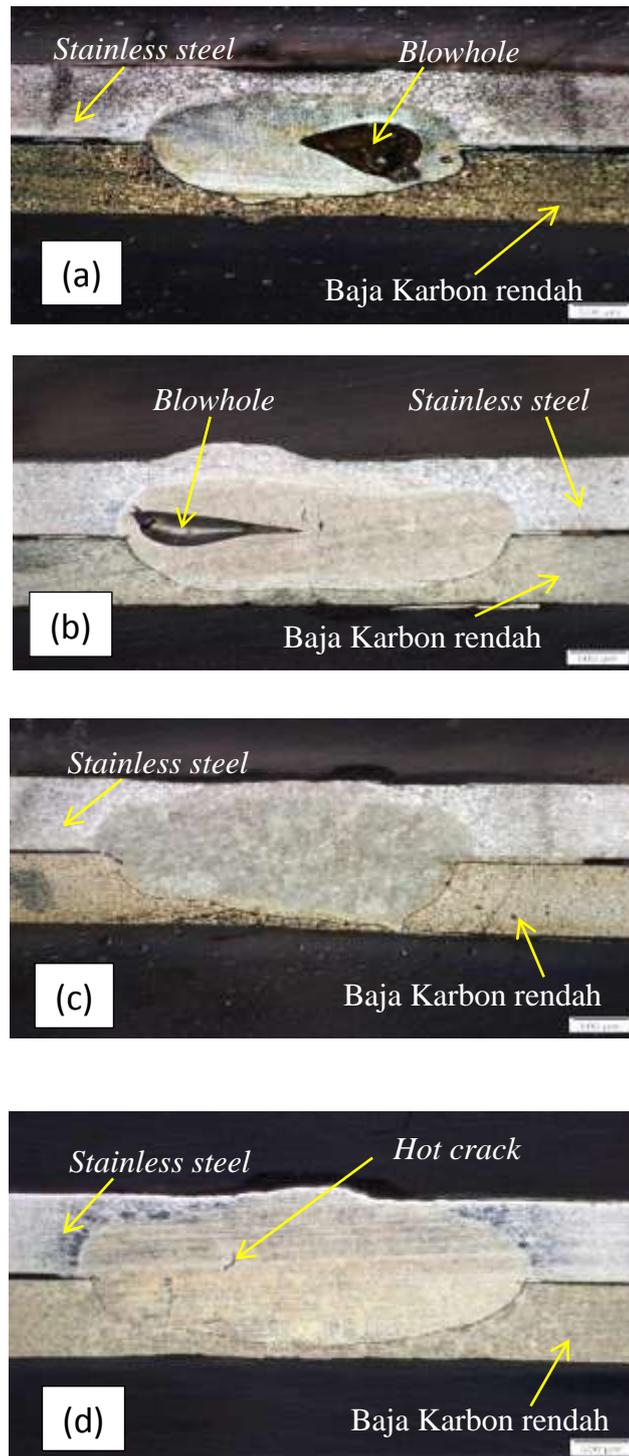
Waktu	Spesimen	D1	D2	D3	Rata-rata	D Rata-Rata	Set.Dev
3 detik	1	5.70	5.10	5.65	5.48	5.47	0.22
	2	5.35	5.70	5.40	5.48		
	3	5.25	5.35	5.75	5.45		
4 detik	1	5.75	5.80	5.25	5.60	5.59	0.21
	2	5.35	5.90	5.40	5.55		
	3	5.60	5.75	5.50	5.62		
5 detik	1	6.75	5.90	6.25	6.30	6.46	0.28
	2	6.70	6.25	6.35	6.43		
	3	6.85	6.60	6.50	6.65		
6 detik	1	6.45	6.90	6.35	6.57	6.43	0.19
	2	6.40	6.35	6.50	6.42		
	3	6.35	6.40	6.15	6.30		

Gambar 4.3 Ukuran diameter *nugget* setiap variasi waktu pengelasan.

Gambar 4.3 menunjukkan peningkatan pada diameter *nugget* setiap kenaikan variasi waktu yang dilakukan pengelasan. Berikut ini adalah data yang diperoleh dalam pengukuran diameter rata-rata pada variasi waktu 3 detik 5.47mm, variasi 4 detik 5.59mm, variasi 5 detik 6.46mm, variasi 6 detik 6.43mm, Hasil pengelasan dengan variasi tegangan tetap dan lama waktu yang meningkat menunjukkan diameter *nugget* membesar dengan variasi waktu yang diberikan. Data pengukuran menunjukkan diameter terkecil pada variasi waktu 3 detik dan diameter terbesar pada variasi 5 detik, hal ini dikarenakan pada variasi 6 detik tekanan dalam proses pengelasannya kurang maksimal.

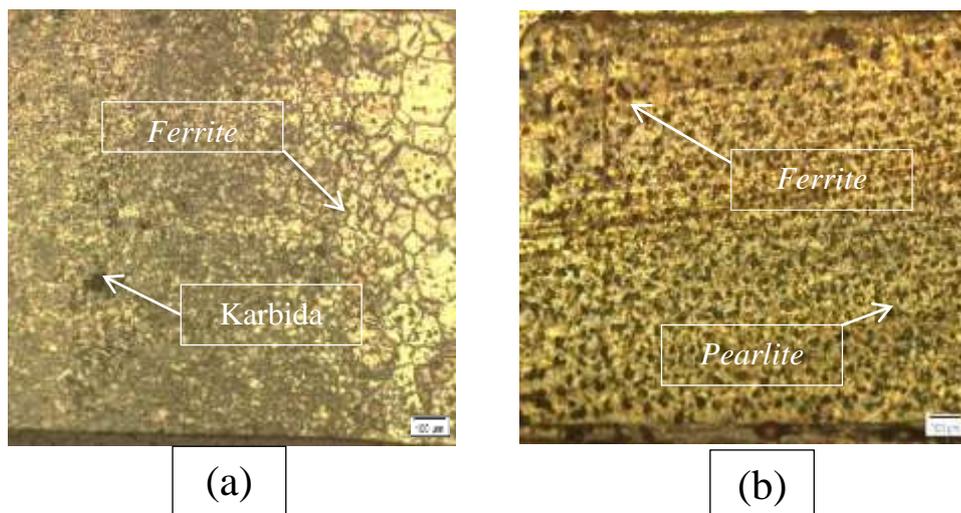
4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro dan Makro

Pengujian struktur mikro dan makro merupakan proses pengamatan metalografi pada setiap hasil dari spesimen variasi waktu lasan, Pengamatan ini dilakukan untuk melihat bagian-bagian hasil lasan diantaranya adalah logam las (*weld metal*), HAZ (*heat affected zone*), dan logam induk (*base metal*). Sebelum memulai pengujian mikro dan makro di perlukan proses pengamplasan spesimen terlebih dahulu. Langkah yang dilakukan adalah dengan memotong melintang pada bagian tengah sambungan lasan menjadi dua kemudian melakukan peresinan, pengamplasan, pemolesan dan mengetsa. Cairan etsa yang digunakan untuk baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 adalah HNO_3 10 % lalu di oleskan dengan *cotton bat* pada bagian baja karbon rendah saja. Sedangkan cairan etsa untuk *stainless steel* 430 adalah HCl 30% dan HNO_3 10 %. Berikut Gambar 4.4 menunjukkan hasil uji makro pada sambungan las *spot welding* baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 dengan *stainless steel* 430.



Gambar 4.4 Hasil uji makro(a) variasi waktu 3 detik. (b) variasi waktu 4 detik. (c) variasi waktu 5 detik. (d) variasi waktu 6 detik

Gambar 4.4 Menunjukkan hasil pengamatan makro pada sambungan lasan baja karbon rendah SPHC JIS G dengan *stainless steel* 430. Hasil pengamatan foto makro pada sambungan terlihat dimana pada bagian gambar (c) dan (d) penetrasi yang dihasilkan melebur menjadi satu namun pada gambar (a) dan (b) terdapat cacat lubang pada daerah *weld metal*.



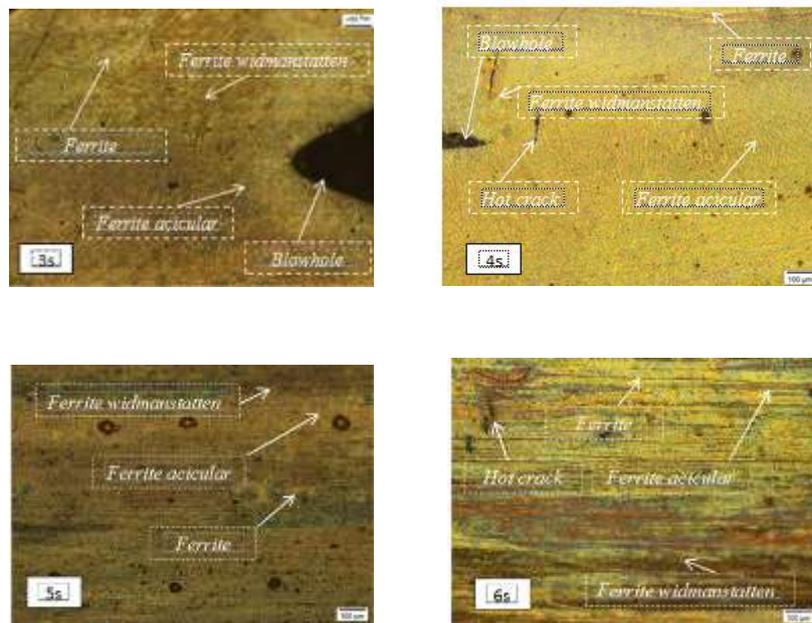
Gambar 4.5 Struktur mikro *base metal* (a) *stainless steel* 430 dan (b) baja karbon rendah SPHC JIS G 3131.

Gambar 4.5 menunjukkan foto struktur pada daerah logam induk (*base metal*) dari pengelasan titik *stainless steel* 430 dengan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131. Pada *stainless steel* 430 terdapat struktur *ferrite* dengan retakan berwarna putih pada bagian logam dan *karbida* struktur berwarna gelap. Sedangkan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 terdapat struktur *ferrite* yang berwarna terang mempunyai sifat halus dan lunak dan *perlite* berwarna gelap mempunyai sifat lebih kasar dan keras.

Variasi Waktu	HAZ (<i>Heat Affected Zone</i>)	
	<i>Stainless Steel</i> 430	Baja Karbon Rendah SPHC JIS G 3131
3 detik		
4 detik		
5 detik		
6 detik		

Gambar 4.6 Struktur mikro HAZ pada spesimen *stainless steel* 430 dengan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131

HAZ (*Heat Affected Zone*) merupakan daerah yang terkena panas pengelasan dan mengalami perubahan butir struktur mikro, akan tetapi tidak sampai terjadi peleburan. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pada daerah HAZ baja karbon rendah mengalami perubahan ukuran butir yang didominasi *pearlite* dan *ferrite* menjadi 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 kasar yang mengakibatkan daerah HAZ menjadi getas Firmansyah, W., dkk. (2016).



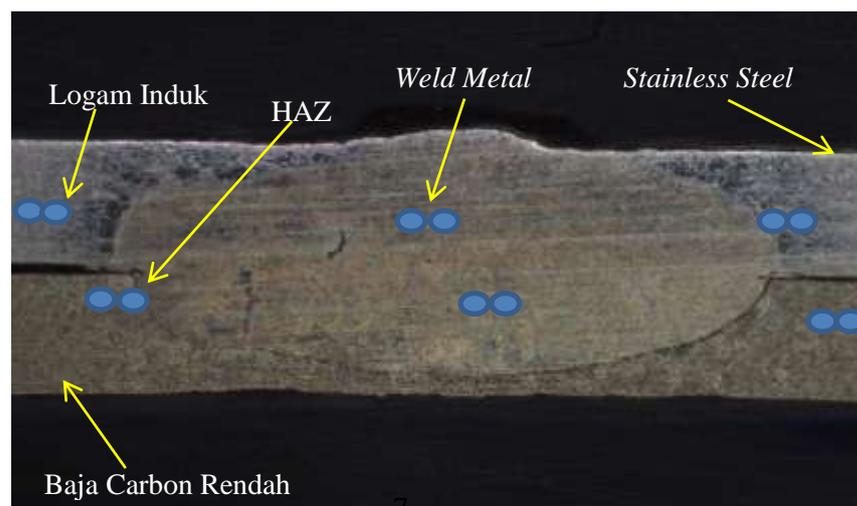
Gambar 4.7 Struktur mikro daerah las *weld metal*

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada daerah *weld metal* pada pengelasan variasi waktu 3 detik, 4 detik, 5 detik, dan 6 detik. Struktur *ferrite acicular* terlihat seperti jarum kecil yang berwarna putih, sedangkan pada struktur ferrite *widmanstatten* terlihat seperti warna kumpulan jarum gelap. Pada struktur *ferrite* adalah bagian yang berwarna bercak putih saja. Bagian pengelasan variasi waktu 3 detik dan 4 detik terjadi cacat *blowhole*, untuk cacat *hot crack* terjadi pada variasi 4 detik dan 6 detik. Bintik-bintik bulat yang terjadi pada setiap variasi adalah kotoran logam saat melakukan proses pengelasan.

Logam las atau *weld metal* merupakan daerah las yang mengalami pencairan logam dan kemudian membeku setelah proses *solidifikasi*. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa tegangan listrik pengelasan berpengaruh terhadap perubahan ukuran butir struktur mikro pada daerah HAZ dan *weld metal*. Pada daerah *weld metal* terdapat struktur mikro *ferrite*, *ferrite acicular* dan *ferrite widmanstatten*. Struktur mikro *ferrite accicular* mempunyai bentuk seperti jarum dengan arah orientasi acak. Struktur mikro *ferrite acicular* berfungsi sebagai *interlocking structure* yang dapat menghambat laju perambatan retak. Fachruddin, dkk. (2016).

4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro ini bertujuan untuk mengetahui nilai distribusi kekerasan pada spesimen hasil pengelasan titik, dimana daerah yang akan diuji yaitu terdiri dari logam induk (*base metal*), HAZ (*Heat Affected Zone*), dan logam induk (*weldmetal*). Fachruddin, dkk. (2016). Pengujian *Microhardness Vickers* digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu terhadap kekerasan mikro lasan yang berdasar pada AWS D8.9-97. Pada tiap spesimen uji dilakukan 12x penitikan yang meliputi daerah logam induk, HAZ, dan *weld metal* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8



Gambar 4.8 Skema penitikan uji kekerasan *Vickers*

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa dalam pengujian kekerasan *vikers* terdapat beberapa bagian penitikan. Untuk logam induk *stainless steel* mempunyai 2 titik kekerasan dan logam induk pada baja karbon rendah juga 2 titik kekerasan. Pada bagian daerah HAZ *stainless steel* ada 2 titik dan bagian baja karbon ada 2 titik. Untuk pada bagian *weld metal* terdapat 4 titik yaitu 2 titik *stainless steel* dan 2 titik untuk baja karbon. Total keseluruhan terdapat 12 titik kekerasan untuk pengujian kekerasan *vikers*.

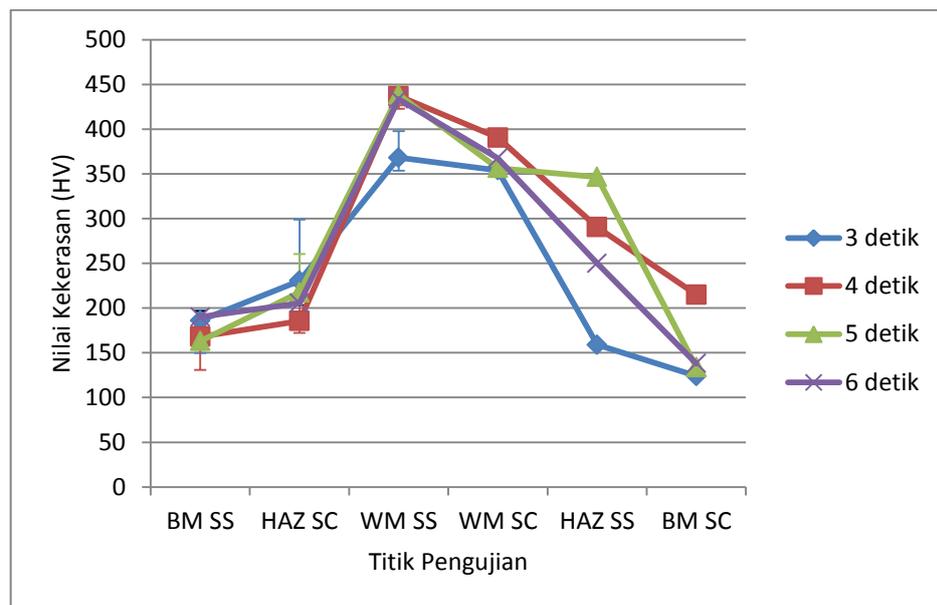
Tabel 4.3 Nilai kekerasan spesimen uji *Vickers* setiap variasi waktu pengelasan

Stainless Steel AISI 430												
Variasi Waktu	BM				HAZ				WM			
	1	2	Rata-rata	ST.Dev	1	2	Rata-rata	ST.Dev	1	2	Rata-rata	ST.Dev
3 detik	191	181	186	11,48	186	132	159,0	68,38	329	407	368,0	29,64
4 detik	162	174	168	11,73	281	300	290,5	39,56	411	463	437,0	2,09
5 detik	158	168	163	11,02	458	235	346,5	43,04	404	473	438,5	8,16
6 detik	197	183	190	6,63	268	232	250,0	5,75	431	436	433,5	7,13

Baja Karbon Rendah												
Variasi Waktu	BM				HAZ				WM			
	1	2	Rata-rata	ST.Dev	1	2	Rata-rata	ST.Dev	1	2	Rata-rata	ST.Dev
3 detik	146	102	124	36,30	248	213	230,5	16,56	357	351	354,0	14,42
4 detik	201	229	215	37,28	197	174	185,5	13,20	359	422	390,5	14,17
5 detik	108	160	134	8,06	277	158	217,5	4,97	323	390	356,5	5,10
6 detik	144	132	138	7,38	229	182	205,5	2,13	374	361	367,5	0,19

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata pada daerah logam induk *stainless steel* 430 memiliki nilai sebesar ± 176.75 HV dan baja karbon rendah memiliki nilai sebesar ± 152.75 HV, dimana daerah logam induk ini tidak mengalami perubahan kekerasan karena tidak terpengaruh oleh panas pada saat terjadinya pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi rata-rata pada daerah HAZ *stainless steel* 430 yaitu sebesar ± 261.50 HV dan nilai kekerasan tertinggi rata-rata daerah HAZ baja karbon rendah yaitu sebesar ± 209.75 HV. Kekerasan pada daerah HAZ mengalami kenaikan, hal ini dikarenakan dari hasil pengujian struktur mikro terlihat bahwa pada daerah HAZ baja karbon rendah terdapat struktur *pearlite*, dimana *pearlite* mempunyai butir yang kasar dan bersifat keras. Pada daerah HAZ *stainless steel* 430 terdapat

endapan karbida krom yang menyebabkan nilai kekerasannya naik karena endapan dari karbida krom mampu menahan gerakan dislokasi ketika material terkena beban dari luar Fachruddin, dkk. (2016). Kemudian pada daerah weld metal stainless steel 430 diperoleh nilai kekerasan tertinggi rata-rata sebesar ± 419.25 HV dan daerah weld metal baja karbon rendah diperoleh nilai kekerasan tertinggi rata-rata sebesar ± 367.13 HV.

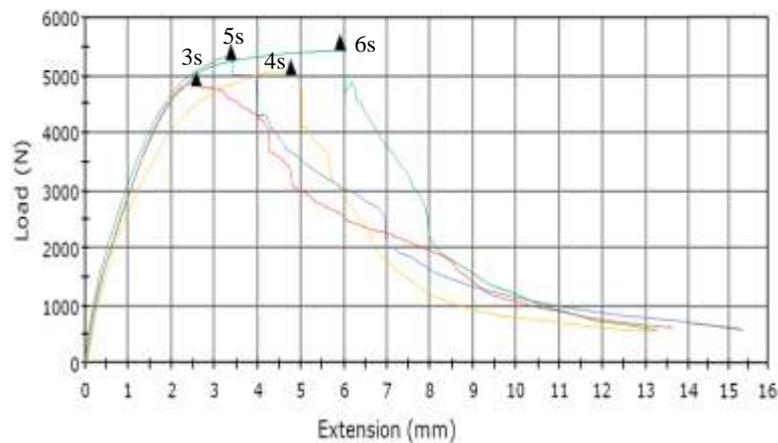


Gambar 4.9 Hubungan antara kekerasan dan variasi waktu pengelasan pada material *stainless steel* 430 dengan baja karbon rendah SPHC jis G 3131

Pengelasan pada material *stainless steel* 430 dengan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kekerasan hasil las pada daerah *weld metal stainless steel* dan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 nilai kekerasan rata-rata tertinggi terdapat pada variasi waktu 5 detik. Peningkatan nilai kekerasan disebabkan oleh masukan panas dan pendinginan cepat yang terjadi selama proses pengelasan berlangsung.

4.4 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik geser dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan listrik pengelasan terhadap *tensile load bearing capacity* (TLBC) atau kapasitas beban pada sambungan las. Hasil dari pengelasan material tidak sejenis menggunakan metode *Spot Welding* dengan bahan *stainless steel* 430 dengan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 yang telah berhasil dilas kemudian dilakukan pengujian tarik geser. Pengujian ini dilakukan di laboratorium pengelasan BLK Surakarta Jl. Bahayangkara no.38, Panularan, Kec. Laweyan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM).



Gambar 4.10 Hasil pengujian tarik geser pada beberapa variasi waktu pengelasan

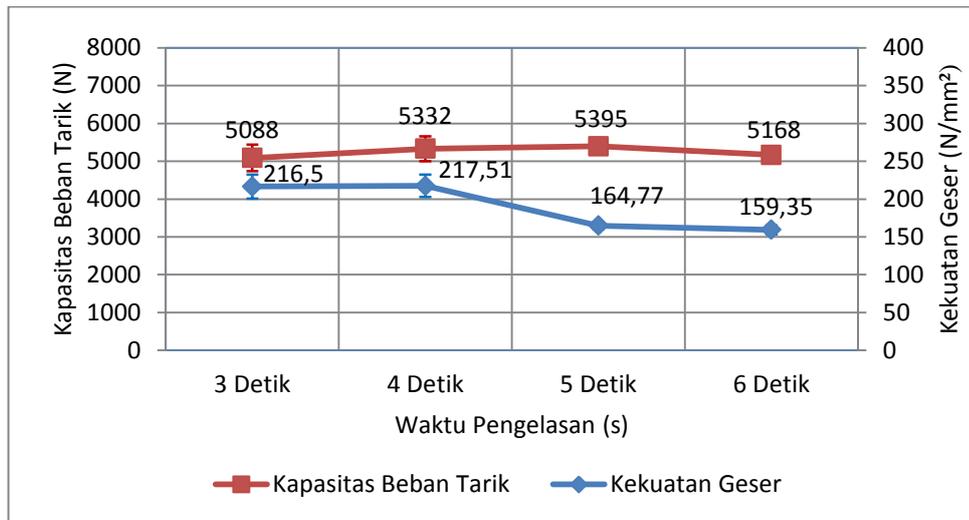
Pada gambar 4.10 menunjukkan hasil dari pengujian tarik geser mesin UTM, hasil grafik pengujian variasi waktu 3 detik dengan nilai kekuatan tarik geser 4939.11 N, 4 detik 5101.90 N, 5 detik 5312.77 N, dan 6 detik 5908.43 N.

Tabel 4.4 Nilai pembebanan tarik rata-rata setiap variasi waktu

Waktu (s)	Luasan(mm ²)	Kaps Beban (N)	Rata-rata Beban	Tegangan geser	Rata-Rata Teg. Geser	Kegagalan Uji Tarik
3s	23,61	4655,34	± 5088,78 348,67	197,18	±216,50 15,95	Pullout (SC/SS)
	23,61	5101,9		216,09		Pullout (SC/SS)
	23,32	5509,09		236,24		Pullout (SC/SS)
4s	24,63	4906,25	± 5332,82 327,31	199,20	±217,51 14,91	Pullout (SC/SS)
	24,19	5701,77		235,71		Pullout (SC/SS)
	24,77	5390,43		217,62		Pullout (SC/SS)
5s	31,11	5303,36	± 5395,17 123,25	170,47	±164,77 4,23	Pullout (SC/SS)
	32,5	5312,77		163,47		Pullout (SC/SS)
	34,73	5569,39		160,36		Pullout (SC/SS)
6s	33,86	5361,02	± 5168,11 174,12	158,33	±159,35 5,84	Pullout (SC/SS)
	32,33	4939,11		152,77		Pullout (SC/SS)
	31,17	5204,21		166,96		Pullout (SC/SS)

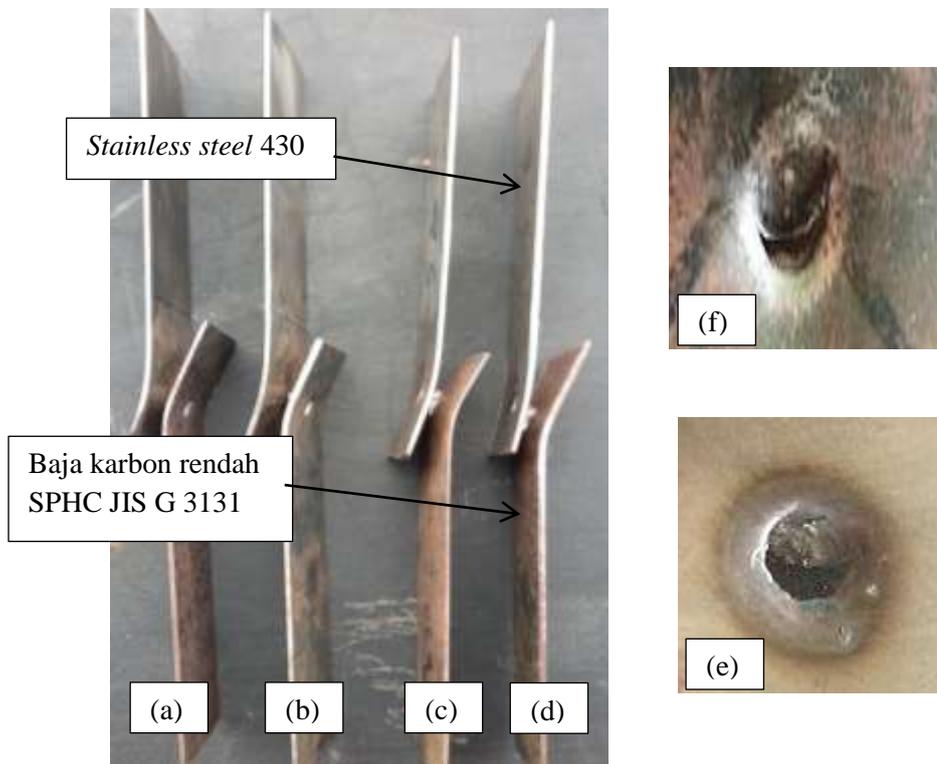
Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa kenaikan variasi tegangan yang digunakan menyebabkan nilai dari kekuatan tarik meningkat. Dari data hasil pengujian pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata pembebanan dari setiap variasi tegangan mengalami kenaikan dimana nilai rata-rata beban tarik pada variasi waktu 3 detik sebesar 5088.78 N, dan tegangan geser 216.50 N/mm², kemudian pada variasi waktu 4 detik nilai rata-rata beban tarik mengalami peningkatan menjadi 5332.82 N dan tegangan geser 217.51 N/mm². Pada variasi waktu 5 detik nilai rata-rata beban tarik meningkat yaitu sebesar 5395.17 N dan tegangan geser 164.77 N/mm². Pada variasi waktu 6 detik mengalami penurunan 5168.11 N dan tegangan geser 159.35 N/mm². Hal ini disebabkan karena masukan panas yang diberikan pada sambungan lasan spesimen berubah, semakin naik kapasitas tegangan tarik maka penetrasinya juga akan meningkat.

Nilai pembebanan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya diameter *nugget* hasil sambungan lasan, peningkatan ini disebabkan karena masukan panas yang diberikan pada spesimen. Dengan meningkatnya masukan panas pada sambungan lasan akan membuat penetrasi semakin meningkat, yang membuat ukuran diameter dari *nugget* lasan semakin besar. Hendrawan, M. Alfatih. dkk. (2017).



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

Pada Gambar 4.11 Menunjukkan perbandingan antara beban tarik geser rata-rata dan kekuatan geser rata-rata. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa nilai beban tarik mengalami peningkatan seiring dengan semakin besar waktu pengelasan yang diberikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan arus listrik dan waktu pengelasan berpengaruh terhadap kenaikan nilai beban tarik sambungan las.



Gambar 4.12 Hasil uji geser tarik menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) dengan beberapa variasi waktu (a) 3 detik, (b) 4 detik, (c) 5 detik, (d) 6 detik (e) hasil uji tarik geser *stainless steel* mengalami *pull out* (f) hasil pengujian tarik geser pada bagian baja karbon rendah juga mengalami *pull out*

Gambar 4.12 menunjukkan uji geser tarik pada beberapa variasi waktu plat logam dengan bahan *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah SPHC JIS G 3131 sebagian *pull out failure* semuanya, hal karena hasil las pada *weld metal* masih tersambung dengan kuat.

Dari pengujian tarik geser yang sudah dilakukan didapatkan jenis kegagalan *pull out failure* pada beberapa spesimen variasi waktu. Hasil uji geser terjadi rusak sobek pada daerah HAZ kedua material. Hal ini dikarenakan distribusi panas yang diterima oleh kedua material merata, menyebabkan tingkat kekerasan yang relatif sama. Sehingga ketika spesimen diberikan beban tarik maka menyebabkan daerah HAZ dari kedua material mengalami sobek. Fachruddin, dkk. (2016)