

BAB IV

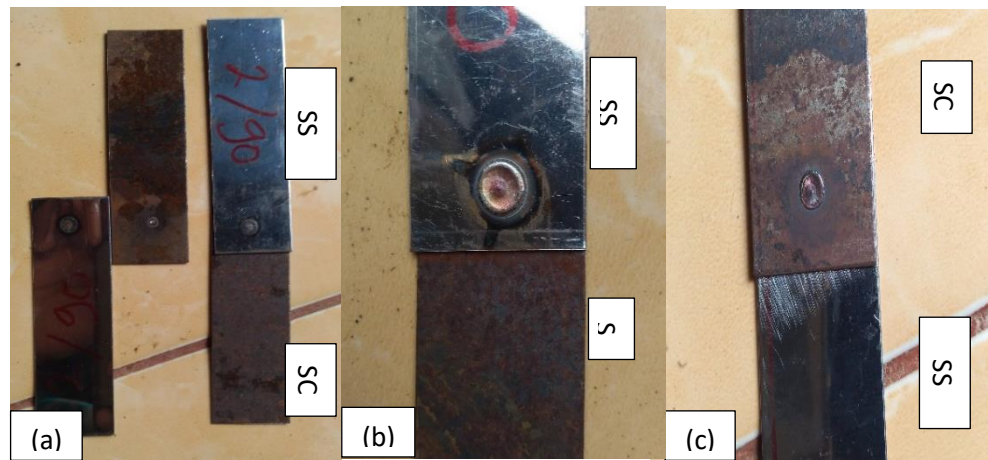
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *spot TIG welding* untuk menggabungkan dua material yang berbeda yaitu *stainless steel 430* dan baja karbon rendah. Variasi parameter yang digunakan adalah kuat arus dan waktu pengelasan, dimana kuat arus yang digunakan sama pada setiap variasi waktu. Tujuan dari variasi tersebut untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari hasil sambungan las. Sifat fisik dan mekanik yang didapat dengan melakukan beberapa tahap pengujian diantaranya pengamatan foto makro dan mikro, kekerasan dan kapasitas beban tarik. Data yang diperoleh dari pengujian kemudian dianalisa dan dibahas untuk memperoleh kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

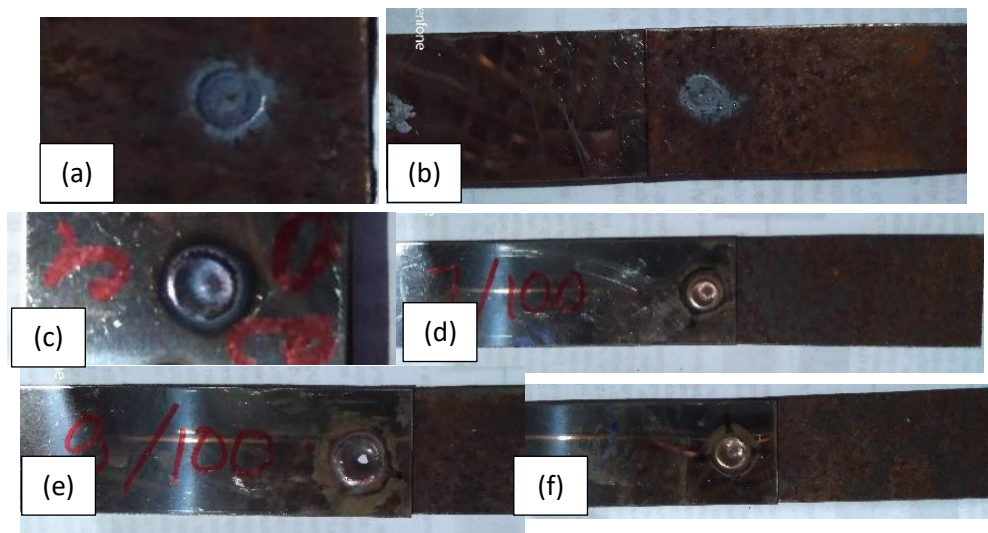
4.1 Hasil Pengelasan

Pengelasan dengan metode *spot TIG* pada dua material tidak sejenis antara *stainless steel 430* dengan baja karbon rendah masih memerlukan beberapa percobaan untuk menentukan variasi variabel waktu penekanan yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan dalam sifat fisik dan termal yang melekat antara material *stainless steel 430* dan baja karbon rendah. Percobaan pertama yang dilakukan sebelum menentukan parameter variasi waktu penekanan yaitu ditunjukkan pada Gambar 4.1 (a) menggunakan variasi waktu 2 detik dan kuat arus 90 A, dimana pada percobaan ini material masih belum menempel dengan kuat karena sambungan yang dihasilkan pada lasan kurang sempurna atau penetrasi yang dihasilkan kurang dalam. Kemudian percobaan yang kedua dapat dilihat pada Gambar 4.1 (b) dengan menggunakan variasi waktu 7 detik dan kuat arus 100 A, dimana pada percobaan yang kedua ini posisi penempatan plat terjadi kesalahan akibat *human eror* dimana pada penelitian yang dilakukan posisi plat baja karbon rendah berada pada bagian atas sedangkan pada percobaan ini plat *stainless steel 430* berada pada bagian atas.

Sedangkan percobaan kedua ditunjukkan oleh Gambar 4.1 (c) menggunakan variasi waktu 2 detik dan kuat arus 95 A, pada percobaan yang kedua ini hasil sambungan cukup kuat. Percobaan hasil dari pengelasan antara *stainless steel 430* dengan baja karbon rendah ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.



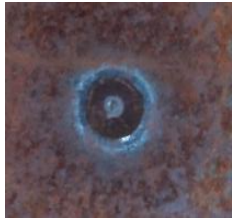
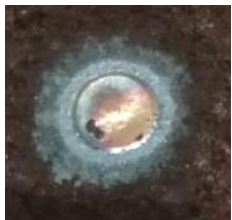

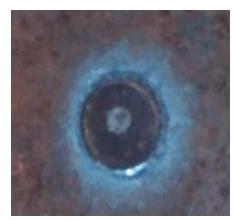

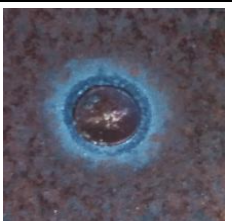




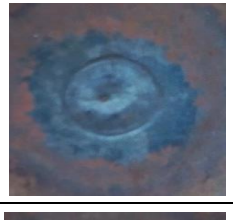


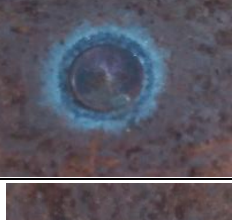

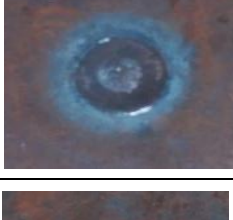




Gambar 4. 1 Hasil percobaan pengelasan *spot TIG* antara *stainless steel* dengan baja karbon rendah (a) waktu 2 detik dan kuat arus 90 A, (b) waktu 2 detik dan kuat arus 95 A



Gambar 4. 2 Foto hasil percobaan untuk menentukan parameter penelitian a) 2 detik 90 A, b) 2 detik 95 A, c) 2 detik 90 A, d) 7 detik 100 A, e) 9 detik 100 A, f) 9 detik 140 A

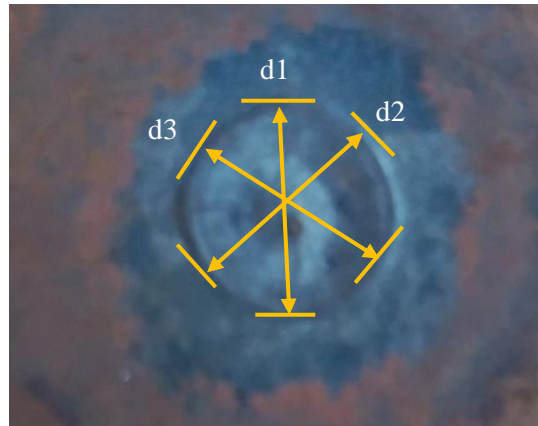
Berdasarkan dari hasil beberapa percobaan, penelitian ini menggunakan parameter waktu penekanan yaitu 2 detik, 3 detik, 4 detik dan 5 detik dengan kuat arus 95 A. Penelitian ini menggunakan 5 buah spesimen setiap masing-masing variasi.

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. Gambar 4.3 menunjukkan *nugget* dari hasil lasan pada setiap variasi dan Gambar 4.4 menunjukkan metode dari pengukuran diameter *nugget* hasil lasan.

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

Gambar 4. 3 Nugget lasan *stainless steel 430* dengan baja karbon rendah dilihat dari sisi baja karbon rendah pada variasi waktu dengan kuat arus 95 A

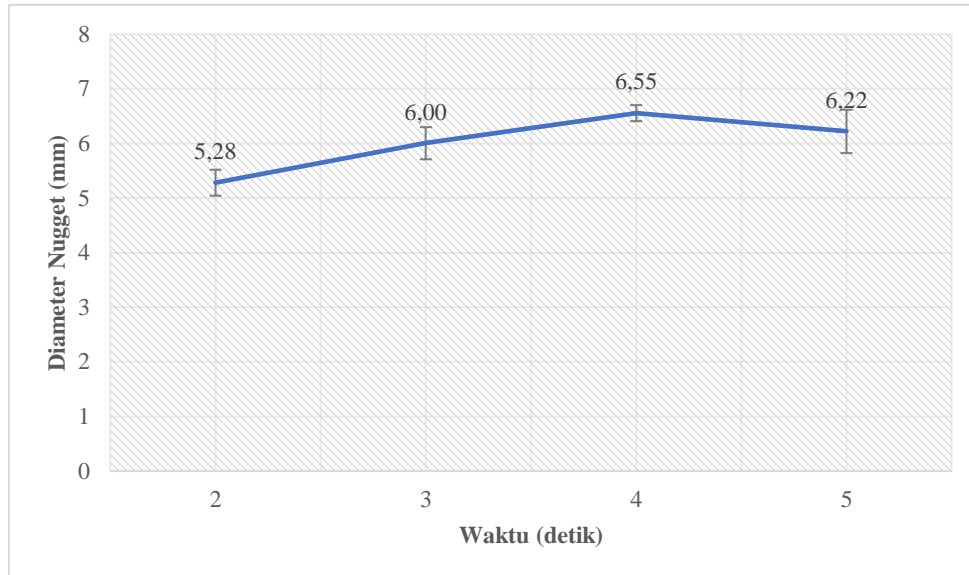
Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa hasil dari pengelasan pada setiap variasi waktu menghasilkan permukaan *nugget* yang berbeda-beda dan menghasilkan ukuran diameter *nugget* yang bervariasi pada satu variasi waktu.



Gambar 4. 4 Metode pengukuran diameter *nugget* hasil lasan *spot TIG* pada sisi permukaan baja karbon rendah

Tabel 4. 1 Ukuran diameter *nugget* pada setiap variasi waktu pengelasan

Waktu	Spesimen	d1 (mm)	d2 (mm)	d3 (mm)	Rata-rata (mm)	St Dev (mm)
2	1	4,69	4,92	5,09	5,28	0,23
	2	5,31	5,29	5,19		
	3	5,53	5,64	5,47		
	4	5,34	5,48	5,32		
	5	5,35	5,43	5,16		
3	1	6,24	6,02	6,11	6,0	0,29
	2	6,19	5,91	6,08		
	3	5,68	5,43	5,34		
	4	6,13	6,39	6,02		
	5	6,14	6,26	6,11		
4	1	6,86	6,61	6,79	6,55	0,14
	2	6,77	6,52	6,46		
	3	6,51	6,66	6,63		
	4	6,28	6,32	6,48		
	5	6,71	6,28	6,44		
5	1	5,73	5,91	5,97	6,22	0,39
	2	6,07	6,31	6,16		
	3	5,89	5,36	5,93		
	4	6,69	6,93	7,08		
	5	6,21	6,18	5,87		

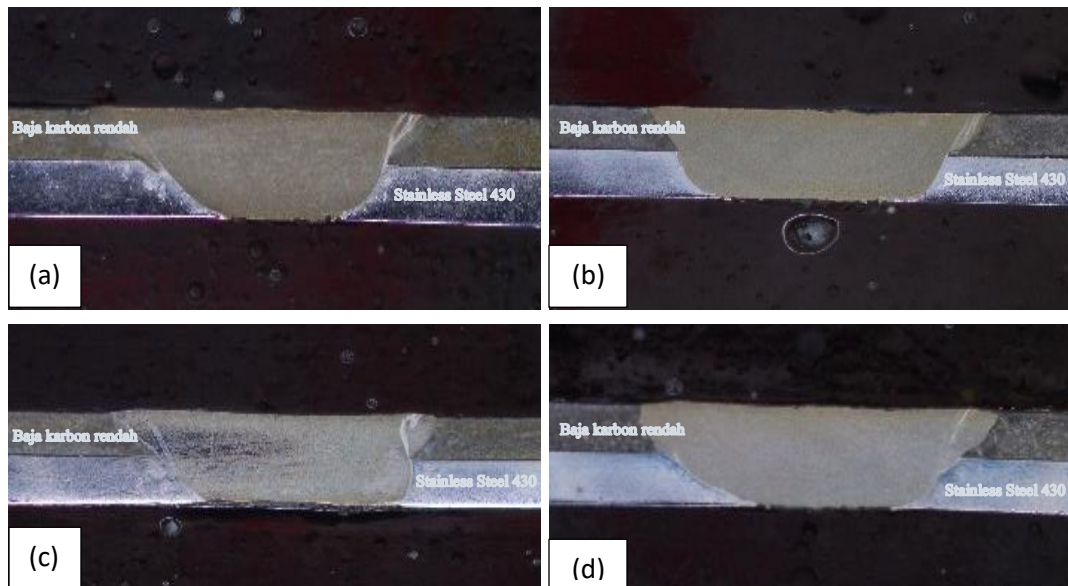


Gambar 4. 5 Ukuran diameter *nugget* tiap variasi waktu pengelasan *spot TIG*

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa diameter *nugget* mengalami peningkatan dari variasi waktu 2 detik menuju 4 detik, sedangkan pada waktu 5 detik ukuran diameter *nugget* mengalami penurunan. Dari data yang diperoleh diketahui bahwa ukuran diameter *nugget* rata-rata yaitu sebesar 5,28 mm pada waktu 2 detik, sebesar 6,0 mm pada waktu 3 detik, sebesar 6,55 mm pada waktu 4 detik, akan tetapi pada waktu 5 detik nilai diameter *nugget* mengalami penurunan dengan nilai 6,22 mm. Penurunan nilai diameter *nugget* terjadi mungkin karena pencairan gas dan percikan api dari *nozzle* yang berlebihan sehingga mengakibatkan diameter menurun (Vural dkk, 2006). Selain itu hasil serupa juga didapatkan pada penelitian yang dilakukan oleh Subrammanian dkk (2015) bahwa 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 waktu 2 detik dan nilai diameter tertinggi pada waktu 4 detik.

4.2 Pengujian Struktur Mikro

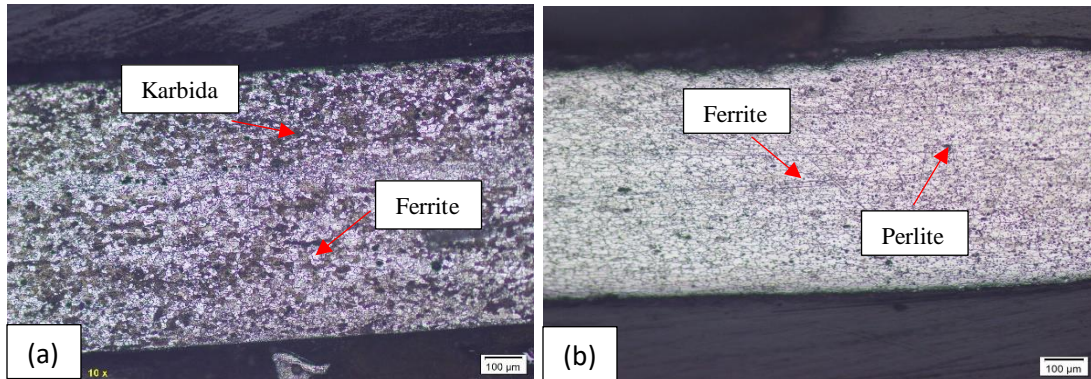
Pengujian struktur mikro merupakan pengamatan metalografi pada setiap variasi spesimen hasil pengelasan, dimana pengamatan ini digunakan untuk melihat bagian-bagian hasil lasan diantaranya yaitu logam induk (*base metal*), HAZ (*heat affected zone*), dan logam las (*weld metal*). Sebelum dilakukan pengamatan 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. Jenis etsa yang digunakan untuk pengamatan ini ada dua, yaitu aquades, HNO₃ untuk baja karbon rendah dan larutan alkohol, HCL, HNO₃, FeCL₃ untuk *stainless steel*. Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengamatan makro spesimen uji pada setiap variasi waktu.



Gambar 4. 6 Hasil struktur makro sambungan lasan *spot TIG dissimilar metal* setiap variasi waktu pengelasan (a) 2 detik, (b) 3 detik, (c) 4 detik, dan (d) 5 detik

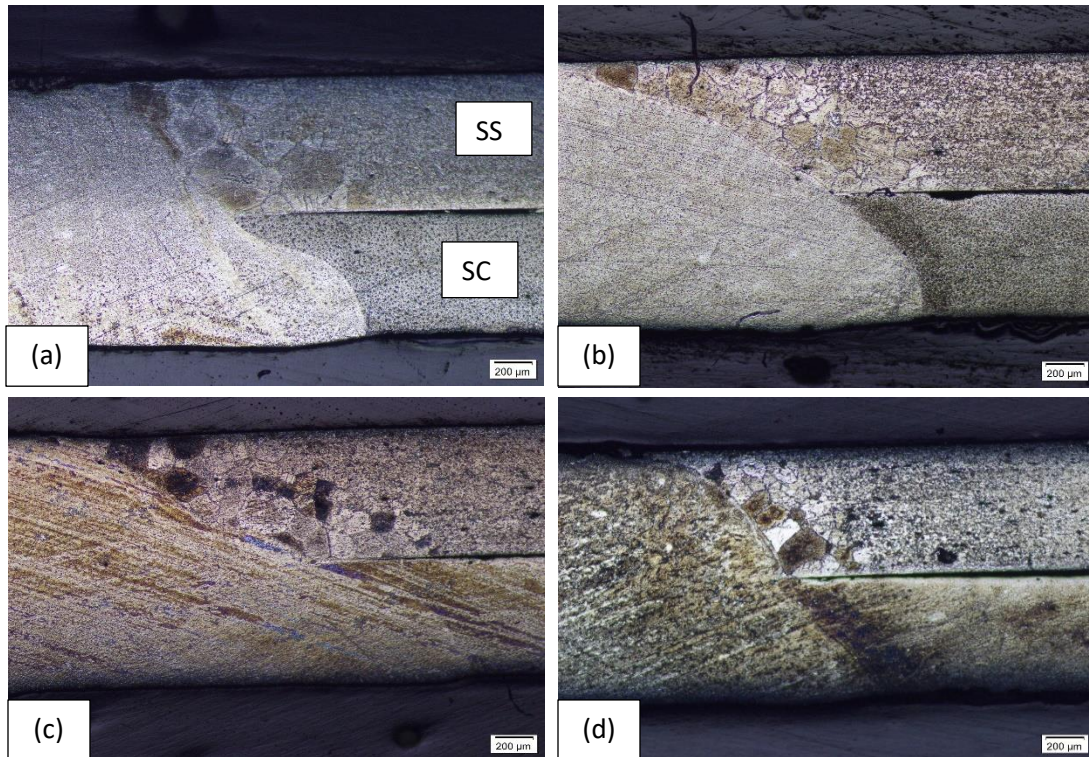
Hasil pengamatan foto makro menunjukkan bahwa pengelasan dengan metode *spot TIG* menggunakan material tak sejenis antara *stainless steel 430* dan baja karbon

rendah terlihat cukup bagus, dimana penetrasi yang dihasilkan dari pengelasan melebur dan menembus dari kedua material.



Gambar 4. 7 Struktur mikro (a) *base metal stainless steel 430* dan (b) *base metal* baja karbon rendah

Gambar 4.7 menunjukkan foto struktur mikro dari pada daerah logam induk (*base metal*) *stainless steel 430* dan baja karbon rendah. Pada logam induk *stainless steel 430* terdapat struktur mikro jenis *ferrite* dan karbida, dimana struktur *ferrite* terbentuk karena terdapat kandungan Cr 17% dari sifatnya dan setelah dilakukan pendinginan atau annealing beberapa struktur karbida terbentuk pada logam induk (Alizadeh dkk, 2013). Sedangkan pada logam induk baja karbon rendah struktur yang terbentuk adalah *ferrite* dan *perlite* dimana struktur *ferrite* (berwarna terang) dan *perlite* (berwarna gelap). Pada daerah ini didominasi oleh butir *ferrite* karena mempunyai sifat yang halus dan lunak sedangkan butir *perlite* mempunyai sifat lebih kasar dan keras (Faozi, 2015).



Gambar 4. 8 Struktur mikro perbesaran 50x pada bagian kiri sambungan *spot TIG* antara *stainless steel 430* dengan baja karbon rendah (a) 2 detik, (b) 3 detik, (c) 4 detik, dan (d) 5 detik

Gambar 4.8 menunjukkan foto struktur mikro hasil dari pengelasan, dimana pada daerah *weld metal* dan *heat affected zone (HAZ)* mengalami perubahan struktur mikro yang dipengaruhi oleh waktu pengelasan yang digunakan. Dari setiap variasi waktu menunjukkan adanya perubahan ukuran butir yang jelas pada batas butir sebelah *weld metal* yaitu pada daerah HAZ, dimana ukuran butir membesar dari ukuran butir logam induknya.

Variasi Waktu	HAZ (<i>Heat Affected Zone</i>)	
	<i>Stainless Steel 430</i>	Baja Karbon Rendah
2 detik		
3 detik		
4 detik		
5 detik		

Gambar 4. 9 Struktur mikro HAZ (*heat affected zone*) *stainless steel 430* dan baja karbon rendah

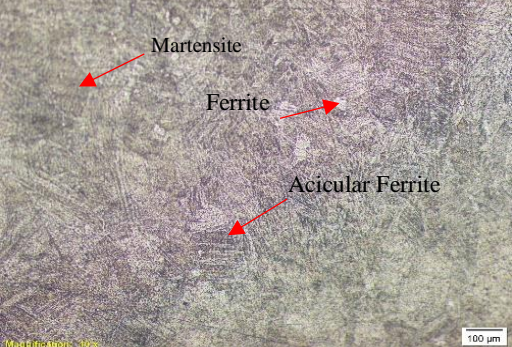
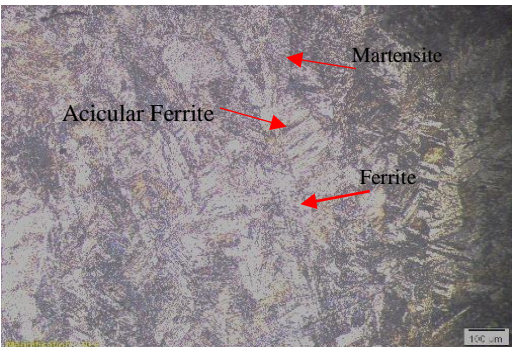
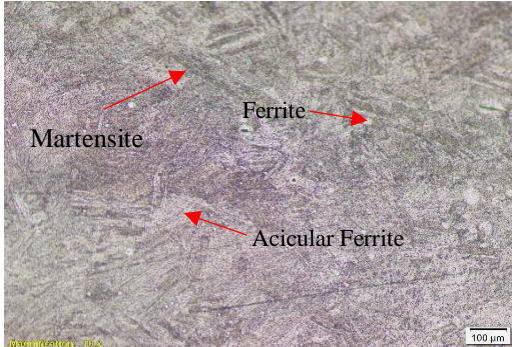
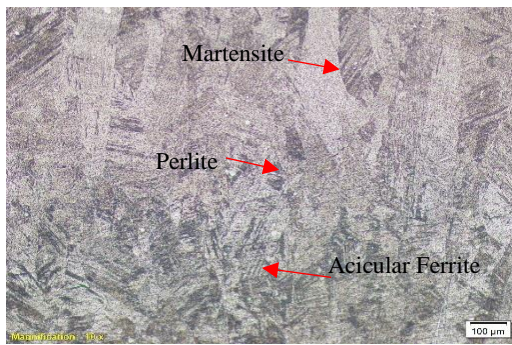
Gambar 4.9 menunjukkan foto hasil dari pengujian struktur mikro daerah HAZ pada setiap variasi waktu pengelasan. Daerah HAZ (*heat affected zone*) merupakan daerah yang terkena panas dan mengalami perubahan besar butir struktur mikro tetapi

tidak sampai terjadi peleburan. Hasil pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa pada daerah HAZ *stainless steel 430* mengalami perubahan ukuran butir 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 mengakibatkan daerah HAZ menjadi getas (Raharjo & Ariawan, 2005).

Sedangkan struktur mikro daerah HAZ baja karbon rendah menunjukkan bahwa daerah ini terdiri dari *ferrite* dan *perlite* yang mempunyai butiran lebih besar dibandingkan logam induknya. Ukuran butir meningkat seiring dengan meningkatnya waktu pengelasan yang diberikan, hal ini dikarenakan semakin lama waktu pengelasan yang digunakan maka masukan panas yang terjadi akan besar dan logam yang dekat dengan pengelasan akan terkena masukan panas yang tinggi kemudian mengalami laju pendinginan yang lebih lambat (Faozi, 2015).

Logam las atau *weld metal* merupakan bagian dari daerah yang pada saat proses pengelasan mencair dan kemudian membeku (Faozi, 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu pengelasan berpengaruh terhadap struktur mikro pada bagian sambungan *weld metal* metode *spot TIG* antara *stainless steel 430* dengan baja karbon rendah, dimana daerah ini terjadi perubahan struktur mikro pada setiap variasi yang didominasi oleh *ferrite*, *acicular ferrite*, dan *martensite*. Struktur *martensite* terbentuk karena proses pendinginan yang cepat setelah proses pengelasan, pendinginan yang cepat ini disebabkan oleh tebal plat yang tipis sehingga panas mudah untuk dilepaskan (Raharjo, 2017).

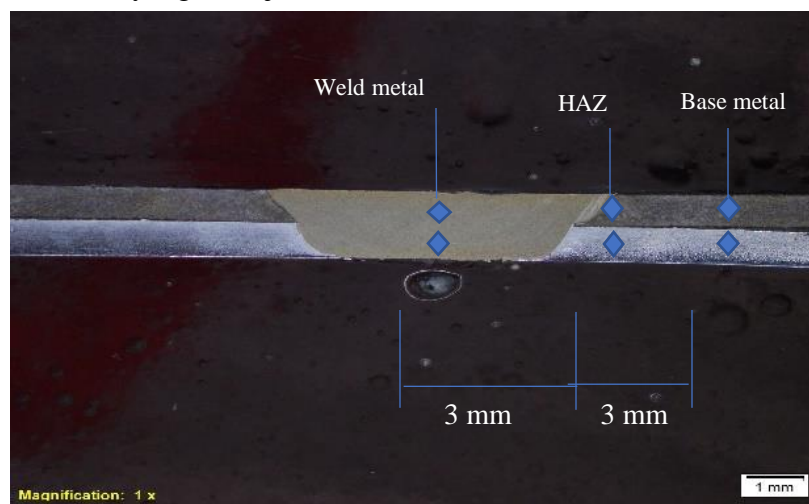
Hasil pengamatan mikro menunjukkan bahwa dari variasi waktu pengelasan yang digunakan pada daerah *weld metal* terdapat struktur *ferrite* dan *acicular ferrite* dan beberapa struktur *martensite*, struktur *martensite* terbentuk kemungkinan disebabkan karena setelah proses pengelasan mengalami pendinginan yang cukup cepat karena dibantu dengan gas argon. Gambar 4.10 menunjukkan foto hasil dari pengujian struktur mikro daerah *weld metal* pada setiap variasi waktu pengelasan.

Variasi Waktu	<i>Weld metal</i>
2 detik	 <p>Martensite Ferrite Acicular Ferrite</p> <p>100 μm</p>
3 detik	 <p>Martensite Acicular Ferrite Ferrite</p> <p>100 μm</p>
4 detik	 <p>Martensite Ferrite Acicular Ferrite</p> <p>100 μm</p>
5 detik	 <p>Martensite Perlite Acicular Ferrite</p> <p>100 μm</p>

Gambar 4. 10 Struktur mikro daerah lasan atau *weld metal*

4.3 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan mikro ini bertujuan untuk mengetahui nilai distribusi kekerasan pada spesimen lasan, dimana daerah yang akan diuji yaitu terdiri dari logam induk (*base metal*), HAZ, dan *weld metal* (Aji, 2015). Setiap spesimen uji dilakukan 6x penitikan yang meliputi daerah logam induk (*base metal*), HAZ, dan *weld metal* (Firmansyah dkk, 2016). Penitikan indentasi untuk pengujian kekerasan ini dilakukan pada arah horizontal yang ditunjukkan oleh Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Posisi penitikan indentasi untuk pengujian kekerasan

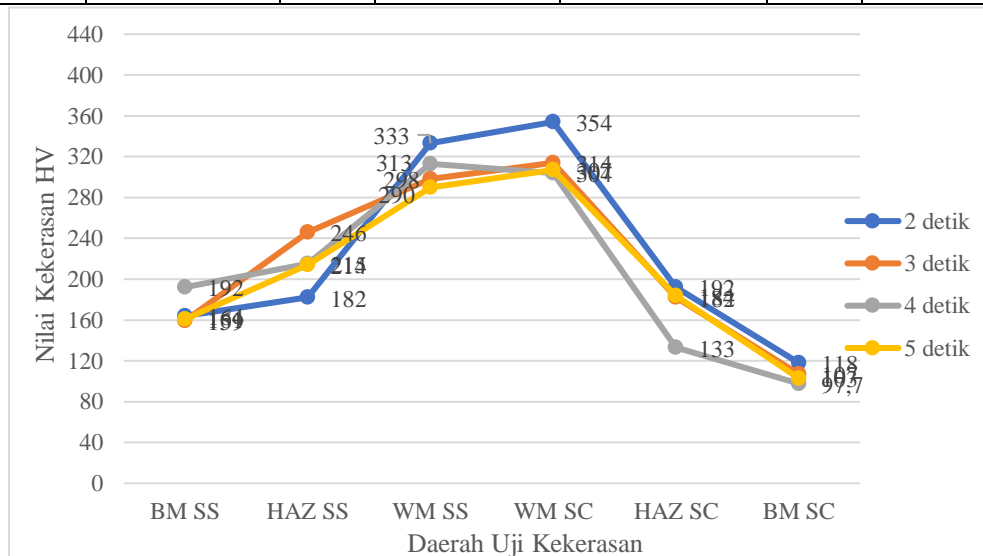
Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata pada daerah logam induk *Stainless steel 430* memiliki nilai sebesar ± 169 HV dan baja karbon rendah memiliki nilai sebesar $\pm 106,42$ HV, daerah logam induk tidak mengalami perubahan kekerasan karena daerah ini tidak terpengaruh oleh panas pada saat pengelasan berlangsung. Nilai kekerasan tertinggi daerah HAZ *stainless steel 430* yaitu sebesar ± 246 HV dan nilai kekerasan tertinggi daerah HAZ baja karbon rendah yaitu sebesar ± 192 HV. Sedangkan pada daerah *weld metal stainless steel 430* diperoleh nilai kekerasan tertinggi sebesar ± 333 HV dan daerah weld metal baja karbon rendah diperoleh nilai kekerasan tertinggi sebesar ± 354 HV.

Nilai kekerasan tertinggi dari *stainless steel 430* dan baja karbon rendah didapat pada daerah *weld metal*, dimana pada daerah ini mengalami siklus termal dan

pendinginan yang cepat. Hal itu sesuai dengan penelitian Hendrawan & Rusmawan (2014) bahwa 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. Daerah HAZ memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah logam induk. Kekerasan daerah HAZ meningkat karena butir menjadi kasar akibat suhu yang tinggi dan pendinginan yang cepat dalam temperatur ruang (Faozi, 2015). Hasil pengujian kekerasan pada pengelasan *stainless steel 430* dan baja karbon rendah setiap variasi waktu dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Nilai kekerasan spesimen uji setiap variasi waktu

Waktu	<i>Stainless Steel 430</i>			Baja Karbon		
	<i>Weld metal</i>	HAZ	<i>Base metal</i>	<i>Weld metal</i>	HAZ	<i>Base metal</i>
2 detik	333	182	164	354	192	118
3 detik	298	246	159	314	182	107
4 detik	313	215	192	304	133	97,7
5 detik	290	214	161	307	184	103



Gambar 4. 12 Hubungan antara nilai kekerasan dan waktu pengelasan pada material *stainless steel 430* dan baja karbon rendah

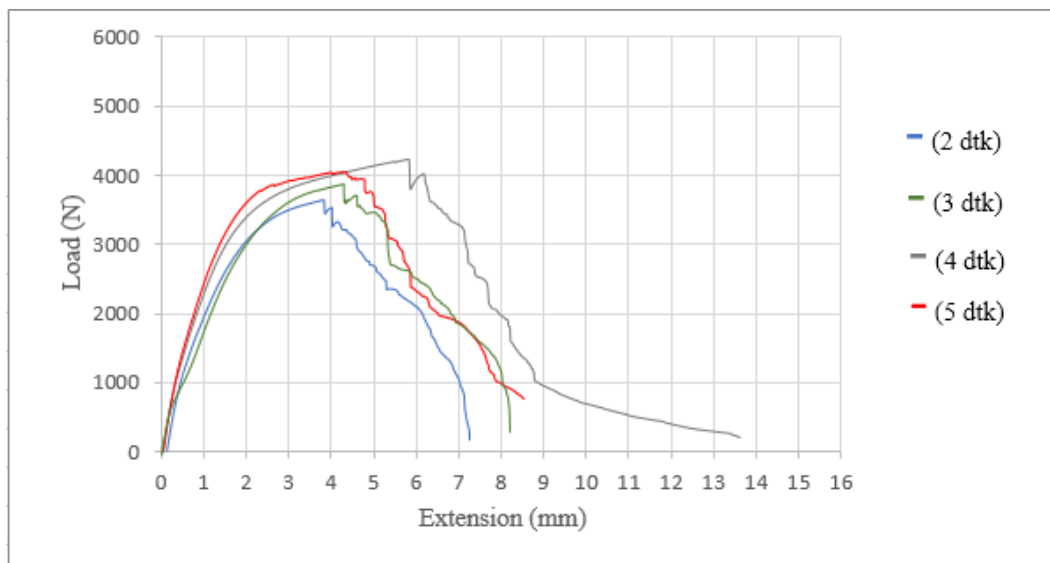
Gambar 4.12 menunjukkan hubungan antara nilai kekerasan dan variasi waktu pengelasan yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada waktu 2 detik daerah *weld metal* baja SS430 memiliki nilai kekerasan sebesar ± 333 HV dan pada baja karbon rendah memiliki nilai kekerasan sebesar ± 354 HV. Pada daerah HAZ baja SS430 memiliki nilai kekerasan sebesar ± 182 HV dan pada baja karbon rendah memiliki nilai kekerasan sebesar ± 192 HV. Selanjutnya pada waktu 3 detik daerah *weld metal* baja SS430 memiliki nilai kekerasan sebesar ± 298 HV dan baja karbon rendah sebesar ± 314 HV. Sedangkan pada daerah HAZ baja SS430 memiliki nilai kekerasan sebesar ± 246 HV dan baja karbon rendah memiliki nilai kekerasan sebesar ± 182 HV. Pada waktu 4 detik memiliki nilai kekerasan *weld metal* baja SS430 sebesar ± 313 HV dan baja karbon rendah memiliki nilai kekerasan sebesar ± 304 HV. Sedangkan daerah HAZ baja SS430 memiliki nilai kekerasan sebesar ± 215 HV dan baja karbon rendah memiliki nilai kekerasan sebesar ± 133 HV. Pada waktu 5 detik memiliki nilai kekerasan *weld metal* baja SS430 sebesar ± 290 HV dan baja karbon rendah memiliki nilai kekerasan sebesar ± 307 HV. Sedangkan daerah HAZ baja SS430 memiliki nilai kekerasan sebesar ± 214 HV dan baja karbon rendah memiliki nilai kekerasan sebesar ± 184 HV.

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kekerasan hasil las pada daerah *weld metal* dan HAZ mengalami kenaikan dan penurunan seiring bertambahnya variasi waktu yang digunakan. Menurut Hendrawan & Rusmawan (2014) peningkatan nilai kekerasan karena disebabkan oleh masukan panas dan pendinginan cepat yang terjadi selama proses pengelasan berlangsung. Sedangkan penurunan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* dan HAZ juga dipengaruhi oleh besarnya butiran yang terbentuk pada daerah tersebut (Firmansyah dkk, 2016). Alizadeh dkk (2014) juga memaparkan bahwa nilai kekerasan daerah HAZ menurun karena pada daerah ini terkena masukan panas sehingga membuat ukuran butir membesar. Gambar 4.12 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* baja SS430 dengan waktu 2 detik sebesar ± 333 HV dan pada baja karbon rendah sebesar ± 354 HV. Sedangkan nilai kekerasan

terendah pada daerah *weld metal* baja SS430 dengan waktu 5 detik sebesar ± 290 HV dan pada baja karbon rendah nilai kekerasan terendah pada waktu 4 detik sebesar ± 304 HV.

4.4 Pengujian Tarik-Geser

Hasil dari pengelasan metode *spot TIG welding* material tak sejenis antara *stainless steel 430* dengan baja karbon rendah yang telah berhasil dilas kemudian dilakukan pengujian tarik geser. Pengujian ini dilakukan di laboratorium pengelasan BLK Surakarta dengan menggunakan *Universal Testing Machine (UTM)*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi waktu pengelasan terhadap *tensile load bearing capacity (TLBC)* atau kapasitas beban pada sambungan las *spot TIG* material tak sejenis antara *stainless steel 430* dan baja karbon rendah.



Gambar 4. 13 Grafik hasil pengujian tarik tertinggi tiap variasi waktu pengelasan

Gambar 4.13 menunjukkan grafik nilai pembebanan tertinggi setiap variasi waktu dari hasil pengujian tarik geser yang sudah dilakukan. Grafik menunjukkan bentuk grafik yang relatif sama pada setiap variasi waktu yang digunakan dan semakin tinggi nilai pembebanan yang didapat maka nilai pertambahan Panjang juga semakin tinggi.

Tabel 4. 3 Nilai pembebanan tarik geser rata-rata setiap variasi waktu

Variasi	Nilai Pembebanan (N)				
	P1	P2	P3	P-rata	Stdev
2 detik	3597,46	3709,77	3724,76	3677,33	69,57
3 detik	3956,64	3913,79	3846,93	3905,79	55,29
4 detik	4360,64	4288,23	4443,41	4364,09	77,65
5 detik	4011,47	4107,41	3846,42	3988,43	132,01

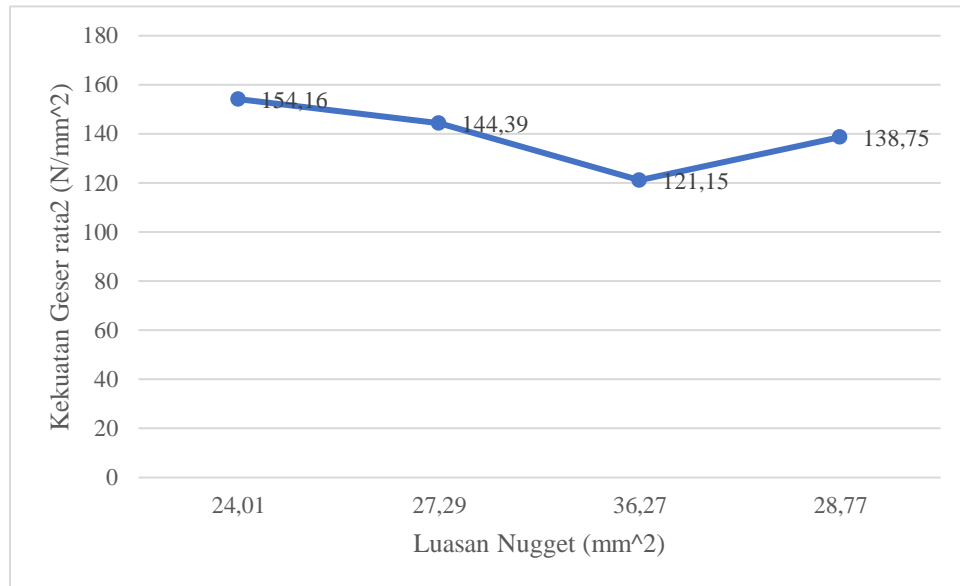
Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa kenaikan variasi waktu yang digunakan akan mengakibatkan nilai dari beban tarik-geser atau *tensile load bearing capacity* (TLBC) juga naik. Long dkk, (2016) meneliti tentang pengaruh waktu penekanan terhadap struktur mikro dan sifat mekanik pada las titik antara baja karbon rendah dan baja kekuatan tinggi, pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa nilai rata-rata beban maksimum mengalami peningkatan seiring meningkatnya waktu penekanan yang digunakan. Hayat, (2011) meneliti tentang sambungan las titik material tak sejenis antara BH-SS dan BH-IF, penelitian ini mendapatkan nilai beban tarik-geser atau *tensile load bearing capacity* (TLBC) dipengaruhi oleh kenaikan dari waktu pengelasan. Selain berpengaruh terhadap beban tarik-geser, waktu pengelasan juga mempengaruhi hasil dari diameter *nugget* dimana semakin tinggi waktu yang digunakan maka ukuran diameter *nugget* juga semakin tinggi.

Dari data hasil pengujian pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata pembebanan dari setiap variasi waktu penekanan berbeda-beda dimana nilai rata-rata beban tarik geser pada variasi waktu 2 detik sebesar 3677,33 N, kemudian pada variasi waktu 3 detik nilai rata-rata beban tarik geser mengalami peningkatan menjadi 3905,78 N dan pada variasi waktu 4 detik nilai rata-rata beban tarik geser meningkat cukup signifikan yaitu sebesar 4364,09 N, sedangkan pada variasi waktu penekanan 5 detik nilai rata-rata beban tarik geser mengalami penurunan yaitu sebesar 3988,43 N. Nilai pembebanan tarik geser pada variasi waktu 5 detik menurun mungkin disebabkan karena masukan panas yang terlalu tinggi dan pada saat proses pengelasan *nozzle* tidak

menempel rata dengan permukaan spesimen karena prosesnya yang dilakukan secara manual (*human error*) sehingga mengakibatkan penetrasi tidak sempurna dan penurunan nilai pembebanan (Akkas dkk, 2016). Hal ini sesuai dengan hasil dari nilai diameter *nugget* pengelasan dimana pada variasi waktu 5 detik diameter *nugget* mengalami penurunan. Sedangkan Faozi (2015) meneliti tentang pengaruh kuat arus dan *holding time* pengelasan *spot TIG dissimilar metal* didapatkan bahwa nilai *tensile load bearing capacity* meningkat seiring dengan meningkatnya diameter *nugget* hasil sambungan lasan, peningkatan ini disebabkan karena masukan panas yang diberikan pada spesimen, dimana kuat arus yang besar akan memberikan pengaruh yang besar terhadap ukuran diameter *nugget* lasan.

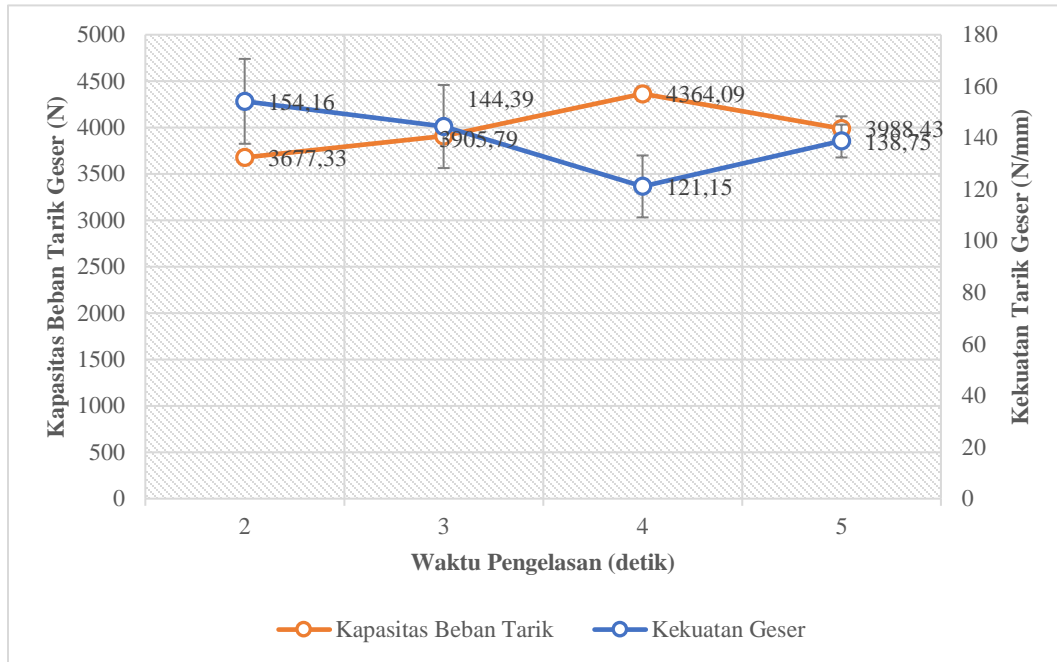
Tabel 4. 4 Nilai beban, luasan *nugget* dan kekuatan geser setiap variasi waktu

Variasi	Beban	Luasan <i>Nugget</i> (mm ²)	Luasan <i>Nugget</i> rata-rata (mm ²)	Kekuatan Geser (N/mm ²)	Kekuatan Geser rata2 (N/mm ²)	Stdev
2 detik	3597,46	26,13	24,01	137,65	154,16	16,47
	3709,77	21,75		170,59		
	3724,76	24,15		154,23		
3 detik	3956,64	29,43	27,29	134,43	144,39	16,11
	3913,79	28,83		135,76		
	3846,93	23,60		162,99		
4 detik	4360,64	40,58	36,27	107,45	121,15	12,01
	4288,23	34,02		126,04		
	4443,41	34,19		129,94		
5 detik	4011,47	27,51	28,77	145,81	138,75	6,37
	4107,41	29,98		137,00		
	3846,42	28,83		133,43		



Gambar 4. 14 Hubungan antara kekuatan geser dan luasan *nugget*

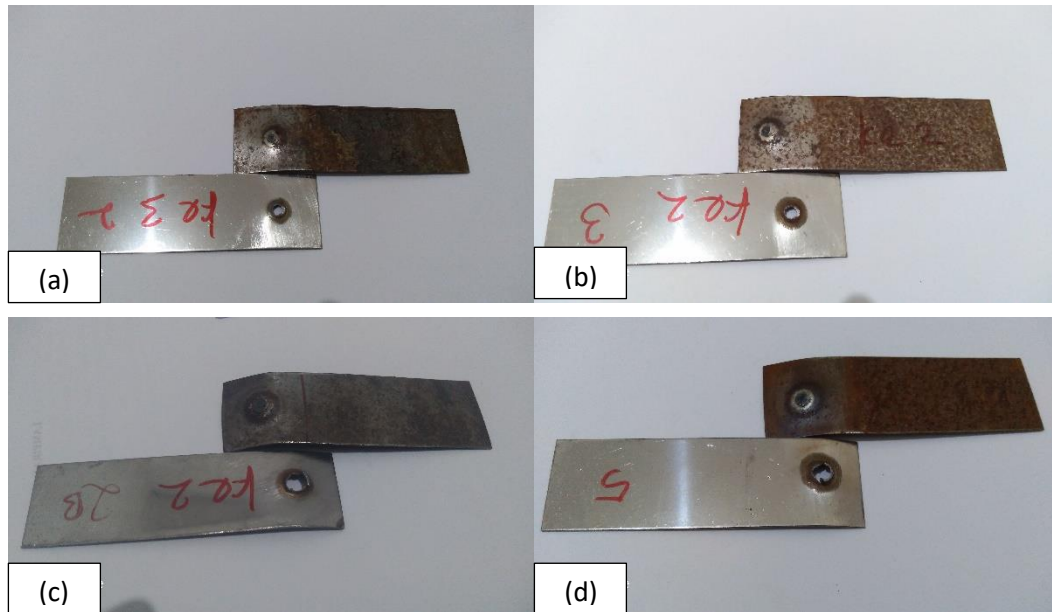
Dari data penelitian yang didapat, nilai kekuatan geser rata-rata mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya waktu pengelasan yang digunakan dan hasil perhitungan dari luasan *nugget*, akan tetapi pada waktu 4 detik menuju 5 detik nilai kekuatan geser mengalami peningkatan. Penurunan tersebut mungkin dikarenakan bentuk dari diameter *nugget* yang tidak simetris. Penelitian dari Haikal dan Triyono (2013) memaparkan bahwa pengelasan untuk logam tak sejenis memiliki bentuk *nugget* yang tidak simetris akibat dari perbedaan fisik dan mekanik antar logam. Bentuk *nugget* yang tidak simetris ini akan mengakibatkan menurunnya kekuatan geser sambungan las. Selain itu penelitian Dika dkk (2019) menunjukkan bahwa penurunan nilai kekuatan geser rata-rata disebabkan oleh masukan panas yang semakin tinggi seiring meningkatnya waktu yang digunakan sehingga menghasilkan logam las yang lebar serta penembusan yang dalam, selain itu juga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan.



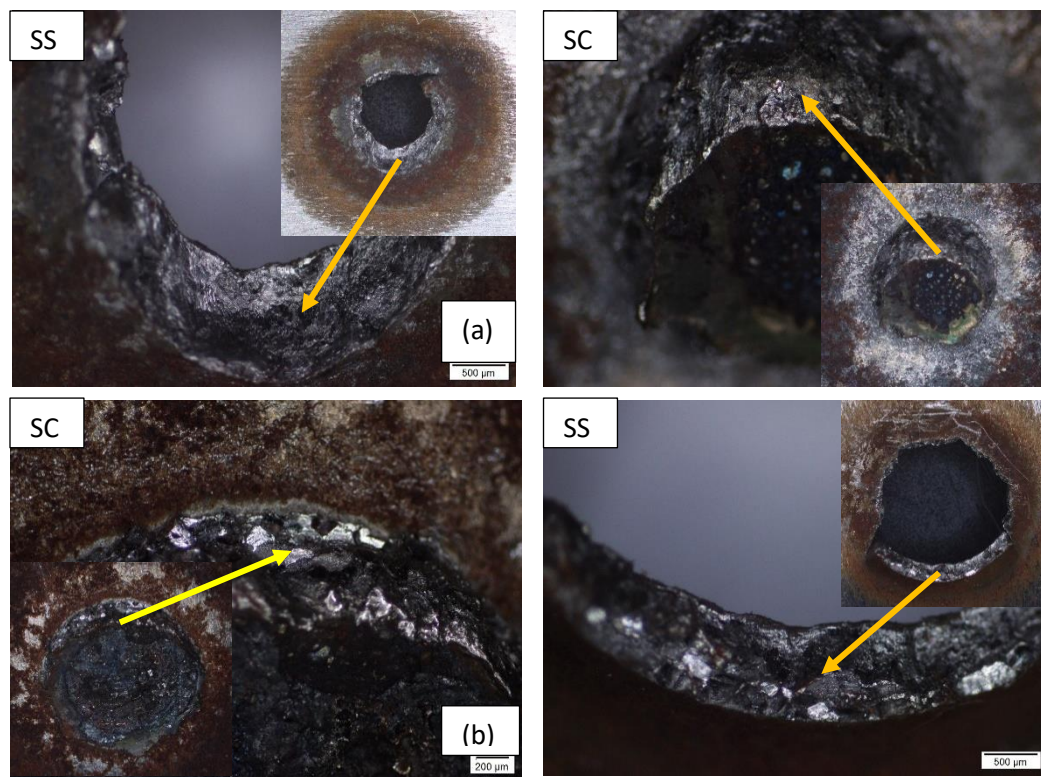
Gambar 4. 15 Grafik perbandingan hasil uji tarik pada pembebanan maksimum rata-rata dan kekuatan geser rata-rata setiap variasi waktu pengelasan *spot TIG*

Gambar 4.15 menunjukkan perbandingan antara beban tarik geser rata-rata dan kekuatan geser rata-rata. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa nilai beban tarik geser mengalami peningkatan seiring dengan semakin lamanya waktu pengelasan yang diberikan. Akan tetapi pada waktu 4 detik menuju 5 detik nilai beban tarik geser mengalami penurunan.

Umumnya pada pengujian tarik geser terdapat dua jenis mode kegagalan yaitu *interface failure* (IF) dan *pullout failure* (PF). Dari pengujian tarik geser yang sudah dilakukan didapatkan mode kegagalan *pullout failure* pada setiap variasi waktu penekanan yang digunakan, dimana dapat dilihat pada struktur mikronya pada material *stainless steel 430* mengalami pembesaran ukuran butir dari logam induknya sehingga terjadi patah getas. Bentuk kegagalan pada hasil pengujian ditunjukkan oleh Gambar 4.16.



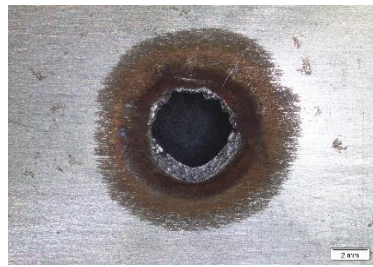







Gambar 4. 16 Foto patahan hasil pengujian tarik geser setiap variasi waktu pengelasan (a) 2 detik, (b) 3 detik, (c) 4 detik, dan (d) 5 detik



Gambar 4. 17 Foto patahan kegagalan *nugget* hasil pengujian tarik pada variasi waktu pengelasan (a) 2 detik (b) 4 detik dengan perbesaran 30x

Menurut Zhang (2013) mode kegagalan *pullout* biasanya terjadi karena disebabkan oleh beban Tarik tinggi yang mampu diterima pada daerah *weld metal*. Sedangkan penelitian Hendrawan dan Rusmawan (2014) menyatakan bahwa kegagalan dengan mode *pullout* adalah salah satu jenis kegagalan dengan nilai beban tarik geser yang tinggi pada sambungan las. Gambar 4.15 menunjukkan dari mode kegagalan pada setiap spesimen dengan variasi waktu yang berbeda.

		Mode Kegagalan Uji Tarik	
		<i>Stainless Steel 430</i>	Baja Karbon Rendah
Variasi Waktu	2 detik		
	3 detik		
	4 detik		
	5 detik		

Gambar 4. 18 Mode kegagalan spesimen uji tarik geser setiap variasi waktu