

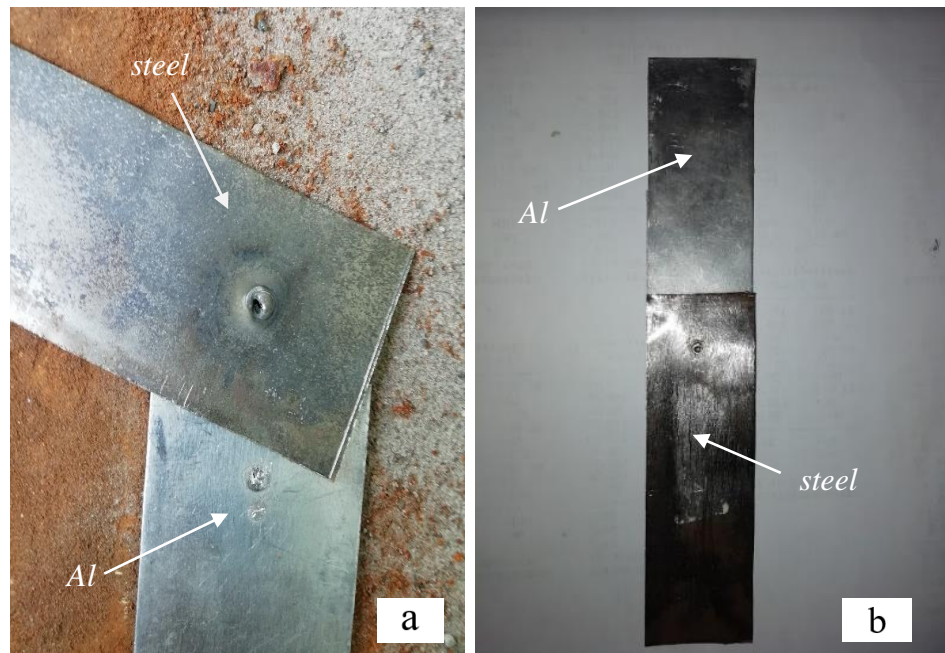
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelasan material tak sejenis antara baja karbon rendah dengan aluminium 1100 yang dilakukan dengan metode *spot TIG welding* bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat fisis dan mekanik dari lasan yang dihasilkan. Pengaruh yang didapat dari penggunaan variasi arus ini dapat dilihat dengan melakukan pengujian makro dan mikro, pengujian tarik geser, serta dengan pengujian kekerasan. Data yang diperoleh dari pengujian kemudian dianalisa dan dibahas untuk mendapatkan kesimpulan sesuai tujuan yang telah ditetapkan.

4.1. Hasil Pengelasan

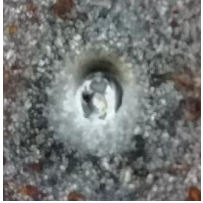
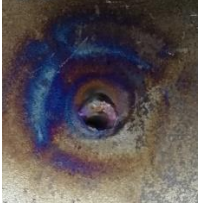
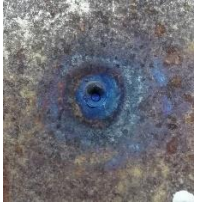
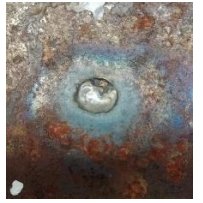


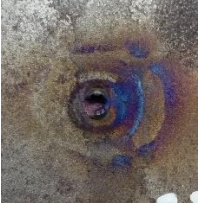













Pengelasan material tak sejenis antara baja karbon rendah dengan aluminium 1100 dengan menggunakan metode spot TIG welding ini memerlukan beberapa percobaan terlebih dahulu untuk bisa menentukan variasi variabel yang akan digunakan. Hal ini dikarenakan dalam penyambungan antara baja karbon rendah dan aluminium ini terdapat perbedaan sifat fisik dan mekanik yang melekat pada kedua material tersebut. Percobaan pertama yang dilakukan sebelum menentukan variasi variabel yang akan digunakan yaitu menggunakan variasi arus 90 A dan waktu penekanan selama 4 detik. Percobaan tersebut ternyata belum menghasilkan sambungan yang cukup kuat karena hanya dengan memberi beban kecil secara manual, spesimen terlepas dengan mudah. Percobaan yang kedua dilakukan dengan variasi arus 100 A dan waktu penekanan 5 detik dan variasi ini menghasilkan sambungan yang cukup kuat. Gambar hasil pengelasan dari percobaan dapat dilihat dalam Gambar 4.1 berikut.



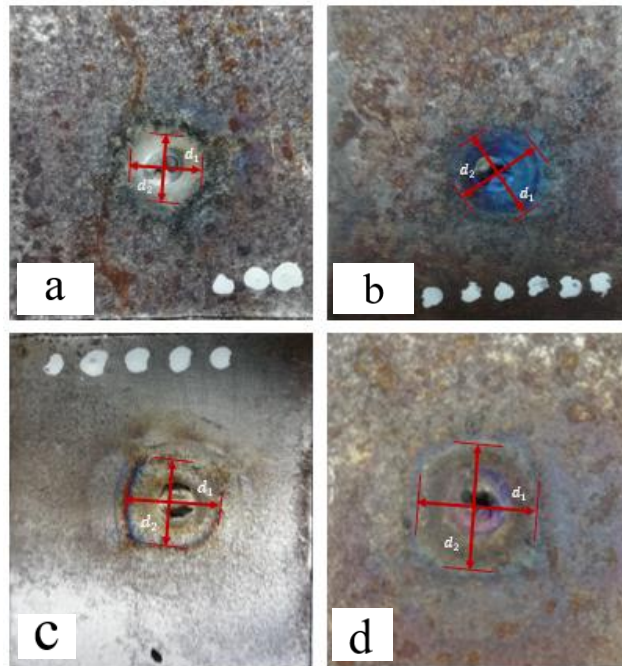
Gambar 4.1 Hasil sambungan percobaan (a) Variasi 90 A dan 4 detik, (b) Variasi 100 A dan 5 detik

Berdasar percobaan kedua ini, penelitian ini menggunakan variasi arus listrik sebesar 100 A, 110 A, 120 A, 130 A dengan waktu penekanan selama 5 detik. Spesimen yang digunakan untuk masing-masing variasi dibuat sebanyak 5 buah spesimen.

Hasil pengelasan menunjukkan bahwa diameter *nugget* yang dihasilkan berbeda pada setiap arus listrik yang digunakan. Ukuran diameter *nugget* yang dihasilkan semakin besar dengan meningkatnya *heat input* (masukan panas) yang diberikan, dimana peningkatan ini berbanding lurus dengan bertambahnya variasi arus yang digunakan. Foto *nugget* hasil pengelasan yang terbentuk dapat dilihat pada Gambar 4.2 sedangkan metode pengukuran diameter *nugget* ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut ini.

		Variasi Arus			
		100 A	110 A	120 A	130 A
Spesimen	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

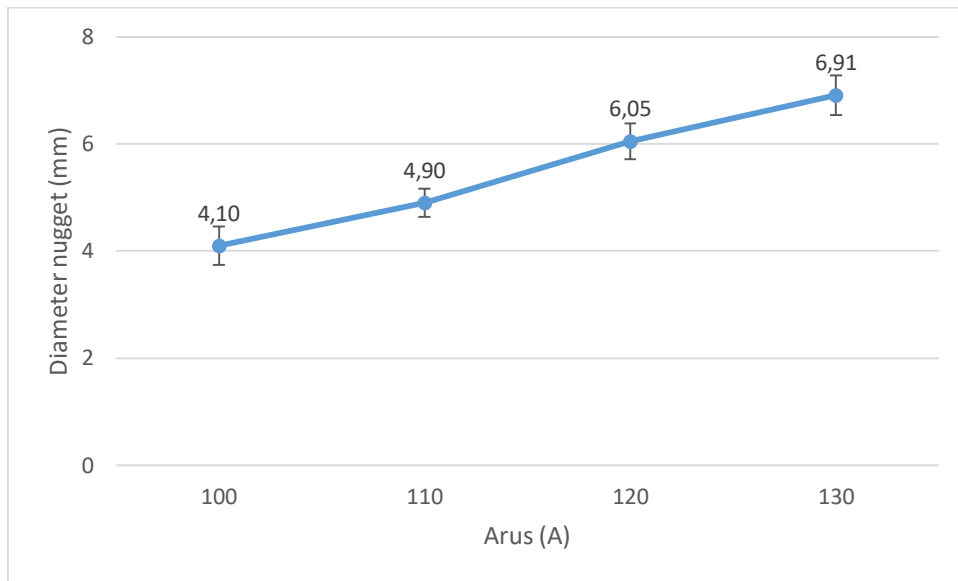
Gambar 4.2 *Nugget* lasan baja karbon rendah dengan aluminium 1100 dilihat dari sisi baja pada beberapa variasi arus dengan *holding time* 5 detik



Gambar 4.3 Gambar 4.3 Sampel metode pengukuran diameter nugget (a) 100 A (b) 110 A (c) 120 A dan (d) 130 A

Tabel 4.1 Ukuran diameter *nugget* spesimen uji tiap variasi arus pengelasan

Arus	Spesimen	d1	d2	\bar{d}	Rata-rata	StDev
100	1	3,7	3,9	3,8	4,10	0,4
	2	4,2	4,1	4,15		
	3	4,25	4,25	4,25		
	4	3,5	3,9	3,7		
	5	4,6	4,6	4,6		
110	1	5,1	5,3	5,2	4,90	0,3
	2	5	5	5		
	3	5	4,6	4,8		
	4	4,4	4,6	4,5		
	5	5	5	5		
120	1	6,2	6,2	6,2	6,05	0,3
	2	6,4	6,6	6,5		
	3	5,7	5,5	5,6		
	4	6	6	6		
	5	6,1	5,8	5,95		
130	1	6,3	6,3	6,3	6,91	0,4
	2	7,4	7,2	7,3		
	3	6,8	7,2	7		
	4	7	7	7		
	5	6,9	7	6,95		

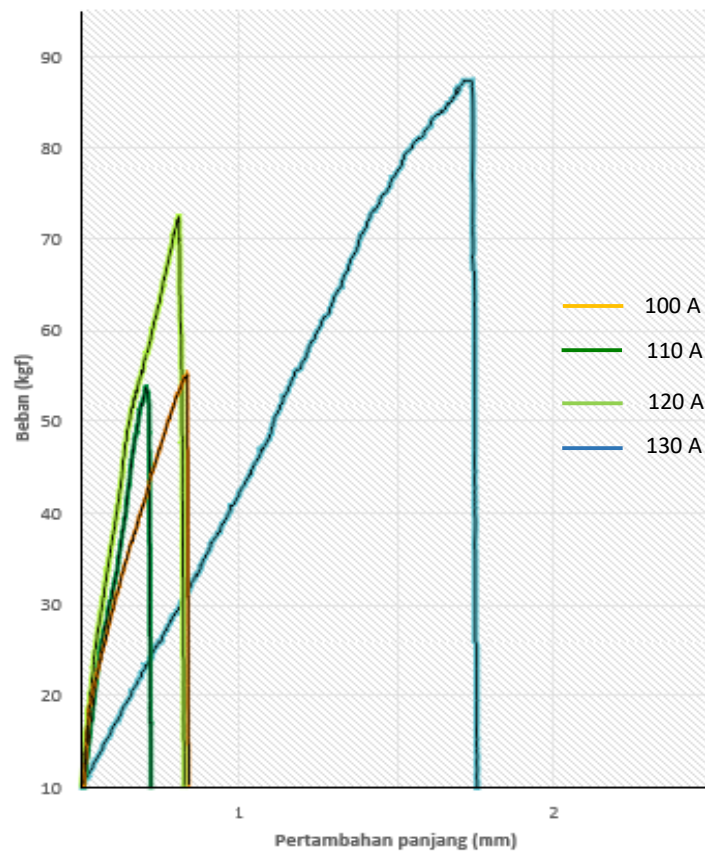


Gambar 4.4 Grafik perbandingan ukuran diameter *nugget* spesimen uji

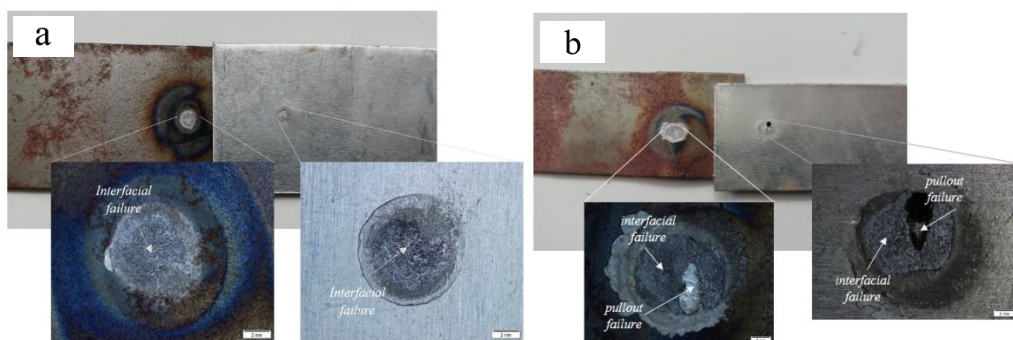
Gambar 4.4 di atas menunjukkan ukuran diameter *nugget* spesimen uji dari hasil pengelasan untuk setiap variasi arus listrik dan waktu penekanan selama 5 detik. Dari data dapat diketahui diameter *nugget* rata-rata tiap variasi arus semakin meningkat seiring dengan meningkatnya arus yang digunakan, yaitu pada pengelasan dengan variasi arus 100 A diperoleh diameter rata-ratanya sebesar 4,1 mm, pada arus 110 A sebesar 4,9 mm, pada arus 120 A sebesar 6,046 mm, dan diameter rata-rata terbesar diperoleh pada variasi arus 130 A yaitu sebesar 6,93 mm.

4.2. Pengujian Tarik Geser

Spesimen uji antara baja karbon rendah dan aluminium 1100 yang telah berhasil dilas menggunakan metode *spot TIG welding* kemudian dilakukan pengujian tarik geser. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* yang ada dilaboratorium pengujian bahan IST AKPRIND. Hasil pengujian ini berupa kurva beban perpanjangan yang nantinya digunakan untuk melakukan perhitungan tegangan geser dari spesimen uji. Perbandingan kurva hasil pengujian dengan beban tertinggi tiap variasi arus ditunjukkan pada Gambar 4.5. Adapun jenis kegagalan *nugget* yang dihasilkan dari pengujian tarik ini berupa *interfacial failure* dan *pullout failure* seperti ditunjukkan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Kurva perbandingan hasil uji tarik dengan nilai beban tertinggi tiap variasi arus



Gambar 4.6 Kegagalan *nugget* hasil pengujian tarik pada permukaan baja karbon rendah dan permukaan aluminium 1100 (a) variasi 100 A (b) variasi 120 A

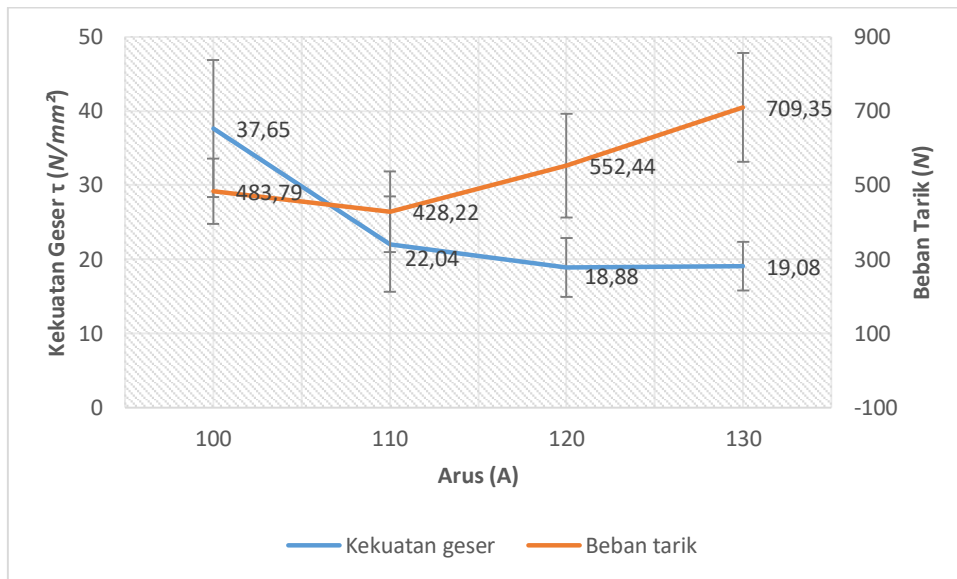
dilihat pada Tabel 4.3. Nilai kekuatan geser ini didapat dari perhitungan menggunakan persamaan 2.1. Perbandingan antara pengaruh variasi arus terhadap kekuatan geser serta beban tarik dengan *holding time* selama 5 detik dapat dilihat pada Gambar 4.7. Dari grafik dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan beban tarik rata-rata seiring dengan bertambahnya arus pengelasan yang digunakan. Sedangkan nilai kekuatan geser rata-rata mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi arus, dimana nilai terbesar terdapat pada variasi arus 100 A yaitu sebesar 37,65 N/mm²; dan tegangan geser rata-rata terkecil diperoleh pada variasi arus 120 A yaitu sebesar 18,93 N/mm².

Tabel 4.2 Luas area *nugget* dan nilai beban maksimal uji tarik tiap spesimen uji

	Variasi Arus (A)							
	100		110		120		130	
	Luas (mm ²)	Beban (N)	Luas (mm ²)	Beban (N)	Luas (mm ²)	Beban (N)	Luas (mm ²)	Beban (N)
1	11,35	529,56	21,25	313,81	30,20	431,49	31,19	666,85
2	13,53	382,46	19,64	529,56	33,20	706,08	42,45	872,79
3	14,19	539,37	18,10	441,30	24,64	519,75	38,50	588,40
\bar{x}	13,02	483,79	19,66	428,22	29,35	552,44	37,38	709,35

Tabel 4.3 Nilai kekuatan geser hasil sambungan las




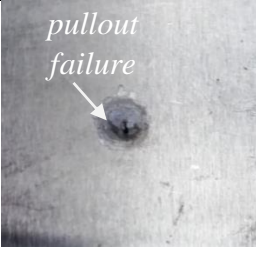




	Variasi Arus (A)			
	100	110	120	130
1	46,67	14,77	14,29	21,38
2	28,26	26,96	21,27	20,56
3	38,01	24,38	21,09	15,28
Rata-rata	37,65	22,04	18,88	19,08
StDev	9	6	4	3



Gambar 4.7 Grafik perbandingan antara pengaruh variasi arus terhadap kekuatan geser rata-rata serta beban tarik rata-rata

Kekuatan geser rata-rata mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya arus yang digunakan. Hal ini dikarenakan arus pengelasan yang semakin besar akan menghasilkan logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan (Arifin,1997). Hal ini sesuai dengan diameter *nugget* yang diperoleh dari pengelasan yang dilakukan, dimana semakin besar arus yang digunakan maka diameter yang dihasilkan juga semakin besar.

Sedangkan pada nilai beban geser yang didapat, pada variasi 110 A mengalami penurunan beban yang dimungkinkan terjadi karena terdapat korosi pada permukaan material spesimen yang dilas. Hal ini dapat dilihat pada foto hasil patahan setelah pengujian dilakukan seperti pada Gambar 4.8. Korosi ini yang menghambat penembusan panas pengelasan menjadi tidak maksimal.

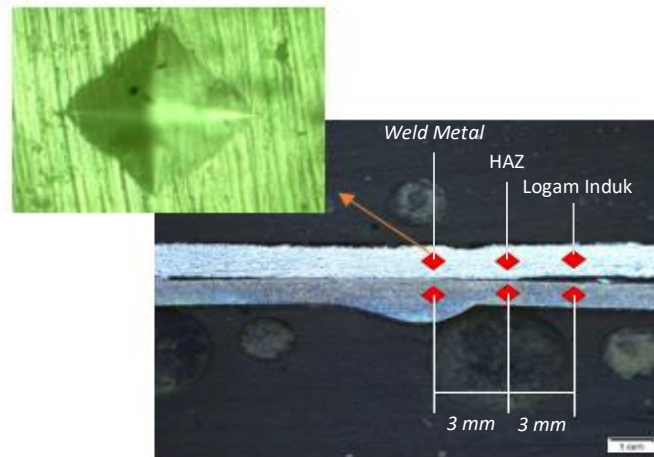
		Hasil patahan	
		Baja karbon rendah	Aluminium 1100
Variasi Arus	100 A		
	110 A		
	120 A		
	130A		

Gambar 4.8 Foto patahan sambungan las *spot TIG* material tak sejenis baja karbon rendah dan aluminium 1100

4.3. Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan yang dilakukan ini mengacu pada pengujian yang dilakukan oleh Faozi (2015), dimana pengujian yang dilakukan ini hanya berbeda variabel yang digunakan. Tujuan dari pengujian ini sendiri adalah untuk mengetahui nilai distribusi kekerasan pada logam induk, HAZ dan *weld metal* hasil sambungan las. Titik penekanan pada pengujian terletak pada posisi seperti yang

terlihat pada Gambar 4.9 dengan jarak antar titik 3 mm dan juga penitikan ini dilakukan secara seragam pada tiap variasi pengelasan.

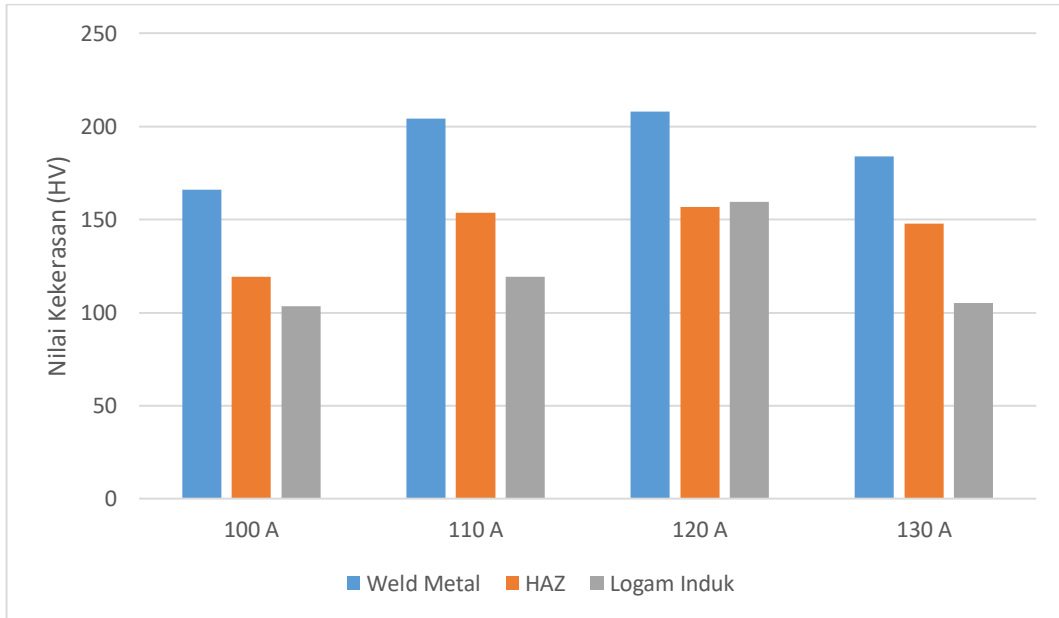


Gambar 4.9 Posisi penitikan uji kekerasan

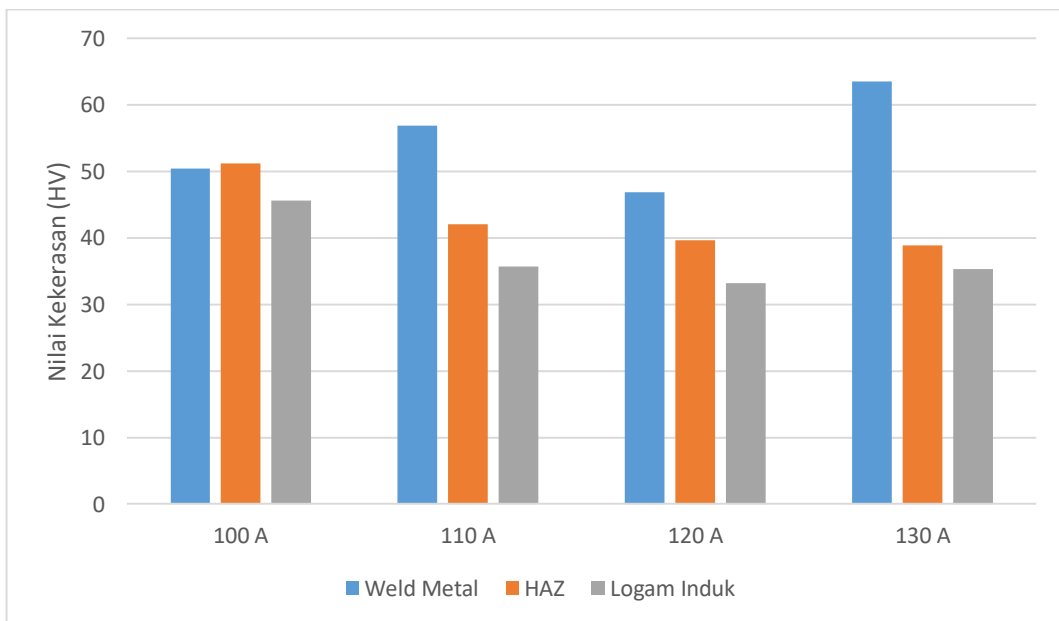
Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan rata-rata pada logam induk baja karbon rendah dan aluminium 1100 yaitu sebesar $\pm 121,9$ HV dan $\pm 37,45$ HV, hal ini dikarenakan pada bagian ini logam tidak terpengaruh dengan proses pengelasan yang dilakukan. Pada daerah HAZ baja karbon rendah, nilai kekerasan tertinggi yang di peroleh adalah sebesar $\pm 156,8$ HV dan HAZ aluminium 1100 memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar $\pm 51,2$ HV. Sedangkan pada daerah *weld metal* baja karbon rendah didapat nilai kekerasan tertinggi sebesar ± 208 HV dan pada *weld metal* aluminium 1100 nilai kekerasan tertinggi yang diperoleh adalah $\pm 63,5$ HV. Hasil pengujian kekerasan pada pengelasan baja karbon rendah dan aluminium 1100 dengan waktu penekanan 5 detik serta tiap variasi arus yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Nilai kekerasan spesimen uji setiap variasi arus

	100 A		110 A		120 A		130 A	
	Baja karbon	Al	Baja karbon	Al	Baja karbon	Al	Baja karbon	Al
Weld Metal	166,1	50,4	204,2	56,9	208	46,9	184,1	63,5
HAZ	119,3	51,2	153,6	42,1	156,8	39,7	148	38,9
Logam Induk	103,6	45,6	119,2	35,7	159,6	33,2	105,2	35,3



Gambar 4.10 Grafik nilai kekerasan sambungan las *spot TIG* pada material baja karbon rendah



Gambar 4.11 Grafik nilai kekerasan sambungan las *spot TIG* pada material aluminium 1100

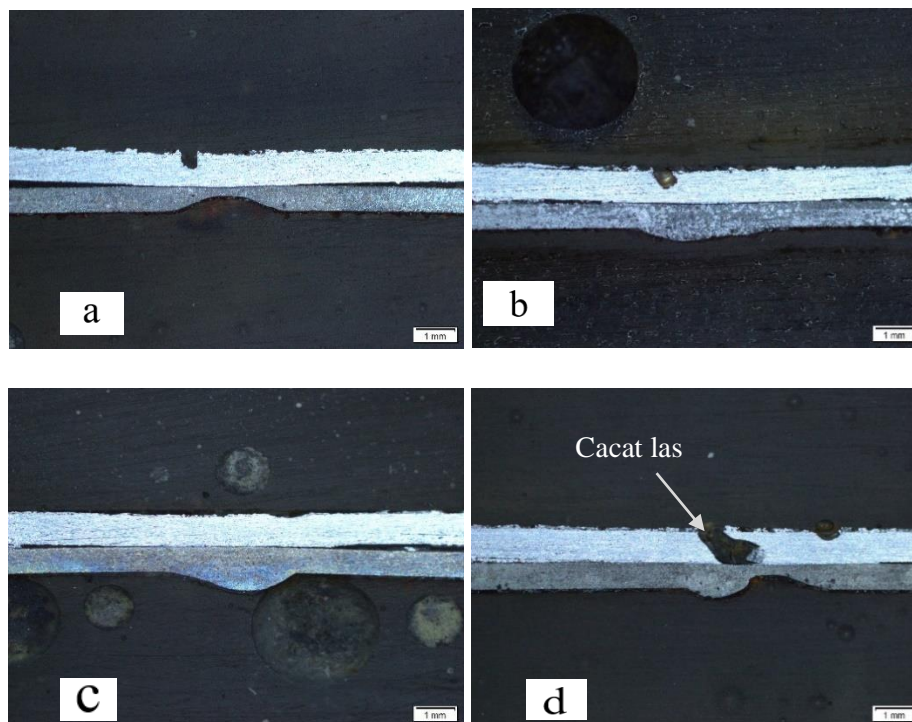
Dari gambar 4.10 dan 4.11 dapat dilihat nilai kekerasan tertinggi baja karbon rendah dan aluminium 1100 yang diperoleh pada setiap spesimen yaitu terdapat pada penitikan daerah *weld metal*, hal ini terjadi karena pada daerah ini logam mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan agak cepat (sedang) selama proses pengelasan. Siklus termal tersebut akan mengakibatkan terbentuk struktur *bainite* pada daerah tersebut. Purwaningrum (2013), menyatakan bahwa struktur *bainite* mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi jika dibanding dengan struktur *ferrite* maupun *pearlite*. Peningkatan kekerasan juga terjadi pada daerah HAZ, hal ini dikarenakan daerah ini berdekatan dengan daerah *weld metal*. Kekerasan meningkat karena HAZ mengalami pengkasaran butir akibat suhu yang tinggi dan waktu pendinginan yang cukup cepat pada temperatur ruang (Wiryosumarto dan Toshie, 2000).

Pada grafik juga dapat dilihat terdapat nilai kekerasan yang hampir sama pada daerah HAZ dan logam induk yaitu pada material aluminium dengan variasi arus 120 A, hal ini terjadi dimungkinkan karena adanya *human error* saat pengujian. Kesalahan yang dilakukan adalah karena pada saat menentukan posisi titik pengujian kurang tepat (masih dalam daerah HAZ). Hal ini sangat mungkin terjadi karena penentuan titik pengujian tiap spesimen hanya menggunakan pengamatan langsung tanpa alat bantu.

4.4. Pengamatan Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro termasuk dalam pengamatan metalografi spesimen tiap variasi hasil sambungan las, dimana pengamatan dilakukan pada tiga daerah yaitu daerah logam induk (*base metal*), HAZ (*heat affected zone*), dan bagian logam las (*weld metal*). Sebelum pengamatan struktur mikro, dilakukan pengamatan secara makro terlebih dahulu dimana hasil pengamatan ini dapat dilihat pada Gambar 4.12. Langkah yang dilakukan sebelum pengamatan dilakukan adalah dengan memotong spesimen secara melintang ditengah hasil lasan kemudian diamplas, dipoles, lalu dietsa. Etsa yang digunakan untuk pengamatan ini ada dua jenis, yaitu cairan HNO_3 untuk baja karbon dan larutan HNO_3 , HF , dan air untuk aluminium. Hasil pengamatan menunjukkan adanya perbedaan bentuk dari *nugget*

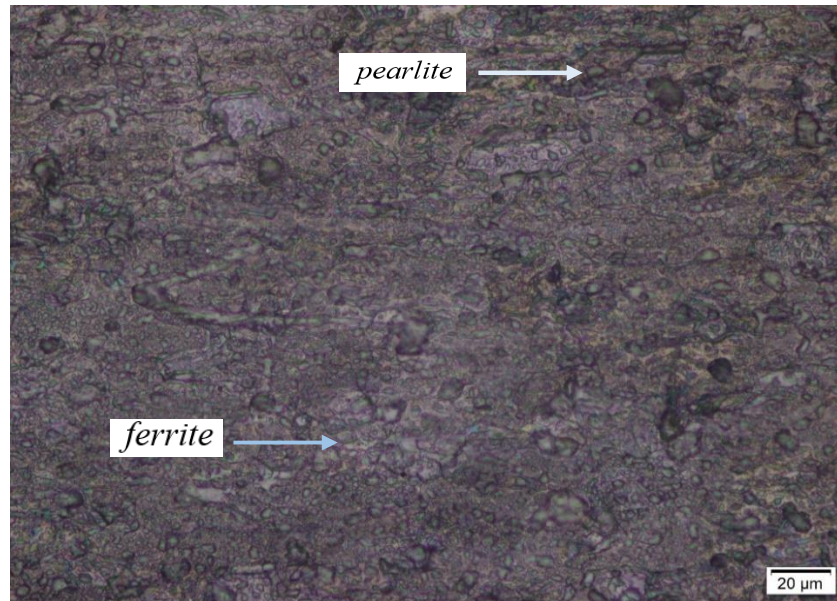
bagian baja yang dihasilkan untuk masing-masing spesimen, ada yang menonjol dan ada yang berbentuk cekungan. Hal ini dikarenakan *nugget* yang terbentuk saat pengelasan memiliki permukaan yang bergelombang, dan bagian *nugget* yang terpotong saat reparasi juga tidak sama. Sedangkan adanya cekungan pada *nugget* bagian aluminium dikarenakan terjadinya cacat las akibat penembusan panas yang terlalu dalam.



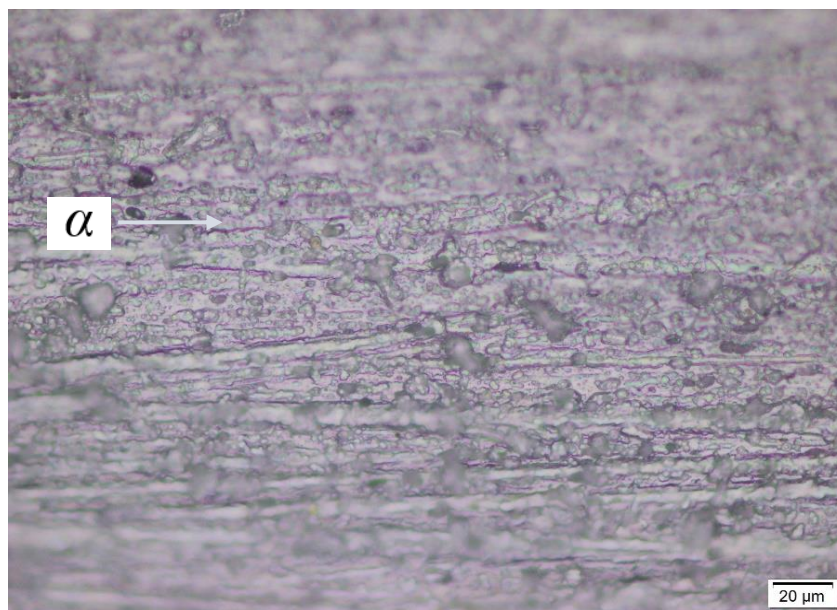
Gambar 4.12 Struktur makro spesimen uji pada tiap variasi arus pengelasan (a) 100 A, (b) 110 A, (c) 120 A dan (d) 130 A

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa struktur mikro pada logam induk baja karbon rendah terdiri dari *ferrite* (berwarna terang) dan *pearlite* (berwarna gelap) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14. Butiran *ferrite* sendiri cenderung lebih halus dan lunak, sedangkan butiran *pearlite* bersifat keras dan cenderung lebih halus. Untuk semua variasi arus pengelasan, struktur mikro dari logam induk ini sama, ini dikarenakan panas dan suhu pengelasan pada daerah logam induk tidak menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat logam itu sendiri.

Struktur mikro pada logam induk aluminium 1100 berupa butiran memajang ke arah samping akibat proses *manufacturing* yang dilakukan. Secara umum strukturnya berwarna terang yang menunjukkan fasa α aluminium, fasa ini terlihat hampir memenuhi seluruh bagian dikarenakan besarnya kandungan aluminium yaitu mencapai 99 % seperti ditunjukkan pada Gambar 4.14 di bawah ini.



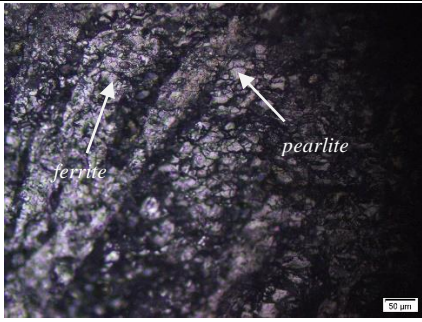
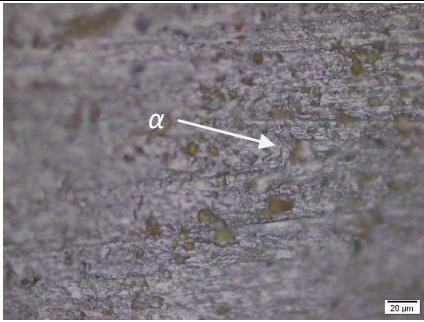
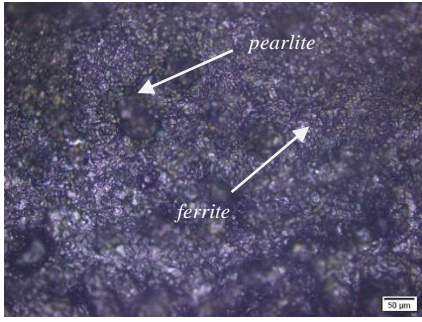
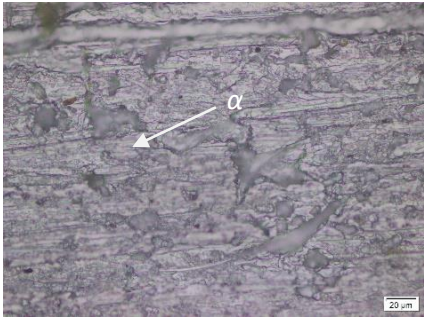
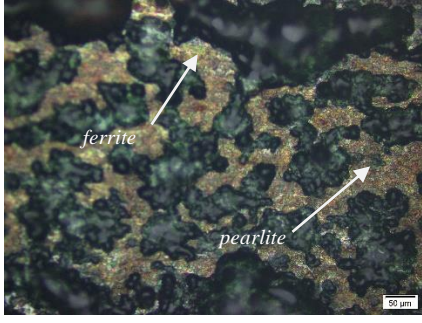
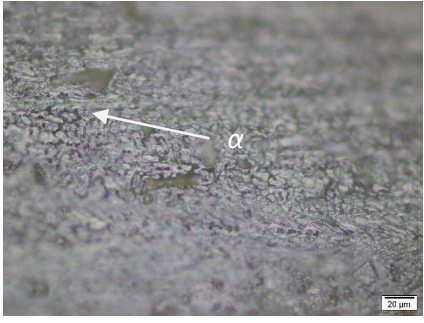

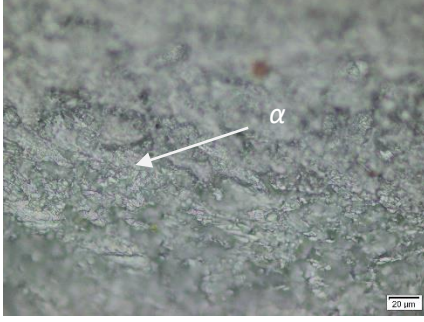
Gambar 4.13 Struktur mikro logam induk baja karbon rendah



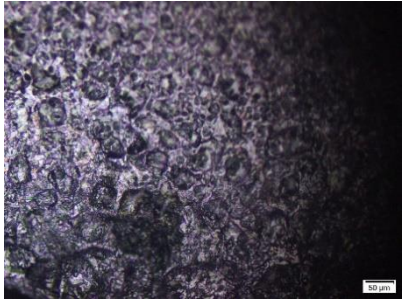
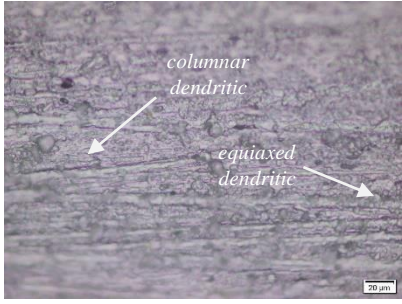
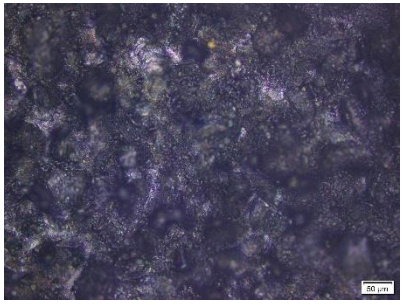
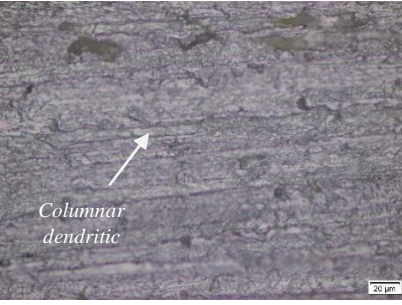
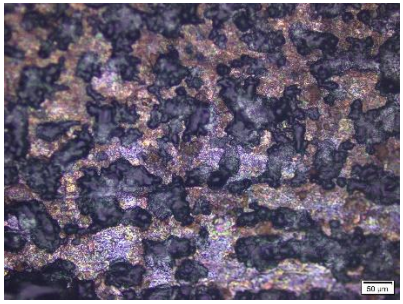
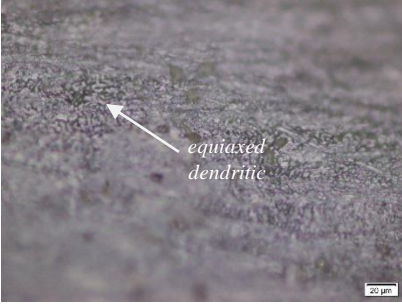
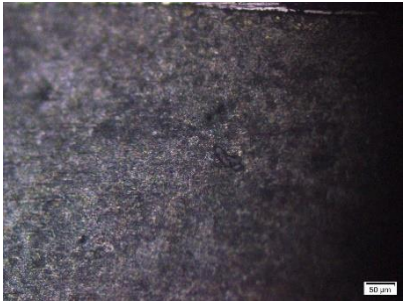

Gambar 4.14 Struktur mikro logam induk aluminium 1100

Hasil pengamatan struktur mikro daerah HAZ baja karbon rendah menunjukkan perubahan ukuran butiran ferrite dan pearlite menjadi lebih kasar dibandingkan pada butiran logam induk. HAZ sendiri adalah bagian dari logam induk yang mengalami perubahan struktur akibat panas pengelasan tetapi tidak sampai mengalami peleburan. Pada variasi arus 130 A, pada daerah HAZ ini memiliki ukuran butiran yang lebih besar dibanding dengan variasi 100 A, 110 A, dan 120 A. Perbedaan ini terjadi karena semakin besar penggunaan arus listrik saat pengelasan, masukan panas yang terjadi akan bertambah besar dan logam yang dekat dengan pusat pengelasan terkena masukan panas yang tinggi selama proses pengelasan kemudian mengalami laju pendinginan yang lebih lambat. Adapun struktur mikro dari daerah HAZ aluminium 1100 menunjukkan terjadi pertumbuhan butir menjadi berbentuk *polygonal* dan juga butiran ini mengalami pengasaran selama proses pengelasan. Struktur mikro daerah HAZ dari baja karbon rendah dan aluminium 1100 pada masing masing variasi arus pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Untuk struktur mikro pada daerah lasan atau *weld metal* baja karbon rendah menunjukkan terbentuknya struktur yang lebih kasar jika dibandingkan dengan struktur pada daerah HAZ dan logam induk. Sedangkan *struktur weld metal* bagian aluminium 1100 secara umum menunjukkan terbentuknya struktur *columnar dendritic* dan *equiaxed dendritic*, dimana warna terang menunjukkan fasa α aluminium. Bentuk struktur dari *weld metal* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.16. Daerah las sendiri adalah daerah dimana logam yang pada waktu pengelasan mengalami pencairan.

		<i>Heat Affected Zone (HAZ)</i>	
		Baja Karbon Rendah	Aluminium 1100
Variasi Arus	100 A	 <p><i>ferrite</i> <i>pearlite</i></p> <p>50 μm</p>	 <p>α</p> <p>20 μm</p>
	110 A	 <p><i>pearlite</i></p> <p><i>ferrite</i></p> <p>50 μm</p>	 <p>α</p> <p>20 μm</p>
	120 A	 <p><i>ferrite</i></p> <p><i>pearlite</i></p> <p>50 μm</p>	 <p>α</p> <p>20 μm</p>
	130 A	 <p><i>pearlite</i></p> <p><i>ferrite</i></p> <p>20 μm</p>	 <p>α</p> <p>20 μm</p>

Gambar 4.15 Struktur mikro daerah HAZ baja karbon rendah dan aluminium 1100

		Struktur <i>Weld Metal</i>	
		Baja Karbon Rendah	Aluminium 1100
Variasi Arus	100 A		
	110 A		
	120 A		
	130 A		

Gambar 4.16 Struktur mikro *weld metal*