

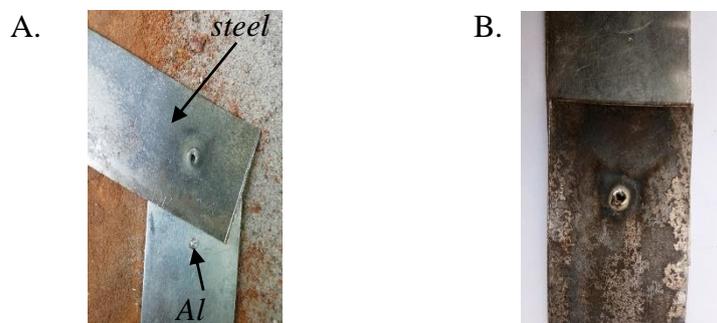
## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengelasan *spot* TIG pada material tak sejenis antara baja karbon rendah dengan alumunium 1100 dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu terhadap sifat fisik dan mekanik sambungan las. Sifat fisik dan mekanik diperoleh dengan melakukan beberapa pengujian diantaranya pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan pengujian tarik. Data yang telah didapat kemudian dilakukan analisa dan dibahas untuk mendapatkan kesimpulan sesuai dengan pengujian yang telah ditentukan.

#### 4.1. Hasil pengelasan

Pengelasan baja karbon rendah dengan alumunium 1100 dengan metode *spot* TIG *welding* memerlukan beberapa kali percobaan untuk bisa mendapatkan variasi variabel yang akan digunakan. Hal ini disebabkan dalam penyambungan antara baja karbon rendah dengan alumunium ini terdapat perbedaan sifat fisik dan mekanik yang melekat pada kedua material tersebut. Percobaan pertama dipilih arus 90 A dan waktu penekanan 4 detik. Percobaan ini belum menghasilkan sambungan yang kuat karena pada saat sambungan las di berikan beban kecil secara manual, sambungan las terlepas dengan mudah. Percobaan kedua dilakukan dengan menggunakan variasi arus 100 A dan waktu penekanan 5 detik dan variasi ini menghasilkan sambungan yang cukup kuat. Gambar hasil pengelasan dari percobaan menggunakan arus 100 A dan waktu penekanan 5 detik dapat dilihat dalam Gambar 4.1 berikut.



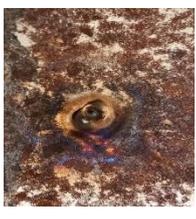
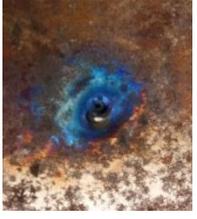
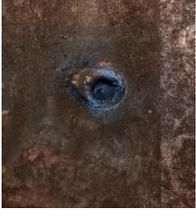
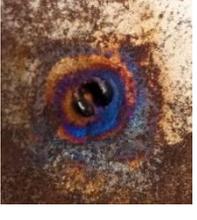
Gambar 4. 1 Hasil sambungan percobaan (A) Variasi 90 A dan 4 detik, (B) Varisi 100 A dan 5 detik.

Berdasar hasil percobaan percobaan kedua ini, penelitian ini menggunakan variasi waktu penekanan sebesar 5 detik, 6 detik, 7 detik dan 8 detik dengan arus listrik 100 A. Spesimen yang digunakan untuk masing-masing variasi dibuat sebanyak 5 buah spesimen.

Hasil pengelasan menunjukkan bahwa diameter *nugget* yang dihasilkan berbeda pada setiap variasi waktu penekanan yang digunakan. Ukuran diameter *nugget* yang dihasilkan semakin besar dengan meningkatnya *heat input* (masukan panas) yang diberikan pada pengelasan, dimana peningkatan ini berbanding lurus dengan bertambahnya variasi waktu yang digunakan Faozi (2015). Foto *nugget* hasil pengelasan aluminium dapat dilihat pada Gambar 4.2 bentuk *nugget* tidak bulat dan cekung ini diakibatkan aluminium tidak bersentuhan langsung dengan *nozzle*. Baja karbon rendah dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.

		Waktu (Detik)			
		5 detik	6 detik	7 detik	8 detik
Spesimen	1				

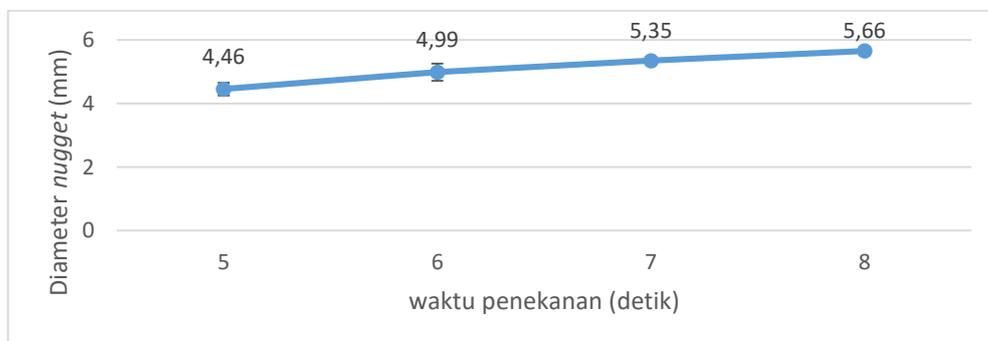
Gambar 4. 2 *Nugget* lasan baja karbon rendah dengan aluminium 1100 dilihat dari sisi aluminium.

		Waktu (detik)			
		5	6	7	8
Spesimen	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

Gambar 4. 3 *Nugget* lasan baja karbon rendah dengan aluminium 1100 dilihat dari sisi baja karbon rendah.

Tabel 4. 1 Ukuran diameter *nugget* pengelasan.

Waktu (detik)	Spesimen	d1	d2	$\bar{d}$	Rata-rata
5	1	4,62	4,41	4,52	4,46
	2	4,45	4,61	4,53	
	3	4,37	4,04	4,21	
	4	3,53	4,09	4,31	
	5	4,63	4,81	4,72	
6	1	4,63	4,53	4,58	4,99
	2	5,09	5,13	5,11	
	3	4,88	4,83	4,85	
	4	5,11	5,23	5,23	
	5	5,21	5,25	5,17	
7	1	5,73	5,21	5,47	5,35
	2	5,32	5,61	5,46	
	3	5,31	5,33	5,32	
	4	5,18	5,23	5,21	
	5	5,15	5,51	5,30	
8	1	5,85	5,85	5,72	5,66
	2	5,73	5,74	5,73	
	3	6,05	5,58	5,81	
	4	5,50	5,50	5,50	
	5	5,53	5,54	5,53	

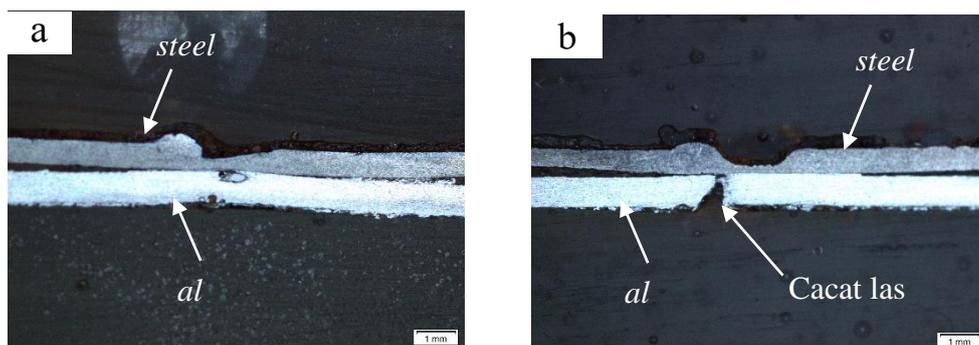


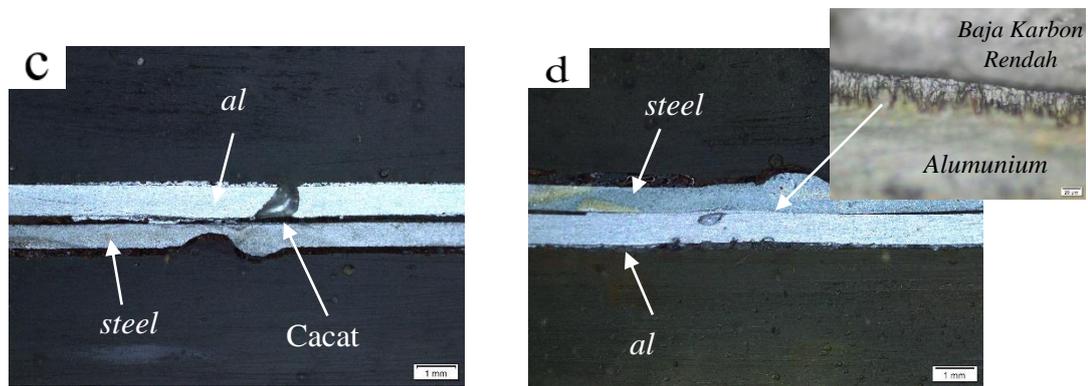
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan ukuran diameter *nugget* spesimen uji.

Gambar grafik di atas menunjukkan ukuran diameter *nugget* spesimen uji dari hasil pengelasan untuk setiap variasi waktu dengan arus 100 A. Dari data dapat diketahui diameter *nugget* rata-rata tiap variasi waktu semakin meningkat seiring dengan meningkatnya waktu yang digunakan, yaitu pada pengelasan dengan variasi waktu 5 detik diperoleh diameter rata-ratanya sebesar 4,46 mm, pada waktu 6 detik sebesar 4,99 mm, pada waktu 7 sebesar 4,35 mm, dan diameter rata-rata terbesar diperoleh pada variasi waktu 8 detik yaitu sebesar 5,66 mm.

#### 4.2. Pengamatan struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan saat pengujian metalografi hasil sambungan las, pengamatan dilakukan pada tiga daerah yaitu daerah logam induk (*base metal*), HAZ (*heat affected zone*), dan bagian logam las (*weld metal*). Pengamatan makro dilakukan sebelum pengamatan mikro dimana hasil pengamatan ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 Langkah awal yang dilakukan sebelum pengamatan dilakukan adalah dengan memotong spesimen secara melintang ditengah hasil lasan menggunakan kemudian spesimen diampelas menggunakan amplas 800, lalu dietsa. Etsa yang digunakan untuk pengamatan ini ada dua jenis,  $HNO_3$  digunakan untuk baja karbon dan larutan  $HNO_3$ ,  $HF$ , dan air digunakan untuk aluminium. Hasil pengamatan menunjukkan perbedaan bentuk dari *nugget* bagian baja yang dihasilkan, dari beberapa 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.

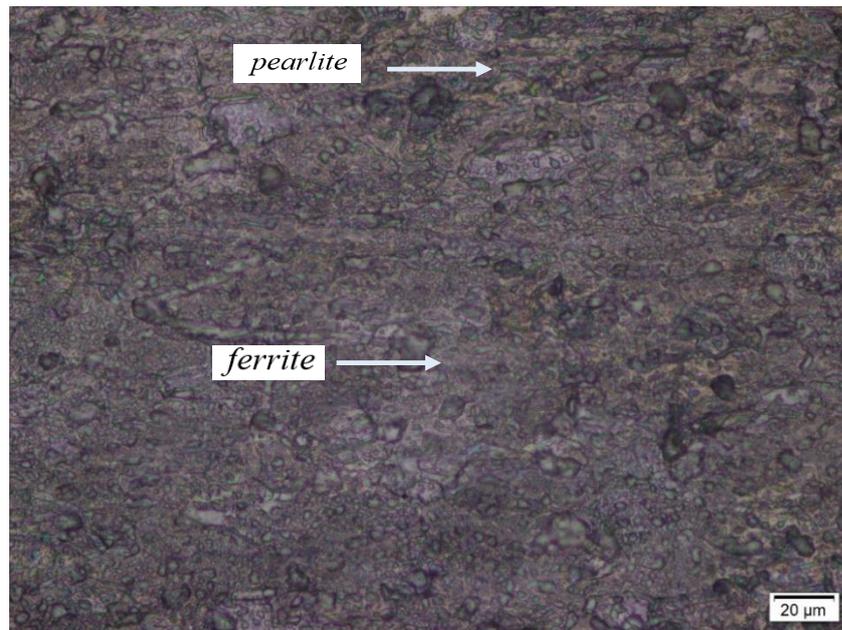




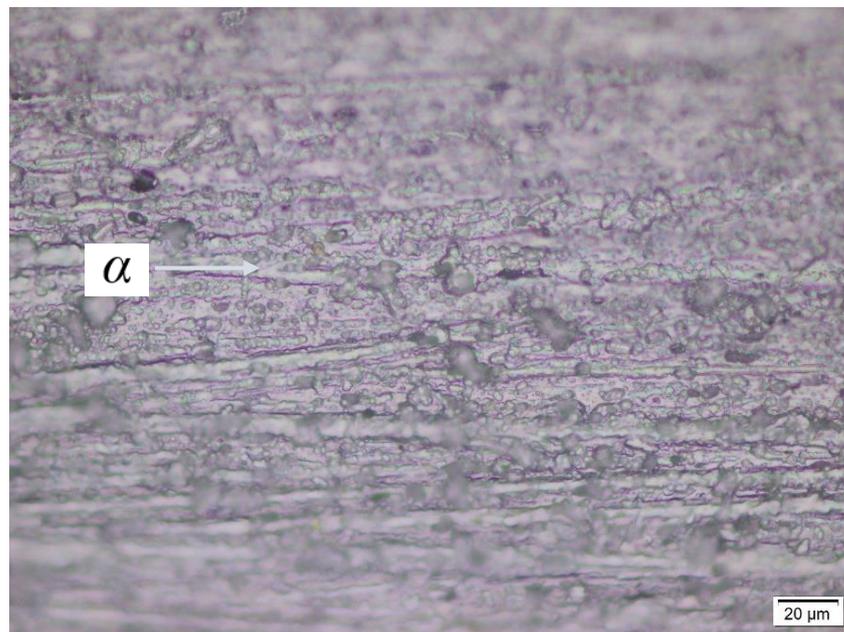
Gambar 4. 5 Struktur makro spesimen uji pada tiap variasi waktu pengelasan (a) 5 detik, (b) 6 detik, (c) 7 detik dan (d) 8 detik.

Hasil dari pengamatan struktur mikro pada logam induk baja karbon rendah terdiri dari *ferrit* (berwarna terang) dan *pearlite* (berwarna gelap) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Butiran *ferrit* sendiri cenderung lebih halus dan lunak, sedangkan butiran *pearlite* bersifat keras dan cenderung lebih halus. Struktur mikro logam induk pada semua variasi waktu pengelasan sama, ini disebabkan panas dan suhu pengelasan pada daerah logam induk tidak berdampak pada perubahan struktur dan sifat logam itu sendiri.

Struktur mikro pada logam induk aluminium 1100 berupa butiran memajang kearah samping akibat proses *manufacturing* yang dilakukan. Strukturnya berwarna terang yang menunjukkan fasa  $\alpha$  aluminium, fasa ini terlihat hampir memenuhi seluruh bagian dikarena besarnya kandungan aluminium yaitu mencapai 99 % seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4. 6 Struktur mikro logam induk baja karbon rendah.



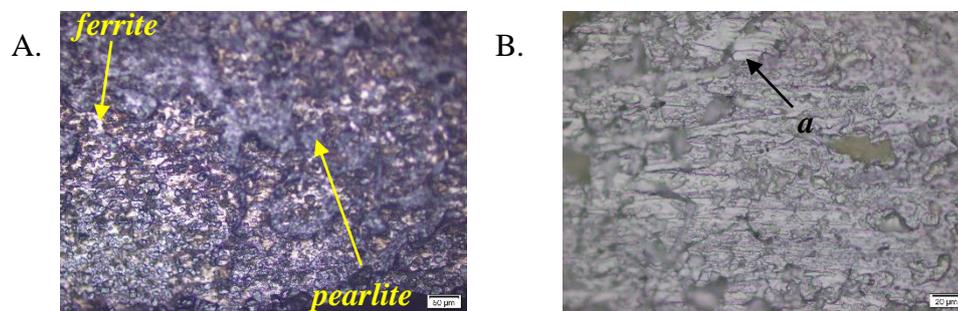
Gambar 4. 7 Struktur mikro logam induk alumunium 1100

Hasil pengamatan struktur mikro pada daerah HAZ baja karbon rendah ukuran butiran *ferrite* dan *pearlite* menjadi lebih kasar dibandingkan dengan butiran logam induk. semakin lama waktu pengelasan yang dilakukan, *ferrit* dan *pearlit*

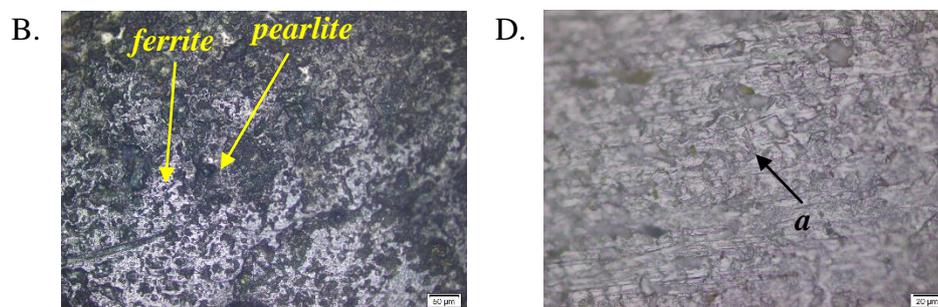
akan semakin besar dan kasar yang akan menyebabkan menurunkan tingkat kekerasan dari hasil lasan Firmansyah (2016).

HAZ adalah bagian logam induk yang mengalami dampak perubahan struktur akibat terkena panas, namun tidak sampai meleleh pada saat pengelasan. Pada hasil pengelasan variasi waktu 8 detik daerah HAZ ini memiliki ukuran butiran yang lebih besar dibanding dengan variasi 5 detik, 6 detik, dan 7 detik. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh waktu pengelasan yang menyebabkan semakin bertambah masuknya panas. Masuknya panas yang tinggi pada titik pusat pengelasan akan berdampak pada logam disekitar titik pusat mengalami panas. Struktur mikro daerah HAZ aluminium 1100 membentuk *polygonal* dan butiran mengalami pengasaran selama proses pengelasan. Struktur mikro pada daerah HAZ baja karbon rendah dan aluminium 1100 pada masing masing variasi arus pengelasan dapat dilihat pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.11.

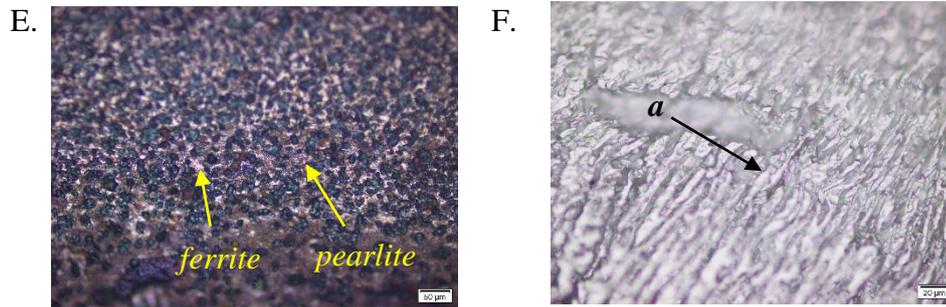
#### 4.2.1 Heat Affected Zone (HAZ)



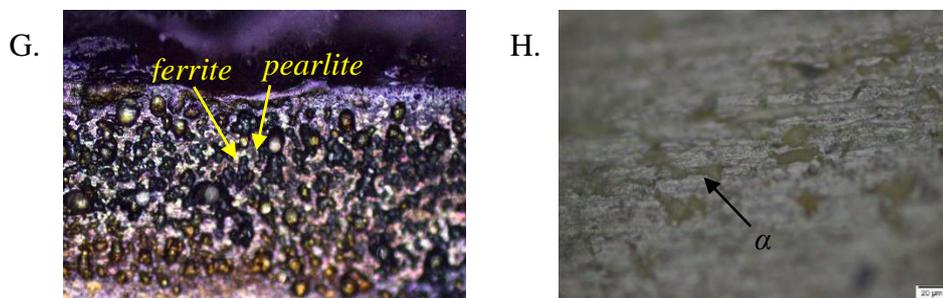
Gambar 4. 8 A) Baja karbon rendah dan B) Alumunium 1100 dengan variasi waktu 5 detik.



Gambar 4. 9 C) Baja karbon rendah dan D) Alumunium 1100 dengan variasi waktu 6 detik.



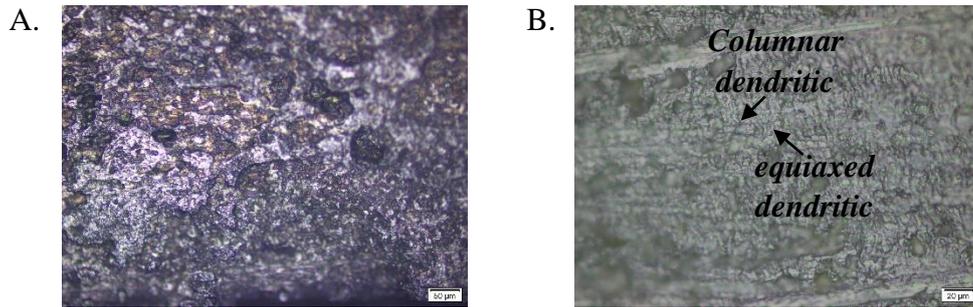
Gambar 4. 10 E) Baja karbon rendah dan F) Aluminium 1100 dengan variasi waktu 7 detik.



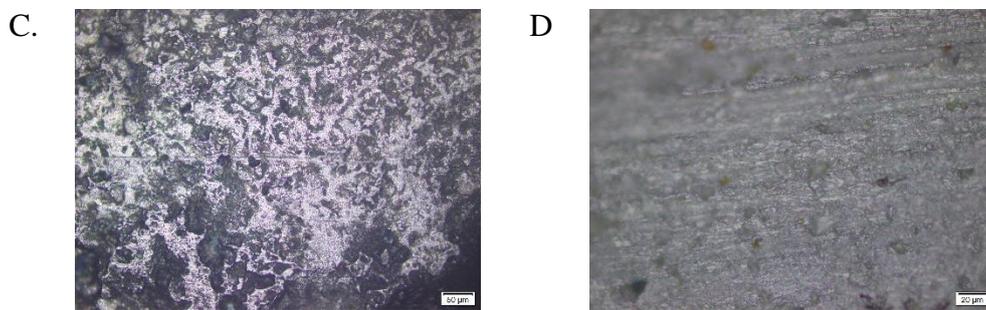
Gambar 4. 11 G) Baja karbon rendah dan H) Aluminium 1100 dengan variasi waktu 8 detik

#### 4.2.2 Struktur *Weld Metal*

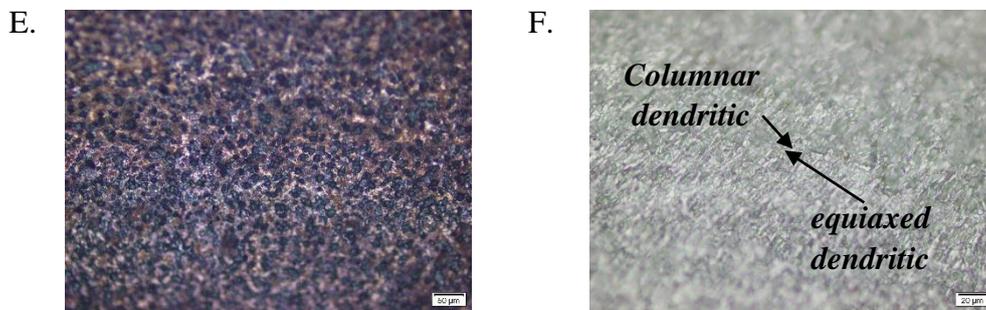
Daerah las adalah daerah dimana logam mengalami pencairan yang disebabkan oleh panas yang dihasilkan saat pengelasan. Daerah lasan atau *weld metal* baja karbon rendah memiliki struktur yang lebih kasar jika dibandingkan dengan struktur pada daerah HAZ dan logam induk dari baja karbon rendah. Sedangkan struktur *weld metal* pada aluminium 1100 menunjukkan terbentuknya struktur *columnar dendritic* dan *equiaxed dendritic*, dimana warna terang menunjukkan fasa  $\alpha$  aluminium. Bentuk struktur dari *weld metal* baja karbon dan aluminium 1100 dapat dilihat pada Gambar 4.12 hingga Gambar 4.15.



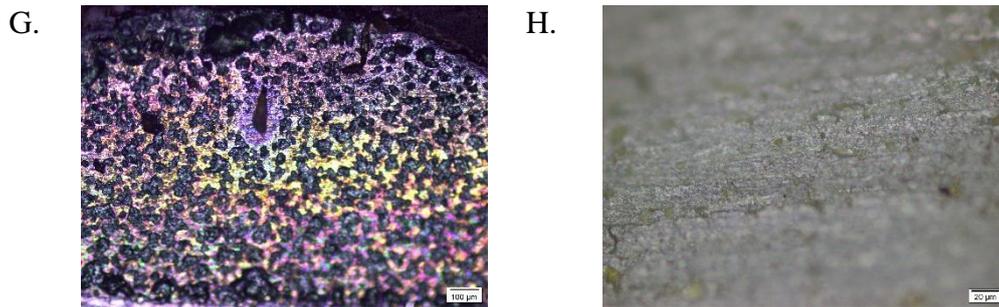
Gambar 4. 12 A) Baja karbon rendah dan B) Aluminium 1100 dengan variasi waktu 5 detik



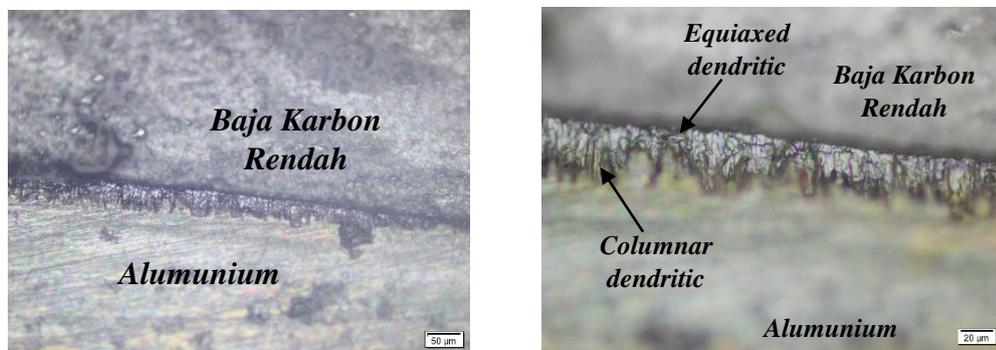
Gambar 4. 13 C) Baja karbon rendah dan D) Aluminium 1100 dengan variasi waktu 6 detik.



Gambar 4. 14 E) Baja karbon rendah dan F) Aluminium 1100 dengan variasi waktu 7 detik



Gambar 4. 15 G) Baja karbon rendah dan H) Aluminium 1100 dengan variasi waktu 8 detik



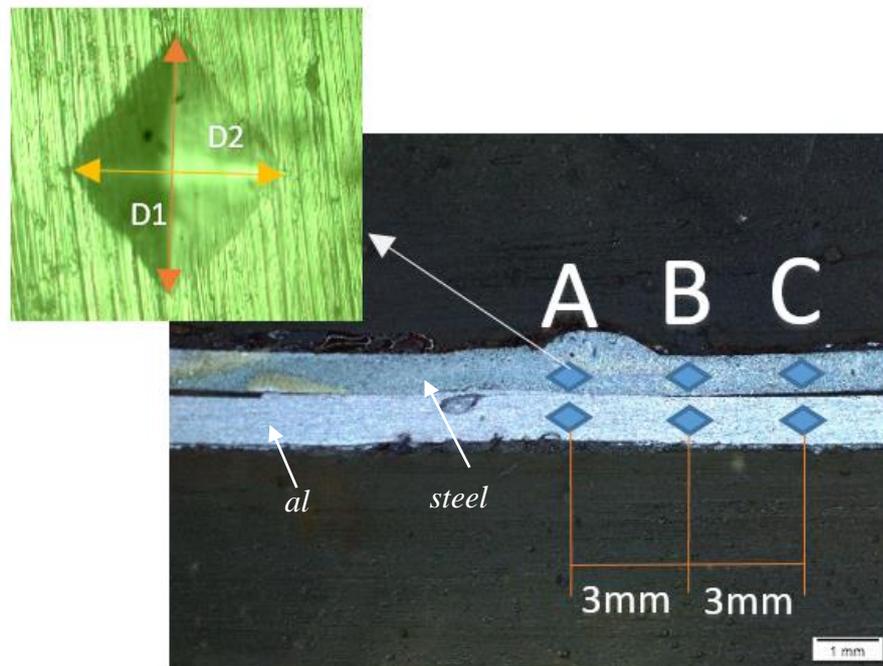
Gambar 4. 16 Daerah weld metal sambungan baja karbon rendah dengan aluminium.

Dari hasil pengamatan daerah *weld metal* pada Gambar 4.16 antara baja karbon rendah dengan aluminium menunjukkan terbentuknya struktur *equiaxed dendritic* dan *columnar dendritic*.

### 4.3. Pengujian kekerasan *vickers*

Pengujian kekerasan yang dilakukan mengacu pada pengujian yang telah dilakukan oleh Faozi (2015), dimana pengujian yang dilakukan menggunakan variabel berbeda. Tujuan dari pengujian kekerasan *vickers* ini adalah untuk mengetahui nilai kekerasan pada logam induk, HAZ dan *weld metal* hasil sambungan las. Titik penekanan pada pengujian ditunjukkan menggunakan simbol huruf yang terletak pada posisi seperti yang terlihat pada Gambar 4.16 A *weld metal*, B sebagai HAZ dan C logam induk. Jarak antar titik yang digunakan 3 mm

dan penitikan ini dilakukan sama pada semua variasi pengelasan pada material baja karbon rendah dan aluminium.

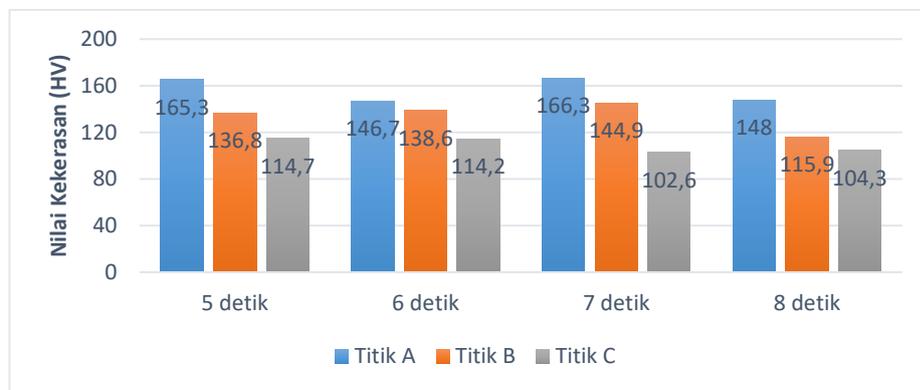


Gambar 4. 17 Posisi penitikan pengujian kekerasan.

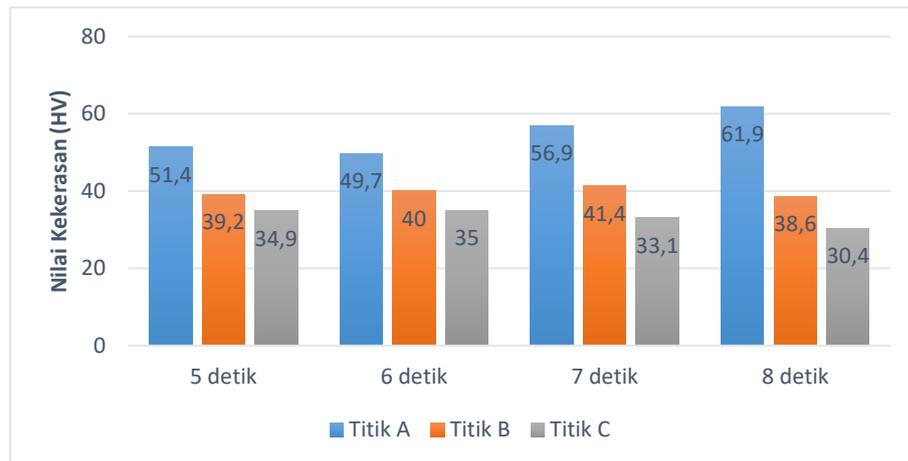
Hasil penelitian menunjukkan nilai kekerasan rata-rata pada logam induk baja karbon rendah dan aluminium 1100 yaitu sebesar  $\pm 108,95$  HV dan  $\pm 33,35$  HV, hal ini dikarenakan pada bagian ini logam induk tidak terpengaruh dengan proses pengelasan yang dilakukan. Pada daerah HAZ baja karbon rendah, nilai kekerasan tertinggi diperoleh dari variasi waktu 7 detik sebesar  $\pm 144,9$  HV dan HAZ aluminium 1100 memiliki nilai kekerasan tertinggi pada variasi waktu 7 detik sebesar  $\pm 41,4$  HV. Sedangkan pada daerah *weld metal* baja karbon rendah didapat nilai kekerasan tertinggi sebesar  $\pm 166,3$  HV pada variasi 6 detik dan pada *weld metal* aluminium 1100 nilai kekerasan tertinggi yang diperoleh adalah  $\pm 61,9$  HV pada variasi waktu 8 detik. Hasil pengujian kekerasan pada pengelasan baja karbon rendah dan aluminium 1100 dengan arus 100 A dan dengan variasi waktu 5, 6, 7 dan 8 detik dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Nilai kekerasan spesimen uji setiap variasi waktu.

	5 detik		6 detik		7 detik		8 detik	
	Baja karbon	Al						
<b>Weld Metal</b>	164,3	51,4	146,7	49,7	166,3	56,9	148	61,9
<b>HAZ</b>	136,8	39,2	138,6	40	144,9	41,4	115,9	38,6
<b>Logam Induk</b>	114,7	34,9	114,2	35	102,6	33,1	104,3	30,4



Gambar 4. 18 Grafik nilai kekerasan sambungan las spot TIG pada material baja karbon rendah

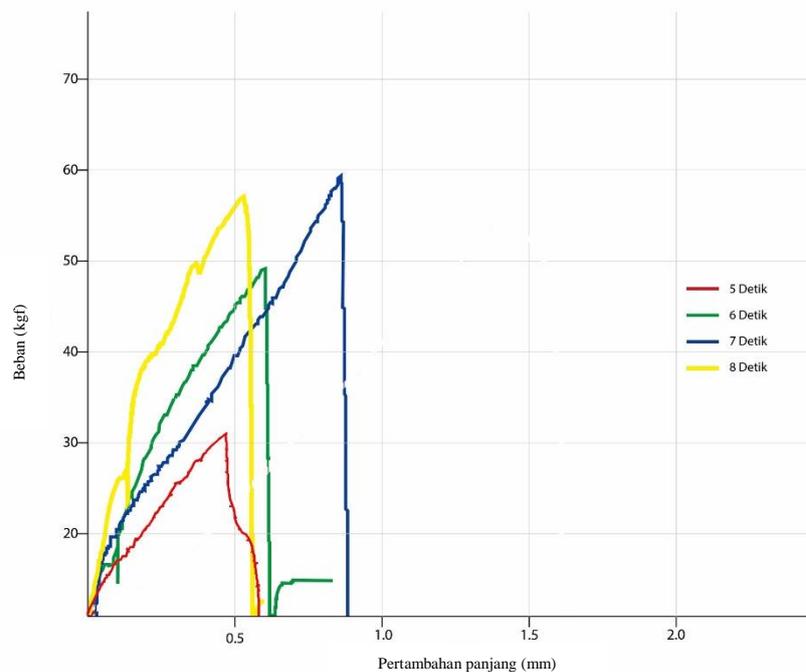


Gambar 4. 19 Grafik nilai kekerasan sambungan las spot TIG pada material aluminium 1100

Hasil dari pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 4.18 dan 4.19. Nilai kekerasan tertinggi yang dihasilkan baja karbon rendah dan aluminium 1100

pada setiap spesimen yaitu terdapat pada titik A, dimana titik A merupakan daerah logam las (*weld metal*), hal ini disebabkan daerah logam mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan agak cepat (sedang) selama proses pengelasan. Siklus termal akan mengakibatkan terbentuknya struktur *bainite* pada daerah tersebut. Purwaningrum (2013), mengatakan struktur *bainite* mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi dibanding dengan struktur *ferrite* maupun *pearlite*. Peningkatan kekerasan terjadi pada daerah HAZ yang disebabkan karena daerah ini berdekatan dengan daerah *weld metal*. Akibat dari suhu yang tinggi dan waktu pendinginan yang cukup cepat mengakibatkan kekerasan meningkat dan pengerasan pada butir HAZ (Wiryosumarto dan Toshie, 2000).

#### 4.4. Pengujian tarik geser



Gambar 4. 20 Kurva perbandingan hasil uji tarik dengan nilai beban tertinggi tiap variasi waktu

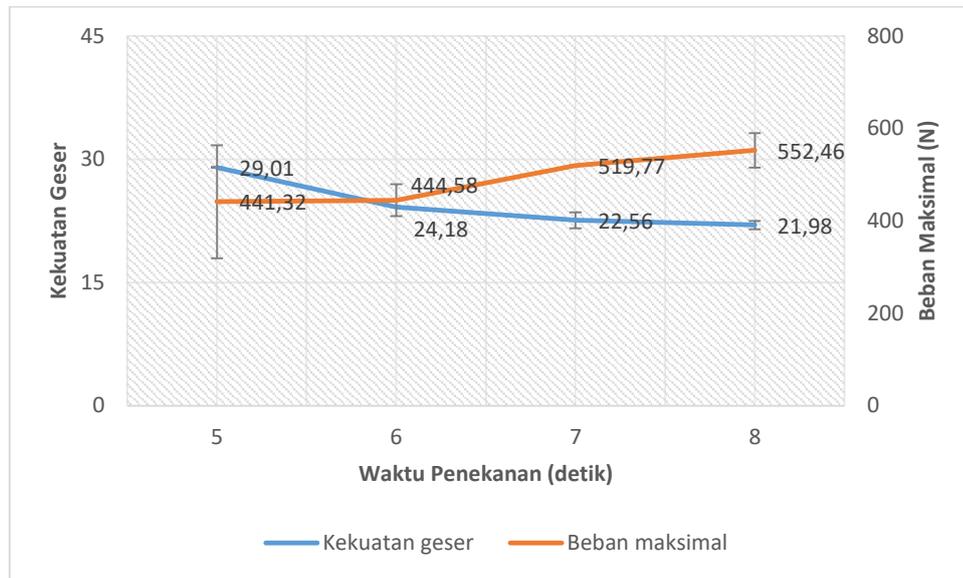
Gambar 4.20 menunjukkan hasil kurva uji tarik dengan beban pada tiap variasi, pada variasi 5 detik bebannya 31 Kgf, variasi 6 detik 49 Kgf, variasi 7 detik 57 Kgf, dan kurva tertinggi ada pada variasi waktu 8 detik sebesar 59 Kgf.

Hasil dari pengelasan *spot TIG welding* material baja karbon rendah dengan aluminium 1100 yang telah berhasil dilas selanjutnya dilakukan pengujian Tarik geser. Pengujian ini dilakukan dilaboratorium pengujian bahan IST AKPRIND dengan menggunakan *Universal Testing Machine*. Hasil pengujian ini berupa kurva beban perpanjangan yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan tegangan geser dari spesimen yang telah diuji. Nilai kekuatan geser didapat setelah melakukan perhitungan dengan membagi nilai beban maksimal masing-masing spesimen dengan luas penampang. Luas penampang pada pengujian ini didapat dengan menggunakan panjang diameter *nugget* hasil sambungan. Perbandingan kurva hasil pengujian dengan beban tiap variasi waktu ditunjukkan pada Gambar 4.20.

Luas area *nugget* dan nilai beban dari pengujian tarik hasil sambungan untuk setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan nilai kekuatan gesernya dapat dilihat pada Tabel 4.4. Nilai kekuatan geser ini didapat dari perhitungan menggunakan persamaan 2.1. Perbandingan antara pengaruh variasi waktu terhadap kekuatan geser serta beban tarik dengan arus 100 A dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Tabel 4. 3. Kekuatan geser dan nilai beban tarik rata-rata.

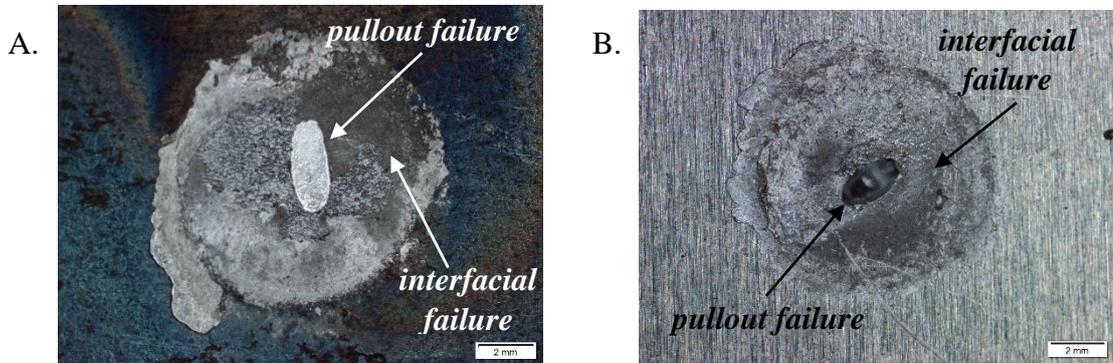
No	Waktu (detik)							
	5		6		7		8	
	Kekuatan geser (N/mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan geser (N/mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan geser (N/mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan geser (N/mm <sup>2</sup> )	Beban (N)
1	18,98	304,02	26,78	441,32	23,78	559,00	23,69	578,61
2	33,45	539,39	23,42	480,54	20,10	470,74	22,28	568,81
3	34,59	480,54	22,33	411,89	23,81	529,58	19,98	509,96
$\bar{x}$	29,01	441,32	24,18	444,58	22,56	519,77	21,98	552,46



Gambar 4. 21 Pengaruh variasi waktu terhadap kekuatan geser rata-rata serta beban tarik rata-rata.

Pada Gambar 4.21 Kekuatan geser rata-rata mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya waktu pengelasan yang digunakan. Hal ini dikarenakan waktu pengelasan yang semakin lama akan menghasilkan logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan (Arifin,1997). Nilai rata-rata kekuatan geser tertinggi diperoleh variasi waktu 5 detik sebesar 29,74  $N/mm^2$ . Kapasitas beban tarik tertinggi sebesar 552,46 N pada variasi waktu 8 detik. Hal ini sesuai dengan diameter *nugget* yang dihasilkan pada pengelasan yang dilakukan, dimana semakin lama waktu pengelasan maka diameter yang dihasilkan semakin besar.

**Fraktografi baja karbon rendah dan aluminium 1100 pada variasi waktu 5 detik dan 8 detik**



Gambar 4. 22 Fraktografi A) Baja karbon rendah dan B) aluminium 1100 variasi waktu 5 detik.



Gambar 4. 23 Fraktografi A) Baja karbon rendah dan B) aluminium 1100 variasi waktu 8 detik.

Dari Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 dapat dilihat bahwa terjadi *pullout failure* dan *interfacial failure* pada hasil pengujian tarik sambungan las, dimana sambungan lasan pada saat diuji tarik tidak terlepas sempurna. kegagalan jenis ini terjadi pada seluruh spesimen uji/terbentuk seragam pada semua spesimen.