

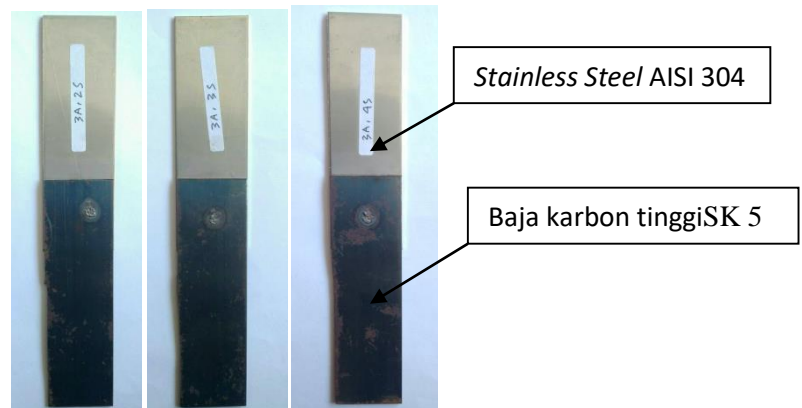
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu *spot welding* untuk menggabungkan dua material yang berbeda antara *stainless steel* AISI 304 dan baja karbon tinggi SK 5, dengan menggunakan variasi parameter waktu penekanan dan tegangan, dimana pada setiap variasi waktu tegangan yang digunakan sama. Tujuan dari variasi tersebut untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik hasil sambungan las. Sifat fisik dan mekanik didapat dengan melakukan beberapa tahap pengujian diantaranya: kapasitas beban tarik, pengamatan foto mikro dan kekerasan. Setelah melakukan pengujian data yang didapat kemudian dianalisa dan dibahas untuk memperoleh kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

4.1. Hasil Pengelasan

Percobaan pertama sebelum menentukan parameter variasi waktu yang akan digunakan yaitu dilakukan percobaan dengan tegangan 1,79 V dan waktu 1 detik. dimana hasil dari percobaan tersebut masih kurang sempurna karena luasan *nugget* nya cenderung kecil dan sambungan lasan nya kurang kuat. Percobaan kedua dilakukan dengan variasi tegangan 2,67 V dan waktu 4 detik, dimana hasil sambungan yang didapatkan sudah cukup kuat tetapi permukaan *nugget*nya kurang baik. Kemudian dilakukan percobaan dengan menggunakan variasi 2,02 V dan waktu 4 detik, pada percobaan ini hasil sambungannya sudah cukup kuat dan permukaan *nugget*nya cukup baik. Dari ketiga percobaan tersebut telah didapatkan variasi waktu parameter waktu dengan hasil sambungan lasan yang kuat untuk dilakukan pengujian selanjutnya. Hasil dari percobaan dari pengelasan *spot welding* antar *stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon tinggi SK 5 dapat dilihat pada gambar 4.1.



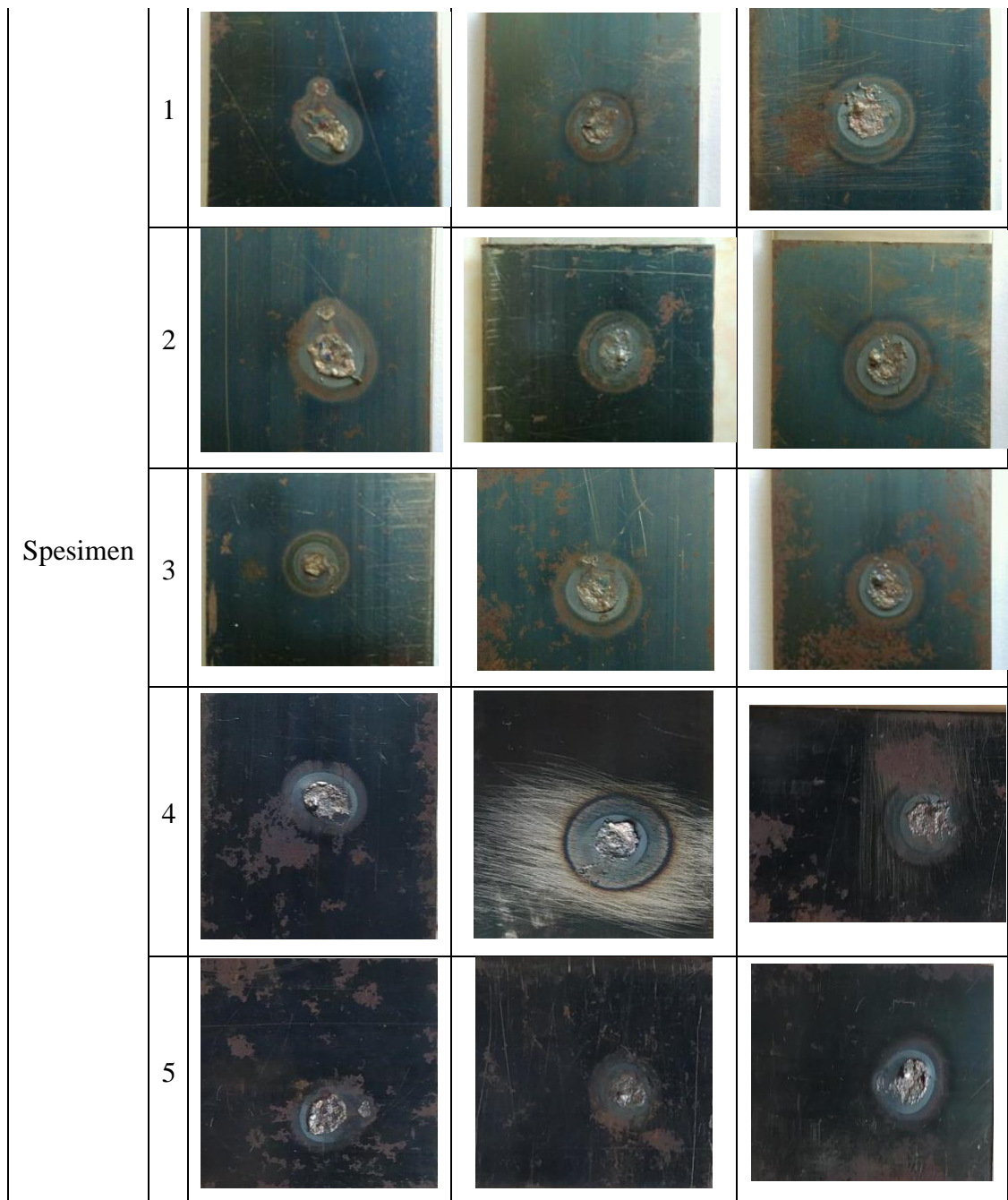
Gambar 4.1 hasil dari percobaan pengelesan *spot welding*

Gambar 4.1 menunjukkan dari hasil pengelasan *spot welding* material beda jenis antar *stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon tinggi SK 5 dengan menggunakan parameter variasi (a) tegangan 2,02 V dan waktu 2 detik, (b) tegangan 2,02 V dan waktu 3 detik, dan (c) tegangan 2,02V dan waktu 4 detik.

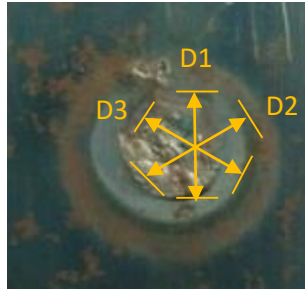
Berdasarkan dari hasil percobaan, ketiga parameter variasi tersebut yang digunakan dalam penelitian yaitu tegangan 2,02 V dan variasi waktu 2,3 dan 4 detik. penelitian menggunakan 5 buah spesimen uji setiap masing-masing variasi.

Parameter waktu penekanan sangat mempengaruhi terhadap hasil sambungan lasan dan diameter *nugget* lasan. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan menghasilkan diameter *nugget* lasan yang relatif kecil pada variasi waktu 2 detik, dengan semakin lama waktu pengelasan yang diberikan semakin besar pula diameter *nugget* lasan yang dihasilkan. Penentuan parameter waktu pengelasan sangat berpengaruh terhadap karakteristik dan hasil sambungan lasan. Apabila pemilihan parameter waktu pengelasan terlalu cepat, maka panas yang dihasilkan tidak dapat melelehkan material, sehingga daerah logam las yang dihasilkan kecil dan penembusan tidak dalam, sebaliknya jika parameter waktu pengelesan terlalu lama, maka panas yang dihasilkan sangat tinggi sehingga logam lasan yang dihasilkan lebih besar Arifin, (2017) Gambar 4.2 menunjukkan *nugget* hasil lasan *stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon tinggi SK 5.

Nugget	Variasi Waktu Pengelasan		
	2 detik	3 detik	4 detik



Gambar 4.2 Nugget lasan *stainless steel* AISI 304 dan baja karbon tinggi SK 5.

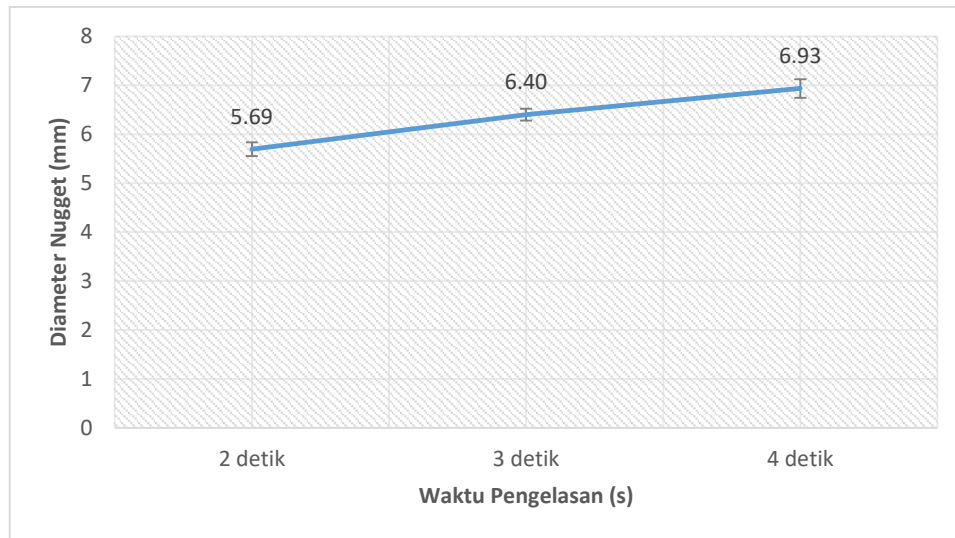


Gambar 4.3 Pengukuran diameter *nugget* hasil lasan RSW pada permukaan baja karbon tinggi

Tabel 4.1 Ukuran luas diameter *nugget* hasil lasan *spot welding*

Arus	Spesimen	d1	d2	d3	Rata-rata	St.Dev
2 detik	1	5,8	5,9	5,85	5,85	0,14
	2	5,55	5,7	5,9	5,72	
	3	5,7	5,8	5,75	5,75	
	4	5,55	5,8	5,7	5,68	
	5	5,4	5,7	5,3	5,47	
3 detik	1	6,3	6,5	6,4	6,40	0,12
	2	6,6	6,5	6,71	6,60	
	3	6,3	6,65	6,25	6,40	
	4	6,4	6,2	6,3	6,30	
	5	6,65	6,1	6,2	6,32	
4 detik	1	6,9	6,95	6,8	6,88	0,18
	2	6,5	6,8	6,65	6,65	

3	6,55	7,05	7,6	7,07
4	6,9	7,1	7,4	7,13
5	6,8	6,95	7,05	6,93



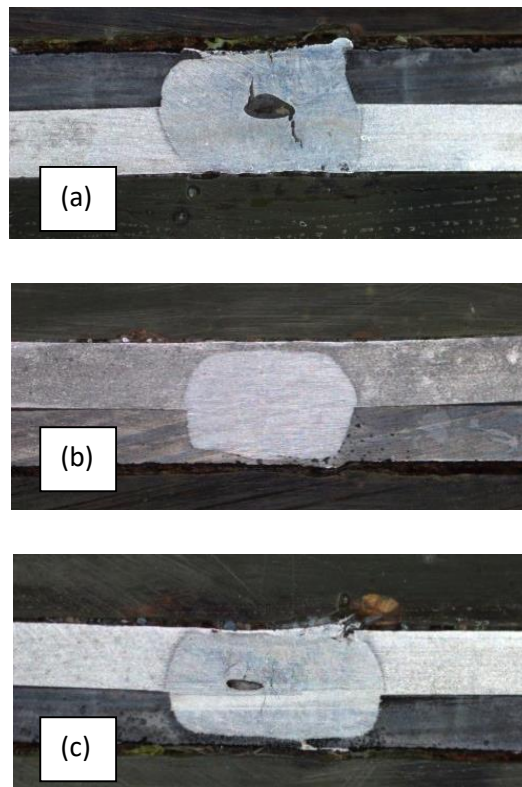
Gambar 4.4 Ukuran diameter *nugget* setiap variasi waktu pengelasan.

Gambar 4.4 menunjukkan peningkatan ukuran diameter *nugget* setiap kenaikan variasi waktu yang dilakukan saat pengelasan. Data yang diperoleh dari pengukuran diameter *nugget* rata-rata pada variasi waktu 2 detik 5,69 mm, variasi 3 detik 6,40mm dan variasi 4 detik 6,93 mm. Hasil dari pengelasan dengan parameter tegangan tetap dan lama waktu yang semakin meningkat menunjukkan ukuran diameter *nugget* semakin besar seiring dengan variasi waktu yang diberikan semakin lama. Data pengukuran menunjukkan diameter terkecil pada variasi waktu 2 detik dan diameter terbesar pada variasi waktu 4 detik.

4.2. Pengujian struktur mikro dan makro

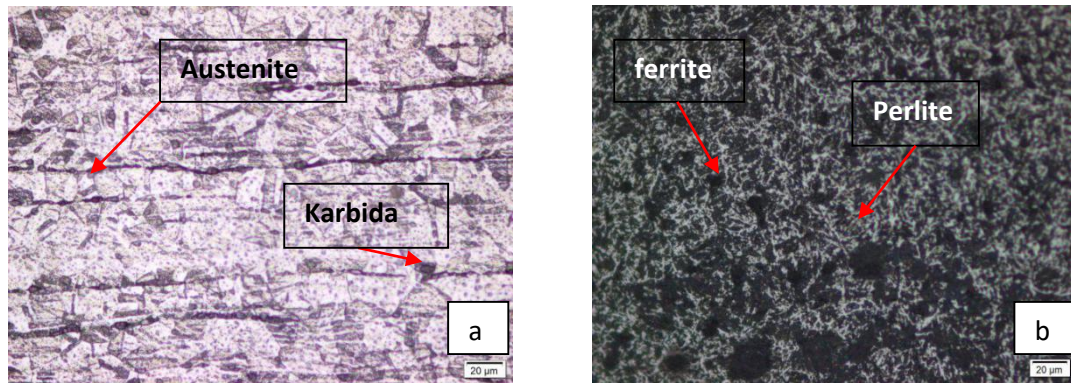
Pengujian struktur mikro merupakan pengamatan metalografi pada setiap variasi waktu spesimen hasil pengelasan, dimana pengamatan ini dilakukan untuk melihat bagian-bagian hasil lasan diantaranya adalah logam las (*weld metal*), *Heat*

Affected Zone(HAZ) dan logam induk (*base metal*). Sebelum dilakukan pengamatan mikro maka perlu dilakukan pengamatan makro untuk mengetahui permukaan hasil lasan. Kemudian langkah yang dilakukan adalah memotong spesimen secara melintang terlebih dahulu pada daerah tengah sambungan lasan, kemudian dilakukan pengamplasan, poles dan dietsa. cairan etsa yang digunakan untuk pengamatan ini ada dua, yaitu dengan komposisi HCl 75% dan HNO₃ 25% untuk baja *Stainless Steel* 304 dan HNO₃ 90% dan aquades 10% untuk baja karbon tinggi.



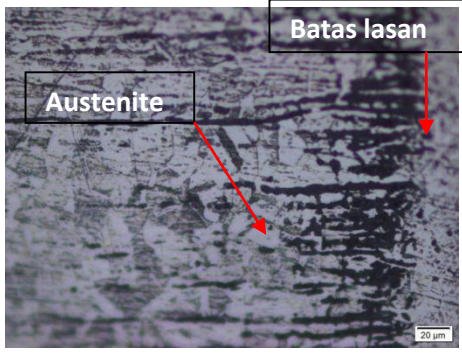
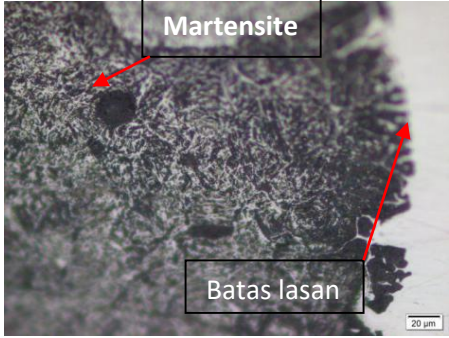
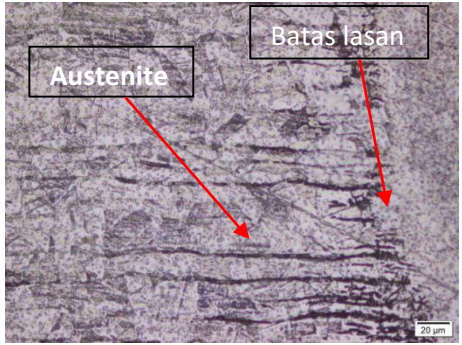
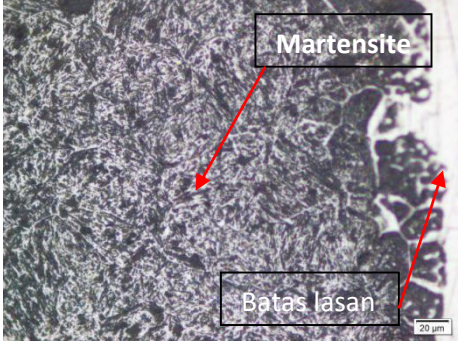
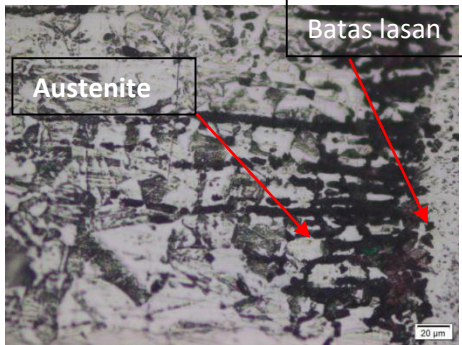
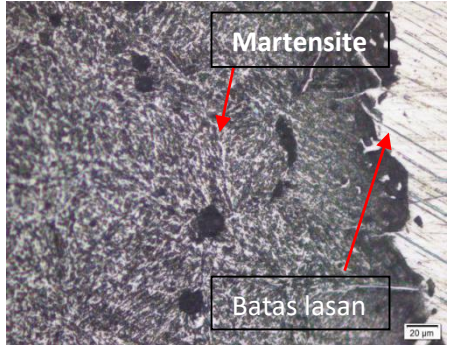
Gambar 4.5 Hasil struktur makro sambungan lasan *spot welding dissimilar* setiap variasi waktu pengelasan (a) 2 detik, (b) 3 detik, dan (c) 4 detik

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengamatan makro pada sambungan lasan antara *Stainless Steel* AISI 304 dengan Baja Karbon Tinggi SK 5. Hasil pengamatan foto makro sambungan lasan terlihat bagus, dimana penetrasi yang dihasilkan dari pengelasan melebur menjadi satu, namun ada beberapa spesimen terdapat cacat lubang pada daerah *weld metal*.



Gambar 4.6 Struktur mikro *base metal stainless steel* AISI 304 (a) dan *base metal* baja karbon tinggi SK 5 (b).

Gambar 4.6 menunjukkan foto struktur mikro pada daerah logam induk (*base metal*) *stainless steel* 304 dan baja karbon tinggi SK 5. Pada logam induk *Stainless Steel* AISI 304 terdapat struktur mikro jenis *austenite* dan *karbida*. Sedangkan pada logam induk baja karbon tinggi SK 5 terdapat struktur mikro *ferrite* dan *perlite* dimana struktur *ferrite* (berwarna terang) dan *perlite* (berwarna gelap). Pada daerah ini didominasi *ferrite* karena mempunyai sifat yang halus dan lunak sedangkan butir *perlite* mempunyai sifat lebih kasar dan keras (Faazi, 2015).

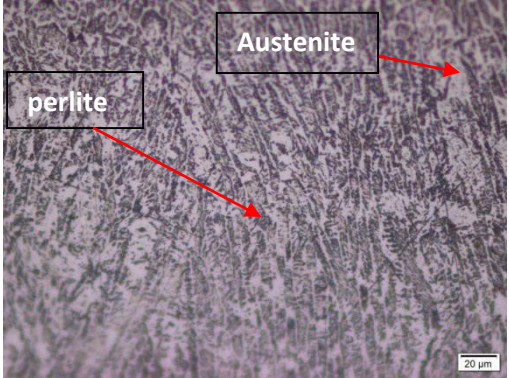
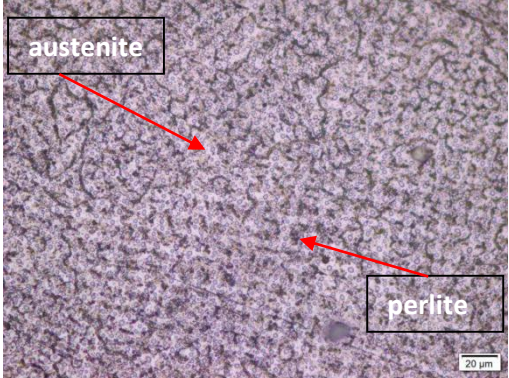
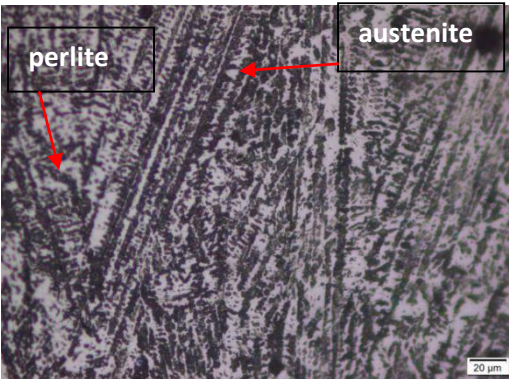
Vaiasi Waktu	HAZ (<i>Heat Affected Zone</i>)	
	<i>Stainless Steel</i> AISI 304	Baja Karbon Tinggi SK 5
2 detik		
3 detik		
4 detik		

Gambar 4.7 Struktur mikro HAZ (*heat affected zone*) *Stainless Steel* AISI 304 dan baja karbon tinggi SK 5)

Daerah HAZ 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* AISI 304 mengalami perubahan ukuran butir menjadi lebih besar dibandingkan

pada logam induk. Hal ini terjadi karena masukan panas yang diterima 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 tinggi SK 5 menunjukkan bahwa daerah ini daerah ini terdiri dari *ferrite* dan *perlite* yang mempunyai butiran lebih besar dibandingkan logam induknya. Ukuran butir pada daerah HAZ dan *weld metal* meningkat seiring meningkatnya 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). Gambar 4.7 menunjukkan foto hasil daerah pengujian struktur mikro daerah HAZ pada setiap variasi waktu pengelasan.

Variasi Waktu	<i>Weld Metal</i>
2 detik	
3 detik	
4 detik	

Gambar 4.8 Struktur mikro hasil lasan atau *weld metal*

Weld metal atau logam induk merupakan bagian dari daerah las yang pada saat proses pengelasan mencair dan kemudian membeku (Faozi, 2015). Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa waktu pengelasan berpengaruh terhadap struktur mikro pada bagian *weld metal* metode *spot welding* antara *stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon tinggi SK 5. Hasil pengamatan mikro menunjukkan bahwa dengan waktu pengelasan yang semakin tinggi pada daerah *weld metal* didominasi oleh struktur *perlite* dan *austenite* pada setiap variasi waktu pengelasan yang digunakan. Gambar 4.8 foto hasil dari pengujian struktur mikro daerah *weld metal* pada setiap variasi waktu pengelasan menunjukkan ukuran butir mengalami perbesaran seiring semakin lama waktu pengelasan yang digunakan. Tingkat masukan panas yang tinggi siklus termal lebih panjang dan cenderung menghasilkan struktur mikro yang kasar. Tingginya masukan panas yang diberikan menyebabkan proses pendinginan (*solidifikasi*) lambat yang mengakibatkan daerah HAZ lebar dan butiran struktur mengalami pembesaran (Kuntoro dkk, 2017)

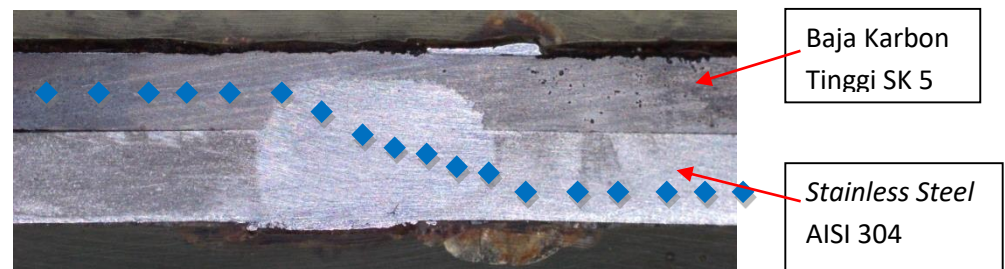
4.3. pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan mikro ini dilakukan untuk mengetahui nilai distribusi kekerasan pada spesimen lasan, dimana daerah yang akan diuji yaitu terdiri dari *weld metal*, HAZ, logam induk (*base metal*). Penitikan pada spesimen uji dilakukan 18x yang meliputi daerah *weld metal*, HAZ, dan logam induk (*base metal*) dengan jarak antara titik 1mm.

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata pada daerah *base metal* (logam induk) baja karbon tinggi yaitu sebesar 489 HV dan nilai pada *stainless steel* AISI 304 sebesar 196 HV, daerah *base metal* tidak mengalami perubahan kekerasan karena tidak dipengaruhi oleh panas pada saat dilakukan pengelasan. Nilai kekerasan tertinggi daerah HAZ pada baja karbon tinggi SK 5 yaitu sebesar 519 HV dan nilai kekerasan tertinggi daerah HAZ pada *Stainless Steel* AISI 304 yaitu sebesar 423 HV. sedangkan pada daerah *weld metal* baja karbon tinggi SK 5 di dapat nilai kekerasan tertinggi sebesar 430 HV dan

daerah *weld metal stainless steel* 304 di dapat nilai kekerasan tertinggi sebesar 419 HV.

Nilai kekerasan tertinggi dari baja karbon tinggi SK 5 dan *Stainless steel* AISI 304 didapat pada daerah *base metal*. Hal itu sesuai dengan penelitian (Raharjo dan Ariawan, 2005) semakin besarnya butir yang terbentuk pada daerah hasil lasan dan daerah HAZ maka akan mengurangi tingkat kekerasan dari daerah tersebut. Hasil pengujian kekerasan pada pengelasan *Stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon tinggi SK 5 dapat dilihat pada tabel 4.2. Sedangkan skema penitikan uji kekerasan *vickers* dapat dilihat pada Gambar 4.9.

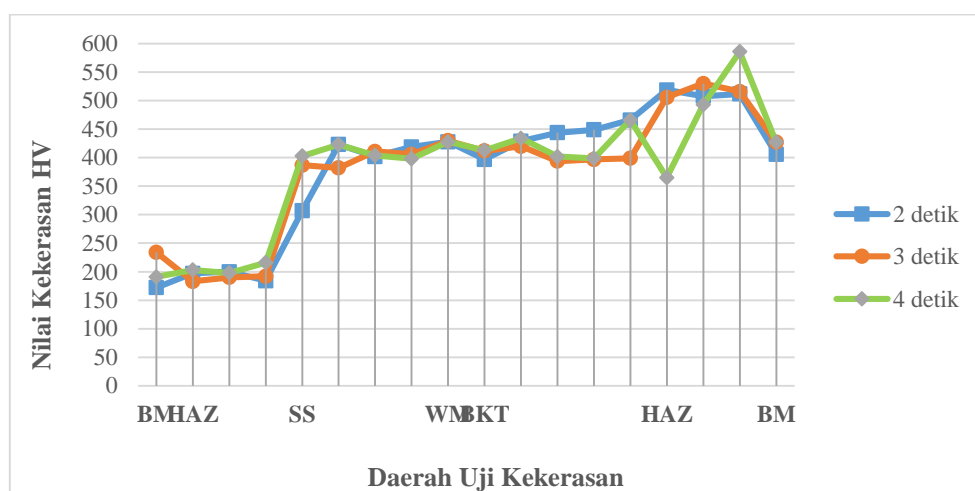


Gambar 4.9 Skema penitikan uji kekerasan *vickers*

Tabel 4.2 Nilai kekerasan spesimen uji setiap variasi waktu

Stainless Steel AISI 304									
Variasi Waktu	BM	HAZ			WM				
2 detik	172	197	200	184	307	423	402	419	428
3 detik	234	183	190	192	382	382	406	406	412
4 detik	191	203	198	216	403	423	404	398	428

Baja Karbon Tinggi SK 5									
Variasi Waktu	BM	HAZ			WM				
2 detik	406	519	508	512	397	429	444	449	466
3 detik	427	506	530	516	412	420	394	397	399
4 detik	427	365	493	586	413	434	402	399	466



Gambar 4.10 Hubungan antara kekerasan dan waktu pengelasan pada material *stainless steel* AISI 304 dan baja karbon tinggi SK 5.

Gambar 4.10 Menunjukkan hubungan antar nilai kekerasan dengan variasi waktu yang digunakan dalam penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada variasi waktu 2 detik daerah *weld metal* SS304 memiliki nilai kekerasan sebesar 419 HV dan baja karbon tinggi memiliki nilai kekerasan sebesar 428 HV. Pada daerah HAZ baja SS304 memiliki nilai kekerasan sebesar 307 HV dan pada baja karbon tinggi SK 5 memiliki nilai kekerasan sebesar 429 HV. Selanjutnya pada variasi waktu 3 detik daerah *weld metal* baja SS304 memiliki nilai kekerasan sebesar 406 HV pada baja karbon tinggi SK 5 memiliki nilai kekerasan sebesar 430 HV. Sedangkan pada daerah HAZ baja SS304 memiliki nilai kekerasan sebesar 387 HV dan pada baja karbon tinggi SK 5 memiliki nilai kekerasan sebesar 394 HV. Pada variasi waktu 4 detik memiliki nilai kekerasan *weld metal* baja SS304 sebesar 398 HV dan baja karbon tinggi SK 5 memiliki nilai kekerasan sebesar 428 HV. Sedangkan daerah HAZ baja SS304 memiliki nilai kekerasan sebesar 403 HV dan baja karbon tinggi SK 5 memiliki nilai kekerasan sebesar 402 HV.

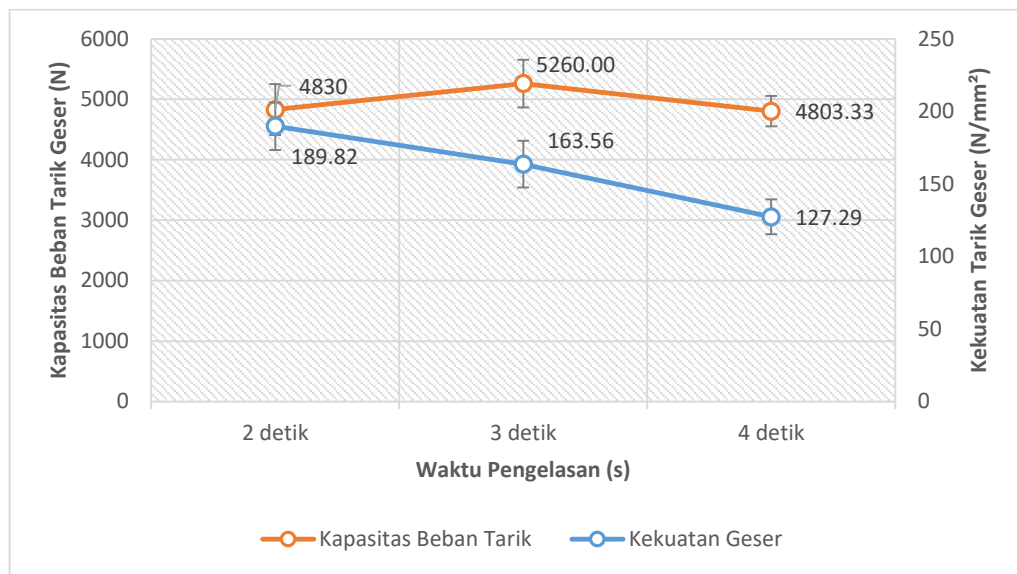
Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kekerasan hasil las pada daerah *weld metal* menunjukkan nilai yang konstan, akan tetapi pada daerah HAZ baja SS304 cenderung mengalami penurunan nilai kekerasan, begitu juga pada daerah *base metal* SS304 memiliki nilai kekerasan yang lebih kecil dibanding pada daerah HAZ. Hasil penelitian Faozi (2015) menyatakan bahwa penurunan nilai kekerasan disebabkan semakin besarnya kuat arus dan waktu yang digunakan maka masukan panas akan menjadi besar dan pendinginan yang terjadi berjalan pelan. Penurunan pada daerah *weld metal* dan HAZ juga dipengaruhi oleh besarnya butiran yang terbentuk pada daerah tersebut (Wahyu dkk, 2016) Gambar 4.8 Menunjukkan nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* baja SS304 dengan waktu 2 detik sebesar 419 HV dan pada baja karbon tinggi SK 5 dengan waktu 3 detik sebesar 430 HV. Sedangkan nilai kekerasan terendah pada daerah *weld metal* baja SS304 dengan waktu 4 detik sebesar 398 HV dan pada baja karbon tinggi nilai kekerasan terendah pada waktu 2 detik dan 4 detik sebesar 428 HV.

4.4. Pengujian Tarik

Hasil dari pengelasan yang telah dilakukan menggunakan metode *spot welding dissimilar* (material tak sejenis) antara *stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon tinggi SK 5 yang telah berhasil dilas kemudian dilakukan uji tarik. Pengujian tarik dilakukan di laboratorium bahan Universitas Gadjah Mada 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 titik *dissimilar* antara *stainless steel* AISI 304 dengan baja karbon tinggi SK 5.

Tabel 4.3 Pembebanan tarik rata-rata setiap variasi waktu

Waktu	Luasan	Kaps beban (N)	Rata-Rata	Kekuatan Geser	Rata-Rata	Kegagalan Uji Tarik
2 detik	26,86	4410	4830	164,16	184,90	Pullout (SC)
	25,65	4830	±420	188,27	±19,28	Pullout (SC)
	25,95	5250		202,28		Pullout (SC)
3 detik	32,15	4860	5260	151,15	160,58	Pullout (SC)
	34,23	5270	±395,09	153,96	±13,97	Pullout (SC)
	31,99	5650		176,64		Pullout (SC)
4 detik	37,19	4520	4803,33	121,53	129,98	Pullout (SC)
	34,71	4890	±251,46	140,86	±9,89	Pullout (SC)
	39,20	5000		127,55		Pullout (SC)



Gambar 4.11 Perbandingan hasil uji tarik pada kekuatan geser rata-rata dan pembebanan maksimum rata-rata setiap variasi waktu pengelasan *spot resistance*.


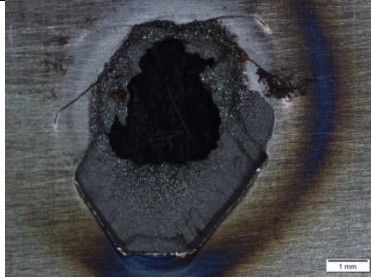
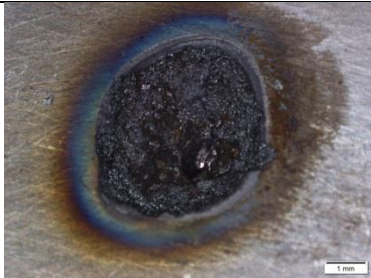



Gambar 4.11 menunjukkan perbandingan antara kekuatan geser rata-rata dengan beban maksimum rata-rata. Dari hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan beban tarik mengalami peningkatan seiring dengan semakin lamanya waktu penekanan yang diberikan, akan tetapi di variasi waktu 3 detik ke 4 detik kekuatan beban tarik mengalami penurunan. Nilai kekuatan beban tarik pada variasi waktu 4 detik mengalami penurunan mungkin disebabkan karena tekanan yang diberikan saat proses pengelasan cenderung rendah.

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat diketahui bahwa kenaikan variasi waktu yang diberikan akan mengakibatkan nilai beban tarik atau *tensile load bearing capacity* (TLBC) juga mengalami kenaikan. Wahyu dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh variasi waktu penekanan pengelasan titik terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro pada sambungan *dissimilar* baja tahan karat AISI 304 dengan baja karbon rendah ST 41 dengan variasi waktu 0,5, 1, 1,5, 2 detik, pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa nilai kekuatan tarik maksimum terdapat pada 1 detik. Dari hasil pengujian pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa hasil rata-rata pembebanan setiap variasi waktu penekanan berbeda-beda dimana nilai rata-rata beban tarik pada variasi waktu 2 detik sebesar 4830 N, kemudian pada

variasi waktu 3 detik mengalami peningkatan menjadi 5260 N, sedangkan pada penekanan 4 detik mengalami penurunan yaitu sebesar 4803,33 N.

Dari data penelitian yang sudah didapat nilai kekuatan geser rata-rata mengalami penurunan seiring meningkatnya waktu penekanan yang diberikan. Penurunan nilai kekuatan geser rata-rata mungkin disebabkan karena masukan panas yang semakin tinggi mengakibatkan diameter *nugget* yang dihasilkan lebar. Penelitian yang dilakukan Dika dkk, (2019) memaparkan bahwa penurunan nilai kekuatan geser juga bisa disebabkan masukan panas yang semakin tinggi seiring meningkatnya waktu penekanan yang diberikan. Sehingga menghasilkan logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan.

Pada spesimen uji tarik tampak terjadi rusak sobek pada daerah HAZ baja karbon tinggi daerah *weld metal* menempel pada baja *stainless steel* AISI 304, hal ini terjadi karena nilai kekerasan daerah HAZ baja karbon tinggi lebih tinggi dibandingkan daerah HAZ *stainless steel* AISI 304. Dengan nilai kekerasan lebih tinggi pada daerah HAZ baja karbon tinggi, maka daerah ini akan menjadi getas dan mudah patah atau sobek. Gambar 4.12 menunjukkan dari mode kegagalan pada setiap spesimen dengan waktu yang berbeda.

		Mode kegagalan uji tarik	
		<i>Stainless Steel</i> AISI 304	Baja Karbon Tinggi K 5
Variasi waktu	2 detik		
	3 detik		
	4 detik		

Gambar 4.12 Mode kegagalan spesimen uji tarik geser pada setiap variasi waktu