

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah menyelesaikan berbagai proses penyambungan, pengamatan, dan pengujian dalam setiap spesimen, maka pengamatan tersebut akan menghasilkan data dan hasil pengujian. Data yang didapat dari proses pengujian digunakan untuk mengetahui hasil pengaruh variasi waktu gesekan terhadap uji struktur mikro, nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang akan dibahas pada bab ini.

#### 4.1 Hasil Pengelasan gesek

Setelah melakukan proses penyambungan silinder pejal antara baja karbon sedang S45C dan baja karbon rendah S20C, maka didapat hasil sambungan yang terdapat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Contoh hasil pengelasan kondisi I dan kondisi II, (A) waktu gesek 4 detik, (B) waktu gesek 6 detik, (C) waktu gesek 8 detik.

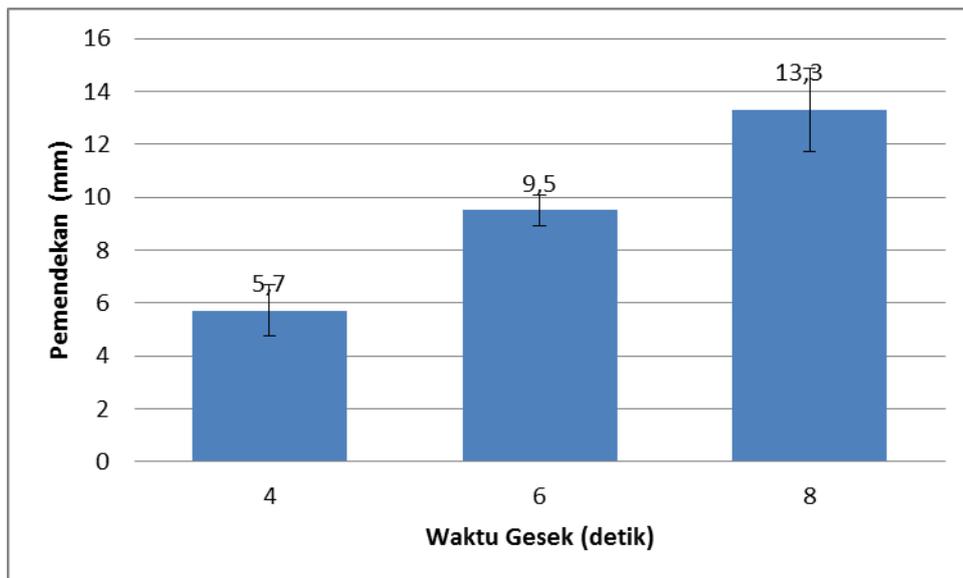
Gambar 4.1 merupakan merupakan contoh hasil penyambungan kondisi I dan kondisi II silinder pejal dengan material baja karbon rendah S20C dan baja karbon sedang S45C. Proses penyambungan ini menggunakan parameter variasi waktu gesek, yaitu 4 detik, 6 detik, dan 8 detik . Dari hasil penyambungan, semua spesimen menghasilkan flash dalam proses penyambungannya. Setelah proses penyambungan, kemudian dilakukan pengukuran panjang spesimen sebelum proses penyambungan dan panjang spesimen setelah dilakukannya proses penyambungan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.1 dan 4.2.

Tabel 4.1 Tabel hasil pengukuran panjang spesimen

Kondisi I

Variasi	No	Panjang Awal (mm)	Panjang Akhir (mm)	Pemendekan (mm)	rata-rata pemendekan (mm)	StDev
4 Detik	1	155	150,4	4,6	5,7	0,97
	2	155	149,1	5,9		
	3	155	148,5	6,5		
6 Detik	4	155	146,1	8,9	9,5	0,60
	5	155	145,5	9,5		
	6	155	144,9	10,1		
8 Detik	7	155	142,9	12,1	13,3	1,57
	8	155	142,2	12,8		
	9	155	139,9	15,1		

Dari hasil tabel 4.1, dapat dibuat diagram hubungan antara waktu gesekan dengan hasil pemendekan rata-rata spesimen kondisi I, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Diagram pemendekan rata-rata spesimen tiap variasi waktu gesek pada kondisi I

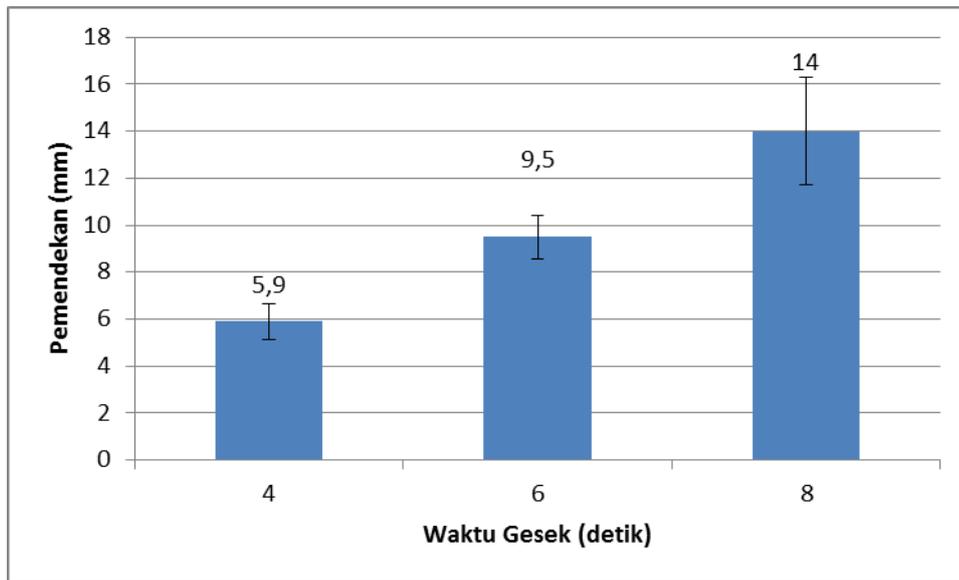
Dari diagram yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dapat disimpulkan bahwa waktu gesek mempengaruhi hasil pemendekan pada spesimen kondisi I. Hasil ini ditunjukkan dari perbandingan hasil pemendekan antara waktu gesek 4 detik, 6 detik, dan 8 detik, dimana selalu bertambah hasil pemendekannya. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu gesek maka semakin banyak juga pemendekan yang terjadi.

Tabel 4.2 Tabel hasil pengukuran panjang spesimen

Kondisi II

Variasi	No	Panjang Awal (mm)	Panjang Akhir (mm)	Pemendekan (mm)	rata-rata pemendekan (mm)	StDev
4 Detik	10	155	149,2	5,8	5,9	0,75
	11	155	149,8	5,2		
	12	155	148,3	6,7		
6 Detik	13	155	146,3	8,7	9,5	0,92
	14	155	145,7	9,3		
	15	155	144,5	10,5		
8 Detik	16	155	143,3	11,7	14,0	2,30
	17	155	140,9	14,1		
	18	155	138,7	16,3		

Dari hasil Tabel 4.2, dapat dibuat diagram hubungan antara waktu gesekan dengan hasil pemendekan rata-rata spesimen kondisi II, Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



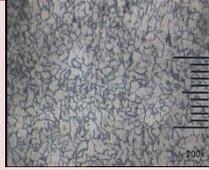
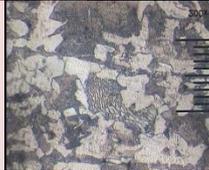
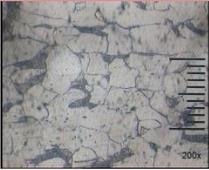
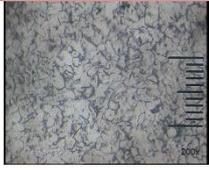
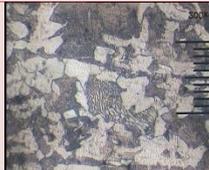
Gambar 4.3 Diagram pemendekan rata-rata spesimen tiap variasi waktu gesek pada kondisi II

Dari diagram yang ditunjukkan pada gambar 4.5, dapat disimpulkan bahwa waktu gesek mempengaruhi hasil pemendekan pada spesimen. Hasil ini ditunjukkan dari perbandingan hasil pemendekan antara waktu gesek 4 detik, 6 detik, dan 8 detik, dimana selalu bertambah hasil pemendekannya. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu gesek maka semakin banyak juga pemendekan yang terjadi.

#### 4.2 Hasil pengujian struktur mikro

Pengujian struktur mikro ini dilakukan pada spesimen dengan variasi waktu gesek 4 detik, 6 detik, dan 8 detik. Pengujian struktur mikro ini bertujuan untuk mengamati suatu perubahan struktur mikro yang terdapat pada hasil sambungan silinder pejal baja karbon rendah ST 42 dan baja karbon sedang S45C.

Hasil data pengujian struktur mikro yang di hasilkan ini kemudian dapat dijadikan acuan untuk melakukan pengujian nilai kekerasan. Pengujian struktur mikro ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Spesimen pengujian struktur mikro dapat dilihat pada Tabel 4.3

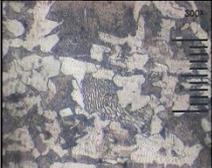
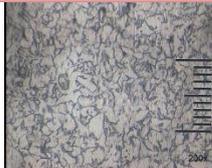
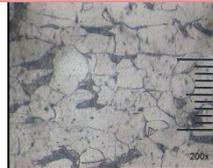
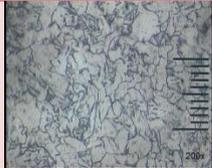
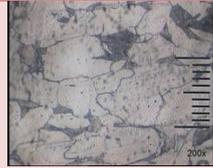
Variasi Waktu Gesek	Struktur Mikro Logam Induk ST20C	Struktur Mikro Daerah HAZ S20C	Struktur Mikro Sambungan Las S20C – S45C	Struktur Mikro Daerah HAZ S45C	Struktur Mikro Logam Induk S45C
4 Detik					
6 Detik					
8 Detik					

Gambar 4.4 Hasil pengamatan struktur mikro kondisi I variasi waktu gesek 4,6,dan 8 detik pada daerah logam induk, daerah HAZ dan daerah sambungan las

Pengujian struktur mikro ini dilakukan pada daerah logam induk, HAZ dan daerah sambungan pada masing masing logam. Pengujian dilakukan pada seluruh hasil pengujian sambungan baja pejal karbon rendah S20C dengan baja pejal karbon sedang S45C dengan variasi waktu gesek 4 detik, 6 detik, dan 8 detik. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi pada daerah sambungan las, daerah HAZ dan daerah logam induk.

Hasil pengujian kondisi I menunjukkan, pada daerah HAZ masing masing logam mempunyai struktur mikro yang lebih padat dari pada daerah logam induk, dimana tingkat kepadatan butiran Pada daerah HAZ dengan variasi waktu gesek 4 detik memiliki butiran yang lebih padat dibandingkan dengan waktu gesek 6 dan 8 detik seperti yang terlihat pada tabel 4.3. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin lama variasi waktu gesek semakin renggang butiran struktur mikro yang terdapat pada daerah HAZ. Sedangkan pada daerah las, butiran struktur mikro

lebih menyatu dibandingkan dengan daerah HAZ pada masing-masing logam. Dimana pada daerah las semakin tinggi variasi waktu gesek yang diberikan maka butiran struktur mikro akan semakin menyatu. Hasil tersebut juga terbentuk pada pengujian struktur mikro kondisi II seperti yang terlihat pada gambar 4.5 hasil pengamatan struktur mikro variasi waktu gesek 4,6,dan 8 detik pada daerah logam induk, daerah HAZ dan daerah sambungan las .

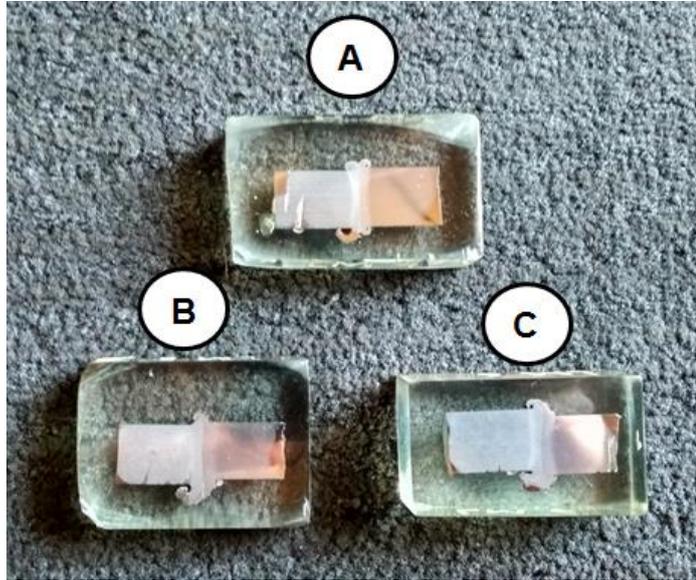
Variasi Waktu Gesek	Struktur Mikro Logam Induk S45C	Struktur Mikro Daerah HAZ S45C	Struktur Mikro Sambungan Las S45C – S20C	Struktur Mikro Daerah HAZ S20C	Struktur Mikro Logam Induk S20C
4 Detik					
6 Detik					
8 Detik					

Gambar 4.5 Hasil pengamatan struktur mikro kondisi II variasi waktu gesek 4,6,dan 8 detik pada daerah logam induk, daerah HAZ dan daerah sambungan las

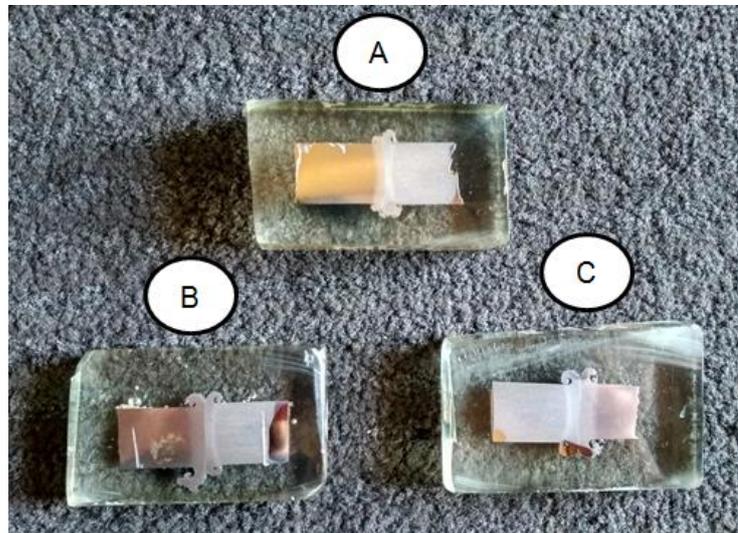
### 4.3 Hasil Pengujian Nilai Kekerasan

Setelah melakukan pengujian struktur mikro, maka dapat ditentukan titik untuk melakukan pengujian nilai kekerasan. Pada pengujian nilai kekerasan ini terdapat 11 titik yang akan diujikan.

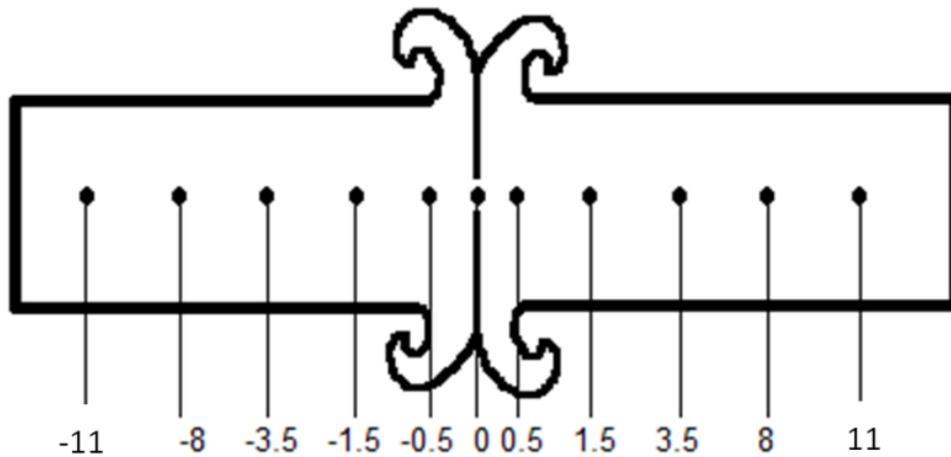
Pengujian nilai kekerasan ini dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Gambar titik pengujian dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7



Gambar 4.6 Spesimen pengujian nilai kekerasan kondisi I; (A) waktu gesek 4 detik, (B) waktu gesek 6 detik, (C) waktu gesek 8 detik.



Gambar 4.7 Spesimen pengujian nilai kekerasan kondisi II; (A) waktu gesek 4 detik, (B) waktu gesek 6 detik, (C) waktu gesek 8 detik.



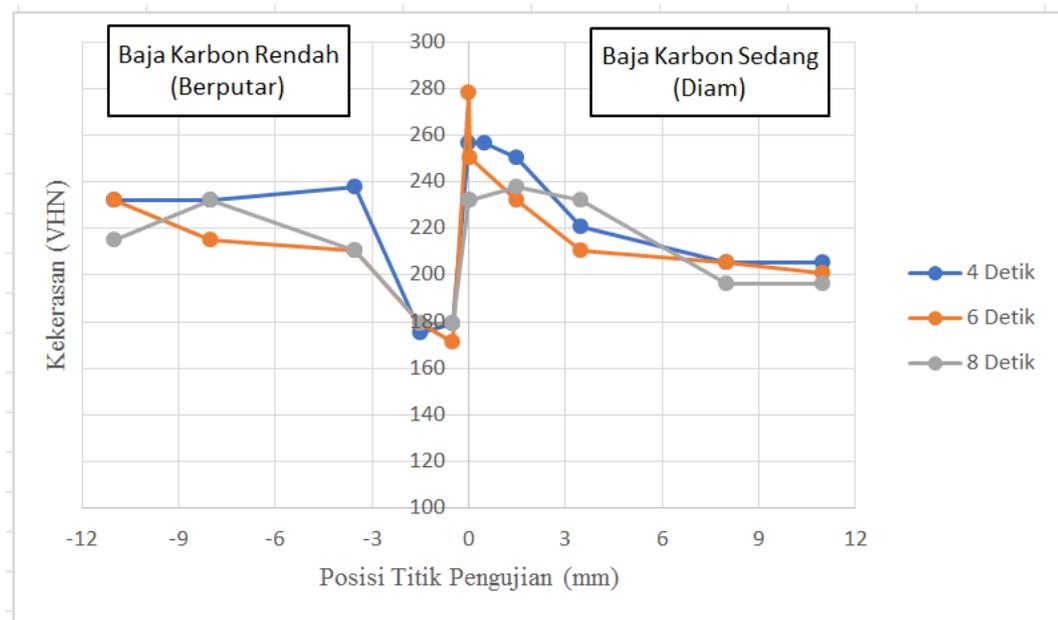
Gambar 4.8 posisi titik pengujian nilai kekerasan (mm)

Pengujian kekerasan ini menggunakan metode pengujian *vickers* , dengan ketentuan beban sebesar 200 gf. Hasil nilai kekerasan pada sambungan logam pejal silinder antara baja karbon rendah S20C dengan baja karbon sedang S45C dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian nilai kekerasan kondisi I dengan waktu gesek 4 detik, 6 detik, dan 8 detik.

No	Variasi Tekanan Gesek	Jarak dari Sambungan	d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)	
1	4 Detik	Baja karbon Rendah (berputar)	-11	39	41	40	231,8
			-8	40	40	40	231,8
			-3,5	40	39	39,5	237,7
			-1,5	46	46	46	175,3
			-0,5	46	45	45,5	179,1
		0	38	38	38	256,8	
		Baja Karbon Sedang (diam)	0,5	38	38	38	256,8
			1,5	38	39	38,5	250,2
			3,5	41	41	41	220,6
			8	42	43	42,5	205,3
11	43		42	42,5	205,3		
No	Variasi Tekanan Gesek	Jarak dari Sambungan	d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)	
2	6 Detik	Baja Karbon Rendah (berputar)	-11	41	39	40	231,8
			-8	42	41	41,5	215,3
			-3,5	41	43	42	210,2
			-1,5	46	45	45,5	179,1
			-0,5	47	46	46,5	171,5
		0	37	36	36,5	278,4	
		Baja Karbon Sedang (diam)	0,05	39	38	38,5	250,2
			1,5	40	40	40	231,8
			3,5	42	42	42	210,2
			8	43	42	42,5	205,3
11	43		43	43	200,6		
No	Variasi Tekanan Gesek	Jarak dari Sambungan	d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)	
3	8 Detik	Baja Karbon Rendah (berputar)	-11	42	41	41,5	215,3
			-8	40	40	40	231,8
			-3,5	42	42	42	210,2
			-1,5	46	45	45,5	179,1
			-0,5	46	45	45,5	179,1
		0	40	40	40	231,8	
		Baja Karbon Sedang (diam)	0,05	40	40	40	231,8
			1,5	39	40	39,5	237,7
			3,5	40	40	40	231,8
			8	44	43	43,5	196
11	44		43	43,5	196		

Dari tabel-tabel tersebut agar mudah dilakukan pembahasan maka akan di tampilkan dalam bentuk grafik. Grafik hasil pengujian kekerasan variasi waktu gesek 4,6,8 detik antara logam silinder pejal baja karbon rendah S20C dengan baja karbon sedang S45C dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Grafik pengujian nilai kekerasan kondisi I

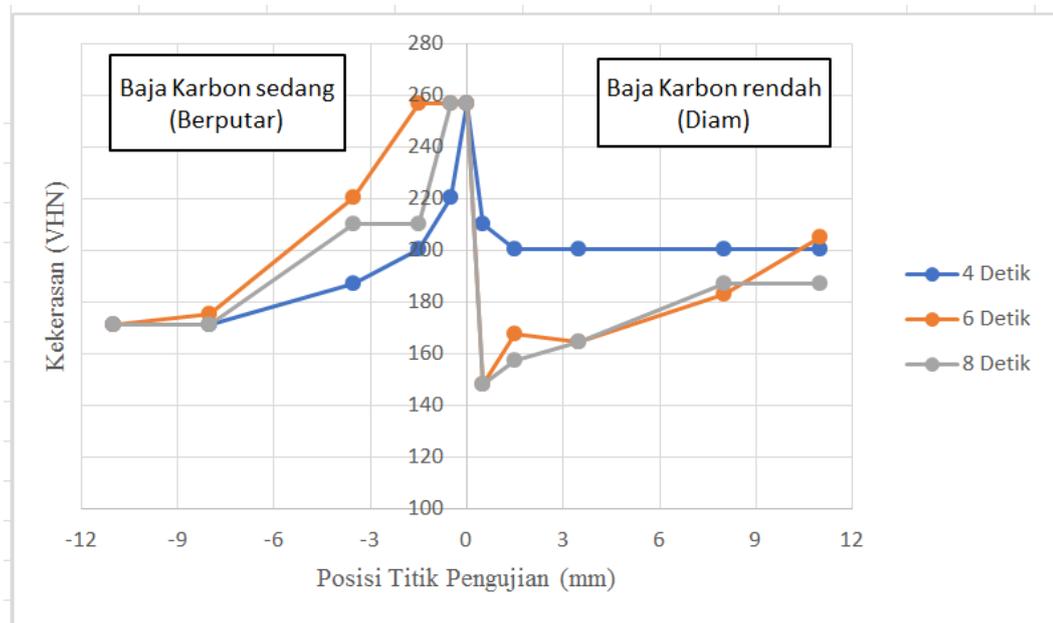
Dari grafik nilai kekerasan tersebut dapat diketahui nilai kekerasan sambungan setiap variasi waktu gesek yang digunakan, yaitu pada waktu gesek 4 detik nilai kekerasan sambungan sebesar 256,8 VHN, pada waktu gesek 6 detik nilai kekerasan sambungan sebesar 278,4 VHN, pada waktu gesek 8 detik nilai kekerasan sambungan sebesar 231,8 VHN.

Dari grafik hasil nilai kekerasan pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa nilai kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu gesek, namun pada waktu gesek 8 detik terjadi penurunan nilai kekerasan sambungan akibat terjadi deformasi berlebih yang disebabkan oleh tekanan tempa. Hal ini terjadi karena daerah disekitar interface mengalami peningkatan temperatur akibat waktu gesek yang lama, sehingga ketika terkena tekanan tempa daerah yang seharusnya menjadi pusat lasan keluar menjadi *flash* dan bergeser ke daerah HAZ yang berakibat nilai kekerasannya menurun.

Tabel 4.4 Hasil pengujian nilai kekerasan kondisi II dengan waktu gesek 4 detik, 6 detik, dan 8 detik.

No	Variasi Tekanan Gesek	Jarak dari Sambungan		d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)
1	4 Detik	Baja karbon Sedang (berputar)	-11	47	46	46,5	171,5
			-8	47	46	46,5	171,5
			-3,5	45	44	44,5	187,3
			-1,5	43	43	43	200,6
			-0,5	41	41	41	220,6
			0	38	38	38	256,8
		Baja Karbon Rendah (diam)	0,5	41	43	42	210,2
			1,5	43	43	43	200,6
			3,5	45	41	43	200,6
			8	46	40	43	200,6
			11	46	40	43	200,6
No	Variasi Tekanan Gesek	Jarak dari Sambungan		d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)
2	6 Detik	Baja Karbon Rendah (berputar)	-11	46	47	46,5	171,5
			-8	46	46	46	175,3
			-3,5	41	41	41	220,6
			-1,5	38	38	38	256,8
			-0,5	38	38	38	256,8
			0	38	38	38	256,8
		Baja Karbon Sedang (diam)	0,5	50	50	50	148,4
			1,5	48	46	47	167,9
			3,5	48	47	47,5	164,4
			8	46	44	45	183,2
			11	43	42	42,5	205,3
No	Variasi Tekanan Gesek	Jarak dari Sambungan		d1 (μm)	d2 (μm)	d rata-rata (μm)	Kekerasan (VHN)
3	8 Detik	Baja Karbon Rendah (berputar)	-11	47	46	46,5	171,5
			-8	46	47	46,5	171,5
			-3,5	42	42	42	210,2
			-1,5	42	42	42	210,2
			-0,5	38	38	38	256,8
			0	38	38	38	256,8
		Baja Karbon Sedang (diam)	0,5	50	50	50	148,4
			1,5	49	48	48,5	157,7
			3,5	47	48	47,5	164,4
			8	44	45	44,5	187,3
			11	44	45	44,5	187,3

Grafik hasil pengujian kekerasan variasi gesek 4,6,8 detik antara logam silinder pejal baja karbon sedang S45C dengan baja karbon rendah S20C dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik pengujian nilai kekerasan kondisi II

Pada gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada daerah lasan dengan waktu gesek 4 detik, 6 detik dan 8 detik memiliki nilai kekerasan yang konstan sebesar 256,8 VHN. Nilai kekerasan tersebut memiliki nilai kekerasan yang lebih besar jika dibandingkan dengan daerah HAZ dan daerah logam induk. Hal ini terjadi karena adanya pepadatan struktur mikro pada daerah sambungan las sehingga nilai kekerasannya lebih besar dibanding daerah HAZ dan logam induk.

#### 4.4 Hasil Pengujian Kekuatan Tarik

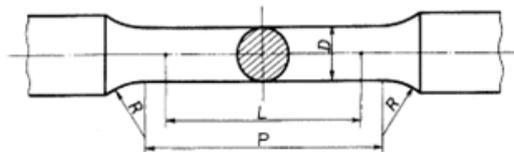
Pengujian kekuatan tarik ini dilakukan terhadap seluruh spesimen yang telah disambung dengan variasi waktu yang berbeda-beda. Sebelum dilakukan pengujian tarik, spesimen yang telah disambung dilakukan proses penghilangan *flash* terlebih dahulu dengan cara di bubut. Setelah proses penghilangan *flash*

telah selesai, maka spesimen dibentuk sesuai standar pengujian tarik JIZ Z 2201:1998.

Namun terdapat kendala dalam proses pembuatan spesimen uji tarik yang sesuai dengan standar ukuran JIZ Z 2201:1998, yaitu hasil dari proses pembuatan spesimen didapatkan diameter sambungan terkecil sebesar 10 mm, hal ini dikarenakan pada proses penyambungan yang dihasilkan tidak *center* sehingga dalam proses penghilangan *flash* didapatkan hasil terkecil sebesar 10 mm, sedangkan standar ukuran yang dipakai besar diameter sambungan sebesar 12.5 mm. Maka dalam proses pembuatan spesimen pengujian tarik ini hanya menggunakan standar ukuran JIZ Z 2201:1998 sebagai acuan.



Gambar 4.11 Contoh spesimen pengujian kekuatan tarik kondisi I dan kondisi II



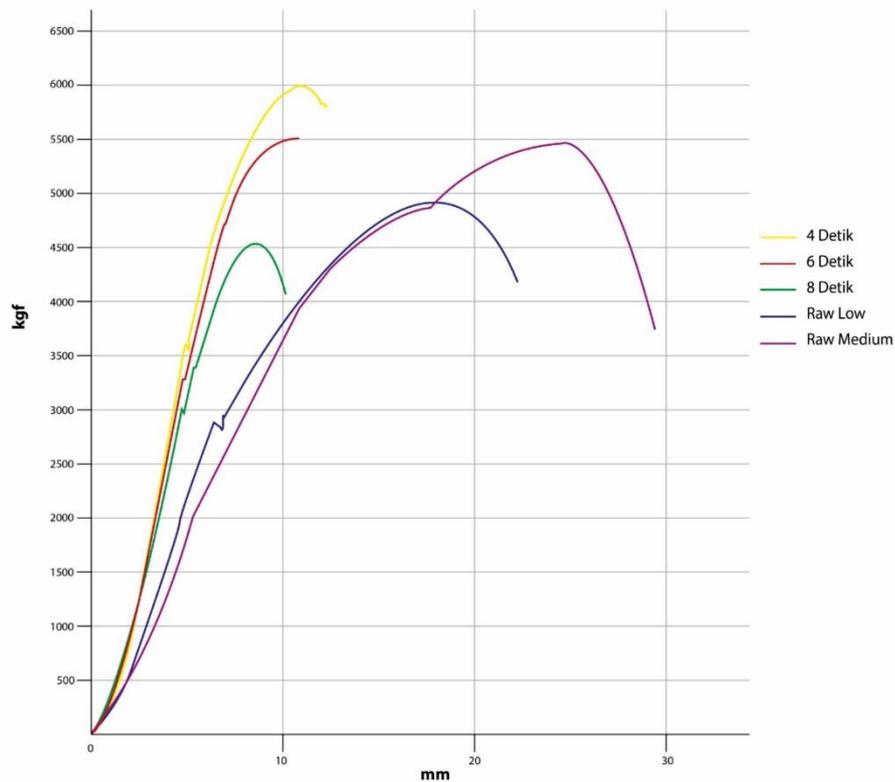
Unit : mm

Diameter <i>D</i>	Gauge length <i>L</i>	Parallel length <i>P</i>	Radius of fillet <i>R</i>
10	50	60 approx.	15 min.

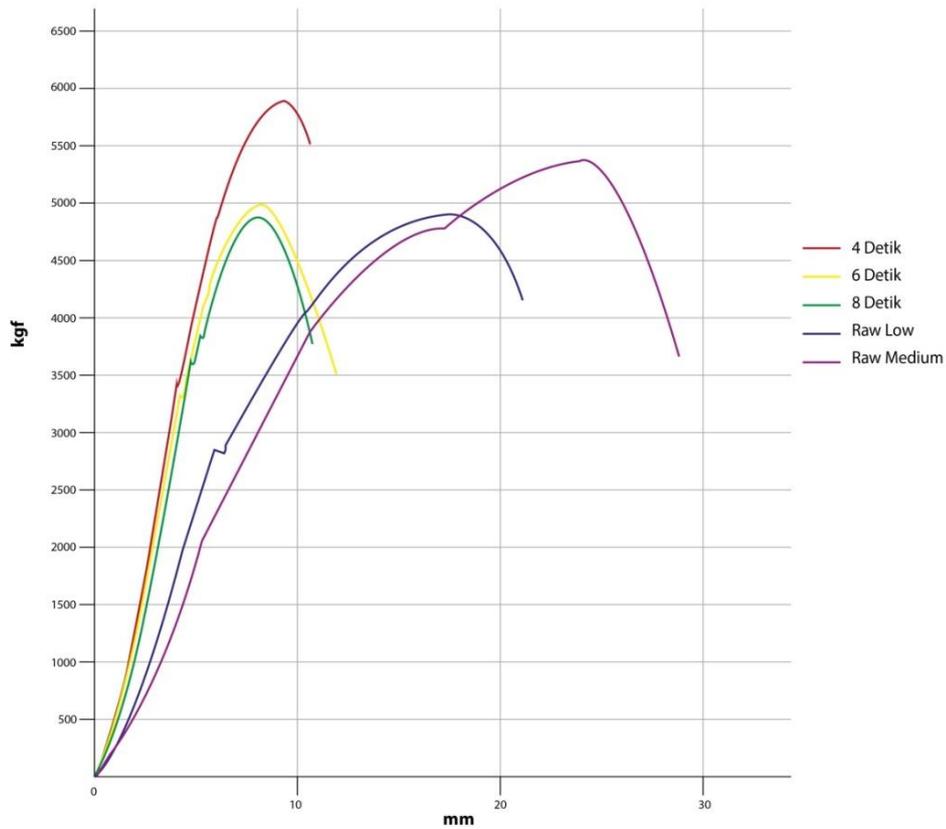
Gambar 4.12 Standar ukuran spesimen pengujian kekuatan tarik (*Modified: JIZ Z 2201:1998*)

Setelah proses pembuatan spesimen sesuai standar ukuran JIZ telah selesai dilakukan, maka dilanjutkan dengan proses pengujian kekuatan tarik. Pengujian kekuatan tarik tersebut dilakukan ber-urutan dimulai dengan spesimen RAW material (2 spesimen) dilanjutkan spesimen dengan waktu gesek 4,6,8 detik untuk spesimen pengelasan kondisi I dan spesimen dengan waktu gesek 4,6,8 detik untuk spesimen pengelasan kondisi II. Maka total spesimen yang dilakukan

pengujian kekuatan tarik sebanyak 20 spesimen. Pengujian kekuatan tarik ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Institut Sains&Teknologi Akprind Yogyakarta. Dari pengujian didapat hasil grafik beban perpanjangan seperti yang dilihat pada gambar 4.13 dan 4.14. dan dari grafik dapat dilakukan perhitungan nilai kekuatan tarik seperti pada tabel 4.7 dan 4.8.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan hasil pengujian Tarik tiap variasi waktu kondisi I dengan Raw material



Gambar 4.14 Grafik perbandingan hasil pengujian Tarik tiap variasi waktu kondisi II dengan Raw material

Tabel 4.5 Nilai kapasitas beban tarik dan kekuatan tarik spesimen kondisi I

NO.	Variasi Waktu								
	4 Detik			6 Detik			8 Detik		
	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )
1	84,13	59281,20	704,64	84,95	47905,49	563,93	70,88	45149,82	636,99
2	83,32	54250,39	651,11	79,33	53887,54	679,28	86,59	54064,06	624,37
3	80,12	51651,63	644,68	80,91	53426,63	660,32	84,13	51612,40	613,48
	Rata-rata		666,81	Rata-rata		634,51	Rata-rata		624,95
	StDev		32,92	StDev		61,86	StDev		11,76

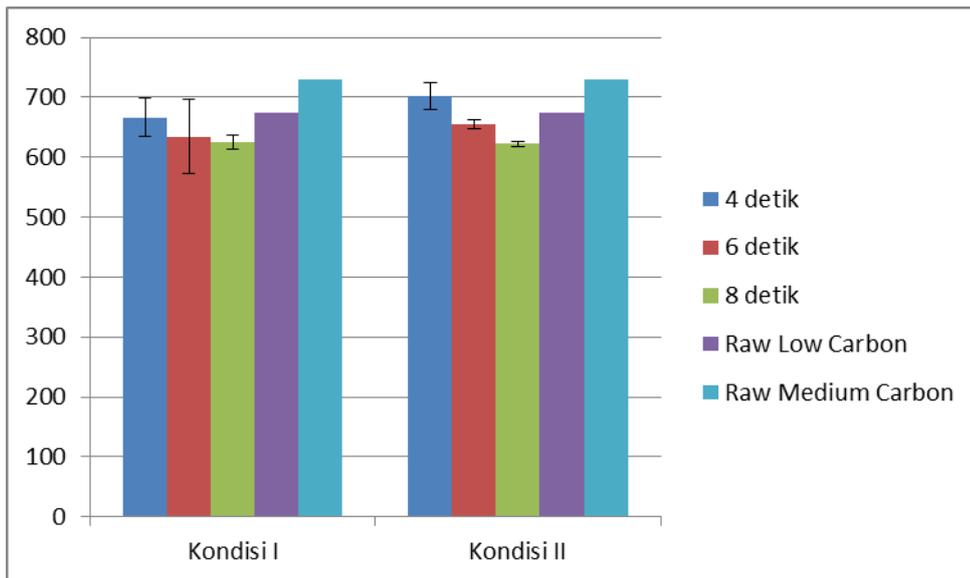
Tabel 4.6 Nilai kapasitas beban tarik dan kekuatan tarik spesimen kondisi II

NO.	Variasi waktu								
	4 Detik			6 Detik			8 Detik		
	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )
1	81,71	55387,96	677,86	74,66	49553	663,72	75,43	46846,37	621,06
2	80,91	56917,8	703,47	81,71	53495,28	654,7	74,66	46777,72	626,54
3	78,54	56800,12	723,2	80,12	51837,95	647	67,93	42052,02	619,05
	Rata-rata		701,51	Rata-rata		655,14	Rata-rata		622,22
	StDev		22,73	StDev		8,36	StDev		3,88

Tabel 4.7 Nilai kekuatan tarik RAW material

NO.	Variasi waktu					
	Low karbon S20C			Medium karbon S45C		
	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )	Luas (mm <sup>2</sup> )	Beban (N)	Kekuatan Tarik (N/mm <sup>2</sup> )
1	70,88	47797,61	674,35	70,88	51769,31	730,38

Ridwan (2018), telah melakukan pengujian kekuatan tarik RAW material pada bahan baja low karbon ST42 setara dengan S20C dan menghasilkan kekuatan tarik sebesar 641 Mpa.



Gambar 4.15 Grafik perbandingan nilai kekuatan tarik kondisi I dan kondisi II dengan Raw Material

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik tiap spesimen mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya waktu gesek baik pada spesimen kondisi I dan kondisi II. Dimana nilai kekuatan tarik tertinggi yang diperoleh pada spesimen kondisi I sebesar 666,81 N/mm<sup>2</sup>, dan pada spesimen kondisi II sebesar 701,51 N/mm<sup>2</sup>. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil pengelasan kondisi II memiliki nilai kekuatan tarik lebih baik daripada pengelasan kondisi I.

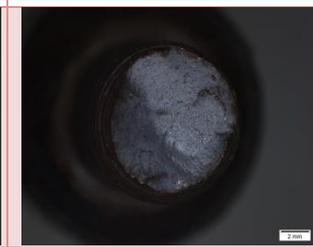
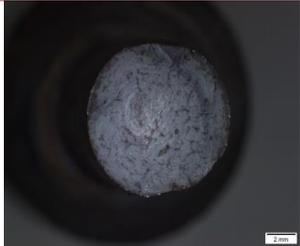


Gambar 4.16 Hasil patahan proses pengujian tarik kondisi I



Gambar 4.17 Hasil patahan proses pengujian tarik kondisi II

Tabel 4.8 Foto patahan pengujian tarik kondisi I

Kondisi I			
Waktu	Samping	Karbon Rendah	Karbon Sedang
4 detik			
6 detik			
8 detik			
RAW ST42			
RAW S45C			

Tabel 4.9 Foto patahan pengujian tarik kondisi II

Kondisi II			
Waktu	Samping	Karbon Sedang	Karbon Rendah
4 detik			
6 detik			
8 detik			