

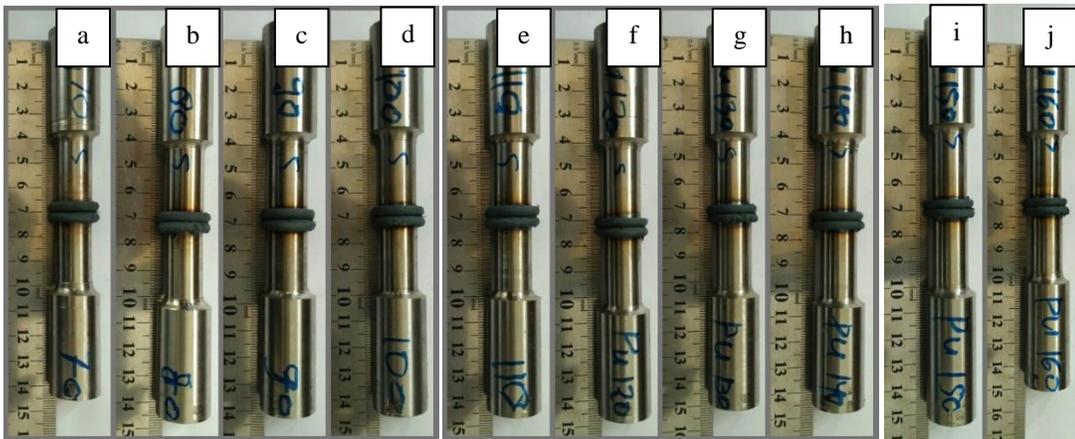
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengamatan, pengukuran dan pengujian pada setiap spesimen, didapat data yang ditampilkan pada bab ini dari setiap spesimen yang dilakukan pengujian. Dalam penelitian ini proses pengujian yang dilakukan meliputi pengujian struktur mikro, kekerasan dan pengujian kekuatan tarik. Berikut ini dilampirkan data dari setiap spesimen beserta dengan pembahasan hasil dari pengujian yang dilakukan.

4.1 Hasil Pengelasan Gesek

Setelah dilakukan proses pengelasan gesek pada bahan logam silinder pejal *AISI 304* maka didapatkan hasil yang ditunjukkan pada gambar berikut.



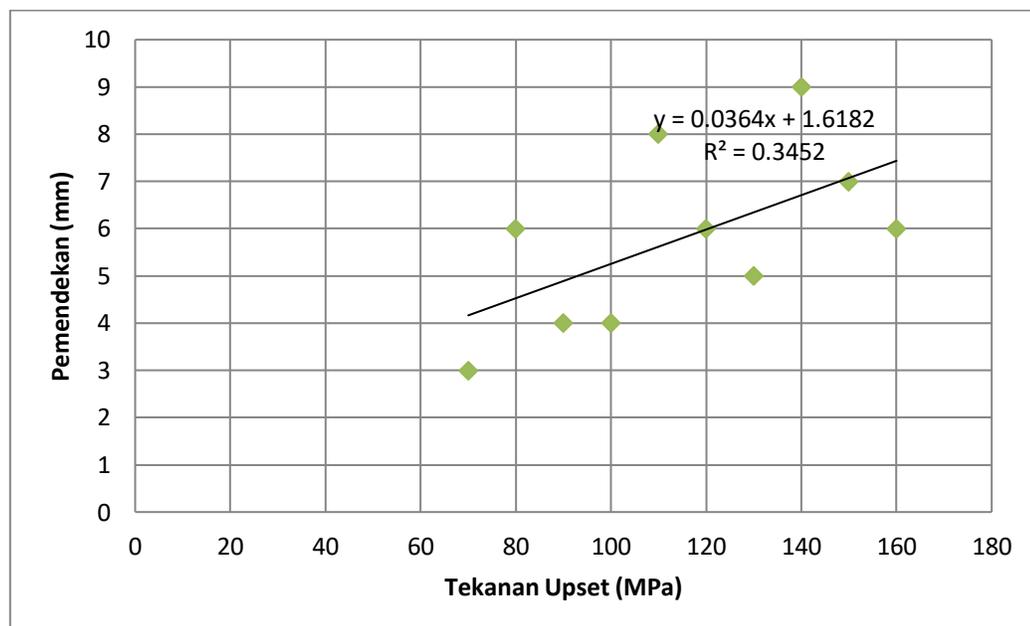
Gambar 4.1 Hasil pengelasan gesek *AISI 304* dengan variasi tekanan *upset* (a) 70 MPa, (b) 80 MPa, (c) 90 MPa, (d) 100 MPa, (e) 110 MPa, (f) 120 MPa, (g) 130 MPa, (h) 140 MPa, (i) 150 MPa dan (j) 160 MPa

Dari hasil pengelasan yang sudah didapatkan pada setiap sambungan silinder pejal *AISI 304* terbentuk *flash*. Pada proses terjadinya gesekan antar kedua material yang disambung akan berlangsung panas yang meningkat mencapai temperatur termoplastis. Pada kondisi ini diakibatkan adanya tekanan maka material yang meleleh akan mengalir keluar dan membentuk *flash*. Bentuk *flash* yang terjadi pada bagian sambungan ini hampir sama meskipun tekanan *upset* yang digunakan berbeda. Hal ini dikarenakan pada saat proses penyambungan parameter dari tekanan gesek, waktu gesek dan waktu *upset* yang digunakan sama yaitu 70 MPa dan 5 detik yang berbeda hanya pada tekanan *upset*. Sehingga yang terjadi bahwa tekanan *upset* yang diberikan pada setiap proses penyambungan tidak berpengaruh secara signifikan pada perubahan bentuk *flash*. Besar dan kecilnya bentuk *flash* sangat berpengaruh dari tekanan gesek yang digunakan, namun dalam penelitian ini tekanan gesek yang digunakan dalam 10 spesimen pengujian sama yaitu 70 MPa. Pada hasil pengujian ini pengecekan ukuran *flash* menggunakan pengamatan visual.

Pada setiap proses penyambungan digunakan variasi parameter tekanan *upset* yang berbeda-beda yaitu sebesar 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 160 MPa. Perbedaan pada variasi tekanan *upset* akan berpengaruh terhadap pemendekan pada material yang terjadi, namun pemendekan ukuran tidak banyak dikarenakan *flash* yang terbentuk hampir sama dari 10 spesimen pengujian dikarenakan tekanan gesek yang digunakan pada pengujian ini sama yaitu 70 MPa dari semua spesimen pengujian. Pada tabel 4.1 berikut menunjukkan hasil dari pemendekan masing-masing sambungan yang diperoleh.

Tabel 4.1 Pemendekan Spesimen Setelah Pengelasan

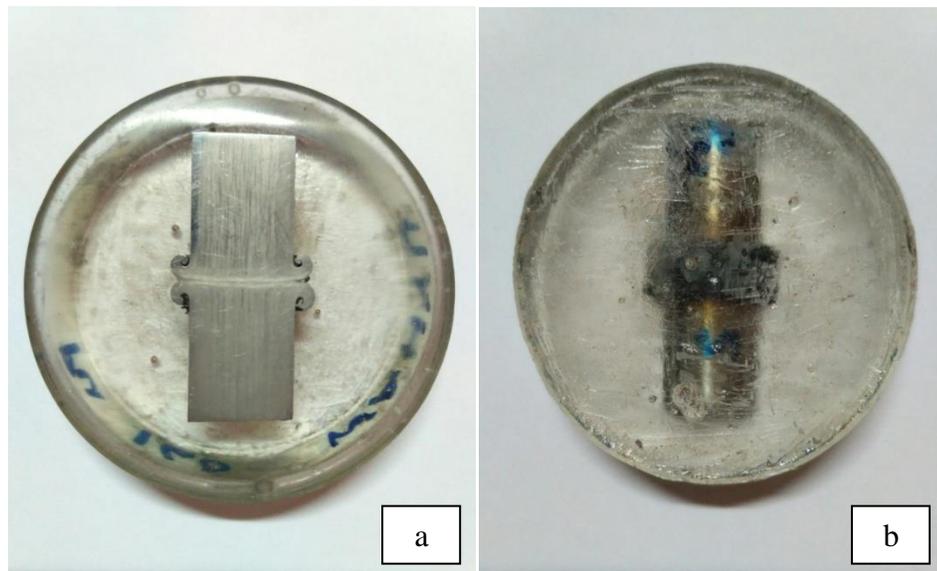
No	Tekanan <i>Upset</i> (MPa)	Panjang Awal (mm)	Panjang Akhir (mm)	Pemendekan	
				mm	%
1	70	60	57	3	5
2	80	60	54	6	10
3	90	60	56	4	6.6
4	100	60	56	4	6.6
5	110	60	52	8	13.3
6	120	60	54	6	10
7	130	60	55	5	8.3
8	140	60	51	9	15
9	150	60	53	7	11.6
10	160	60	54	6	10

**Gambar 4.2** Grafik pemendekan hasil sambungan pengelasan gesek

4.2 Pengujian Struktur Mikro dan Makro

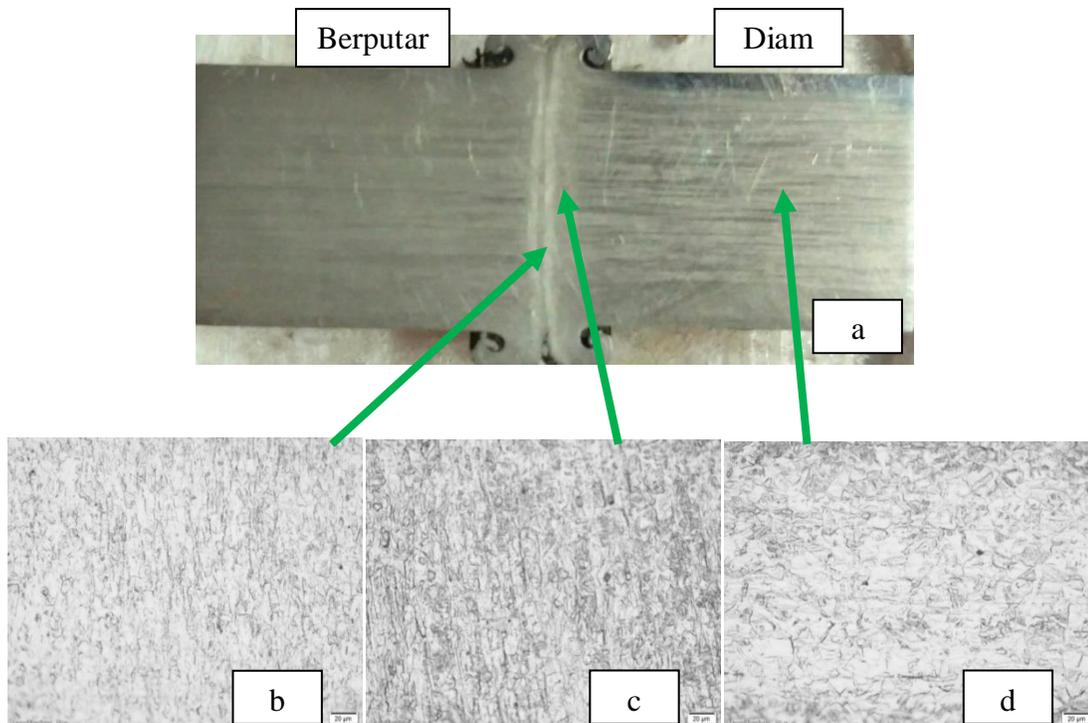
Dalam penelitian ini pengamatan struktur mikro dilakukan pada beberapa titik untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada material *AISI 304* setelah dilakukan proses penyambungan menggunakan pengelasan gesek yaitu pada daerah sambungan las, HAZ dan logam induk. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daerah-daerah yang akan dilakukan uji kekerasan. Pengujian struktur mikro ini ditentukan berdasarkan pada hasil sambungan kekuatan tarik tertinggi dan terendah.

Proses persiapan pengujian struktur mikro dilakukan dengan hasil sambungan dibelah melintang kemudian dicetak menggunakan resin untuk digunakan sebagai spesimen pengujian foto mikro. Kemudian spesimen dipoles dan dietsa agar dapat terlihat butiran-butiran struktur mikro dari hasil sambungan *AISI 304*. Spesimen pengujian mikro dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.3 Spesimen pengujian mikro (a) tampak bagian dalam, (b) tampak bagian luar

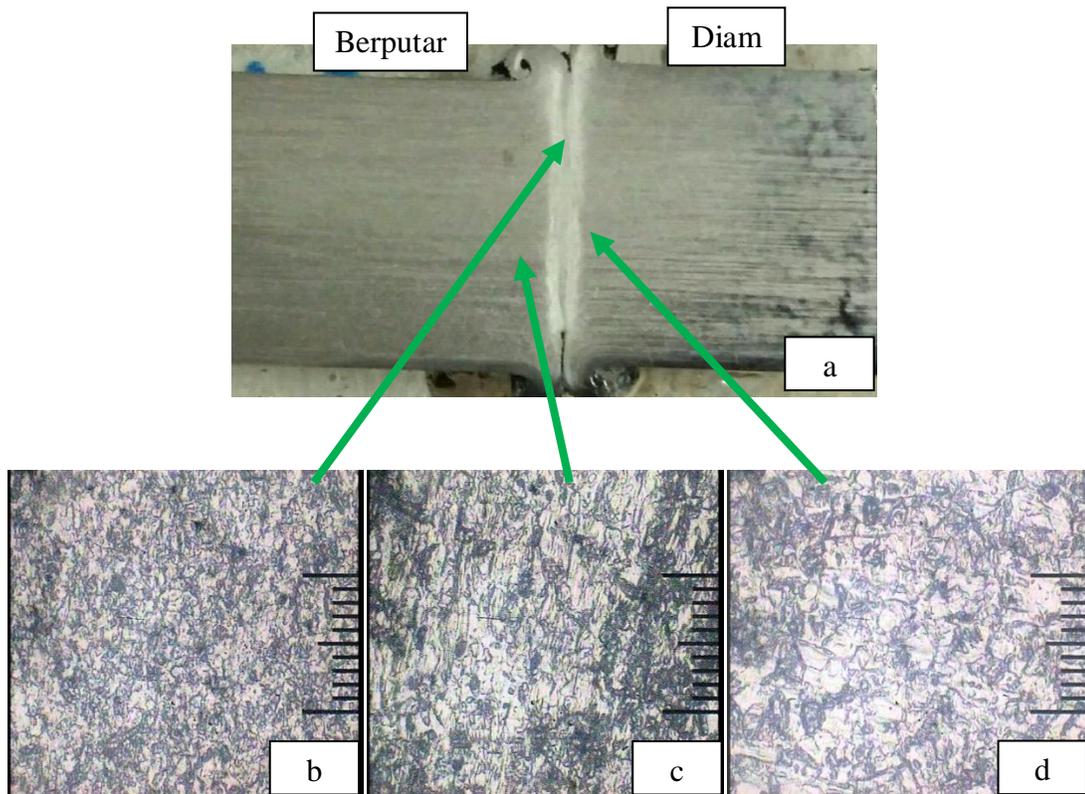
4.2.1 Hasil pengamatan struktur mikro dan makro



Gambar 4.4 Hasil pengujian struktur mikro variasi tekanan *upset* 160 MPa (a) spesimen uji, (b) daerah sambungan, (c) daerah HAZ, (d) logam induk

Pada pengujian struktur mikro variasi tekanan *upset* 160 MPa ada 3 titik daerah pengujian yaitu pada daerah sambungan, daerah HAZ, daerah logam induk. Pengamatan mikrostruktur dari setiap daerah diamati dengan perbesaran 50x. Hasil yang diperoleh dari foto mikro ini terlihat pada daerah sekitar sambungan terdapat butiran besar yang tidak beraturan. Butiran besar yang terlihat tersebut menumpuk secara acak di daerah sambungan akan menurunkan nilai kekerasannya.

Pada daerah HAZ juga terlihat perubahan butiran yang semakin besar menumpuk beraturan dengan adanya alur-alur bergaris yang mengalir keluar pada kondisi termoplastis akibat adanya tekanan yang diberikan sehingga akan membentuk *flash*. Kemudian pada daerah logam induk *AISI 304* tidak begitu terlihat adanya perubahan yang terjadi.



Gambar 4.5 Hasil pengujian struktur mikro variasi tekanan *upset* 70 MPa (a) spesimen uji, (b) daerah sambungan, (c) daerah HAZ *stainless steel* berputar (d) *stainless steel* diam

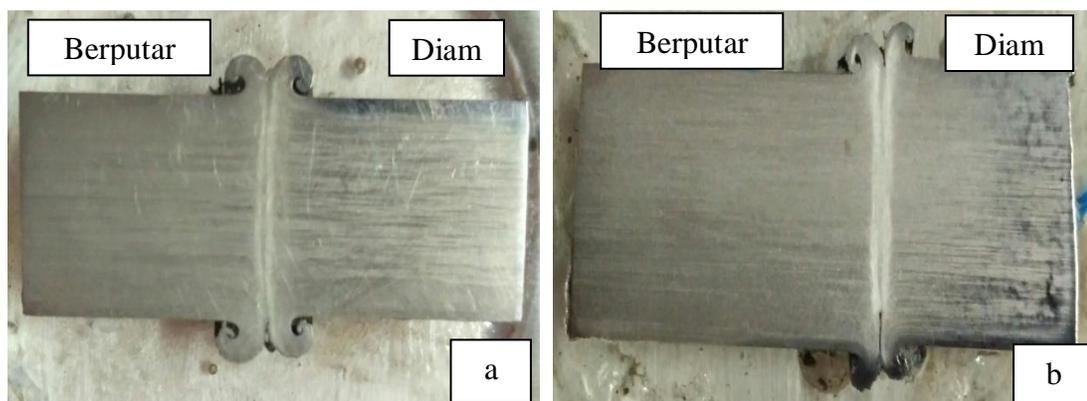
Pada pengujian struktur mikro sambungan las dengan tekanan *upset* 70 MPa ini ada 3 titik hasil pengujian yaitu pada daerah sambungan lasan, daerah *stainless steel* berputar dan *stainless steel* diam. Pada gambar hasil pengamatan pada daerah sambungan lasan perubahan yang terjadi dengan adanya butiran-butiran kecil yang bisa menaikkan nilai kekerasannya. Sedangkan pada daerah HAZ *stainless steel* yang berputar lebih banyak terlihat butiran-butiran besar yang mengalir menuju keluar untuk membentuk *flash* dibandingkan dengan *stainless steel* yang diam.

Perbandingan dari hasil pengelasan gesek dengan variasi tekanan *upset* 160 Mpa dan tekanan *upset* 70 MPa dapat dijelaskan bahwa pengaruh tekanan *upset* pada sambungan *AISI 304* terlihat adanya perubahan pada sambungan pengelasan

meskipun tidak begitu banyak yang terjadi pada setiap variasi. Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh husodo, dkk (2014) perbedaan dari besar dan kecilnya batas butiran-butiran Kristal ini terjadi karena adanya panas gesekan dan adanya tekanan tempa. Terlihat bahwa semakin besar tekanan tempa akan terlihat struktur mikro dengan butiran Kristal yang semakin kecil. Adanya tekanan tempa logam yang bergesekan akan meningkat temperturnya dan mengalami deformasi plastis. Semakin tinggi tekanan tempa akan menghasilkan *upset* semakin besar dan panjang benda uji semakin pendek.

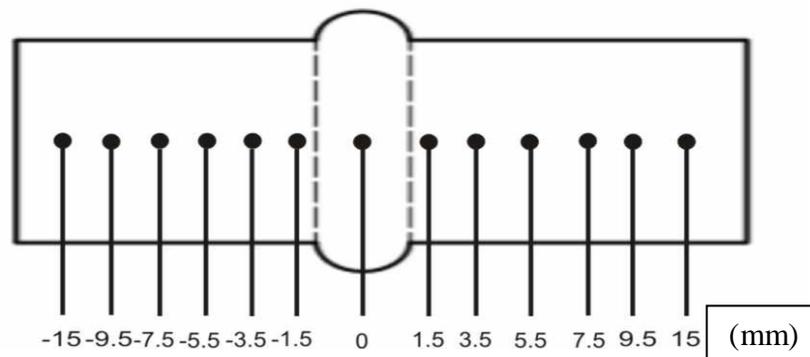
4.3 Pengujian Kekerasan

Proses persiapan pada pengujian kekerasan dilakukan terhadap 2 hasil pengelasan gesek. 2 hasil tersebut dipilih dari variasi analisa hasil pengujian tarik pada 10 spesimen benda yang diuji. Data diperoleh dari hasil kekuatan tarik yang tertinggi dan hasil yang terendah. Hasil sambungan yang diperoleh kemudian dibelah melintang dan diresin selanjutnya dilakukan pengamplasan pada permukaan spesimen untuk memperoleh permukaan yang halus pada saat dilakukan uji kekerasan. Permukaan yang masih terlihat kasar akan mempengaruhi nilai hasil kekerasan yang diperoleh.



Gambar 4.6 Spesimen pengujian kekerasan (a) variasi tekanan *upset* 160 MPa, (b) variasi tekanan *upset* 70 MPa

Pada pengujian kekerasan akan ditentukan posisi atau titik yang akan dilakukan pengambilan data pada spesimen. Penentuan titik pada pengujian kekerasan hasil pengelasan gesek *AISI 304* dilakukan pada 15 titik pengujian. Pada penelitian ini standar jarak penentuan antar titik yang digunakan yaitu minimal 1 mm/titik dari semua spesimen yang diujikan. Dalam penentuan titik nilai kekerasan ini dimulai dari ukuran 0 atau pada tengah hasil penyambungan kearah kanan 0.5, 1.5, 3.5, 5.5, 7.5, 9.5, 15 mm kemudian pada arah kekiri -0.5, -1.5, -3.5, -5.5, -7.5, -9.5, -15 mm. Penentuan 15 titik dalam pengujian kekerasan ini dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.7 Titik pengujian kekerasan diukur dari sambungan

Pokok pembahasan dalam pengujian kekerasan ini diperoleh dari pengujian sebelumnya yaitu pada pengujian tarik yang hasilnya diperoleh 2 variasi tekanan *upset*. 2 variasi dengan hasil kekuatan tarik tertinggi dan terendah yang akan dilakukan pengujian kekerasan. Nilai kekerasan hasil dari proses penyambungan pengelasan gesek *AISI 304* dengan variasi tekanan *upset* 160 MPa dan nilai kekerasan dengan variasi tekanan *upset* 70 MPa dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 4.2 Hasil kekerasan variasi tekanan *upset* 160 MPa

No	Variasi	Jarak dari sambungan		d_1 (μm)	d_2 (μm)	$d_{rata-rata}$ (μm)	Kekerasan (VHN)
1	Tekanan <i>Upset</i> 160 MPa	Berputar	15.0 mm	38.0	40.0	39.00	243.8
			9.5 mm	40.0	40.0	40.00	243.8
			7.5 mm	40.0	39.0	39.50	237.7
			5.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8
			3.5 mm	40.0	42.0	41.00	220.6
			1.5 mm	42.0	40.0	41.00	220.6
			0.5 mm	40.0	42.0	41.00	220.6
			0 mm	41.0	42.0	41.50	215.3
		Diam	0.5 mm	41.0	42.0	41.50	215.3
			1.5 mm	41.0	40.0	40.50	226.1
			3.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8
			5.5 mm	41.0	40.0	40.50	226.1
			7.5 mm	40.0	43.0	41.50	215.3
			9.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8
15.0 mm	38.0		40.0	39.00	243.8		

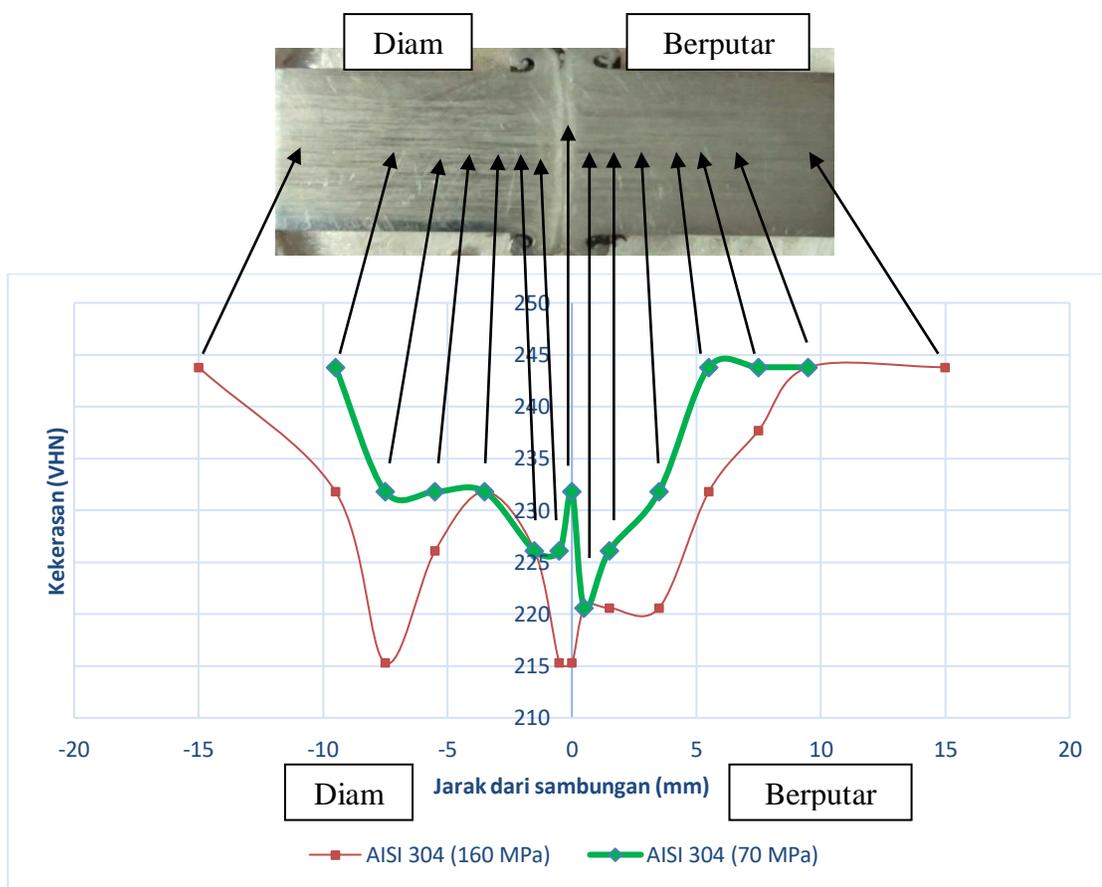
Tabel 4.3 Hasil kekerasan variasi tekanan *upset* 70 MPa

No	Variasi	Jarak dari sambungan		d_1 (μm)	d_2 (μm)	$d_{rata-rata}$ (μm)	Kekerasan (VHN)
2	Tekanan <i>Upset</i> 70 MPa	Berputar	9.5 mm	40.0	39.0	39.50	243.8
			7.5 mm	39.0	39.0	39.00	243.8
			5.5 mm	39.0	39.0	39.00	243.8
			3.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8
			1.5 mm	41.0	40.0	40.50	226.1
			0.5 mm	42.0	40.0	41.00	220.6
			0 mm	41.0	39.0	40.00	231.8
		Diam	0.5 mm	41.0	40.0	40.50	226.1
			1.5 mm	41.0	40.0	40.50	226.1
			3.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8
			5.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8
			7.5 mm	40.0	40.0	40.00	231.8
9.5 mm	40.0		40.0	40.00	243.8		

Dalam penelitian ini terdapat dua variasi yang berbeda diperoleh dari hasil pengujian tarik, dua variasi diatas mempunyai tekanan *upset* yang berbeda. Variasi yang dimaksud yaitu :

1. Variasi tekanan *upset* 160 MPa, waktu *upset* 5 detik, tekanan gesek 70 MPa, waktu gesek 5 detik.
2. Variasi tekanan *upset* 70 MPa, waktu *upset* 5 detik, tekanan gesek 70 MPa, waktu gesek 5 detik.

Untuk memudahkan dalam mengklasifikasikan hasil dari kekerasan sambungan antara dua material *AISI 304* berikut ditampilkan grafik dari hasil kekerasan kedua variasi dapat dilihat pada gambar 4.7 dan gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik hasil uji kekerasan pada variasi tekanan *upset* 160 MPa dan variasi tekanan *upset* 70 MPa

Pada pengamatan grafik diatas dapat dijelaskan bahwa pada variasi tekanan *upset* 160 MPa nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada daerah logam induk yaitu pada jarak 15.0 mm dengan nilai kekerasannya 243.8 VHN. Sedangkan pada daerah sambungan tingkat nilai kekerasannya menghasilkan nilai yang sedikit berbeda yaitu pada jarak 0 sampai 0.5 pada *stainless steel* berputar jarak 0 nilai kekerasannya 215.3 VHN dan jarak 0.5 nilai kekerasannya 220.6 VHN. Sementara pada *stainless steel* diam mulai dari jarak 0 sampai 0.5 didapatkan nilai kekerasan yang sama yaitu 215.3 VHN. Selanjutnya pada jarak yang semakin jauh dari sambungan pengelasan dihasilkan nilai kekerasan yang semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena pada proses pengelasan gesek terjadi deformasi plastis yang menyebabkan butiran-butiran Kristal besar menumpuk pada daerah sambungan. Dengan adanya tumpukan tersebut pada daerah sambungan hal itu yang diindikasikan menurunkan nilai kekerasan pada daerah sambungan.

Sedangkan pada variasi tekanan *upset* 70 MPa nilai kekerasan paling tinggi diperoleh pada *stainless steel* yang berputar dan diam yaitu pada jarak 9.5 dengan nilai sebesar 243.8 VHN. Sedangkan nilai terendah pada jarak 0.5 yaitu sebesar 220.6 VHN. Pada daerah sambungan nilai kekerasannya cenderung naik yaitu sebesar 231.8 VHN daripada didaerah sekitar sambungan. Sementara itu pada *stainless steel* yang diam pada jarak 3.5 sampai dengan 9.5 didapatkan nilai kekerasan yang cenderung sama, hal ini dikarenakan pada saat proses pengelasan tekanan *upset* yang diberikan masih kecil sehingga tidak mengubah secara signifikan nilai kekerasannya. Pada *stainless steel* yang berputar dengan jarak 0.5 mm nilai kekerasannya lebih rendah, hal ini disebabkan pengaruh dari gesekan akibat adanya penekanan dari material *stainless steel* yang diam.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa parameter pengelasan gesek dengan variasi tekanan *upset* yang semakin meningkat dapat mempengaruhi nilai kekerasan yang berbeda-beda. Pada daerah sambungan variasi tekanan *upset* 160 MPa nilai kekerasannya 215.3 VHN, sedangkan pada variasi tekanan *upset* 70 MPa nilai kekerasannya 231.8 VHN. Penelitian yang dilakukan sebelumnya, Husodo dkk

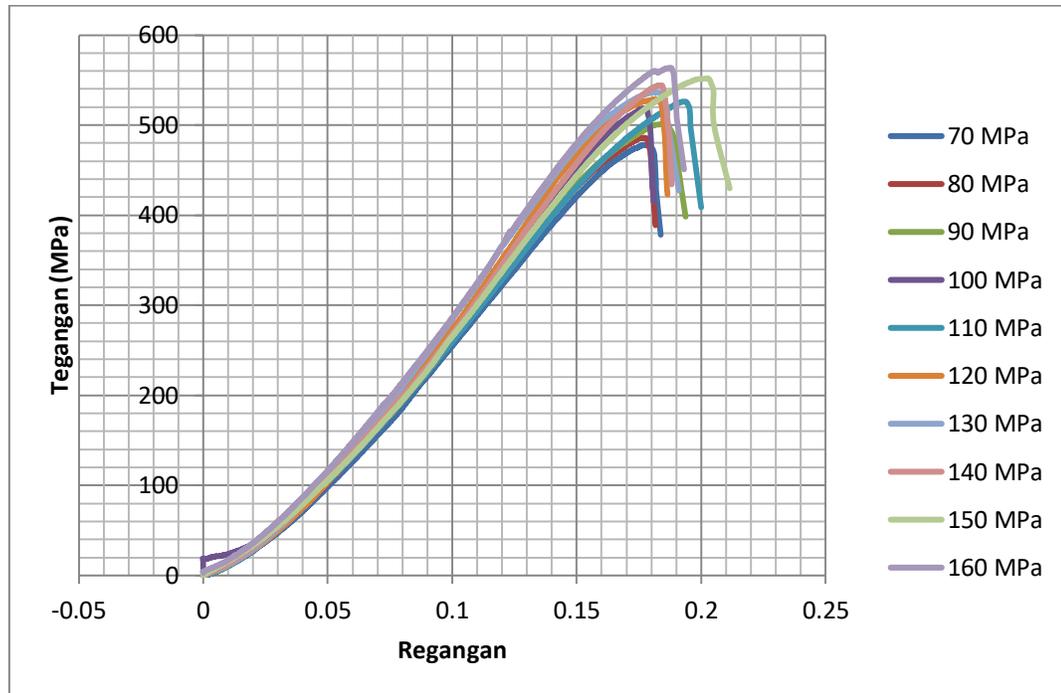
(2014) tentang pengaruh tekanan tempa terhadap struktur mikro dan sifat mekanik baja ST41 dengan las gesek (*friction welding*). Nilai kekerasan terbaik pada tekanan tempa 55.04 kgf/cm. semakin tinggi tekanan tempa kekerasan logam induk tidak terpengaruhi, namun daerah HAZ dan logam las semakin tinggi nilainya.

4.4 Pengujian Kekuatan Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan dilaboratorium teknik mesin universitas muhammadiyah Yogyakarta. Pengujian ini dilakukan pada material jenis *AISI 304* pada spesimen hasil pengelasan gesek (*friction welding*). Sebelum dilakukan pengujian tarik spesimen uji terlebih dahulu dilakukan proses pemesinan untuk menghilangkan *flash* yang diperoleh dari pengelasan gesek. Kemudian membentuk kembali dimensi spesimen uji tarik sesuai dengan standar JIS Z 2201. Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik ini adalah nilai tegangan dan regangan dari hasil pengelasan masing-masing parameter. Tabel parameter dan grafik tegangan dan regangan dapat dilihat pada table 4.4 dan gambar 4.9.

Tabel 4.4 Parameter pengelasan gesek dan Hasil kekuatan tarik

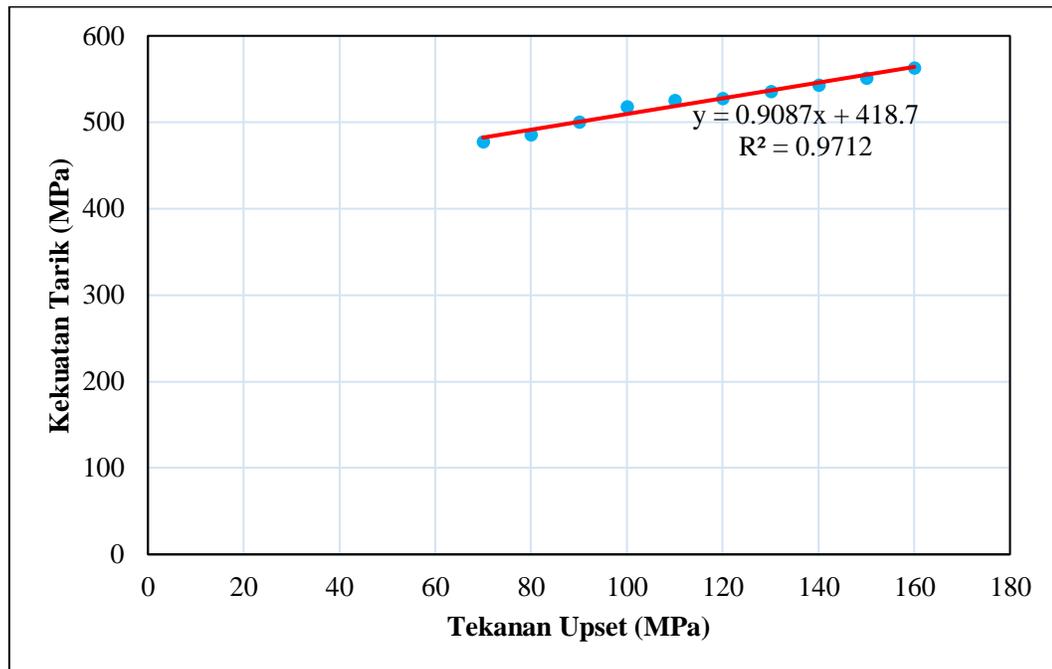
No	Tekanan Gesek (MPa)	Waktu Gesek (Detik)	Tekanan <i>Upset</i> (MPa)	Waktu <i>Upset</i> (MPa)	Hasil Kekuatan Tarik (MPa)
1.	70	5	70	5	478.0039
2.	70	5	80	5	485.7589
3.	70	5	90	5	500.601
4.	70	5	100	5	518.5348
5.	70	5	110	5	525.903
6.	70	5	120	5	528.4132
7.	70	5	130	5	536.1523
8.	70	5	140	5	543.8141
9.	70	5	150	5	551.3451
10.	70	5	160	5	563.4285



Gambar 4.9 Grafik tegangan dan regangan parameter pengelasan gesek variasi tekanan *upset*

Pada pengamatan tabel 4.4 dapat diketahui nilai kekuatan tarik tertinggi dari hasil sambungan pengelasan gesek *AISI 304* didapatkan dari variasi tekanan *upset* 160 MPa yaitu sebesar 563.4285 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik terendah didapatkan dari variasi tekanan *upset* 70 MPa yaitu sebesar 478.0039 MPa.

Dari pengamatan grafik 4.9 tegangan dan regangan menjelaskan bahwa semakin tinggi tekanan *upset* yang digunakan pada proses pengelasan gesek maka akan semakin tinggi pula tegangannya. Dari grafik tersebut juga menunjukkan bahwa hasil patahan yang terjadi pada sambungan pengelasan gesek *AISI 304* adalah patah getas dari semua spesimen yang diuji tarik.



Gambar 4.10 Grafik hasil pengujian tarik parameter pengelasan gesek setiap variasi tekanan *upset*

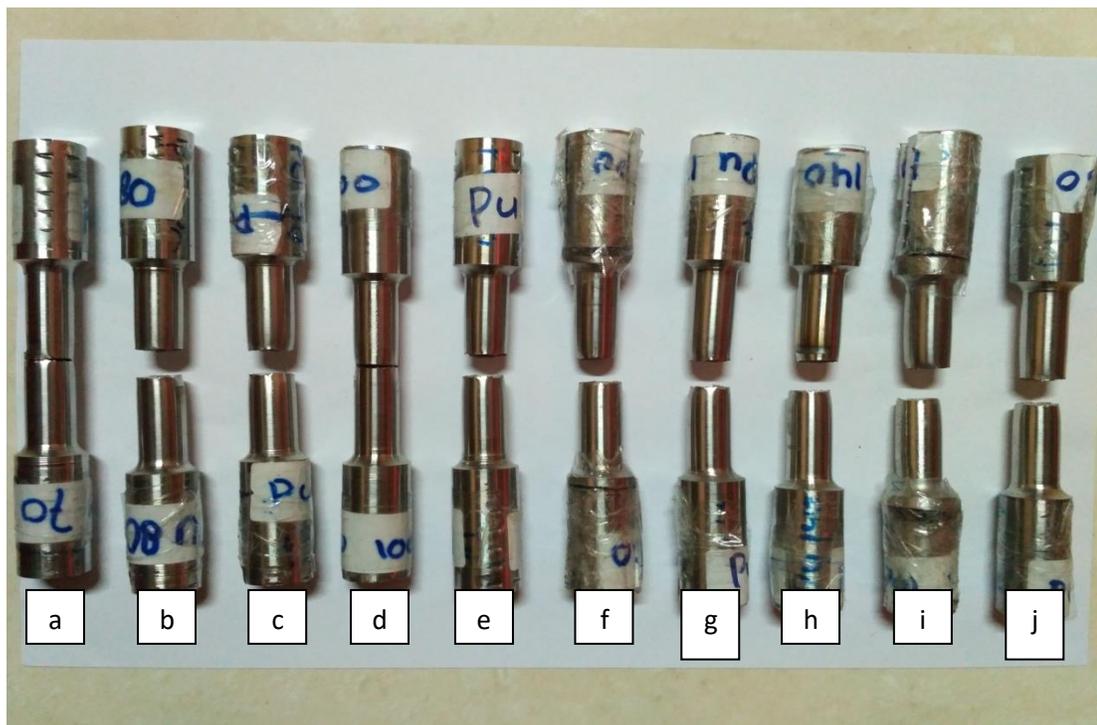
Pada grafik diatas dapat dijelaskan bahwa kekuatan tarik yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 4.4 karena masih saling berhubungan. Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar tekanan *upset* yang digunakan maka akan semakin tinggi pula kekuatan tarik yang diperoleh dari sambungan hasil pengelasan gesek logam *AISI 304*. Sementara itu nilai persamaan yang diperoleh pada grafik hasil pengujian tarik yaitu $y = 0,908x + 418,7$ ($R^2 = 0,971$), nilai tersebut didapatkan dari persamaan $y = PU + \Delta y$. Nilai kekuatan tarik tertinggi dan terendah yang diperoleh akan digunakan untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro.

Dari penelitian yang dilakukan sebelumnya, Yudhastian (2016) melakukan penelitian tentang variasi kecepatan putar dan tekanan tempa pada *friction welding* terhadap sifat mekanik AL6061. Dari penelitian ini didapatkan bahwa tekanan tempa berpengaruh terhadap kekuatan tarik hasil sambungan pengelasan *friction welding*. Hasil pengujian tarik tertinggi diperoleh dengan tekanan tempa 60 MPa sebesar

126.80 N/mm², sedangkan kekuatan tarik terendah diperoleh dari tekanan tempa 50 MPa sebesar 16.22 N/mm². Dapat dijelaskan bahwa variasi dalam penelitian ini bisa meningkatkan kekuatan tarik dari penelitian yang sebelumnya telah dilakukan.

4.4.1 Hasil penampang patahan spesimen uji tarik

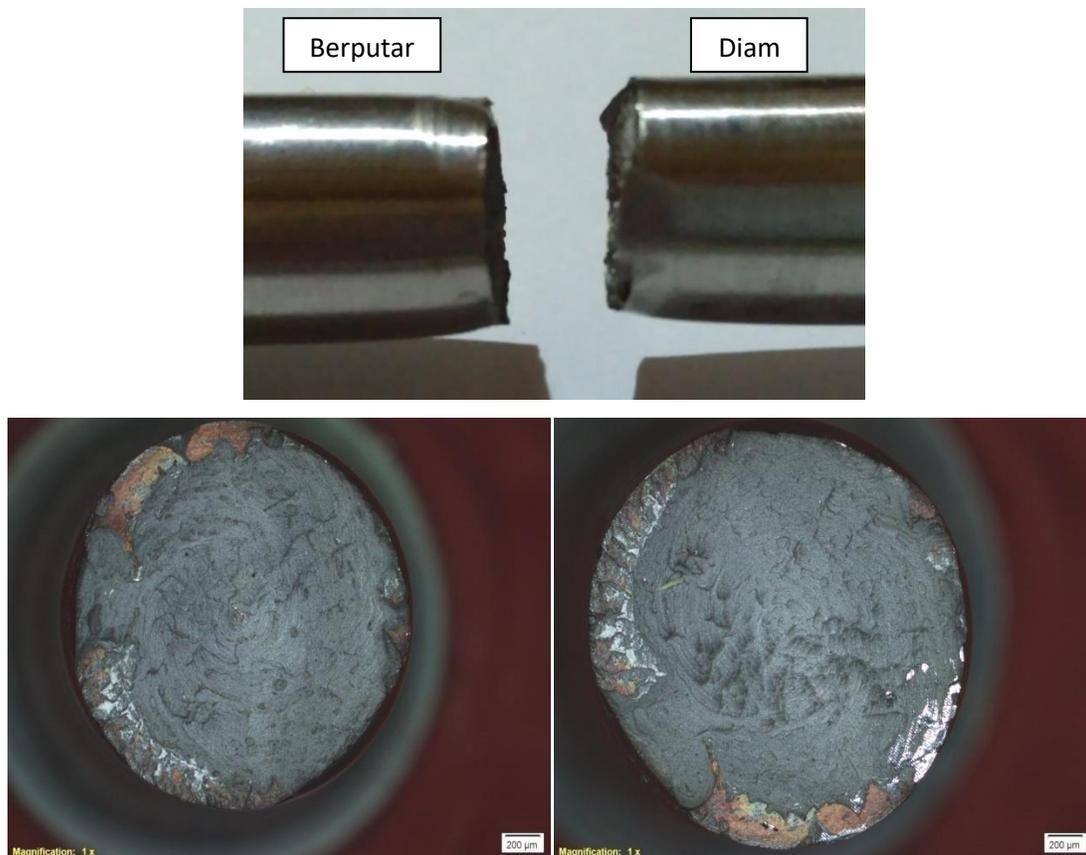
Setelah dilakukan proses pengujian tarik akan diperoleh hasil penampang patahan dari masing-masing sambungan yang diuji. Gambar berikut ini menunjukkan hasil patahan 10 spesimen hasil dari pengujian tarik.



Gambar 4.11 Hasil patahan pengujian tarik variasi tekanan *upset* (a) variasi 70 MPa, (b) variasi 80 MPa, (c) variasi 90 MPa, (d) variasi 100 MPa, (e) variasi 110 MPa, (f) variasi 120 MPa, (g) variasi 130 MPa, (h) variasi 140 MPa, (i) variasi 150 MPa, (j) variasi 160 MPa

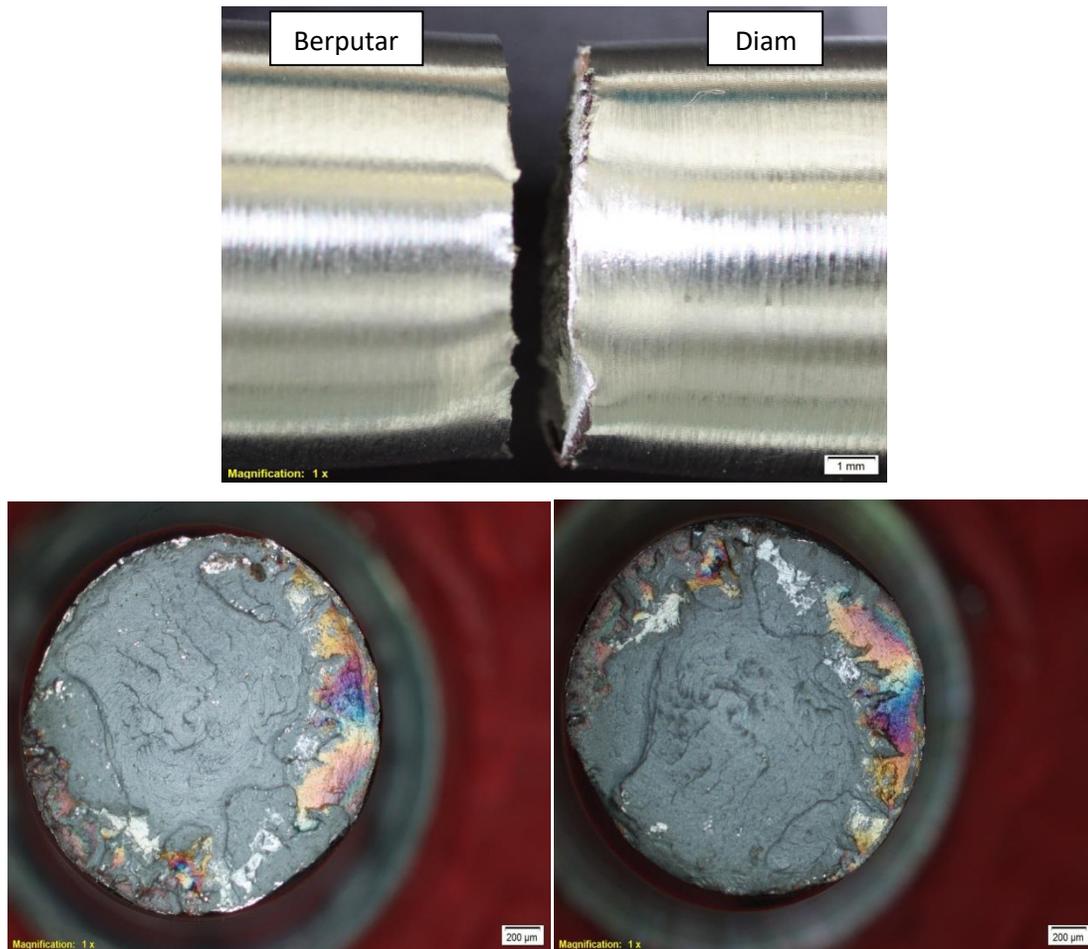
Hasil penampang patahan spesimen pengujian tarik dilihat dengan menggunakan pengujian foto makro dengan perbesaran 200x. pada pengujian foto

makro ini diambil dari patahan pengujian tarik pada 2 variasi yaitu pada variasi tekanan *upset* 160 MPa dan variasi tekanan *upset* 70 MPa. Foto makro dari kedua variasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.12 dan gambar 4.13.



Gambar 4.12 Penampang patah hasil uji tarik variasi tekanan *upset* 160 MPa

Penampang patah yang dihasilkan dari pengujian tarik variasi tekanan *upset* 160 MPa terlihat bahwa hasil patahan putus pada sambungan dari pengelasan gesek. Hal ini disebabkan karena semua daerah permukaan terdeformasi plastis merata sehingga menyambung sempurna. Namun masih ada sebagian kecil pada pinggir permukaan yang diindikasikan masih adanya udara yang masuk dan terjebak disambungan kemudian berinteraksi dengan logam dan membentuk oksida yang berbeda sehingga berwarna kecoklatan.



Gambar 4.13 Penampang patah hasil pengujian tarik variasi tekanan *upset* 70 MPa

Patahan yang dihasilkan dari pengujian tarik pada variasi tekanan *upset* 70 MPa hasil sambungan pengelasan gesek *AISI 304* diperoleh hasil patah terjadi pada sambungan. Hal itu disebabkan ketika proses pengelasan tekanan gesek dan tekanan *upset* yang diberikan sama besarnya sehingga hasil gesekan yang diperoleh kurang kuat pada daerah sambungan. Selain itu pada permukaan hasil patahan bagian pinggir sebagian besar tampak berwarna-warni hal tersebut disebabkan adanya perubahan oksida yang berbeda pada permukaan tersebut akibat pengaruh udara dari luar yang terjebak pada sambungan pengelasan dan berinteraksi dengan logam yang

menyebabkan tidak menyambung secara sempurna dan bisa mengalami oksidasi sehingga menjadi awal dari terbentuknya porositas pada logam tersebut.