

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengelasan Gesek

Hasil dari pengelasan gesek dengan bahan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan spesimen benda uji untuk pengujian struktur mikro, kekerasan dan uji tarik adalah sebagai berikut:

1. Hasil pengelasan gesek bahan pipa *stainless steel* 304 dengan pipa kuningan secara visual



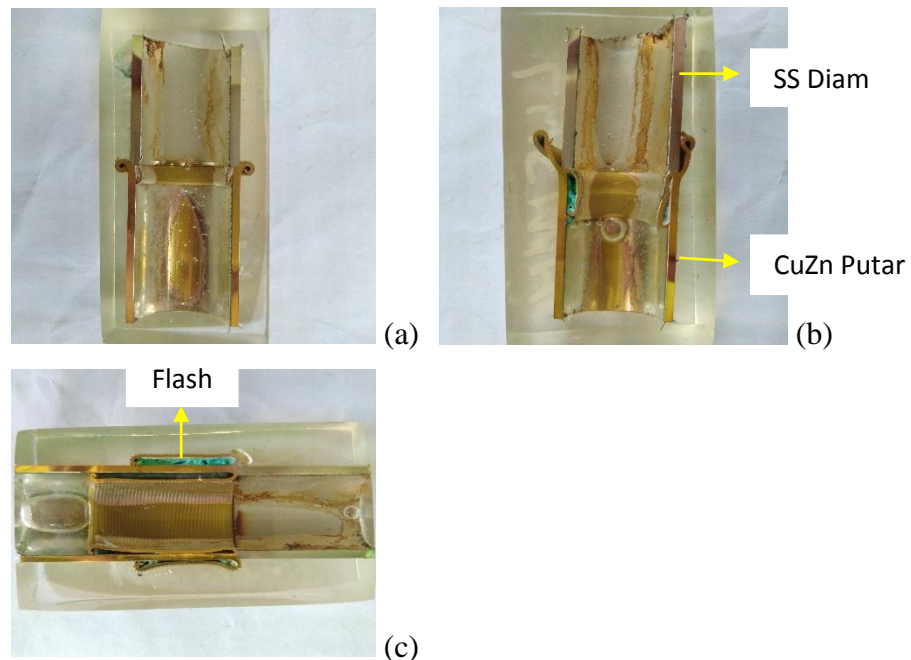
Gambar 4.1. Hasil sambungan pengelasan gesek pipa *stainless steel* 304 dengan pipa kuningan

Pada proses pengelasan gesek diperoleh hasil data mengenai variasi tekanan gesek yang didapatkan saat bahan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan mengalami deformasi plastis dan pembentukan flash di daerah sambungan. Pengelasan gesek dilakukan dengan variasi tekanan gesek yaitu 30,

Mpa, 40 MPa, dan 50 MPa menggunakan putaran mesin 1000 rpm. Pada setiap variasi tekanan gesek dilakukan 4 kali proses pengelasan.

Pada gambar 4.1 dapat diamati hasil pengelasan gesek dari setiap variasi tekanan gesek terlihat flash yang muncul hanya terdapat pada pipa kuningan saja. Hal ini dikarenakan pada setiap variasi tekanan gesek dan juga titik lebur spesimen yang digunakan berbeda, material yang terdeformasi plastis akan segera mengeras dengan cepat pada daerah tekanan dan gesekan di permukaan material sehingga terdapat banyak flash pada pipa kuningan yang terbentuk.

## 2. Spesimen pengujian struktur mikro dan kekerasan



Gambar 4.2. (a) Spesimen uji kekerasan dan struktur mikro pada sambungan pipa *stainless steel* dan pipa kuningan dengan tekanan 30 MPa, (b) 40 MPa, dan (c) 50 MPa.

Setelah melakukan proses pengelasan gesek dengan bahan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan, selanjutnya membuat spesimen uji untuk pengujian struktur mikro dan kekerasan. Benda uji yang sudah tersersambung dipotong menggunakan gergaji besi, Spesimen uji dibelah menjadi dua bagian menggunakan gergaji besi kemudian spesimen uji yang sudah terbelah kemudian dicetak dengan resin dan katalis, hasil spesimen uji struktur mikro dan kekerasan

bisa dilihat pada gambar 4.2. Sesudah spesimen uji dicetak lalu dilakukan proses pengamplasan menggunakan amplas seri 80, 120, 360, 600, 1000, dan 2000 secara berurutan agar menghasilkan hasil yang diinginkan. proses pengamplasan menggunakan air untuk membasahi amplas agar benda kerja tidak panas dan mendapatkan permukaan yang halus. Selanjutnya Spesimen uji dipoles menggunakan pasta autosol dan dietsa menggunakan larutan kimia HNO<sub>3</sub> + HCl dengan perbandingan 3:1 untuk pipa *stainless steel* dan larutan kimia HNO<sub>3</sub> 65% dengan menggunakan pelarut alkohol untuk pipa kuningan, setelah itu dilakukan pengujian struktur mikro. Proses pengujian kekerasan dilakukan pada semua variasi tekanan gesek yaitu 30 MPa, 40 MPa, dan 50 MPa.

### 3. Hasil spesimen pengujian tarik

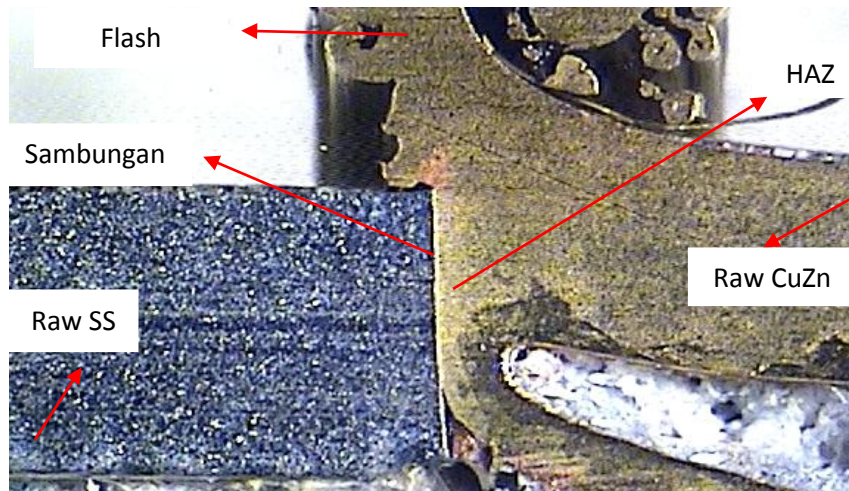


Gambar 4.3. Hasil pesimen pengujian tarik

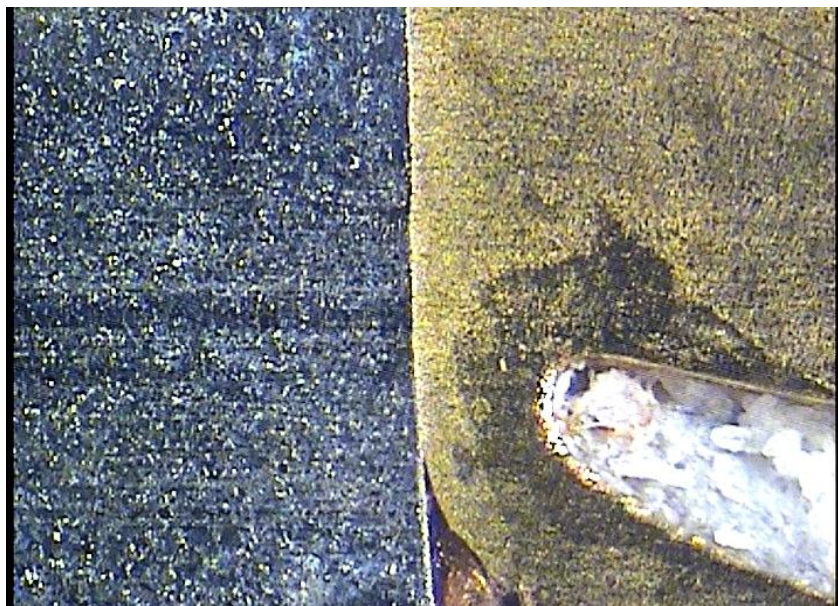
Hasil dari proses pengelasan gesek yang sudah dilakukan menyebabkan munculnya flash didaerah sambungan. Flash tersebut dihilangkan dengan melakukan proses pembubutan serta membentuk spesimen uji tarik sesuai dengan standar JIS Z 2201. Hasil spesimen pengujian tarik bisa dilihat pada gambar 4.3.

## 4.2 Hasil dan Pembahasan Struktur Mikro

Berikut ini adalah hasil foto makro sambungan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan menggunakan pengelasan gesek dengan perbesaran 12.5 dan 30x.



Gambar 4.4 Foto makro pipa stainless steel 304 dan pipa kuningan dengan pembesaran 12.5x.



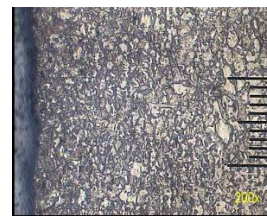
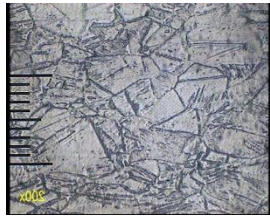
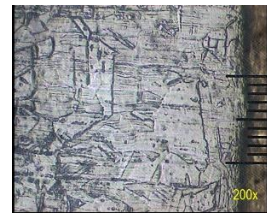
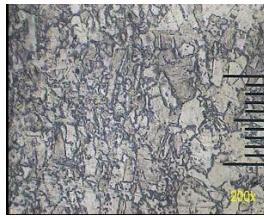
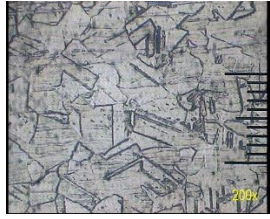
Gambar 4.5 Foto makro pipa stainless steel 304 dan pipa kuningan dengan pembesaran 30x.

Pada gambar 4.4 terdapat 5 daerah yang terlihat dari hasil proses pengelasan gesek yaitu daerah sambungan las, daerah Heat affected zone (HAZ), flash, dan daerah logam induk. Daerah sambungan adalah daerah kedua sisi permukaan bahan seluruhnya mengalami deformasi plastis dan termo plastis akibat tekanan dan panas pengelasan. Daerah HAZ adalah daerah yang terkena efek panas pengelasan yang dihasilkan dari daerah sambungan. Flash adalah cairan logam yang keluar dari daerah sambungan karena pengaruh tekanan. Logam induk adalah daerah logam dasar yang tidak pengaruh panas dan tekanan gesek pengelasan.

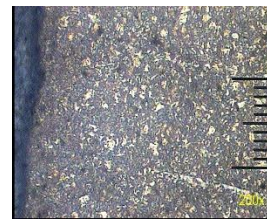
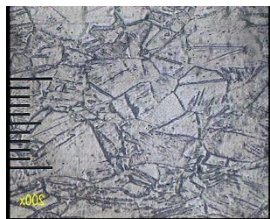
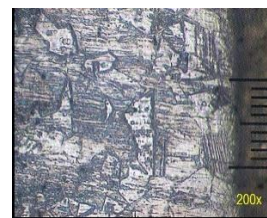
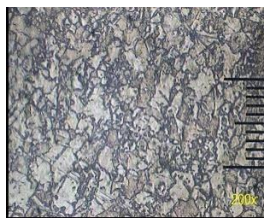
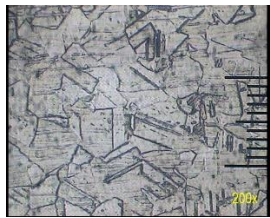
Hasil pengujian struktur mikro sambungan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan menggunakan pengelasan gesek dengan variasi tekanan gesek 30 MPa, 40 MPa, dan 50 MPa dengan perbesaran 200x dapat dilihat pada gambar 4.6.

Tekanan Gesek (MPa)	Logam Induk SS - CuZn	HAZ Kuningan	Daerah Tepi Sambungan SS - CuZn
---------------------	-----------------------	--------------	---------------------------------

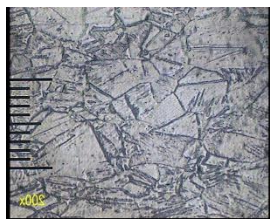
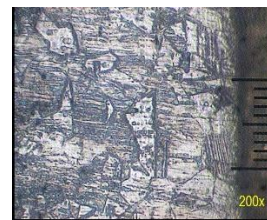
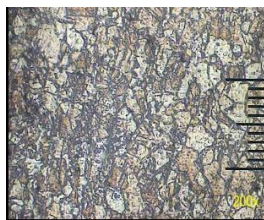
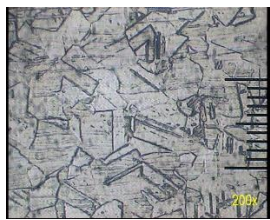
30



40



50



Pengambilan foto struktur mikro dilakukan di beberapa titik pada hasil sambungan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan menggunakan pengelasan gesek dengan variasi tekanan gesek 30 MPa, 40 MPa, dan 50 MPa. Pengambilan foto struktur mikro pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada daerah sambungan, HAZ, dan logam induk. Wiryosutomo dan Okumura. (2008), mengatakan bahwa logam las yang selama proses pengelasan mengalami proses pemanasan dan pendinginan cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat. Pada gambar 4.6 dapat diamati daerah sambungan memiliki ukuran butir struktur mikro yang paling kecil dibandingkan daerah HAZ dan logam induk. Hal ini dikarenakan pada daerah sambungan mengalami panas pengelasan dan pekerjaan dingin (*cold working*) yang tinggi sehingga ukuran struktur mikro mengecil. Pada daerah HAZ memiliki ukuran butir struktur mikro yang lebih besar dari daerah sambungan karena masukan panas pengelasan dan pekerjaan dingin (*cold working*) yang rendah.

Daerah sambungan dengan tekanan gesek 30 MPa pada pipa kuningan memiliki ukuran struktur mikro yang paling besar dibandingkan dengan tekanan gesek 40 MPa dan 50 MPa. Pada gambar 4.6 dapat diamati ukuran butir struktur mikro daerah sambungan pipa kuningan terlihat semakin mengecil dengan semakin besar tekanan gesek yang diberikan. Hal ini di indikasikan bahwa semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka akan semakin besar panas pengelasan yang dihasilkan pada sambungan. Tekanan gesek yang semakin besar menyebabkan panjang HAZ yang semakin panjang dan ukuran butir struktur mikro semakin mengecil dan rapat. Pada daerah sambungan dengan tekanan gesek 30 MPa mengalami panas pengelasan dan pekerjaan dingin (*cold working*) yang paling tinggi dibandingkan dengan tekanan 40 MPa dan 50 Mpa.

### 4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Pada saat pengujian kekerasan hasil sambungan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan menggunakan pengelasan gesek dengan variasi tekanan gesek 30 MPa, 40 MPa, dan 50 MPa akan ditentukan titik kekerasan yang digunakan untuk pengambilan data. Penentuan titik pada pengujian kekerasan dalam penelitian ini didasarkan dari pengamatan hasil foto struktur mikro.

Pengujian menggunakan uji kekerasan micro vikers dengan beban 200 gf selama 5 detik. Hasil nilai kekerasan dari sambungan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan menggunakan pengelasan gesek dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.1. Hasil pengujian kekerasan tekanan gesek 30 MPa.

No	Kode	Jarak dari sambungan	d <sub>1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>2</sub> ( $\mu$ )	d <sub>rata-rata</sub> ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (VHN)	
1	30	Stainless Steel	10.0 mm	43.0	44.0	43.50	196.0
			7.0 mm	44.0	44.0	44.00	191.6
			4.5 mm	44.0	44.0	44.00	191.6
			1.5 mm	44.0	44.0	44.00	191.6
			0.5 mm	44.0	43.0	43.50	196.0
			0.05 mm	41.0	41.0	41.00	220.6
		Kuningan	0.05 mm	58.0	56.0	57.00	114.2
			0.5 mm	62.5	63.0	62.75	94.2
			1.5 mm	66.5	61.0	63.75	91.3
			3.5 mm	65.0	65.0	65.00	87.8
			5.5 mm	54.0	52.0	53.00	132.0
			12.0 mm	51.0	51.0	51.00	142.6
			17.0 mm	51.0	51.0	51.00	142.6



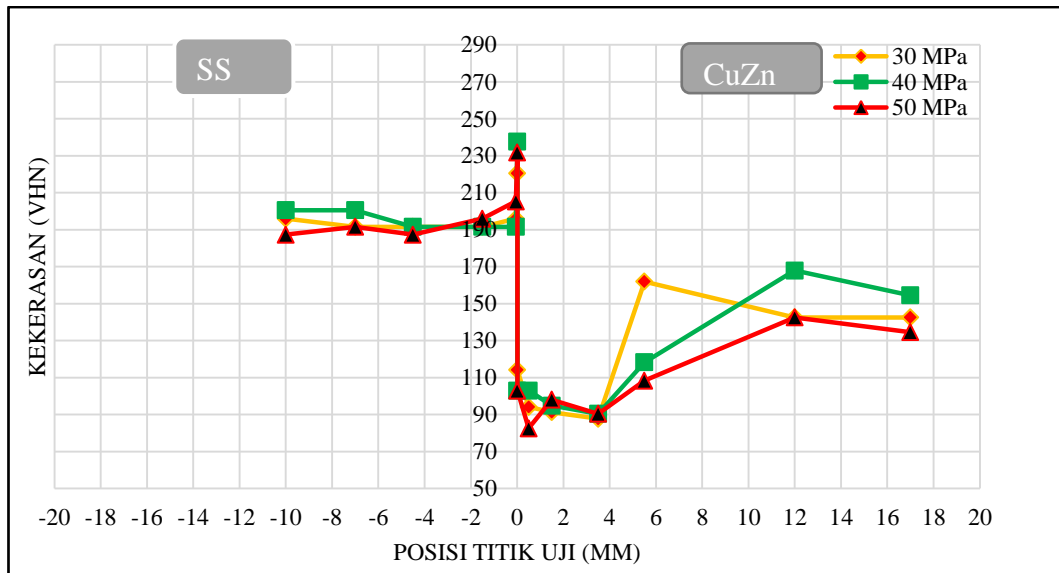
Tabel 4.2. Hasil pengujian kekerasan tekanan gesek 40 MPa.

No	Kode	Jarak dari sambungan	d <sub>1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>2</sub> ( $\mu$ )	d rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (VHN)	
1	40	Stainless Steel	10.0 mm	43.0	43.0	43.00	200.6
			7.0 mm	43.0	43.0	43.00	200.6
			4.5 mm	44.0	44.0	44.00	191.6
			1.5 mm	44.0	44.0	44.00	191.6
			0.5 mm	44.0	44.0	44.00	191.6
			0.05 mm	41.0	38.0	39.50	237.7
		Kuningan	0.05 mm	60.0	60.0	60.00	103.0
			0.5 mm	60.0	60.0	60.00	103.0
			1.5 mm	62.0	63.0	62.50	94.9
			3.5 mm	63.0	65.0	64.00	90.5
			5.5 mm	55.0	57.0	56.00	118.3
			12.0 mm	48.0	46.0	47.00	167.9
			17.0 mm	49.0	49.0	49.00	154.5

Tabel 4.3. Hasil pengujian kekerasan tekanan gesek 50 MPa.

No	Kode	Jarak dari sambungan	d <sub>1</sub> ( $\mu\text{m}$ )	d <sub>2</sub> ( $\mu$ )	d rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (VHN)	
1	50	Stainless Steel	10.0 mm	45.0	44.0	44.50	187.3
			7.0 mm	45.0	43.0	44.00	191.6
			4.5 mm	45.0	44.0	44.50	187.3
			1.5 mm	43.0	44.0	43.50	196.0
			0.5 mm	42.0	43.0	42.50	205.3
			0.05 mm	40.0	40.0	40.00	231.8
		Kuningan	0.05 mm	60.0	60.0	60.00	103.0
			0.5 mm	67.0	67.0	67.00	82.6
			1.5 mm	60.0	63.0	61.50	98.1
			3.5 mm	64.0	64.0	64.00	90.5
			5.5 mm	58.0	59.0	58.50	108.4
			12.0 mm	51.0	51.0	51.00	142.6
			17.0 mm	53.0	52.0	52.50	134.6

Supaya mempermudah pembahasan, maka akan ditampilkan grafik hasil pengujian kekerasan variasi tekanan gesek 30 MPa, 40 MPa, dan 50 MPa. Grafik pengujian kekerasan dari sambungan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan bisa dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik hasil pengujian kekerasan

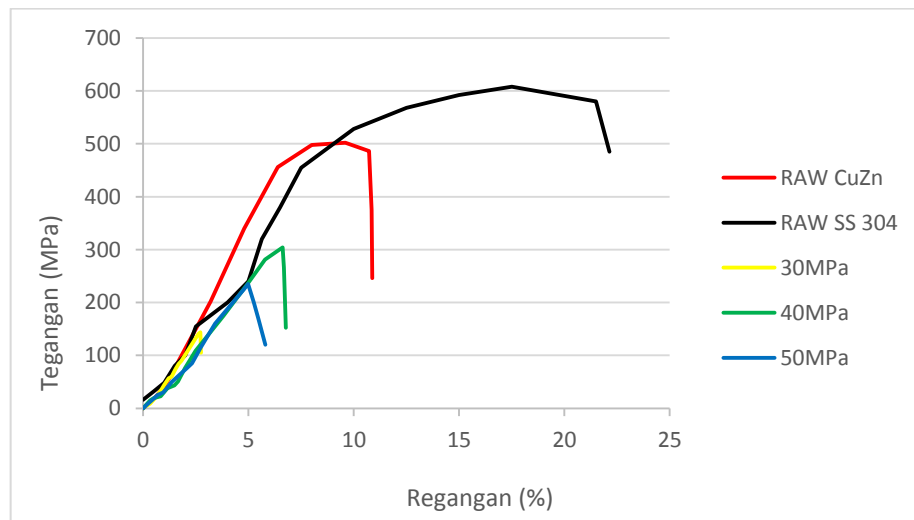
Nugroho, dkk (2016), Hasil penelitian Pipa Tembaga/Kuningan (Cu/Cu-Zn) didapatkan butiran di daerah TMAZ pada waktu gesek 25-30 detik semakin mengecil, sehingga kekerasan paling tinggi (93,6 VHN pada Cu-Zn dan 57 VHN pada Cu), pada waktu gesek 60 detik, terjadi rekristalisasi sehingga butirannya membesar dan mempunyai kekerasan terendah (62,4 VHN di Cu-Zn dan 36,3 VHN di Cu). Sedangkan pada daerah HAZ butirannya lebih besar dan hampir sama dengan struktur mikro *base metal*-nya, dengan kekerasan 40-50 VHN di Cu dan 69-80 VHN di Cu-Zn.

Sathiya, dkk. (2005), mengatakan bahwa peningkatan hasil nilai kekerasan pada zona sambungan dapat dikaitkan dengan peningkatan suhu pemanasan pada material di daerah las dan ukuran butir struktur mikro yang semakin kecil dibandingkan dengan zona yang lain. Pada gambar 4.7 dapat diamati bahwa hasil kekerasan pada daerah sambungan terlihat semakin tinggi dengan semakin besarnya tekanan gesek yang diberikan. Nilai kekerasan pada daerah sambungan

variasi tekanan gesek 30 MPa yaitu sebesar 114.2 VHN pada tepi sambungan kuningan dan 220.6 VHN pada tepi sambungan *stainless steel*, nilai kekerasan pada daerah sambungan variasi tekanan gesek 40 MPa yaitu sebesar 103.0 VHN untuk tepi kuningan serta 237.7 VHN untuk *stainless steel*, dan nilai kekerasan pada daerah sambungan variasi tekanan gesek 50 MPa yaitu sebesar 103.0 VHN pada tepi kuningan, kemudian 231.8 VHN untuk tepi *stainless steel*. Hal ini diindikasikan bahwa semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka gaya gesek semakin besar, panas pengelasan pada daerah sambungan semakin besar, dan pekerjaan dingin (*cold working*) yang semakin tinggi, hal tersebut menyebabkan ukuran butir struktur mikro yang semakin kecil dan rapat sehingga menurunkan tingkat keuletan pada sambungan las.

#### 4.4 Hasil dan Pembahasan Pengujian Tarik

Setelah melakukan proses pengelasan gesek dan pembubutan pada sambungan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan dengan variasi tekanan sebesar 30 MPa, 40 MPa, 50 MPa, akan dilanjutkan dengan proses pengujian tarik. Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan 3 kali pengujian dari masing-masing variasi tekanan gesek.

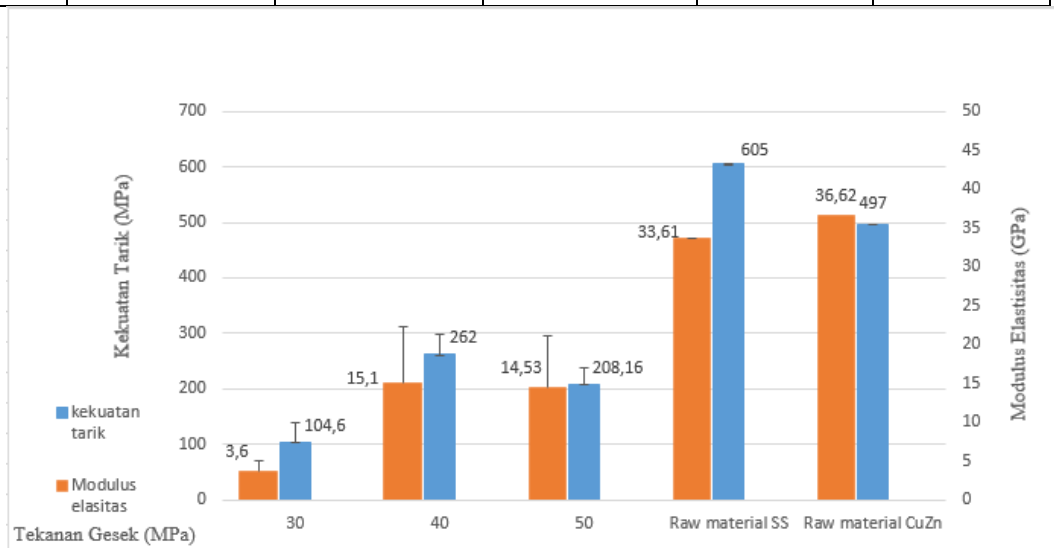


Gambar 4.8 Diagram hasil pengujian tarik

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa hasil kekuatan tarik pada raw material pipa *stainless steel* 304 dan raw materail pipa kuningan lebih besar dibandingkan kekuatan tarik dari hasil sambungan dengan variasi tekanan gesek. Gambar 4.8 menjelaskan bahwa raw material mengalami bentuk patahan ulet yang ditunjukkan oleh terjadinya perpanjangan yang cukup panjang, sedangkan pada sambungan hasil pengelasan gesek tingkat keuletannya menurun. Hal ini disebabkan karena pada daerah sambungan mengalami perubahan struktur mikro akibat proses pengelasan gesek.

Tabel 4.4. Hasil nilai kekuatan tarik pada variasi tekanan gesek 30, 40, dan 50 MPa dengan putaran mesin 1000 rpm.

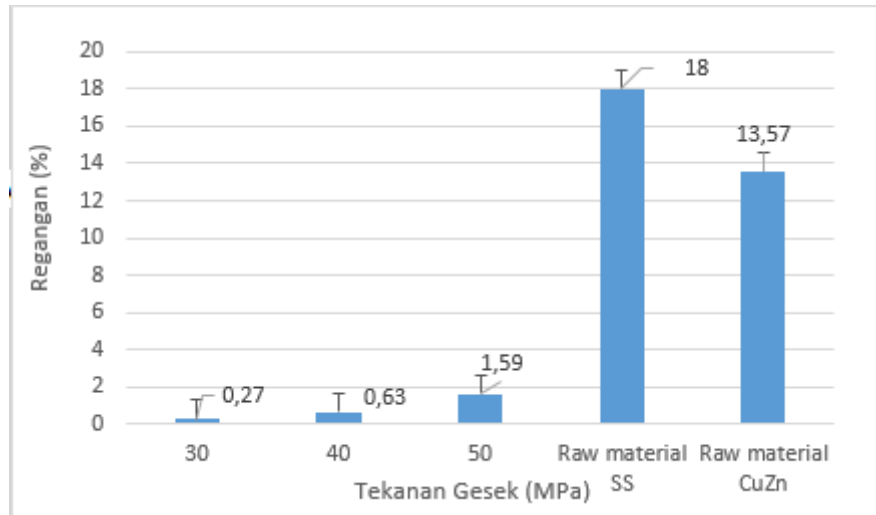
No	Tekanan Gesek (MPa)	Waktu Gesek rata-rata (detik)	Kekuatan tarik rata-rata (MPa) $\pm$ SD	Modulus Elastisitas (Gpa) $\pm$ SD	Regangan (%) $\pm$ SD
1	30	2	104,6 $\pm$ 34,72	3,6 $\pm$ 1,4	0,27 $\pm$ 0,06
2	40	2	262 $\pm$ 37,96	15,1 $\pm$ 7,1	0,63 $\pm$ 0,29
3	50	2	208,16 $\pm$ 30,72	14,53 $\pm$ 6,6	1,59 $\pm$ 1,02
4	Raw SS	-	605 $\pm$ 0	33,61 $\pm$ 0	18 $\pm$ 0
5	Raw CuZn	-	497 $\pm$ 0	36,62 $\pm$ 0	13,57 $\pm$ 0



Gambar 4.9 Diagram hasil kekuatan tarik dan modulus elastisitas

Gambar 4.9 menunjukkan bahwa hasil kekuatan tarik semakin menurun seiring dengan meningkatnya tekanan gesek yang diberikan. Hal ini diindikasikan bahwa pada penelitian ini variasi tekanan gesek 40 MPa telah mencapai kekuatan tarik maksimum, sehingga dengan ditambahkan tekanan gesek yang lebih besar 50 MPa hasil kekuatan tariknya akan semakin menurun. Variasi tekanan gesek 30 MPa kekuatan tariknya sebesar 104.06MPa, variasi tekanan gesek 40 MPa kekuatan tariknya sebesar 262 MPa, dan variasi tekanan gesek 50 MPa kekuatan tariknya sebesar 208.16 MPa. Kekuatan tarik hasil sambungan las gesek pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan masih lebih rendah dari pada kekuatan tarik raw pipa *stainless steel* 304 tanpa sambungan yaitu sebesar 605 MPa dan raw kuningan tanpa sambungan sebesar 497 MPa. Hasil penelitian Dey, dkk. (2009), dalam pengujian hasil kekekuatan tariknya menjelaskan bahwa peningkatan tekanan gesek menyebabkan meningkatnya suhu pada proses pengelasan, meningkatnya tekanan gesek juga menyebabkan kekuatan daerah sambungan berkurang karena pembentukan fase rapuh pada sambungan interface. Dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian kekuatan tarik dari penelitian Dey, dkk. (2009), memiliki sedikit kemiripan dengan penelitian ini dan untuk hasil kekuatan tarik tertinggi memiliki selisih yang cukup banyak. Hasil kekuatan tarik tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 262 MPa dengan tekanan gesek 40 MPa dan kekuatan tarik terendah yaitu sebesar 104.06 MPa dengan tekanan gesek 30 MPa. Sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi pada penelitian Dey, dkk. (2009) yaitu sebesar 400 MPa dengan tekanan gesek 100 MPa dan kekuatan tarik terendah yaitu sebesar 360 MPa pada tekanan gesek 200 MPa.

Pada gambar 4.9 juga menunjukkan bahwa semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka hasil modulus elastisitas semakin kecil. variasi tekanan gesek 30 MPa memiliki modulus elastisitas 3.6 GPa, tekanan gesek 40 MPa memiliki modulus elastisitas 15.1 GPa, tekanan gesek 50 MPa memiliki modulus elastisitas 14.53 GPa. Hal ini diindikasikan pada daerah sambungan variasi tekanan gesek 40 MPa memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan variasi tekanan gesek yang lain.



Gambar 4.10 Diagram hasil regangan terhadap tekanan gesek

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka makin nilai regangan akan semakin besar. Nilai regangan tertinggi pada tekanan gesek 50 MPa yaitu 1.59% lebih kecil dari nilai regangan pada raw material yaitu 18% dan 13.57%. Hal ini disebabkan karena pada sambungan hasil pengelasan gesek mengalami patah tepat di daerah sambungan yang merupakan daerah yang terkena panas pengelasan dan terjadi perubahan struktur mikro, sehingga menyebabkan kekuatan tarik menurun.