

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan pengelasan gesek dan pengujian maka akan didapatkan hasil untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan gesek terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik pada sambungan *disimilar* pipa *stainless steel* (berputar) dengan pipa baja menggunakan metode *Continuous Drive Friction Welding* (CDFW) yang akan dibahas pada bab ini.

### 4.1 Hasil Pengelasan Gesek Pipa *Stainless Steel* (Berputar) – Pipa Baja

Berikut ini adalah hasil pengelasan gesek pipa *stainless steel* (berputar) dengan pipa baja menggunakan metode *Continuous Drive Friction Welding* (CDFW). Pengelasan dilakukan pada tekanan gesek sebesar 25, 30 dan 35 MPa.



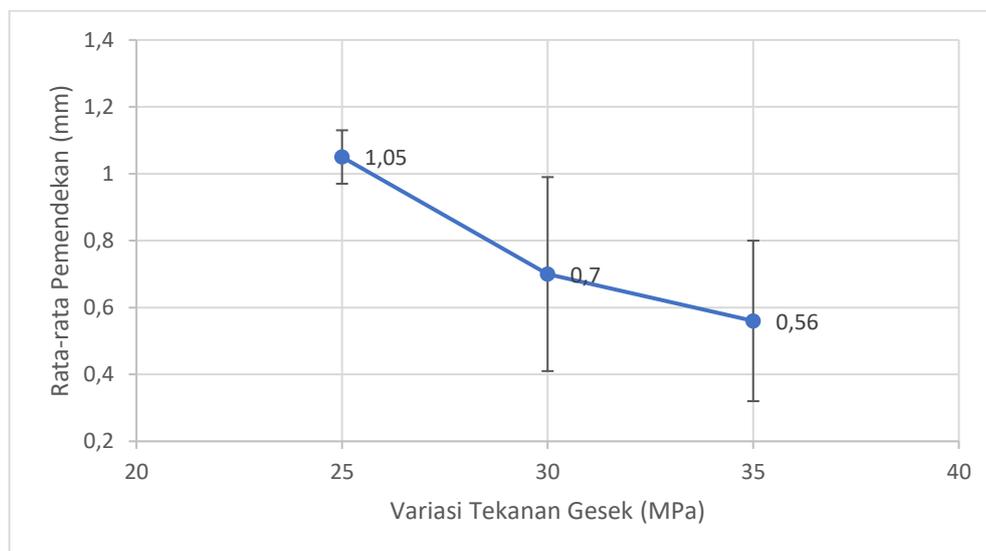
Gambar 4. 1 Hasil Pengelasan Gesek Pipa *Stainless Steel* (Berputar) - Pipa Baja

Dari gambar 4.1 dapat dilihat hasil pengelasan pipa *stainless steel* (berputar) dengan pipa baja menghasilkan *flash* yang sedikit. Hal ini disebabkan oleh rata-rata waktu gesek yang relatif cepat, yakni sekitar 1 detik. Selanjutnya spesimen hasil pengelasan dilakukan pengukuran panjang dan pemendekan yang terjadi.

Tabel 4. 1 Rata-rata Pemendekan Setelah Pengelasan Gesek

No	No. Spesi men	Tekanan Gesek (MPa)	Panjang Awal (mm)		Panjang Setelah Pengelasan (mm)	Pemendekan (mm)	Rata-Rata Pemendekan $\pm$ SD (mm)
			Pipa Stainless Steel	Pipa Baja (Steel)			
1	1	25	75,3	76,9	151,14	1,06	1,05 $\pm$ 0,08
2	2	25	75,4	75,1	149,34	1,16	
3	3	25	75,5	75,3	149,82	0,98	
4	4	25	77,1	75,2	151,3	1	
5	5	30	75,2	76,1	150,7	0,6	0,7 $\pm$ 0,29
6	6	30	75,2	75,9	150	1,1	
7	7	30	75,2	75	149,8	0,4	
8	8	30	75,3	76	150,42	0,88	
9	13	30	75,2	76,3	151	0,5	
10	9	35	75	75,3	149,4	0,9	0,56 $\pm$ 0,24
11	10	35	75	76,6	151,2	0,4	
12	11	35	75,2	75,2	150	0,4	
13	12	35	75,05	76,1	150,6	0,55	

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa jumlah spesimen pengelasan sebanyak 13 kali pengelasan, dengan 4 kali pengelasan dalam satu variasi tekanan gesek. Pada variasi tekanan gesek 30 MPa terjadi kegagalan pengelasan pada spesimen no 5 yang menghasilkan sambungan yang tidak *center* dan dilakukan pengelasan ulang pada spesimen no 13. Setelah dilakukan pengukuran, dari tabel 4.1 dibuat grafik hubungan antara variasi tekanan dengan rata-rata pemendekan yang terjadi seperti grafik 4.2 sebagai berikut.



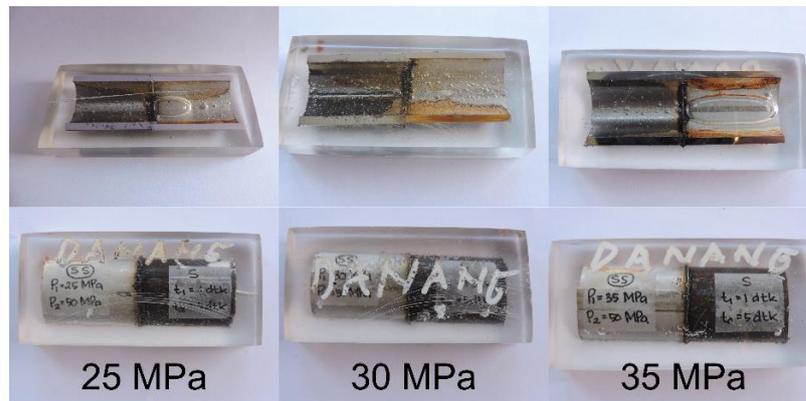
*Gambar 4. 2 Grafik Hubungan Antara Tekanan Gesek dengan Rata-rata Pemendekan*

Dari grafik 4.2 dapat dilihat bahwa semakin besar tekanan gesek yang diberikan, maka akan semakin kecil rata-rata pemendekan yang terjadi. Tekanan gesek yang besar menghasilkan gaya gesekan yang terjadi pada *interface* pipa semakin besar. Besarnya gaya gesek berpengaruh terhadap putaran mesin yang digunakan. Akibatnya putaran mesin berhenti apabila tekanan gesek yang diberikan terlalu besar. Hal ini menyebabkan semakin tinggi tekanan gesek maka rata-rata pemendekan yang terjadi semakin menurun dan *flash* yang terbentuk juga semakin sedikit.

## **4.2 Hasil Pengujian**

### **4.2.1 Hasil Pengujian Struktur Mikro**

Pengujian struktur mikro dilakukan pada variasi tekanan gesek 25, 30 dan 35 MPa. Tujuan dilakukan pengujian struktur mikro adalah untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada material pipa *stainless steel* dengan pipa baja (*steel*) setelah dilakukan pengelasan gesek. Sebelum dilakukan pengujian struktur mikro, hasil sambungan pengelasan dipotong dan dibelah melintang untuk kemudian diresin.



Gambar 4. 3 Spesimen Pengujian Struktur Mikro dan Kekerasan

Gambar 4.3 adalah hasil perpotongan spesimen pengelasan yang telah diresin dan dilakukan pengamplasan. Spesimen yang telah diresin digunakan untuk pengujian struktur mikro dan kekerasan. Pengujian struktur mikro dilakukan dibawah mikroskop dengan perbesaran 200x. Dari hasil foto mikro maka dapat diketahui pembagian daerah pengelasan akibat pengelasan gesek.



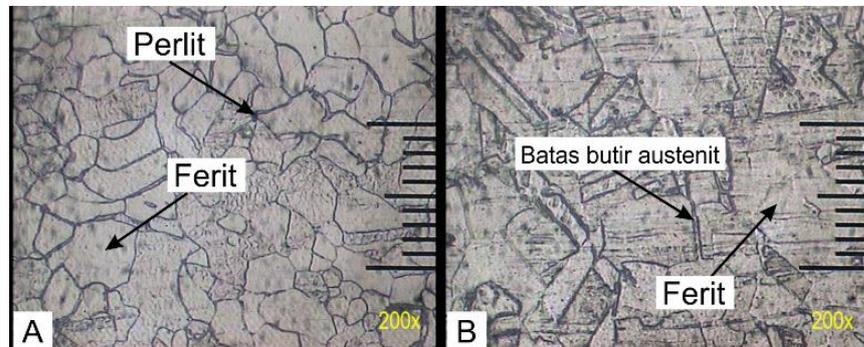
Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Struktur Mikro dengan Variasi Tekanan Gesek 25, 30 dan 35 MPa (perbesaran 200x)

Gambar 4.4 menunjukkan bentuk struktur mikro dari hasil pengelasan pipa *stainless steel* (berputar) dengan pipa baja dimana sambungan terjadi pada

temperatur yang tinggi dan tekanan yang tinggi. Tipe daerah hasil pengelasan ini sama dengan penelitian terdahulu (Nugroho dkk, 2016) yang terdiri dari 4 bagian, yakni:

1. *Weld Centre Zone (WCZ)* atau dapat disebut daerah pusat pengelasan dimana pada daerah WCZ menerima masukan panas yang paling tinggi akibat proses pengelasan. Panas yang tinggi mengakibatkan temperatur dan regangan yang terjadi juga tinggi, sehingga mengakibatkan struktur logam mengalami rekristalisasi penuh yang menghasilkan butir yang halus dan rapat, daerah WCZ yang terbentuk pada semua variasi tekanan gesek hanya sedikit. Hal ini dikarenakan waktu gesek pengelasan hanya 1 detik. Dikedua sisi daerah WCZ terdapat daerah *interface stainless steel* dan daerah *interface steel* (baja).
2. *Thermomechanically Affected Zone (TMAZ)* atau daerah terpengaruh gaya mekanik berupa tekanan dan panas masukan dari proses pengelasan. Pada daerah ini terjadi rekristalisasi sebagian yang membentuk struktur rapat. Bentuk struktur yang rapat diakibatkan adanya penekanan gesek dan penekanan tempa. Panas masukan yang diterima pada daerah ini lebih rendah dari panas masukan pada daerah WCZ. Hal ini berpengaruh pada temperatur pada daerah TMAZ lebih kecil dibandingkan dengan daerah WCZ.
3. *Heat Affected Zone (HAZ)* atau daerah terpengaruh panas dimana pada daerah ini panas masukan yang diterima hanya sedikit. Struktur mikro pada daerah ini hampir sama dengan struktur mikro pada logam induk atau *base metal* akan tetapi sedikit rapat karena masih terpengaruh oleh tekanan tempa yang diberikan.
4. *Base Metal* (Logam Induk) merupakan daerah yang tidak terpengaruh panas masukan akibat proses pengelasan. Pada daerah ini struktur mikronya tidak berubah sama sekali. Gambar 4.5 merupakan struktur mikro dari logam induk pipa baja dan logam induk pipa *stainless steel*. Struktur pada pipa baja terdiri dari struktur ferit dan perlit yang merupakan struktur dari logam baja karbon rendah. Struktur pada pipa *stainless steel*

terdiri dari struktur ferit dan batas butir austenit yang merupakan struktur dari logam *stainless steel* 304.

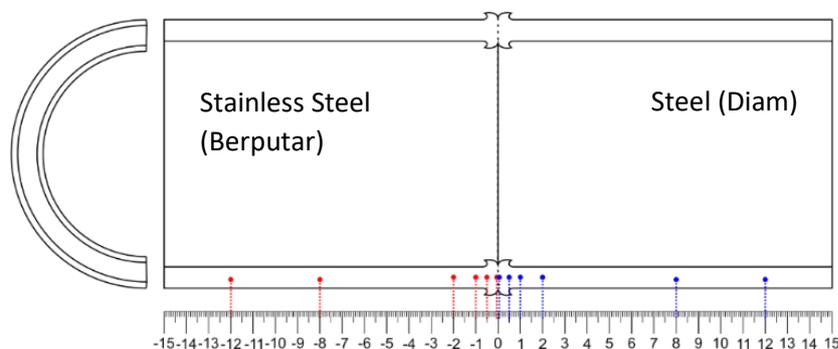


Gambar 4. 5 Struktur Mikro A) Logam Induk Pipa Baja; B) Logam Induk Pipa *Stainless Steel*

Pada tekanan 25 MPa dan 30 MPa struktur mikronya tidak begitu mengalami perubahan yang signifikan akan tetapi pada tekanan 35 MPa daerah TMAZ pipa *stainless steel* yang terbentuk lebih kecil dibandingkan dengan tekanan 25 MPa dan 30 MPa. Hal ini disebabkan karena waktu gesek yang terlalu singkat sehingga distribusi panas yang terjadi belum merambat jauh.

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk melihat nilai kekerasan pada daerah lasan, HAZ dan logam induk. Pada pengujian kekerasan ini diambil 12 titik di setiap variasi tekanan gesek. Posisi titik pengujian kekerasan dimulai dari titik 0,05; 0,5; 1; 2; 8; 12 kekanan dari titik sambungan dan -0,05; -0,5; -1; -2; -8; -12 kekiri dari titik sambungan. Gambar 4.6 menunjukkan posisi titik pengujian kekerasan.

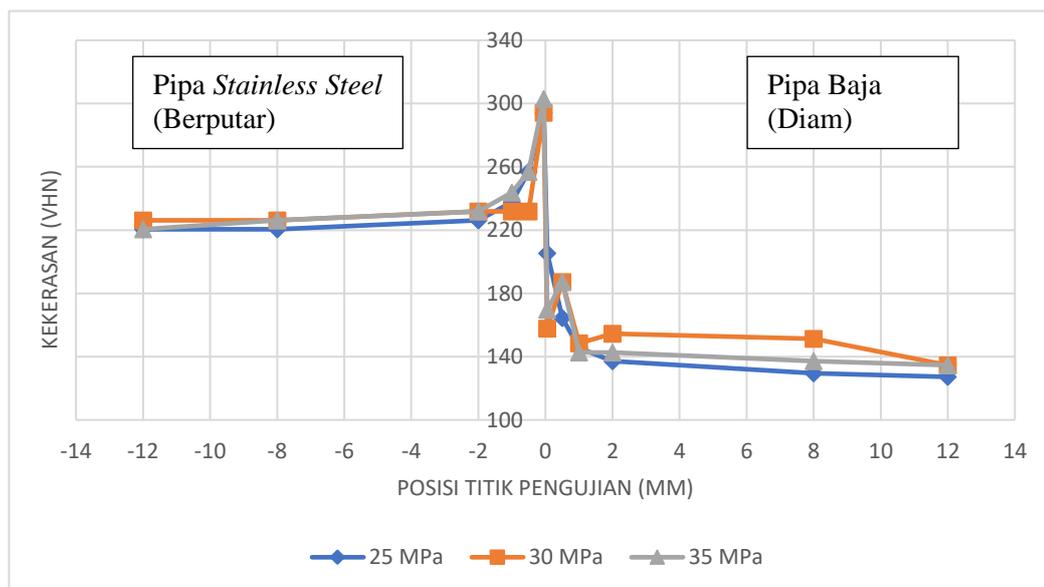


Gambar 4. 6 Posisi Titik Pengujian Kekerasan

*Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kekerasan Sambungan Pipa Stainless Steel (Berputar)  
– Pipa Baja dengan Variasi Tekanan Gesek 25, 30, dan 35 MPa*

No	Variasi Tekanan Gesek	Area	Jarak dari Sambungan	d1 ( $\mu\text{m}$ )	d2 ( $\mu\text{m}$ )	d rata-rata ( $\mu\text{m}$ )	Kekerasan (VHN)
1	25 MPa	Stainless Steel (berputar)	-12	40	42	41	220,6
			-8	41	41	41	220,6
			-2	40	41	40,5	226,1
			-1	39	40	39,5	237,7
			-0,5	38	38	38	256,8
			-0,05	36	35	35,5	294,3
		Steel (diam)	0,05	38	47	42,5	205,3
			0,5	47	48	47,5	164,4
			1	50	51	50,5	145,4
			2	52	52	52	137,2
			8	54	53	53,5	129,6
			12	54	54	54	127,2
2	30 MPa	Stainless Steel (berputar)	-12	40	41	40,5	226,1
			-8	42	39	40,5	226,1
			-2	40	40	40	231,8
			-1	40	40	40	231,8
			-0,5	40	40	40	231,8
			-0,05	36	35	35,5	294,3
		Steel (diam)	0,05	48	49	48,5	157,7
			0,5	45	44	44,5	187,3
			1	51	49	50	148,4
			2	48	50	49	154,5
			8	51	48	49,5	151,4
			12	53	52	52,5	134,6
3	35 MPa	Stainless Steel (berputar)	-12	42	40	41	220,6
			-8	41	40	40,5	226,1
			-2	40	40	40	231,8
			-1	39	39	39	243,8
			-0,5	38	38	38	256,8
			-0,05	35	35	35	302,8
		Steel (diam)	0,05	46	47	46,5	169,7
			0,5	45	44	44,5	187,3
			1	51	51	51	142,6
			2	51	51	51	142,6
			8	52	52	52	137,2
			12	53	52	52,5	134,6

Dari Tabel 4.2 kemudian dibuat grafik untuk dapat mengetahui distribusi kekerasan pada sambungan las gesek pipa *stainless steel* dengan pipa baja. Gambar 4.7 menunjukkan grafik hasil pengujian kekerasan. Kekerasan pada pipa *stainless steel* lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan pada pipa baja. Hal ini dikarenakan pada struktur logam induk pipa *stainless steel* terbentuk fasa austenit.



Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Pada tekanan 25 MPa nilai kekerasan mengalami kenaikan mendekati titik sambungannya. Kenaikan ini disebabkan oleh panas masukan yang tinggi pada saat proses pengelasan berlangsung. Hal ini dapat dilihat dari struktur mikronya yang halus dan rapat pada daerah *Thermomechanically Affected Zone* (TMAZ). Perubahan struktur mikro ini berpengaruh terhadap naiknya nilai kekerasan pada daerah TMAZ. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang telah dilakukan oleh (Sanyoto dkk, 2012). Titik -0,05 mm merupakan titik pipa *stainless steel* terdekat dari pusat sambungan yang memiliki kekerasan sebesar 294,3 VHN. Titik 0,05 mm merupakan titik pipa baja terdekat dari pusat sambungan yang memiliki kekerasan sebesar 205,3 VHN. Kekerasan semakin menurun menjauhi pusat sambungan, yang disebabkan oleh panas masukan yang diterima yang semakin rendah.

Pada variasi tekanan 30 MPa hasil kekerasannya hampir sama dengan hasil kekerasan tekanan gesek 25 MPa. Hal ini didukung oleh hasil pengujian struktur mikro yang menunjukkan perubahan yang terjadi tidak begitu signifikan pada tekanan 25 MPa dan 30 MPa. Titik -0,05 mm merupakan titik pipa *stainless steel* terdekat dari pusat sambungan yang memiliki kekerasan sebesar 294,3 VHN. Titik 0,05 mm merupakan titik pipa baja terdekat dari pusat sambungan yang memiliki kekerasan sebesar 157,7 VHN. Kenaikan nilai kekerasan terjadi pada titik 0,5 mm dari sambungn sebesar 187,3 VHN. Hal ini disebabkan karena titik pengujian masih dalam daerah TMAZ pipa baja.

Pada variasi tekanan 35 MPa titik yang mendekati sambungan memiliki nilai kekerasan paling tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan pada daerah mendekati sambungan pada tekanan 25 MPa dan 30 MPa. Kerasnya daerah TMAZ pada tekanan 35 MPa ini dipengaruhi oleh panas masukan yang sangat tinggi dibandingkan panas masukan yang diterima pada tekanan gesek 25 MPa dan 30 MPa. Panas masukan yang tinggi disebabkan oleh gaya gesek yang besar pada *interface*. Gaya gesek yang besar akan membuat temperatur pada *interface* juga semakin tinggi. Hal ini menyebabkan panas masukan menjadi tinggi. Titik -0,05 mm merupakan titik pipa *stainless steel* terdekat dari pusat sambungan yang memiliki kekerasan sebesar 302,8 VHN. Titik 0,05 mm merupakan titik pipa baja terdekat dari pusat sambungan yang memiliki kekerasan sebesar 169,7 VHN. Kenaikan nilai kekerasan terjadi pada titik 0,5 mm dari sambungn sebesar 187,3 VHN. Hal ini disebabkan karena titik pengujian masih dalam daerah TMAZ pipa baja.

Dari ketiga variasi tekanan gesek, nilai kekerasan yang paling tinggi yang didapatkan pada titik mendekati sambungan adalah variasi tekanan 35 MPa dengan kekerasan di titik -0,05 sebesar 302,8 VHN dan di titik 0,05 sebesar 169,7 VHN. Hal ini disebabkan pada tekanan 35 MPa panas masukan yang diterima saat proses pengelasan berlangsung sangat tinggi. Pernyataan ini didukung oleh hasil pengujian struktur mikro yang menunjukkan semakin tinggi tekanan gesek maka butiran pada daerah WCZ semakin halus dan daerah TMAZ semakin rapat dikarenakan

mendapatkan panas masukan yang berbeda. Tingginya panas masukan membuat struktur mikro semakin halus dan rapat.

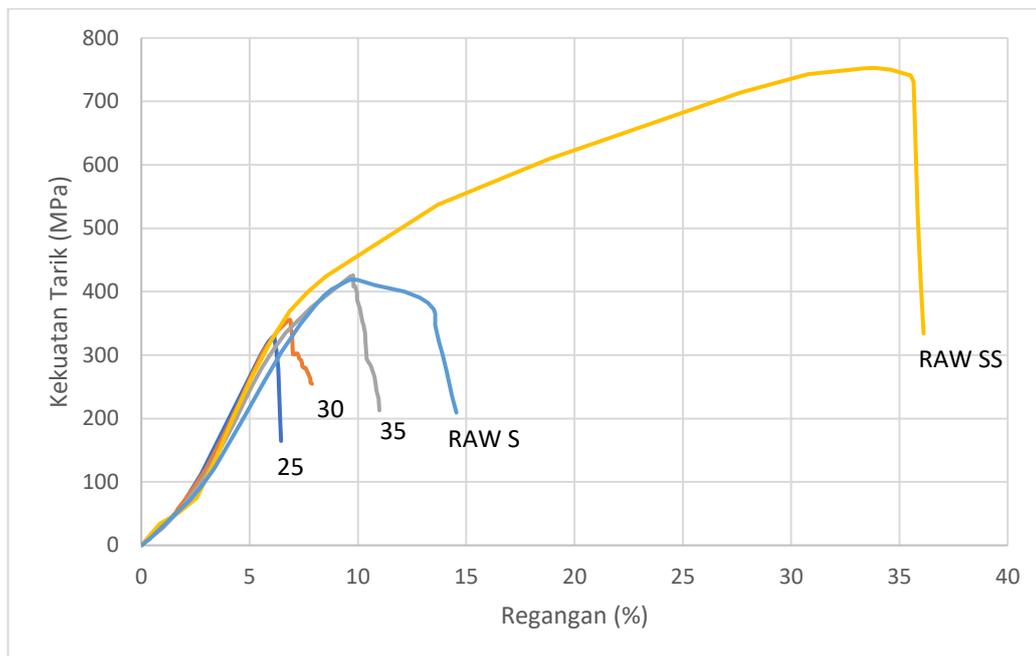
#### 4.2.3 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada setiap variasi tekanan gesek. Tujuan dari pengujian tarik adalah untuk mengetahui kekuatan tarik dan juga sifat mekanik material sambungan *disimillar* pipa *stainless steel* dengan pipa baja. Sebelum pengujian tarik dilakukan, spesimen terlebih dahulu dilakukan pembubutan untuk menghilangkan *flash* hasil pengelasan.



Gambar 4. 8 Spesimen Pengujian Tarik Pipa JIS Z 2201 No. 14C

Gambar 4.8 adalah spesimen pengujian tarik yang mengacu pada standar JIS Z 2201 No. 14C untuk pengujian tarik pipa. Pengujian tarik dilakukan untuk dapat mengetahui kekuatan tarik dari sambungan *disimillar* pipa *stainless steel* (berputar) dengan pipa baja. Setelah dilakukan pengujian tarik maka akan didapatkan grafik yang ditunjukkan oleh gambar 4.9.



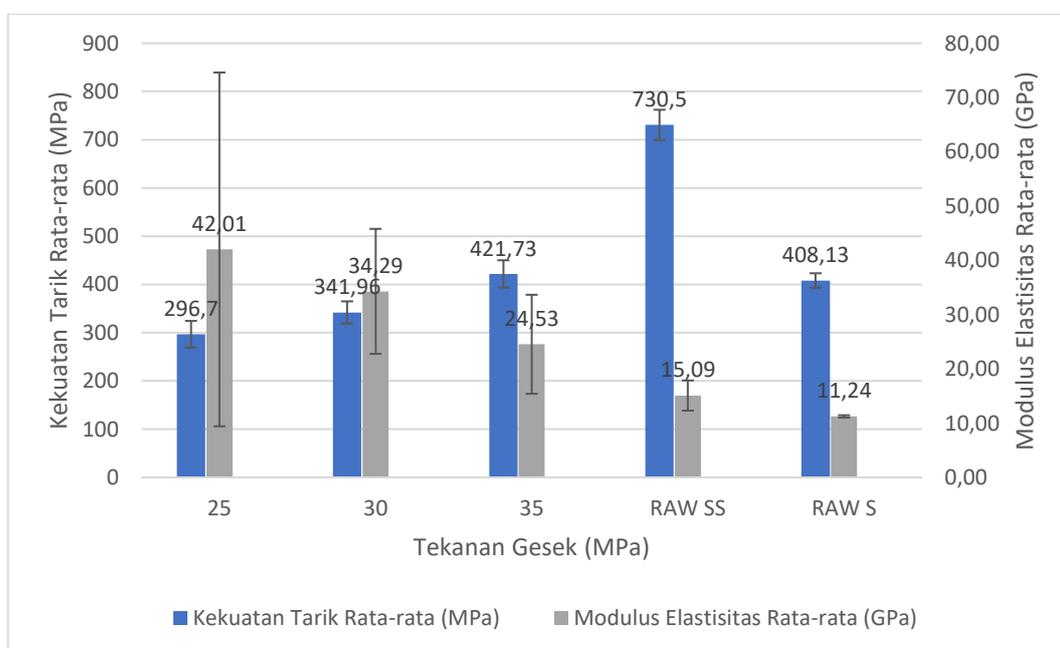
Gambar 4. 9 Grafik Pengujian Tarik

Dari gambar 4.9 menunjukkan kekuatan tarik raw material *stainless steel* paling tinggi dibandingkan dengan kekuatan tarik pada pipa hasil pengelasan gesek maupun raw material baja. Hal ini menunjukkan bahwa raw material pipa *stainless steel* memiliki sifat yang ulet dan kuat. Sifat ulet ini dapat dilihat pada grafik yang memiliki nilai regangan yang paling tinggi dan bentuk grafik yang melengkung dibandingkan hasil dari pengelasan pipa *stainless steel* dengan pipa baja. Pada hasil pengelasan nilai regangannya dibawah nilai regangan dari raw material *stainless steel* dan bentuk grafiknya tidak melengkung hal ini membuat sambungan memiliki sifat getas. Penurunan keuletan ini disebabkan karena struktur mikronya yang berubah akibat panas masukan dari proses pengelasan gesek. Perubahan struktur mikronya dilihat melalui pengujian struktur mikro yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 4.3 menunjukkan kekuatan tarik rata-rata, modulus elastisitas rata-rata dan regangan rata-rata pada setiap variasi tekanan gesek serta raw materialnya. Dari tabel 4.3 kemudian ditampilkan dalam bentuk diagram untuk mempermudah analisa pengaruh variasi tekanan gesek terhadap kekuatan tarik, modulus elastisitas dan regangannya.

Tabel 4. 3 Rata-rata Hasil Pengujian Tarik

No	Variasi Tekanan	Kekuatan Tarik Rata-rata (MPa) $\pm$ SD	Modulus Elastisitas Rata-rata (Gpa) $\pm$ SD	Regangan Rata-rata (%) $\pm$ SD
1	25	296,70 $\pm$ 27,73	42,01 $\pm$ 32,59	1,34 $\pm$ 0,72
2	30	341,96 $\pm$ 23	34,29 $\pm$ 11,51	1,75 $\pm$ 0,81
3	35	421,73 $\pm$ 28,39	24,53 $\pm$ 9,12	3,1 $\pm$ 1,39
4	RAW SS	730,5 $\pm$ 31,53	15,09 $\pm$ 2,78	15,31 $\pm$ 0,68
5	RAW S	408,13 $\pm$ 15,05	11,24 $\pm$ 0,22	6,77 $\pm$ 0,39



Gambar 4. 10 Diagram Kekuatan Tarik dan Modulus Elastisitas

Dari diagram pada gambar 4.10 menunjukkan semakin tinggi tekanan gesek maka kekuatannya juga semakin tinggi. Hasil pengujian tarik pada penelitian ini menunjukkan tekanan gesek 25 MPa menghasilkan kekuatan tarik sebesar 296,70 MPa. Tekanan gesek 30 MPa menghasilkan kekuatan tarik sebesar 341,96 MPa. Tekanan gesek 35 MPa menghasilkan kekuatan tarik sebesar 421,73 MPa. Hasil kekuatan tarik ini masih dibawah dari hasil pengujian tarik logam induk pipa *stainless steel* sebesar 730,50 MPa. Kekuatan tarik yang dihasilkan oleh sambungan

pengelasan gesek hanya mampu mendekati kekuatan tarik dari logam induk pipa baja sebesar 408,13 MPa.

Pada tekanan 25 MPa nilai kekerasan pada titik -0,05 mm dan 0,05 mm daerah mendekati sambungan sebesar 294,3 VHN dan 205,3 VHN. Pada tekanan gesek 35 MPa nilai kekerasan pada titik -0,05 mm dan 0,05 mm daerah mendekati sambungan sebesar 302,8 VHN dan 169,7 VHN. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kekerasannya maka kekuatan tariknya juga semakin tinggi. Semakin tinggi kekuatan tariknya maka struktur mikro yang terbentuk pada daerah sambungan juga semakin halus. Hal ini didukung oleh pengujian struktur mikro yang menunjukkan struktur mikro daerah TMAZ pada tekanan 35 MPa lebih halus dari struktur mikro daerah TMAZ pada tekanan 25 MPa.

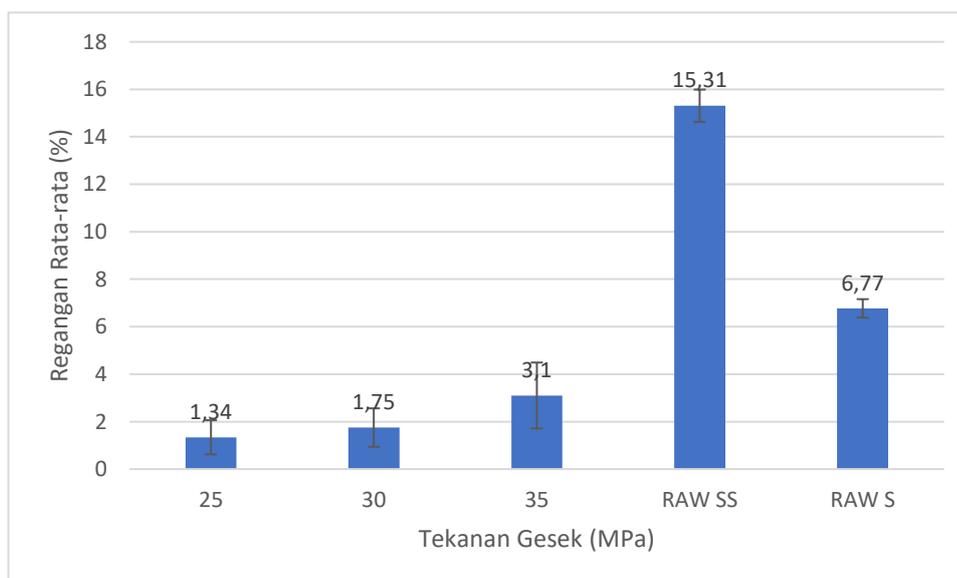
Gambar 4.10 menjelaskan modulus elastisitas pada variasi tekanan gesek. Pada variasi tekanan gesek 25 MPa memiliki modulus elastisitas sebesar 42,01 GPa, variasi tekanan gesek 30 MPa memiliki modulus elastisitas sebesar 34,29 GPa dan tekanan gesek 35 MPa memiliki modulus elastisitas sebesar 24,53 GPa. Raw material pipa *stainless steel* memiliki modulus elastisitas sebesar 15,09 GPa dan raw material baja memiliki modulus elastisitas sebesar 11,24 GPa. Hasil perhitungan modulus elastisitas ini berbanding terbalik dengan kekuatan tariknya. Semakin besar tekanan gesek maka semakin rendah nilai modulus elastisitasnya.

Pada variasi tekanan 25 MPa memiliki modulus elastisitas yang tinggi sebesar 42,01 GPa dan memiliki sifat sambungan yang getas dan lemah. Hal ini ditunjukkan dengan kekuatan tarik yang rendah sebesar 296,70 MPa. Nilai modulus elastisitas yang tinggi menunjukkan bahwa sifat dari sambungan pengelasan dengan tekanan gesek 25 MPa bersifat kaku. Kekakuan ini dapat dilihat pada gambar 4.11 dimana grafik pengujian tarik dengan tekanan gesek 25 MPa memiliki regangan yang rendah.

Pada variasi tekanan gesek 30 MPa memiliki sifat sambungan yang kaku jika dilihat dari tingginya modulus elastisitas yang terbentuk sebesar 34,29 GPa dengan kekuatan tarik yang rendah sebesar 341,96 MPa. Jika dibandingkan dengan variasi tekanan 25 MPa maka pada variasi tekanan 30 MPa memiliki sifat sambungan yang lebih elastis.

Pada variasi tekanan gesek 35 MPa memiliki sifat sambungan yang paling elastis dibandingkan dengan variasi tekanan gesek 25 MPa dan 30 MPa. Hal ini dapat dilihat dari modulus elastisitas yang terbentuk mendekati dari modulus elastisitas pada logam induk pipa baja yang memiliki sifat paling elastis. Variasi tekanan gesek 35 MPa ini memiliki modulus elastisitas sebesar 24,53 GPa dan memiliki kekuatan tarik yang tinggi sebesar 421,73 MPa.

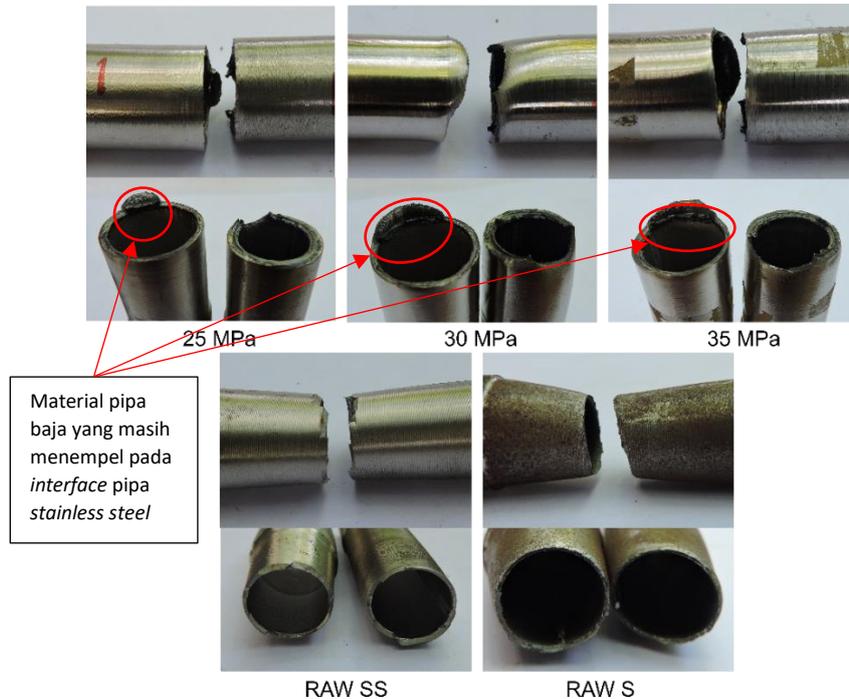
Pada material logam induk pipa *stainless steel* memiliki modulus elastisitas yang paling tinggi sebesar 15,09 GPa. Modulus elastisitas yang rendah tersebut membuat sifat dari logam induk pipa *stainless steel* bersifat ulet dan elastis yang ditunjukkan pada nilai kekuatan tariknya yang tinggi sebesar 730,5 MPa. Pada material logam induk pipa baja memiliki modulus elastisitas yang paling rendah sebesar 11,24 GPa. Hal ini membuat sifat dari logam induk pipa baja ini bersifat paling elastis dan juga ulet.



Gambar 4. 11 Diagram Regangan Rata-rata

Pada gambar 4.11 menunjukkan diagram rata-rata regangan pada setiap variasi tekanan gesek. Regangan tertinggi berada pada variasi tekanan gesek 35 MPa. Hal ini berbanding lurus dengan kekuatan tariknya yang tinggi mencapai 421,73 MPa. Regangan terendah berada pada variasi tekanan 25 MPa yang berbanding lurus dengan kekuatan tariknya yang rendah sebesar 296,70 MPa. Nilai regangan ini

bergantung pada kekuatan tarik material dan sifat dari material itu sendiri. Semakin tinggi nilai regangan maka dapat dikatakan suatu material tersebut bersifat ulet dan semakin rendah nilai regangan maka sifat materialnya semakin getas.



Gambar 4. 12 Foto Patahan Hasil Pengujian Tarik

Dari gambar 4.12 memperlihatkan hasil patahan setelah pengujian tarik dimana pada setiap variasi tekanan gesek 25, 30 dan 35 MPa material pipa baja sedikit masih menempel pada *interface* pipa *stainless steel*. Hal ini menunjukkan pada daerah tersebut sambungan yang terbentuk sangat kuat, sehingga membuat pipa baja masih menempel pada *interface* pipa *stainless steel*. Pada semua variasi tekanan gesek 25, 30 dan 35 MPa mengalami patahan getas yang dibuktikan dengan tidak adanya *necking* atau penyempitan luas penampang yang terbentuk. Pada raw material pipa *stainless steel* dan pipa baja mengalami patahan ulet yang membentuk *necking* atau penyempitan luas penampang.