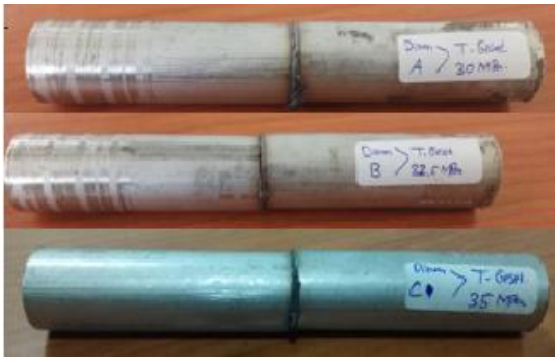
# BAB IV
# HASIL DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Hasil Pengelasan Gesek

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

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



**Gambar 4.1.** Hasil pengelasan gesek similar pipa *stainless steel* 304

Pada proses pengelasan gesek diperoleh hasil data mengenai waktu gesek yang didapatkan saat bahan pipa *stainless steel* 304 mengalami deformasi plastis dan pembentukan *flash* di daerah sambungan. Pengelasan gesek dilakukan dengan variasi tekanan gesek yaitu 30, Mpa, 32,5 MPa, dan 35 MPa menggunakan putaran mesin 1000 rpm. Pada setiap variasi tekanan gesek dilakukan 4 kali proses pengelasan. Diperoleh hasil waktu gesek rata-rata pada tekanan 30 MPa yaitu 1 detik, 32,5 MPa yaitu 0,7 detik, 35 MPa 0,5 detik. Waktu gesek akan menurun dengan besarnya tekanan gesek yang diberikan. Semakin besar tekanan yang diberikan gaya gesek yang terjadi semakin besar dan kuat sehingga waktu gesek menjadi semakin pendek (Nugroho, dkk. 2014)

Pada gambar 4.1 dapat diamati hasil pengelasan gesek dari setiap variasi tekanan gesek terlihat flash yang muncul hanya sedikit. Hal ini dikarenakan pada setiap variasi tekanan gesek memiliki waktu gesek yang sangat cepat yaitu 0,5-1 detik, material yang terdeformasi plastis akan segera mengeras dengan cepat pada daerah tekanan dan gesekan di permukaan material sehinga tidak banyak flash yang terbentuk.

2. Spesimen pengujian struktur mikro dan kekerasan

(a)

(b)

(c)

**Gambar 4.2.** (a) Hasil Potongan spesimen uji, (b) Hasil potongan melintang spesimen uji, dan (c) Hasil *mounting* spesimen uji.

Setelah melakukan proses pengelasan gesek dengan bahan similar pipa *stainless steel* 304, selanjutnya membuat spesimen uji untuk pengujian struktur mikro dan kekerasan. Benda uji yang sudah tersersambung dipotong menggunakan gergaji besi, hasil potongan spesimen uji bisa dilihat pada gambar 4.2 (a). Spesimen uji dibelah menjadi dua bagian menggunakan gergaji besi seperti yang terlihat pada gambar 4.2 (b). Spesimen uji yang sudah terbelah kemudian dicetak dengan resin dan katalis, hasil spesimen uji struktur mikro dan kekerasan bisa dilihat pada gambar 4.2 (c). Sesudah spesimen uji dicetak lalu dilakukan proses pengamplasan menggunakan amplas seri 120, 320, 800, 1000, 1200, 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 $HNO_3$ + HCl dengan perbandingan 3:1, setelah itu dilakukan pengujian struktur mikro. Proses pengujian kekerasan dilakukan pada semua variasi tekanan gesek yaitu 30 MPa, 32,5 MPa, dan 35 MPa.

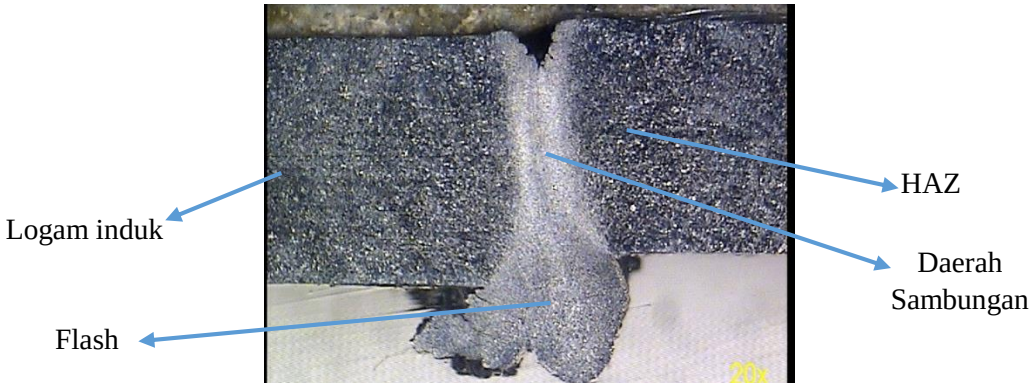
3. Hasil spesimen pengujian tarik

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

**Gambar 4.3.** Hasil pesimen pengujian tarik

## 4.2 Hasil dan Pembahasan Struktur Mikro

Berikut ini adalah hasil foto makro sambungan similar pipa *stainless steel* 304 menggunakan pengelasan gesek dengan perbesaran 20x.

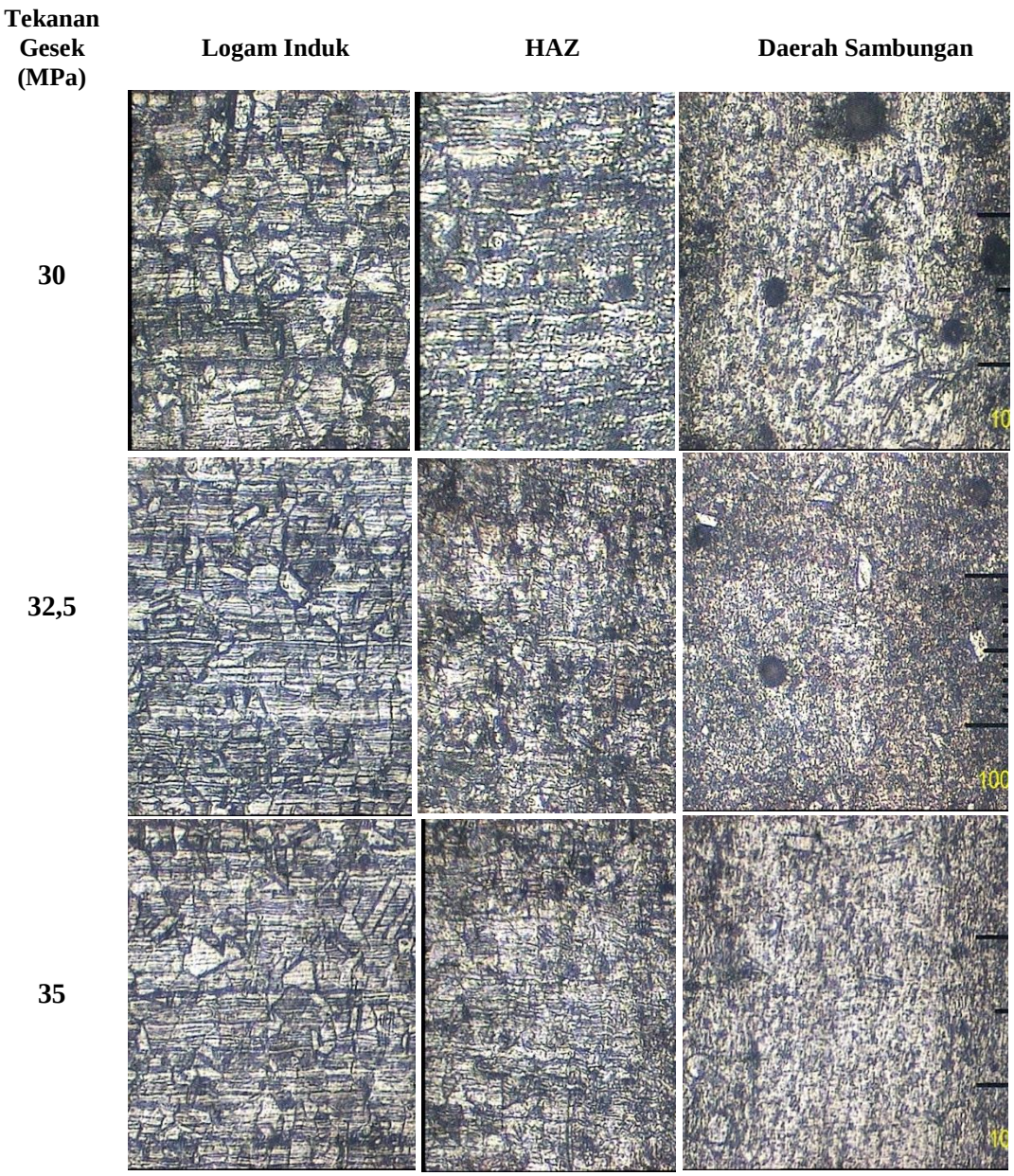



**Gambar 4.4.** Hasil foto makro sambungan similar pipa *stainless steel* 304 dengan perbesaran 20x.

Pada gambar 4.4 terdapat 4 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. HAZ yang semakin panjang akan menyebabkan

semakin panjang daerah yang mengalami penurunan kekuatan. *Flash* adalah logam yang terdeformasi plastis dan 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 similar pipa *stainless steel* 304 menggunakan pengelasan gesek dengan variasi tekanan gesek 35 MPa, 33,5 MPa, 30 MPa dengan perbesaran 100x dapat dilihat pada gambar 4.5.



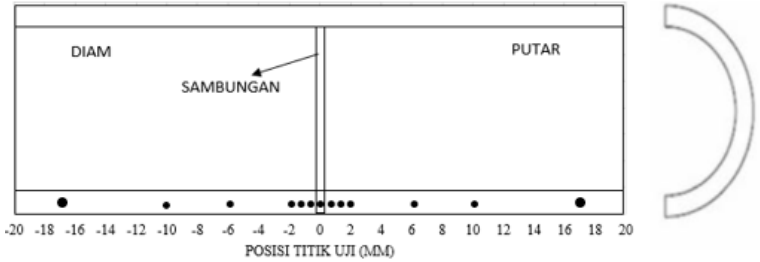

**Gambar 4.5.** Hasil foto struktur mikro pengelasan gesek similar pipa *stainless steel* 304 variasi 30, 32,5, dan 35 MPa dengan perbesaran 100x.

Pengambilan foto struktur mikro dilakukan di beberapa titik pada hasil sambungan similar pipa *stainless steel* 304 menggunakan pengelasan gesek dengan variasi tekanan gesek 30 MPa, 32,5 MPa, dan 35 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 pengalasan mengalami proses pemanasan dan pendinginan cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan struktur dan sifat material. Pada gambar 4.5 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 struktuk 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. Nugroho, dkk. (2014), mengatakan bahwa struktur mikro daerah logam induk dengan fasa austenit terlihat jelas dengan susunan butir yang besar sehingga material ini bersifat ulet.

Daerah sambungan dengan tekanan gesek 30 MPa memiliki ukuran struktur mikro yang paling besar dibandingkan dengan tekanan gesek 32,5 MPa dan 35 MPa. Pada gambar 4.5 dapat diamati ukuran butir struktur mikro daerah sambungan terlihat semakin mengecil dengan semakin besar tekanan gesek yang diberikan. Hal ini diindikasikan bahwa semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka akan semakin besar panas pengelasan yang hasilkan pada sambungan. Tekanan gesek yang semakin besar menyebabkan panjang HAZ yang semakin pendek dan ukuran butir struktur mikro semakin mengecil dan rapat. Pada daerah sambungan dengan tekanan gesek 35 MPa mengalami panas pengelasan dan pekerjaan dingin (*cold working*) yang paling tinggi dibandingkan dengan tekanan 32,5 MPa dan 35 Mpa.

## 4.3 Hasil dan Pembahasan Pengujian Kekerasan

Pada saat pengujian kekerasan hasil sambungan similar pipa *stainless steel* 304 menggunakan pengelasan gesek dengan variasi tekanan gesek 30 MPa, 32,5 MPa, dan 35 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. Posisi titik untuk pengambilan data kekerasan bisa dilihat pada gambar 4.6.




**Gambar 4.6.** Posisi titik pengujian kekerasan

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

**Tabel 4.1.** Hasil pengujian kekerasan tekanan gesek 30 MPa.

| No | Jarak dari sambungan | | d1 (µm) | d2 (µm) | d rata-rata (µm) | Kekerasan (VHN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **Putar** | 17 | 44,5 | 45 | 44,45 | 185,2 |
| 2 | | 10 | 50 | 50 | 50 | 148,4 |
| 3 | | 6 | 44 | 50 | 47 | 167,9 |
| 4 | | 2 | 43,5 | 46 | 44,75 | 185,2 |
| 5 | | 1 | 40 | 45 | 42,50 | 205,3 |
| 6 | | 0,5 | 39 | 41 | 40 | 231,8 |
| 7 | **Sambungan** | 0 | 40 | 41 | 40,5 | 226,01 |
| 8 | **Diam** | -0,5 | 43 | 43 | 43 | 200,6 |
| 9 | | -1 | 44 | 45 | 44,50 | 187,3 |
| 10 | | -2 | 45 | 46 | 45,50 | 179,1 |
| 11 | | -6 | 47 | 46 | 46,50 | 171,5 |
| 12 | | -10 | 48 | 46 | 47 | 167,9 |
| 13 | | -17 | 44 | 45 | 44,50 | 187,3 |

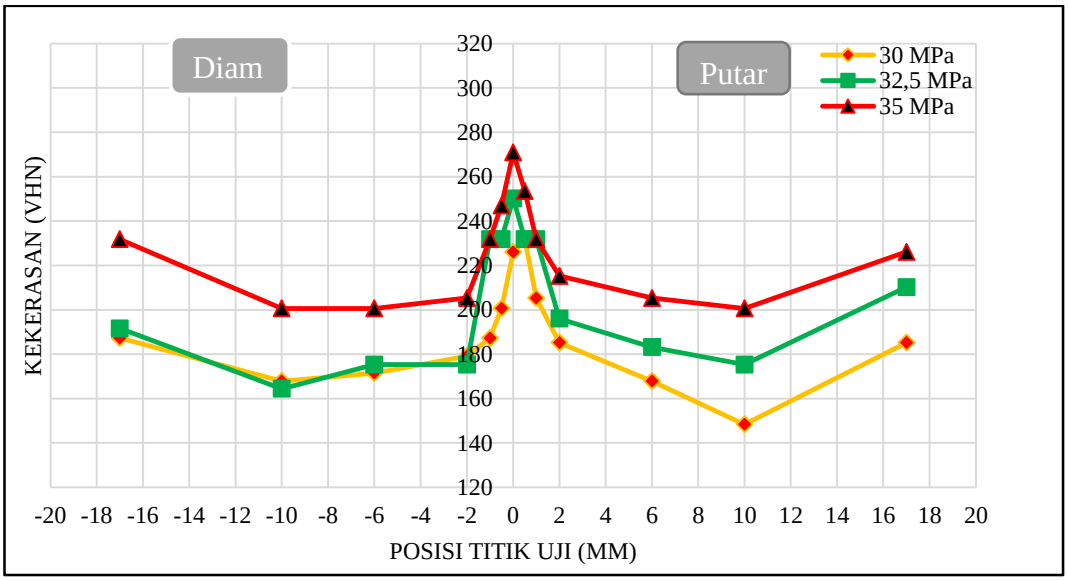
**Tabel 4.2.** Hasil pengujian kekerasan tekanan gesek 32,5 MPa.

| No | Jarak dari sambungan | | d1 (μm) | d2 (μm) | d rata-rata (μm) | Kekerasan (VHN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **Putar** | 17 | 42 | 42 | 42 | 210,2 |
| 2 | | 10 | 46 | 46 | 46 | 175,3 |
| 3 | | 6 | 45 | 45 | 45 | 183,2 |
| 4 | | 2 | 44 | 43 | 43,5 | 196 |
| 5 | | 1 | 40 | 40 | 40 | 231,8 |
| 6 | | 0,5 | 40 | 40 | 40 | 231,8 |
| 7 | **Sambungan** | 0 | 38 | 39 | 38,5 | 250,2 |
| 8 | **Diam** | -0,5 | 40 | 40 | 40 | 231,8 |
| 9 | | -1 | 40 | 40 | 40 | 231,8 |
| 10 | | -2 | 46 | 46 | 46 | 175,3 |
| 11 | | -6 | 46 | 46 | 46 | 175,3 |
| 12 | | -10 | 48 | 47 | 47,5 | 164,4 |
| 13 | | -17 | 44 | 44 | 44 | 191,6 |

**Tabel 4.3.** Hasil pengujian kekerasan tekanan gesek 35 MPa.

| No | Jarak dari sambungan | | d1 (μm) | d2 (μm) | d rata-rata (μm) | Kekerasan (VHN) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | **Putar** | 17 | 41 | 40 | 40,5 | 226,1 |
| 2 | | 10 | 43 | 43 | 43 | 200,6 |
| 3 | | 6 | 43 | 42 | 42,5 | 205,3 |
| 4 | | 2 | 41,5 | 41,5 | 41,5 | 215,3 |
| 5 | | 1 | 40 | 40 | 40 | 231,5 |
| 6 | | 0,5 | 38,5 | 38 | 38,25 | 253,5 |
| 7 | **Sambungan** | 0 | 37 | 37 | 37 | 270,9 |
| 8 | **Diam** | -0,5 | 39 | 38,5 | 38,75 | 247 |
| 9 | | -1 | 40 | 40 | 40 | 231,8 |
| 10 | | -2 | 42 | 43 | 42,5 | 205,3 |
| 11 | | -6 | 43 | 43 | 43 | 200,6 |
| 12 | | -10 | 43 | 43 | 43 | 200,6 |
| 13 | | -17 | 40 | 40 | 40 | 231,8 |

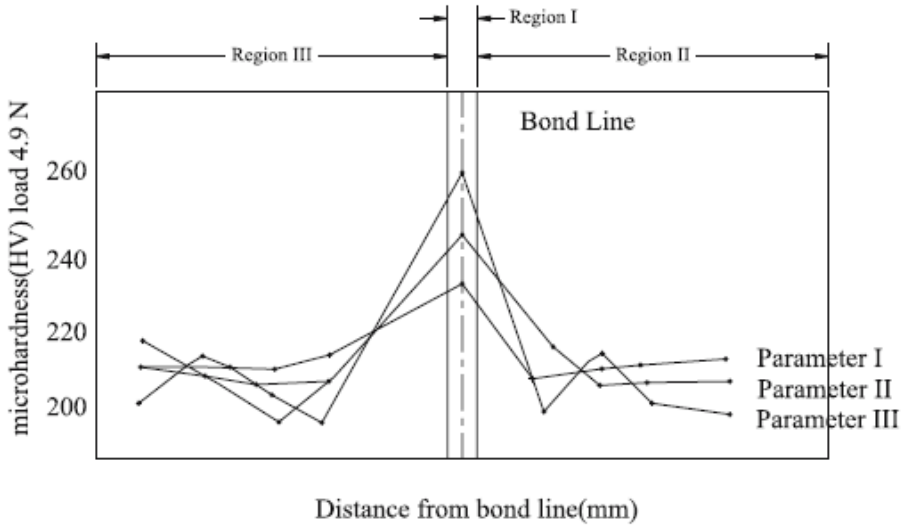
Supaya mempermudah pembahasan, maka akan ditampilakan grafik hasil pengujian kekerasan variasi tekanan gesek 30 MPa, 32,5 MPa, dan 35 MPa. Grafik pengujian kekerasan dari sambungan similar pipa *stainless steel* 304 bisa dilihat pada gambar 4.7.




**Gambar 4.7.** Grafik hasil pengujian kekerasan

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 226,01 VHN, nilai kekerasan pada daerah sambungan variasi tekanan gesek 32,5 MPa yaitu sebesar 250,2 VHN, dan nilai kekerasan pada daerah sambungan variasi tekanan gesek 35 MPa yaitu sebesar 270,9 VHN. 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 sehingga menurunkan tingkat keuletan pada sambungan las.

Hasil penelitian Sathiya, dkk. (2005), dalam penelian hasil pengujian kekerasannya menjelaskan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka kekerasan pada daerah sambungan akan semakin tinggi. Dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian nilai kekerasannya memiliki kemiripan dengan penelitian ini dan untuk hasil kekerasan tertinggi memiliki selisih yang tidak banyak. Hasil kekerasan tertinggi daerah sambungan pada penelitian ini yaitu 270,9 VHN dengan variasi tekanan gesek 35 MPa dan hasil kekerasan terendah yaitu 226,01 VHN dengan variasi tekanan gesek 30 MPa. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada penelitian Sathiya, dkk. (2005) yaitu 260 VHN pada tekanan gesek 2 MPa dengan waktu gesek 8 detik dan hasil kekerasan terendah yaitu 235 VHN pada tekanan gesek 1,5 MPa dengan waktu gesek 3 detik.

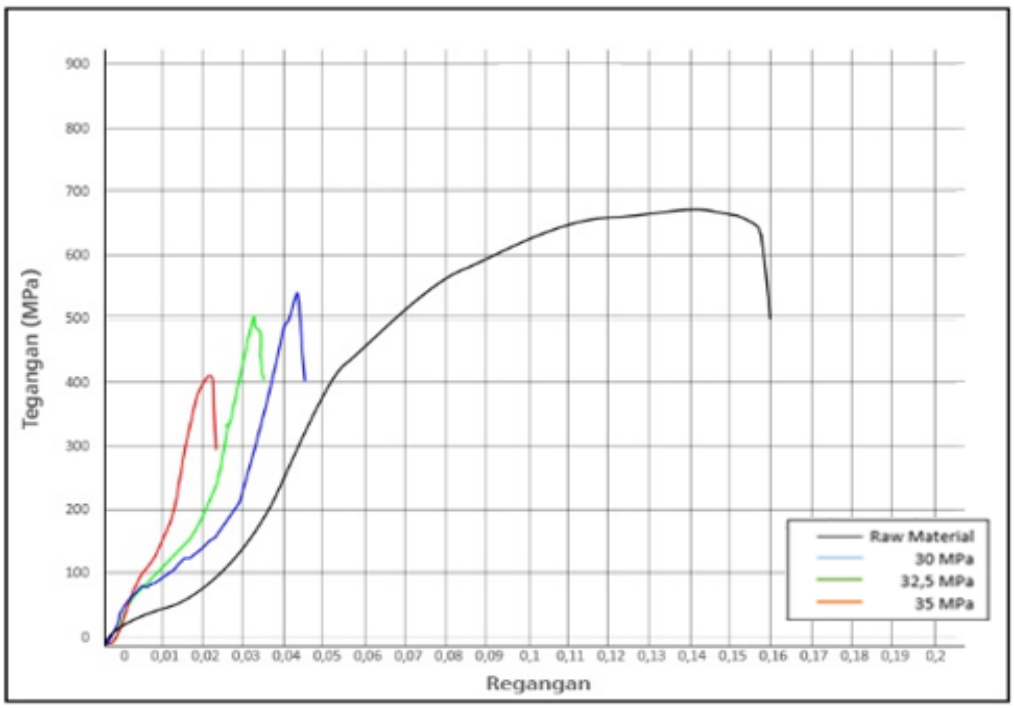



**Gambar 4.8.** Distribusi kekerasan mikro sambungan SS 304 (Sathiya, dkk. 2005)

## 4.4 Hasil dan Pembahasan Pengujian Tarik

Setelah melakukan proses pengelasan gesek dan pembubutan pada sambungan similar pipa *stainless steel* 304 dengan variasi 30 MPa, 32,5 MPa, dan 35 MPa, akan dilanjutkan dengan proses pengujian tarik. Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan 3 kali pengujian dari masing-masing variasi tekanan gesek.

**Gambar 4.9.** Hasil patahan spesimen uji tarik

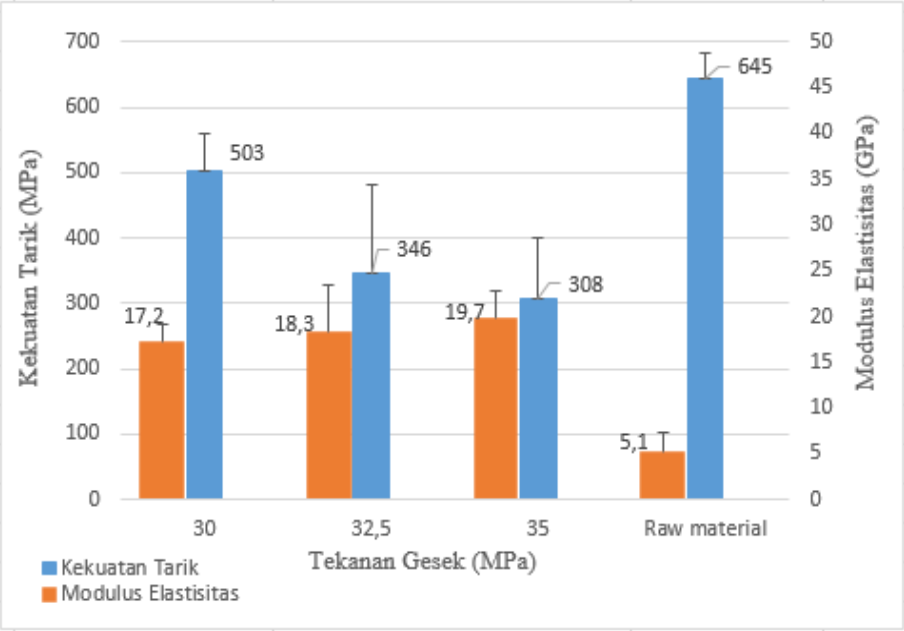



**Gambar 4.10.** Diagram regangan terhadap tegangan hasil uji tarik

Gambar 4.10 menujukan bahwa hasil kekuatan tarik pada raw material pipa *stainless steel* 304 lebih besar dibandingkan kekuatan tarik dari hasil sambungan dengan variasi tekanan gesek. Gambar 4.9 menjelaskan bahwa raw material mengalami bentuk patahan ulet yang ditunjukan 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, 32,5, 35 MPa dengan putaran mesin 1000 rpm.

| No | Tekanan Gesek (MPa) | Waktu Gesek rata-rata (detik) | Kekuatan Tarik rata-rata (MPa) ± SD | Modulus Elastisitas (GPa) ± SD | Regangan (%) ± SD |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 1 | 503 ± 57 | 17,2 ± 1,9 | 3 ± 0,4 |
| 2 | 32,5 | 0,7 | 346 ± 136 | 18,3 ± 5 | 2 ± 1 |
| 3 | 35 | 0,5 | 308 ± 91 | 19,7 ± 3,1 | 1,6 ± 0,57 |
| 4 | Raw material | - | 645 ± 39,5 | 5,1 ± 2,1 | 13 ± 0,7 |

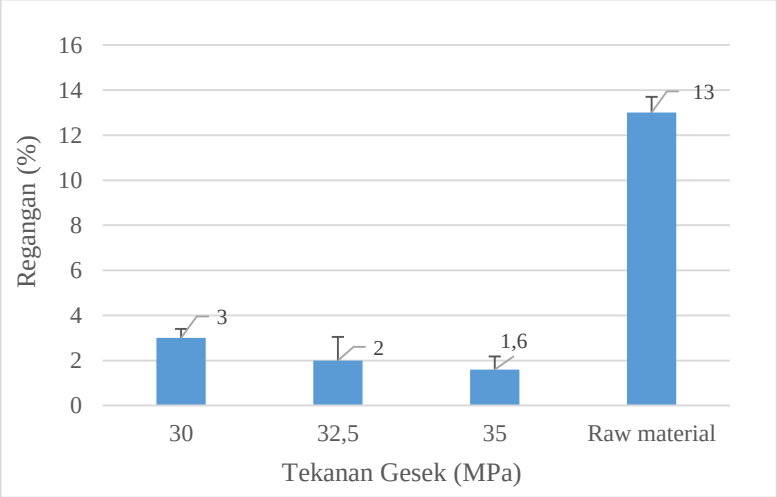



**Gambar 4.11.** Diagram tekanan gesek terhadap kekutan tarik dan modulus elastisitas

Gambar 4.11 menunjukan bahwa hasil kekuatan tarik semakin menurun seiring dengan meningkatnya tekanan gesek yang diberikan. Hal ini diindikasikan bahwa pada penelitian ini variasi tekanan gesek 30 MPa telah mencapai kekuatan tarik maksimum, sehingga dengan ditambahkan tekanan gesek yang lebih besar 32,5 MPa dan 35 MPa hasil kekuatan tariknya akan semakin menurun. Variasi tekanan gesek 30 MPa kekuatan tariknya sebesar 503 MPa, variasi tekanan gesek 32,5 MPa kekuatan tariknya sebesar 346 MPa, dan variasi tekanan gesek 35 MPa kekuatan tariknya sebesar 308 MPa. Kekuatan tarik hasil sambungan las gesek pipa *stainless steel* 304 masih lebih rendah dari pada kekuatan tarik pipa *stainless steel* 304 tanpa sambungan yaitu sebesar 645 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 menyababkan kekuatan daerah sambungan berkurang karena pembentukan fase rapuh pada sambungan *interface*. Dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian kekuatan tarik dari penelitian Dey, dkk. (2009), memiliki kemiripan dengan penelitian ini dan untuk hasil kekuatan tarik tertinggi memiliki selisih yang cukup banyak. Hasil kekutan tarik tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 503 MPa dengan tekanan gesek 30 MPa dan kekuatan tarik terendah yaitu sebesar 308 MPa dengan tekanan gesek 35 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 4.11 juga menunjukan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka hasil modulus elastisitas semakin besar. variasi tekanan gesek 30 MPa memiliki modulus elastisitas 17,2 GPa, tekanan gesek 32,5 MPa memiliki modulus elastisitas 18,3 GPa, tekanan gesek 35 MPa memiliki modulus elastisitas 19,7 GPa. Hal ini diindikasikan pada daerah sambungan variasi tekanan gesek 35 MPa memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan variasai tekanan gesek yang lain.




**Gambar 4.12.** Diagram tekanan gesek terhadap regangan

Gambar 4.12 menunjukan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka makan nilai regangan akan semakin kecil. Hasil nilai regangan berbanding lurus dengan nilai kekuatan tarik. Nilai regangan tertinggi pada tekanan gesek 30 MPa yaitu 3% lebih kecil dari nilai regangan pada raw material yaitu 13%. 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 menyababkan kekuatan tarik menurun.