

**PENGARUH TEKANAN GESEK TERHADAP SIFAT TARIK,
STRUKTUR MIKRO, DAN KEKERASAN PADA SAMBUNGAN LOGAM
PIPA STAINLESS STEEL 304 DENGAN METODE
PENGELASAN GESEK (*FRICTION WELDING*)**

Aditya Riesandy^(a), Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D.^(b), Totok Suwanda, S.T., M.T.^(c)

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

Email: Aditya.riesandy96@gmail.com

Intisari

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah proses penyambungan suatu material dengan memanfaatkan tekanan dan panas yang muncul dari hasil gesekan kedua permukaan benda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan gesek terhadap sifat tarik, struktur mikro, dan kekerasan pada sambungan hasil pengelasan gesek (*friction welding*). Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa *stainless steel* 304. Bahan dipotong sepanjang 72 mm menggunakan gergaji besi.

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan memvariasi tekanan gesek 30 MPa, 32,5 MPa, dan 35 MPa. Kecepatan putaran pada mesin las gesek konstan yaitu 1000 rpm. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian kekuatan tarik, pengujian metalografi, dan pengujian kekerasan.

Hasil dari penelitian ini adalah semakin meningkatnya tekanan gesek yang diberikan ukuran butir struktur mikro daerah sambungan hasil pengelasan gesek semakin mengecil dan hasil kekerasan daerah sambungan semakin besar. Hasil kekerasan tertinggi daerah sambungan sebesar 270,9 VHN terdapat pada variasi tekanan gesek 35 MPa, kekerasan terendah daerah sambungan sebesar 226,01 VHN terdapat pada variasi tekanan gesek 30 MPa. Hasil kekuatan tarik tertinggi sebesar 503 MPa terdapat pada tekanan gesek 30 MPa namun masih lebih rendah dari hasil kekuatan tarik pada raw material yaitu sebesar 645 MPa.

Kata kunci: Pengelasan Gesek, *Stainless Steel* 304, kekuatan tarik, struktur mikro, kekerasan.

Abstract

Friction welding is a process of joining materials by utilizing pressure and heat obtained from the friction results of both surfaces of the object. This study aims to know the influence of friction strength on tensile properties, microstructure, and hardness on the connection of friction welding. The material used in this research is stainless steel 304 pipe. Material cut along 72 mm using hacksaw.

Parameter used in this research is with variation of friction strength 30 MPa, 32,5 MPa, and 35 MPa. Rotation speed at constant friction welding machine is 1000 rpm. Tests conducted in this study are the testing of tensile strength, metallographic testing, and hardness testing.

The result of this research is the increasing of friction strength given the grain size of the micro structure of the friction welding interface area decreases and the hardness of interface area becomes bigger. The highest hardness of interface area is found in the variation of 35 MPa friction strength that is 270,9 VHN, the lowest hardness at 30 MPa friction strength is 226,01 VHN. The result of highest tensile strength at friction pressure of 30 MPa is 503 MPa but still lower than result of tensile strength at raw material that is equal to 645 MPa.

Key words : *Friction Welding, Stainless Steel 304, Tensile Strength, Micro Structure, hardness.*

1. Pendahuluan

Stainless steel atau biasa disebut baja tahan karat yang memiliki titik lebur hingga 1100 °C merupakan salah satu material yang banyak diteliti karena penggunaannya yang sudah banyak di dunia industri. Pengelasan fusi sering digunakan dalam pengelasan *stainless steel*, namun pengelasan fusi memiliki kekurangan yaitu hasil pengaruh panas (HAZ) yang panjang dan memerlukan keahlian khusus dalam pelaksanaannya. Pengelasan *stainless steel* juga dapat dilakukan dengan pengelasan gesek (*friction welding*) yang mampu menyambungkan dua buah material dengan hasil pengelasan pada permukaan bahan terkena secara merata dan hasil HAZ yang pendek.

Pengelasan gesek (*friction welding*) merupakan salah satu metode proses pengelasan jenis *solid state welding*. Dua logam yang digesek akan menimbulkan panas, sehingga dengan memanfaatkan tekanan dan panas maka kedua logam tersebut dapat tersambung. Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah suatu proses yang menghasilkan sambungan pada suatu bahan yang terkena efek panas pengelasan, dengan menggunakan panas yang dikembangkan di antara permukaan melalui kombinasi gerakan menggosok mekanis dan tekanan tempa. Logam pengisi, fluks, dan perisai gas tidak diperlukan di dalam proses ini (*Manufacturing Technology, Inc.* 1976).

Penggunaan teknologi las gesek sudah mulai banyak digunakan karena mudah dioperasikan, proses operasinya cepat, tidak memerlukan logam pengisi, dan hasil sambungannya kuat. Proses pengoperasiannya mudah dan cepat karena bentuk mesin las gesek menyerupai mesin bubut, sehingga hanya memerlukan waktu gesek yang relatif cepat.

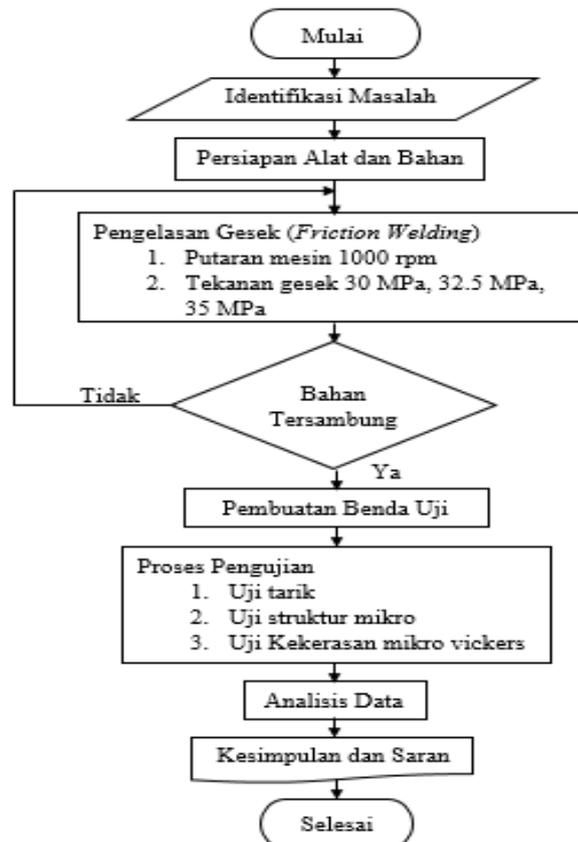
Shubhsvardhan, dkk. (2012), melakukan penelitian tentang pengelasan gesek sambungan disimilar aluminium dan *stainless steel* AISI 304. Parameter dalam penelitian ini menggunakan variasi tekanan gesek 65, 104, 156 MPa, waktu gesek 3, 5, 7 detik dan tekanan tempa 310 MPa, waktu tempa 6 detik dengan putaran mesin las gesek 1400 rpm. Sampel diuji dengan uji metallografi dan uji sifat mekanik. Hasil penelitiannya menjelaskan bahwa kekuatan tarik meningkat dan kemudian menurun setelah mencapai nilai maksimum, dengan meningkatnya tekanan gesek yang diberikan.

Sanyoto, dkk. (2012), melakukan penelitian penerapan teknologi las gesek dalam proses penyambungan dua buah pipa logam baja karbon rendah. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi waktu gesek 15, 20, 25, 30, dan 35 detik, tekanan gesek 1,47 MPa dan tekanan tempa 6,86 MPa, dengan putaran mesin 4125 rpm. Sampel diuji dengan pengujian metallografi dan uji kekerasan. Hasil penelitian disimpulkan bahwa semakin tinggi waktu gesek maka panas yang dihasilkan akan semakin tinggi. Semakin meningkatnya temperatur maka nilai upset yang terjadi akan semakin besar sehingga mengakibatkan sample benda ujinya semakin pendek. Struktur mikro pada sambungan tidak banyak mengalami perubahan, yang artinya tidak banyak terjadi perubahan sifat mekanik.

Nugroho, dkk. (2014), melakukan penelitian tentang sifat mekanis dan struktur mikro pengelasan gesek similar *stainless steel* AISI 304. Parameter yang digunakan adalah putaran mesin las gesek 100 rpm, dengan variasi tekanan gesek 1,38-4,14 MPa, dan tekanan tempa 6,90-8,27 MPa. Sampel uji diuji dengan pengujian struktur mikro dan uji tarik. Penelitian ini tidak melakukan pengujian kekerasan pada sampel uji. Kesimpulan yang didapatkan adalah semakin besar tekanan gesek yang diberikan maka waktu gesek akan semakin cepat. Kekuatan tarik pengelasan gesek lebih kecil dari kekuatan tarik *stainless steel* tanpa sambungan (*raw*) dimana kekuatan tarik akan menurun seiring dengan penurunan tekanan tempa Struktur mikro daerah las berfasa austenit berbutir kecil, daerah HAZ berfasa austenit berbutir lebih besar, dan daerah *base metal* berbutir besar dengan fasa austenite

Dari penelitian yang telah dilakukan informasi tentang sifat mekanis pada pengelasan gesek similar pipa *stainless steel* 304 tergolong jarang, Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik struktur mikro dan sifat mekanis pada sambungan similar logam pipa *stainless steel* 304 menggunakan metode pengelasan gesek.

2. Metode Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Parameter yang digunakan untuk acuan dalam pelaksanaan penelitian pada pengelasan gesek (*friction welding*) menggunakan variasi tekanan gesek terhadap struktur mikro, kekerasan, dan sifat tarik dengan bahan pipa *stainless steel* 304. Penelitian ini hanya memvariasi tekanan gesek yaitu 30 MPa, 32,5 MPa, 35 MPa. Sedangkan parameter lain yang digunakan seperti putaran konstan pada mesin las gesek yaitu 1000 rpm. Pengelasan dilakukan sebanyak 4 kali pada setiap variasi tekanan gesek. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pipa *Stainless steel* 304 berukuran ½ inc dengan diameter luar 21,5 mm dan diameter dalam 17,5 mm.

Pada penelitian ini terdapat beberapa proses yang dimulai dari persiapan alat dan bahan. Alat yang digunakan yaitu *stopwatch*, *pressure gauge*, jangka sorong. Kalibrasi mesin las gesek bertujuan untuk mendapatkan hasil pengujian sesuai dengan parameter yang diinginkan. Variasi pada pengujian adalah variasi tekanan. Kalibrasi dilakukan dengan cara penekanan pegas untuk mengetahui besar tekanan yang diberikan dengan penyetelan katup *pressure gauge*. Proses ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tekanan setiap dilakukan pembukaan katup secara bervariasi.

Proses pembuatan spesimen material pipa *stainless steel* 304 dipotong sepanjang 72 mm menggunakan gergaji besi lalu permukaan spesimen di ratakan dengan proses pembubutan. Proses pengelasan gesek dilakukan dengan memasang spesimen pada cekam diam dan cekam berputar. Mesin berputar pada cekam putar dengan kecepatan 1000 rpm kemudian pada cekam diam diberi tekanan 30 MPa lalu diarahkan ke arah cekam berputar dan terjadi gesekan yang menimbulkan panas sehingga kedua spesimen tersambung. Selanjutnya mengulangi proses tersebut dengan parameter tekanan 32,5 MPa dan 35 MPa.

A. Pengujian Metallografi

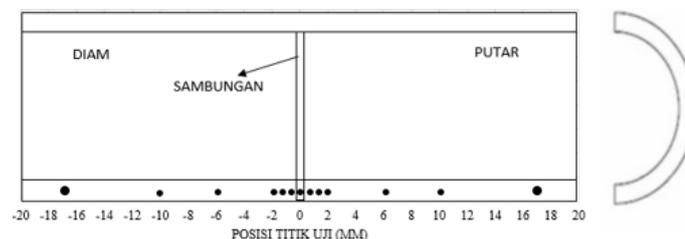
Pengujian metallografi berfungsi untuk menampilkan gambar dari struktur mikro hasil penyambungan benda uji dengan pengelasan gesek. Gambar struktur mikro tersebut dapat diteliti lebih lanjut mengenai hubungan bentuk struktur mikro dengan sifat logam benda uji tersebut. Benda uji yang sudah tersersambung dipotong menggunakan gergaji besi, hasil potongan spesimen uji bisa dilihat pada gambar 4. (a). Spesimen uji dibelah menjadi dua bagian menggunakan gergaji besi seperti yang terlihat pada gambar 4. (b). Spesimen uji yang sudah terbelah kemudian dicetak dengan resin dan katalis, hasil spesimen uji struktur mikro dan kekerasan bisa dilihat pada gambar 4. (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 $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ dengan perbandingan 3:1, setelah itu dilakukan pengujian struktur mikro dengan perbesaran 100x.



Gambar 2. (a) Hasil Potongan spesimen uji, (b) Hasil potongan melintang spesimen uji, dan (c) Hasil mounting spesimen uji.

B. Pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan vikers yang berfungsi untuk mengetahui hasil kekerasan pada spesimen uji. Hasil spesimen uji pada gambar 2 (b) dilakukan pengujian vikers kekerasan dengan pembebanan 200 gf.



Gambar 3. Posisi titik pengujian kekerasan

C. Pengujian tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini menggunakan mesin uji tarik *Universal Testing Machine* (UTM) yang berfungsi untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Hasil 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 JIZ Z 2201.

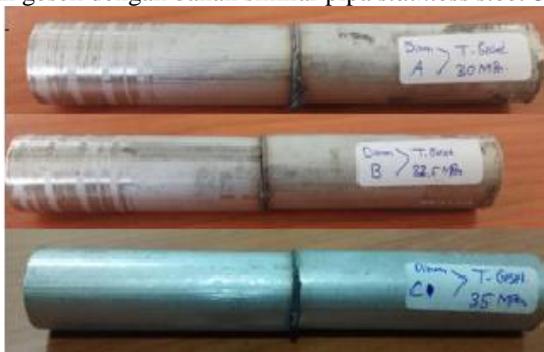


Gambar 4. Spesimen pengujian tarik

3. Hasil dan Pembahasan

A. Hasil dari pengelasan gesek

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

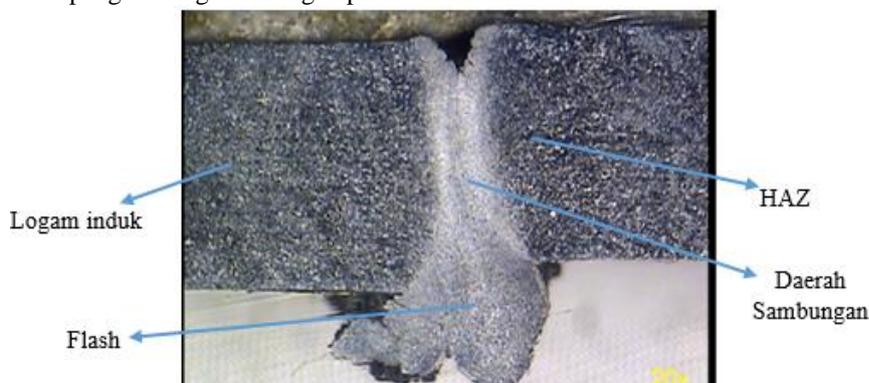


Gambar 5. Hasil pengelasan gesek similar pipa *stainless steel* 304

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 5 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)

B. Hasil Struktur Mikro

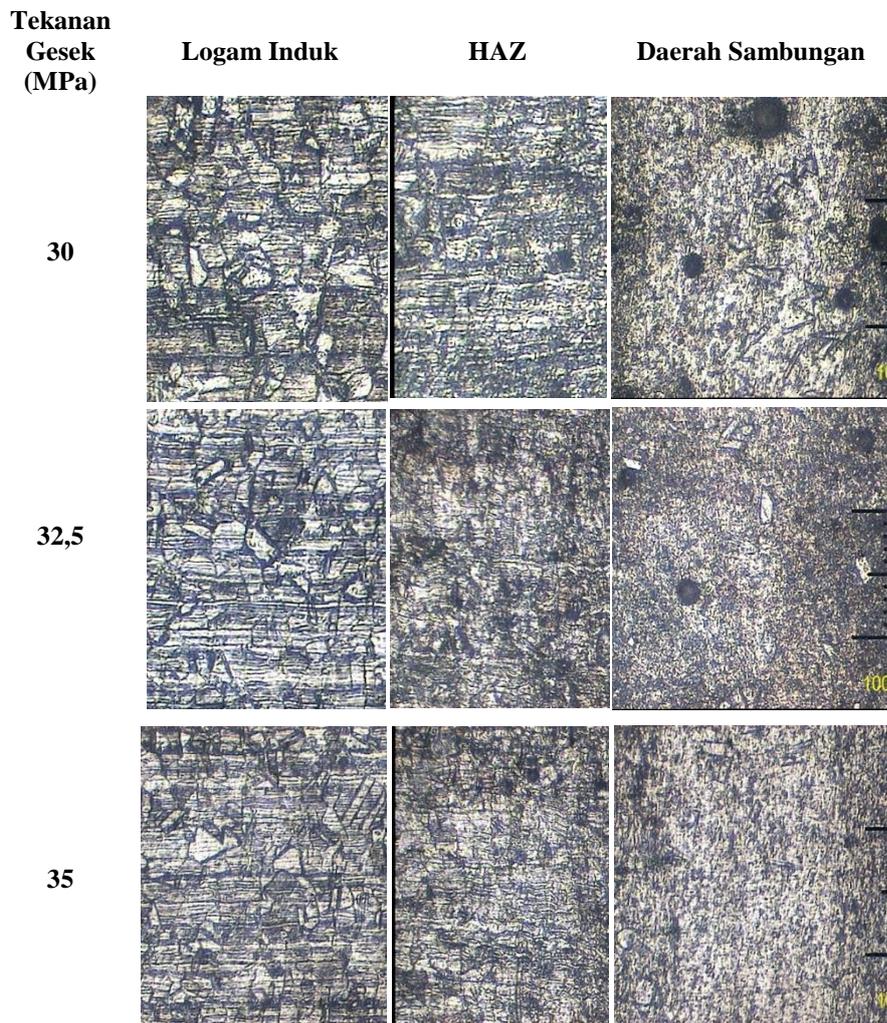
Berikut ini adalah hasil foto makro sambungan similar pipa *stainless steel* 304 menggunakan pengelasan gesek dengan perbesaran 20x.



Gambar 6. Hasil foto makro sambungan similar pipa *stainless steel* 304.

Pada gambar 6. 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 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.



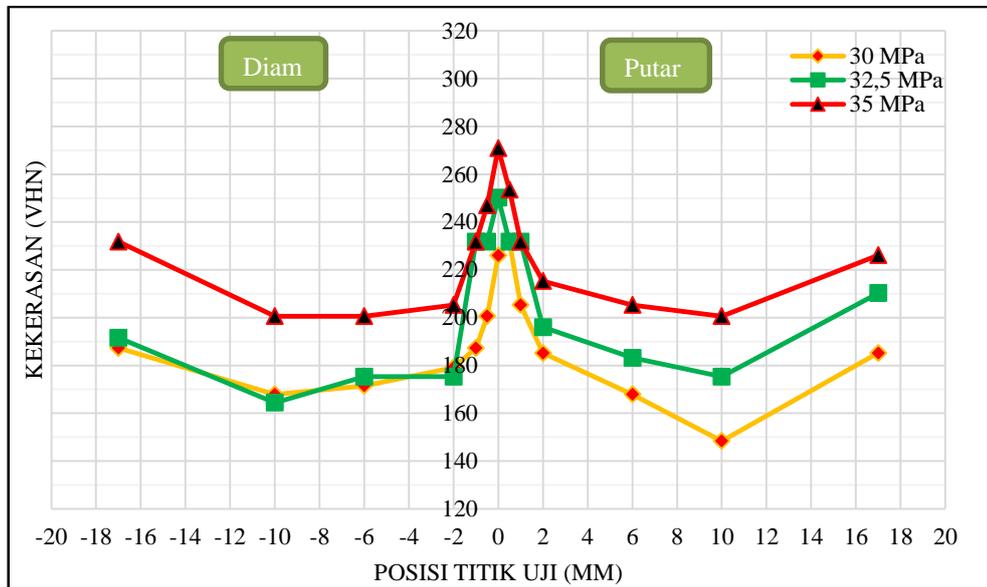
Gambar 7. Hasil foto struktur mikro pengelasan gesek similar pipa *stainless steel* 304

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 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. 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 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 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.

C. Hasil pengujian Kekerasan

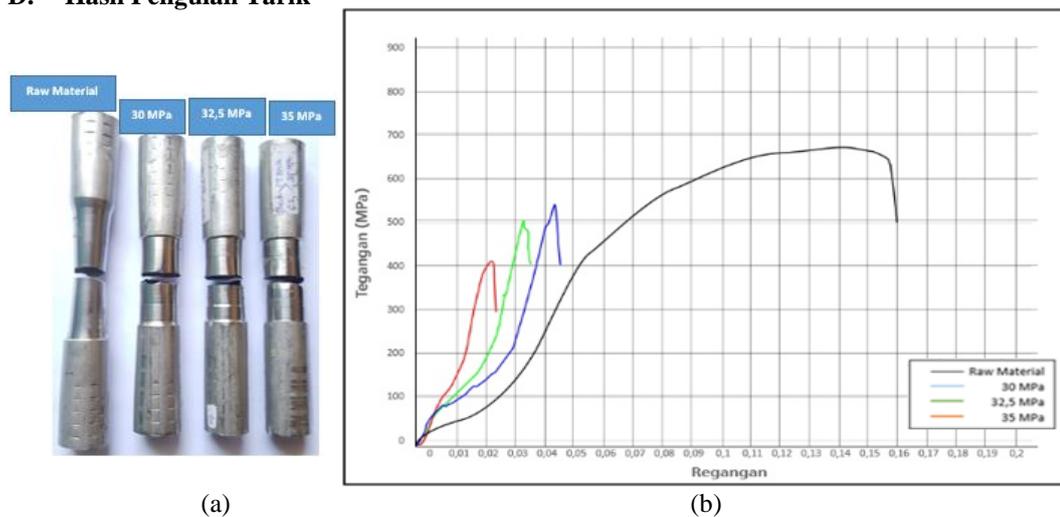
Pengujian menggunakan uji kekerasan *micro vikers* dengan beban 200 gf selama 5 detik. Hasil nilai kekerasan dari sambungan similar pipa *stainless steel 304* menggunakan pengelasan gesek. Supaya mempermudah pembahasan, maka akan ditampilkan grafik hasil pengujian kekerasan variasi tekanan gesek 30 MPa, 32,5 MPa, dan 35 MPa. Grafik pengujian kekerasan dari sambungan similar pipa *stainless steel 304*.



Gambar 8. Grafik hasil pengujian kekerasan

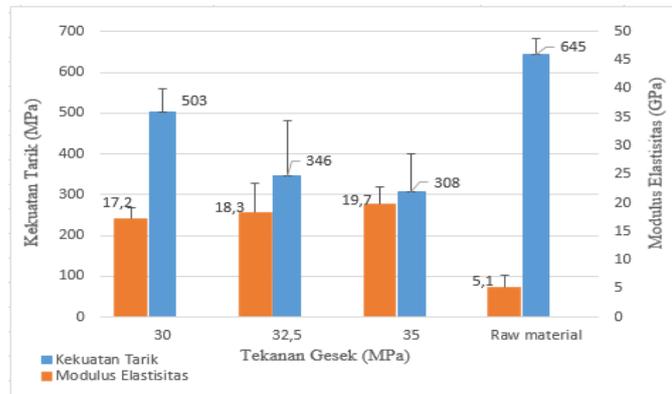
Pada gambar 8. dapat diamati bahwa hasil kekerasan pada daerah sambungan terlihat semakin tinggi dengan semakin besarnya tekanan gesek yang diberikan. Nilai kekerasan pada daerah sambungan variasi tekanan gesek 30 MPa, 32,5 MPa, dan 35 MPa yaitu sebesar 226,01 VHN, dan 250,2 dan 270,9 VHN. Hal ini diindikasikan 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.

D. Hasil Penguian Tarik

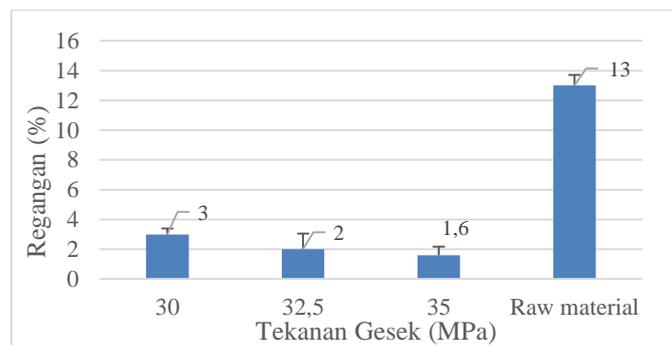


(a) Hasil patahan spesimen uji tarik
(b) Diagram regangan terhadap tegangan

Gambar 9.(a) menunjukan bahwa hasil kekuatan tarik pada raw material pipa *stainless steel* 304 lebih besar dibandingkan kekuatan tarik dari hasil sambungan dengan variasi tekanan gesek. Gambar 9.(b) 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.



Gambar 10. Diagram tekanan gesek terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas



Gambar 11. Diagram tekanan gesek terhadap regangan

Gambar 10. 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 kekuatannya akan semakin menurun. Variasi tekanan gesek 30 MPa kekuatannya sebesar 503 MPa, variasi tekanan gesek 32,5 MPa kekuatannya sebesar 346 MPa, dan variasi tekanan gesek 35 MPa kekuatannya 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. Pada gambar 10. 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 30 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 variasi tekanan gesek yang lain. Gambar 11. menunjukan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka 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 menyebabkan kekuatan tarik menurun.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh tekanan gesek terhadap sifat tarik, struktur mikro, dan kekerasan pada sambungan logam pipa *stainless steel* 304 dengan metode pengelasan gesek (*friction welding*) yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. 645 Daerah sambungan memiliki butir struktur mikro yang paling kecil dibandingkan pada daerah HAZ dan daerah logam induk. Semakin meningkatnya tekanan gesek yang diberikan ukuran butir struktur mikro daerah sambungan akan semakin mengecil dan nilai kekerasan pada daerah sambungan akan semakin besar.
2. Hasil kekerasan tertinggi daerah sambungan sebesar 270,9 VHN terdapat pada variasi tekanan gesek 35 MPa, dan hasil kekerasan terendah daerah sambungan sebesar 226,01 VHN terdapat pada variasi tekanan gesek 30 MPa.
3. Semakin tinggi tekanan gesek yang diberikan maka akan semakin rendah kekuatan tarik yang diperoleh. Hasil kekuatan tarik tertinggi sebesar 503 MPa terdapat pada tekanan gesek 30 MPa, dan kekuatan tarik terendah sebesar 308 MPa terdapat pada tekanan gesek 35 MPa. Kekuatan tarik hasil sambungan las gesek pipa *stainless steel* 304 masih lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik pipa *stainless steel* 304 tanpa sambungan yaitu sebesar MPa.

Daftar Pustaka

- Dey, H., Ashfaq, M., Bhaduri, A., and Rao, K. 2009. "Joining of titanium to 304L stainless steel by friction welding". *Journal of Materials Processing Technology* 209. www.elsevier.com/locate/jmatprotec.
- Husodo, N., Luwar, B., Astono, H., Bangun, S., dan Hidayat, R. 2015. "Analisa Kekuatan Sambungan Pipa Baja Karbon dan Besi Cor Berbasis Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*)". Surabaya: *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol. 8, No. 2*.
- Japanese Industrial Standards Association, 1980. Standard Book of JIS: JIS Z 2201. Japanese Industrial Standard Association. Tokyo.
- Laksono, H. W., dan Sugiyanto. 2014. "Analisa Hasil Pengelasan Gesek Pada Sambungan Sama Jenis Baja St 60, Sama Jenis Aisi 201, Dan Beda Jenis Baja St 60 Dengan Aisi 201". Semarang: *Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 2, No. 1*.
- Nugroho, A. W., Suwanda, T., dan Irwanto, F. 2014. "Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pengelasan Gesek Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304". *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika, Vol. 17, No. 1*, 83-90.
- Sahin, M. 2006. "Evaluation of the joint-interface properties of austenitic-stainless steels (AISI 304) joined by friction welding". *Materials and Design* 28, 2244–2250.
- Santoyo, B., Husodo, N., Setyawati, S., dan Mursid, M. 2012. "Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) dalam Proses Penyambungan Dua Buah Pipa Logam Baja Karbon Rendah". Surabaya: *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.5, No.1*.
- Sathiya, P., Aravindan, S., and Noorul, A. 2005. "Mechanical and metallurgical properties of friction welded AISI 304 austenitic stainless steel". *Int J Adv Manuf Technol* 26: 505–511
- Shubhavardhan, R. N., and Surendran, S. 2012. "Friction Welding to Join Dissimilar Metals". *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, Vol 2).