

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

**Luxman Tika Dhanur Satria Jati(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: Luxmantika11@gmail.com

Intisari

Pengelasan gesek adalah salah satu metode penyambungan material benda kerja dengan menggunakan panas yang timbul dari gesekan antara permukaan benda kerja. Panas ini timbul karena adanya gesekan antara kedua material benda kerja yang diam dan bergerak, kemudian ditekan menggunakan gaya tekanan yang sudah di atur. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan gesekan pada *friction welding* untuk bahan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada sambungan pipa tersebut.

Material yang digunakan adalah pipa *stainless steel* 304 dengan panjang 75-80mm dengan diameter 21.5mm dan tebal 2mm, dan pipa kuningan berdiameter 22mm dengan ketebalan 1.5mm. *Friction welding* dilakukan dengan memanfaatkan putaran mesin bubut, pada kecepatan 1000rpm dan menggunakan tekanan gesek sebesar 30, 40, dan 50 MPa. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui struktur, nilai kekerasan, dan kekuatan tarik pada sambungan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan.

Hasil dari penelitian ini adalah semakin meningkatnya tekanan gesek yang diberikan ukuran butir struktur mikro daerah sambungan hasil pengelasan gesek semakin mengecil. Nilai kekerasan tertinggi daerah sambungan untuk pipa kuningan terdapat pada variasi tekanan gesek 30 MPa yaitu sebesar 114.2 VHN, dan untuk pipa *stainless steel* terdapat pada variasi tekanan 40 MPa dengan kekerasan 237.7 VHN. kekerasan terendah pada sambungan pipa kuningan terdapat pada variasi tekanan gesek 40 dan 50 MPa yaitu sebesar 103.0 VHN dan untuk pipa *stainless steel* pada variasi tekanan 30 MPa yaitu sebesar 220.6 VHN. Hasil kekuatan tarik tertinggi pada tekanan gesek 40 MPa yaitu sebesar 304.67 MPa namun masih lebih rendah dari hasil kekuatan tarik pada raw material *stainless steel* yaitu sebesar 605 MPa, dan raw material kuningan sebesar 497.32 MPa. Variasi tekanan gesek yang direkomendasikan dalam penelitian ini adalah tekanan gesek 40 MPa ditinjau dari hasil pengujian kekuatan tarik yang diperoleh.

Kata Kunci : Pengelasan Gesek, Pipa *Stainless Steel* 304, Pipa Kuningan, Kekuatan Tarik, Struktur Mikro, Kekerasan.

1. Pendahuluan

Pengelasan sebagai media penyambungan material logam serta konstruksi semakin banyak digunakan. Banyaknya penggunaan las sebagai metode penyambungan karena hasilnya lebih baik dari segi kekuatan dan kerapatan dibandingkan dengan metode penyambungan lainnya. Semakin berkembangnya teknologi, maka proses pengelasan juga semakin banyak dan bervariasi. Pengelasan gesek (*Friction Welding*) adalah salah satu metode pengelasan yang masih baru dan masih sedikit penelitian yang membahas tentang metode pengelasan ini.

Pengelasan gesek adalah metode penyambungan bahan material dengan menggunakan panas yang timbul dari gesekan permukaan kedua material. Secara metalurgi penyambungan ini terjadi karena panas yang timbul pada permukaan material yang kemudian ditekan dengan gaya tertentu. Kecepatan putaran juga mempengaruhi hasil dari penyambungan material tersebut. Penyambungan terjadi saat kedua permukaan material telah mencapai titik leleh, sehingga material yang mencair tidak terlalu banyak karena hanya terjadi pada permukaannya saja.

Beberapa parameter penelitian yang biasa digunakan dalam metode pengelasan gesek salah satunya adalah dengan menggunakan variasi bahan, waktu atau tekanan. Chen dkk, (2015). Melakukan pengelasan gesek menggunakan material pipa berdimensi kecil Al3003 dan pipa tembaga murni dengan ketebalan yang tipis (Al: 1,5 mm; Cu: 1 mm) dan diameter (19 mm)

berhasil digabungkan dengan metode pengelasan yang dikembangkan dengan sistem pengelasan gesekan aduk yang dirancang khusus (*Friction Stir Welding*). Dari hasil penelitian tersebut didapatkan suhu pengelasan terus meningkat pada suhu 220°C pertama dari pengelasan melingkar dan relatif stabil untuk rotasi 140°C berikut. Untuk rotasi 40° terakhir pengelasan, suhu pengelasan menurun karena penurunan ketebalan yang disebabkan oleh lasan pengelasan pertama. Pada spesimen uji tarik juga tidak ditemukan retak di daerah patahan Al / Cu, terdapat fraktur getas di dekat permukaan Al / Cu yang mengarah ke sisi permukaan Al dan keuletan menurun sebesar 3%.

Nugroho dkk, (2016) melakukan penelitian dengan menggunakan parameter waktu gesek 25, 30, 40, 60, dan 70 detik dilakukan untuk meneliti mikrostruktur dan kekerasan sambungan pada pipa Tembaga dengan pipa Kuningan (Cu/Cu-Zn), hasil penelitian tersebut 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.

Nugroho dkk, (2015) melakukan penelitian menggunakan parameter tekanan gesek sebesar 1.38 – 4.14 Mpa dan 6.90 – 8.27 Mpa telah dilakukan untuk meneliti tentang sifat mikrostruktur dan kekuatan pengelasan dari sambungan las gesek dengan menggunakan material *austenitic stainless* (AISI 304). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terjadi porositas di daerah sambungan/ikatannya, ketika tekanan gesek meningkat daerah yang berubah bentuk sepenuhnya plastis mengalami peningkatan.

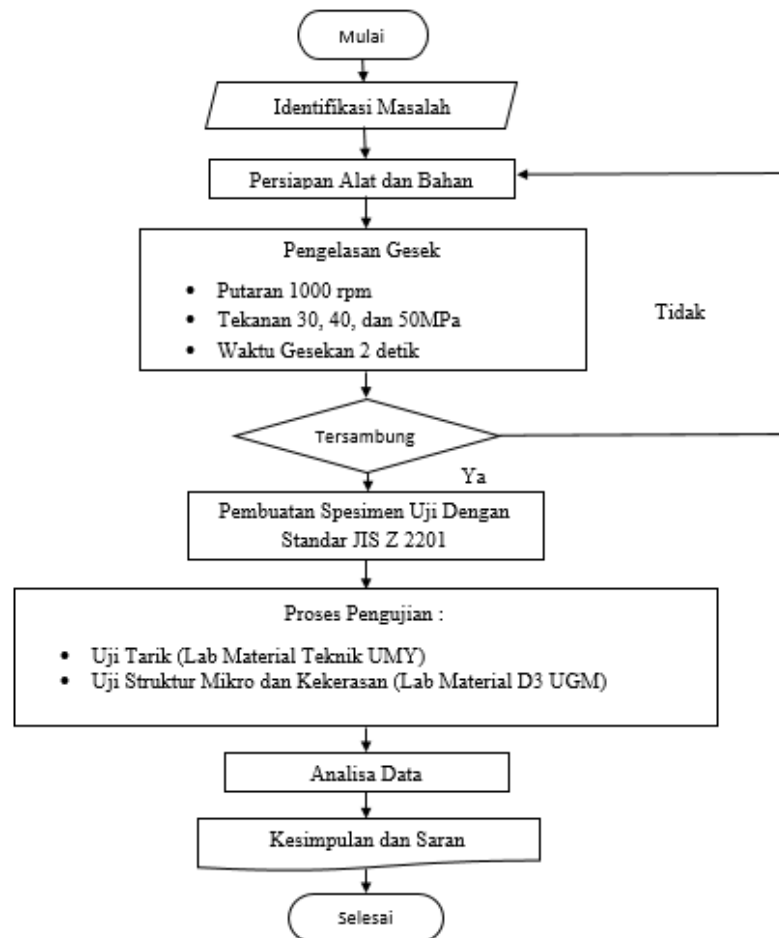
Park, dkk (2004), Melakukan penelitian tentang karakteristik struktur mikro dan sifat mekanis dengan menggunakan metode sambungan las gesek (*Friction Stir Welding*) dengan bahan paduan Cu-Zn (60/40 kuningan). Dari penelitian tersebut didapatkan hasil daerah sambungan lasan bebas cacat, hasil ini diperoleh dalam kondisi pengelasan yang relatif lebar. Kecepatan putaran alat berkisar antara 1000 - 1500 rpm dengan kecepatan pengelasan dari 500 hingga 2000 mm / menit, dan 500 rpm — 500 mm / menit. Struktur mikro dari sambungan lasan menghasilkan butiran yang sangat halus dengan beberapa butir yang terdeformasi di zona sambungan.

Moghaddam, dkk (2011), melakukan penelitian terhadap mikrostruktur dan sifat mekanik dari sambungan gesek (*Friction Stir Welding*) dengan material paduan kuningan Cu-30Zn. Hasil penelitian menunjukkan bahwa profil ukuran butir tidak bergantung pada kecepatan umpan dan nilai kekerasan menurun dengan kenaikan kecepatan umpan. Peningkatan kecepatan umpan menyebabkan sedikit peningkatan kekuatan luluh dan kekuatan tarik akhir. Namun, keuletan sangat berkurang dari 57% menjadi 27%. Selain itu, diamati bahwa selama uji tarik, fraktur retakan berasal persis di sebelah samping pengaduk.

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan belum menemukan banyak variasi bahan pipa yang digunakan dan pengujian tarik pada metode las gesek. Untuk itu penelitian ini hanya difokuskan pada pengaruh tekanan gesek dengan menggunakan metode pengelasan gesek, terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro dengan material Pipa Kuningan/*Stainless Steel* 304.

2. Metode Penelitian

Tahapan proses penelitian sambungan pipa *Stainless Steel* 304 – Kuningan



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

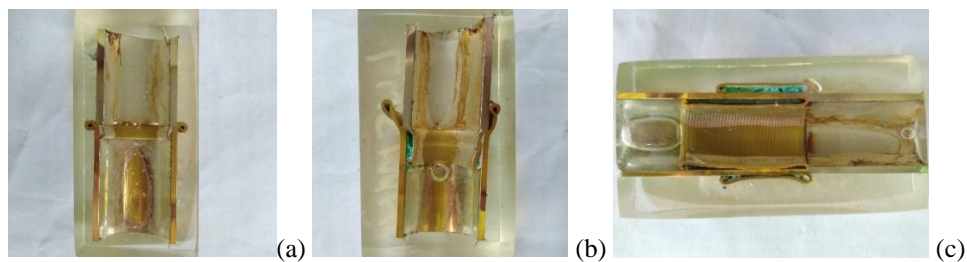
Parameter yang digunakan untuk acuan dalam pelaksanaan penelitian pada pengelasan gesek (*friction welding*) menggunakan variasi tekanan gesek terhadap struktur mikro, kekerasan, dan sifat tarik dengan bahan pipa *stainless steel* 304 dan pipa kuningan. Penelitian ini hanya memvariasi tekanan gesek yaitu 30 MPa, 40 MPa, dan 50 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 dan pipa kuningan dengan diameter luar 22 mm dan diameter dalam 19 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 dan pipa kuningan dipotong sepanjang 75 mm menggunakan mesin gergaji potong 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

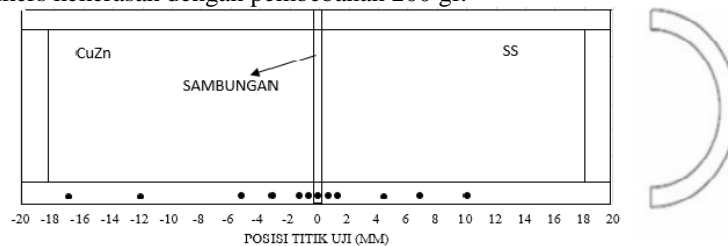
kemudian pada cekam diam diberi tekanan 30 MPa lalu diarahkan ke arah cekam berputar dan terjadi gesekan yang menimbulkan panas sehingga kedua spesimen tersambung. Selanjutnya mengulang proses tersebut dengan parameter tekanan 40 MPa dan 50 MPa.

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 tersambung dipotong menggunakan gergaji besi, hasil potongan spesimen uji bisa dilihat pada gambar 4. (a). Spesimen uji dengan tekanan 30 MPa 4. (b). Spesimen uji dengan tekanan 40 MPa 4. (c). Spesimen uji dengan tekanan 50 MPa. Selanjutnya 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 autosol dan dietsa menggunakan larutan kimia HNO₃ + HCl dengan perbandingan 3:1 untuk pipa *stainless steel* 304 dan larutan kimia HNO₃ 65% dengan menggunakan pelarut alkohol untuk pipa kuningan, setelah itu dilakukan pengujian struktur mikro dengan pembesaran 200x.



Gambar 2. Spesimen Uji Kekerasan dan Struktur Mikro

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan alat uji kekerasan vikers yang berfungsi untuk mengetahui hasil kekerasan pada spesimen uji. Hasil spesimen uji pada gambar 3 dilakukan pengujian vikers kekerasan dengan pembebanan 200 gf.



Gambar 3. Posisi titik pengujian kekerasan

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 Penelitian dan Pembahasan

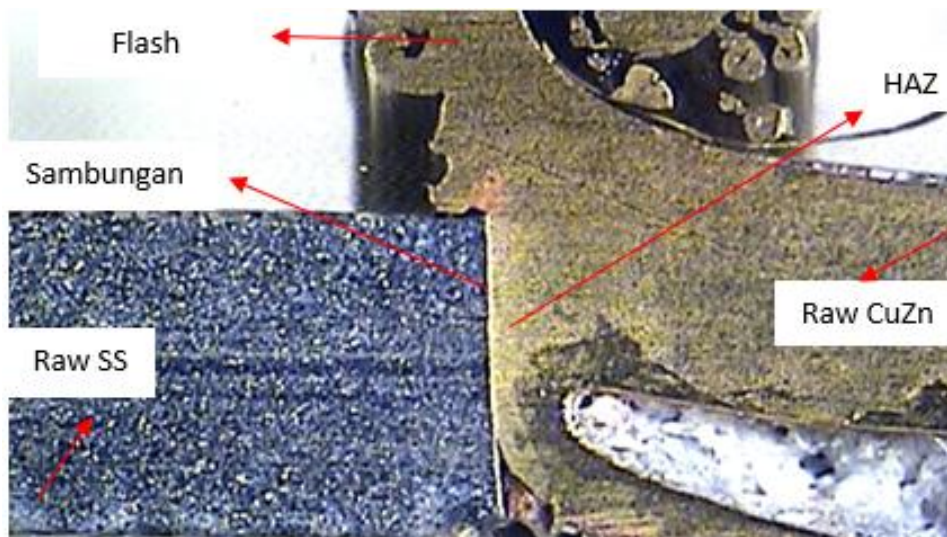
Hasil dari pengelasan gesek pipa *stainless steel* 304 dengan pipa kuningan



Gambar 5. Hasil pengelasan pipa *stainless steel* 304 dengan pipa kuningan

Pada proses pengelasan gesek diperoleh hasil data mengenai waktu 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 dan waktu 2 detik menggunakan putaran mesin 1000 rpm. Pada setiap variasi tekanan gesek dilakukan 4 kali proses pengelasan.

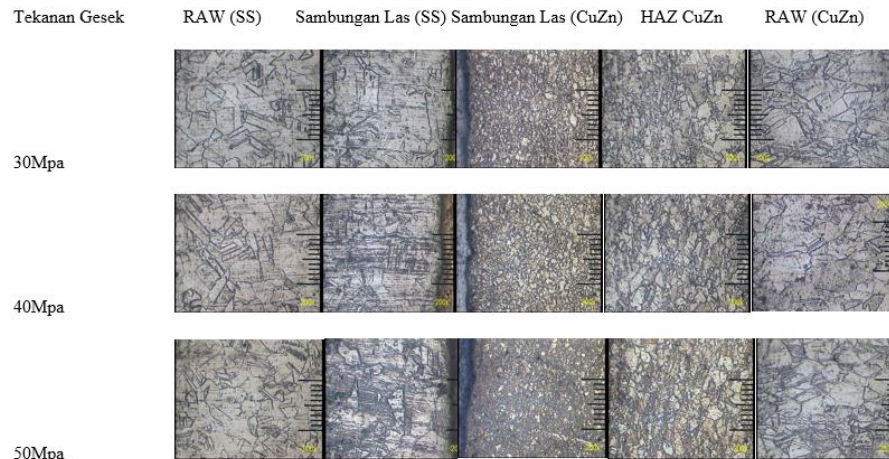
Berikut ini adalah hasil foto makro sambungan similar pipa *stainless steel* 304 menggunakan pengelasan gesek dengan perbesaran 12.5x.



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

Pada gambar 6. terdapat 5 daerah yang terlihat dari hasil proses pengelasan gesek yaitu daerah sambungan las, daerah Heat affected zone (HAZ), flash, dan daerah logam induk.

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 200x.

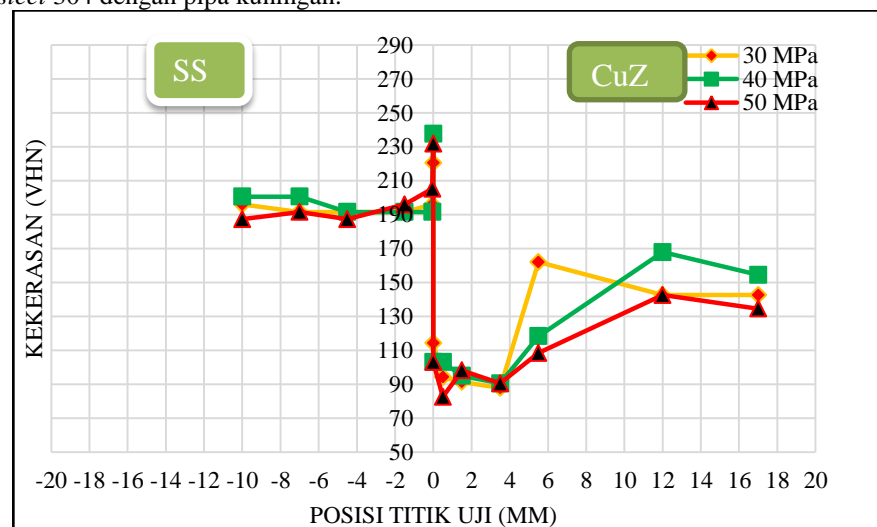


Gambar 4.6 Foto struktur mikro sambungan pipa SS – CuZn

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

Pada gambar 7 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.

Pengujian menggunakan uji kekerasan micro vikers dengan beban 200 gf selama 5 detik. 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 dengan pipa kuningan.

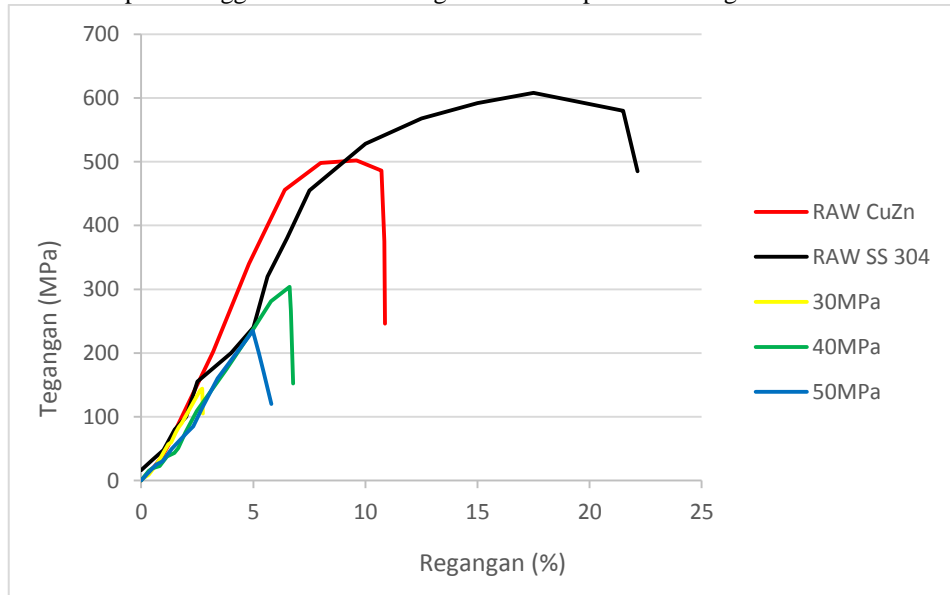


Gambar 8. Grafik hasil pengujian kekerasan

Pada gambar 8 dapat diamati bahwa hasil kekerasan pada daerah sambungan ada yang meningkat 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*. Hasil penelitian Sathiya, dkk. (2005), dalam penelitian hasil pengujian kekerasannya menjelaskan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka kekerasan pada daerah

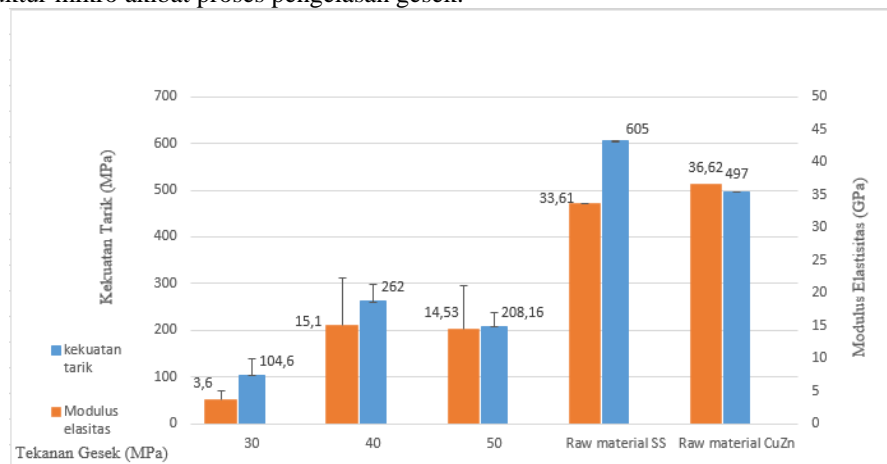
sambungan akan semakin tinggi. Dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian nilai kekerasannya memiliki sedikit kemiripan dengan penelitian ini dan untuk hasil kekerasan tertinggi memiliki selisih yang tidak banyak. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi pada penelitian Sathiya, dkk. (2005) yaitu 260 VHN pada 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.

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.



Gambar 9. Diagram hasil pengujian tarik

Gambar 9. 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.

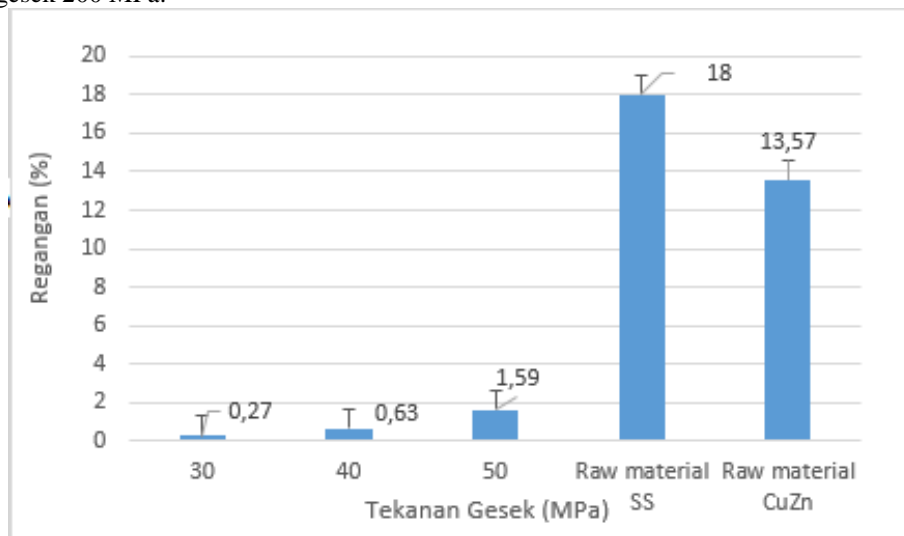


Gambar 10. Diagram tekanan gesek terhadap kekuatan tarik dan modulus elastisitas

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. Gambar 10. 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.

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 kekuatan tarik tertinggi pada penelitian ini yaitu sebesar 262 MPa dengan tekanan gesek 40 MPa dan kekuatan tarik terendah yaitu sebesar 104 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.



Gambar 11. Diagram tekanan gesek terhadap regangan

Gambar 11. menunjukkan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan maka makin nilai regangan akan semakin besar. Nilai regangan tertinggi pada tekanan gesek 30 MPa yaitu 0.27% 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.

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. 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.
2. Hasil kekerasan tertinggi terdapat pada variasi tekanan gesek 30 MPa yaitu sebesar 114.2 VHN untuk sambungan tepi kuningan, untuk sambungan tepi *stainless steel* tertinggi pada tekanan 40 MPa dengan kekerasan 237.7 VHN, dan hasil kekerasan terendah daerah tepi sambungan kuningan terdapat pada variasi tekanan gesek 40 MPa, yaitu sebesar 103.0 VHN sedangkan untuk pipa *stainless steel* terdapat pada tekanan 30 MPa dengan 220.6 VHN.
3. Hasil kekuatan tarik semakin menurun seiring dengan meningkatnya tekanan gesek yang diberikan. Hasil kekuatan tarik tertinggi terdapat pada tekanan gesek 40 MPa yaitu sebesar 304.67 MPa, dan kekuatan tarik terendah terdapat di tekanan gesek 30 MPa yaitu sebesar 73.94 MPa. Kekuatan tarik dari hasil sambungan las gesek pipa *stainless steel* 304 dengan pipa kuningan masih lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik raw pipa *stainless steel* 304 tanpa sambungan yaitu sebesar 605 MPa, dan raw pipa kuningan sebesar 497 MPa.

5. Daftar Pustaka

- Chen, B., Chen, K., Hao, W., Liang, Z., Yao, J., Zhang, L., & Shan, A. (2015). Friction stir welding of small-dimension Al3003 and pure Cu pipes. *Journal of Materials Processing Technology*, 223, 48-57.
- Dey, H., Ashfaq, M., Bhaduri, A., & Rao, K. 2009. "Joining of titanium to 304L stainless steel by friction welding". *Journal of Materials Processing Technology* 209. www.elsevier.com/locate/jmatprotec.
- Kimura, M., Kusaka, M., Kaizu, K., Nakata, K., & Nagatsuka, K. (2016). Friction welding technique and joint properties of thin-walled pipe friction-welded joint between type 6063 aluminum alloy and AISI 304 austenitic stainless steel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 82(1-4), 489-499.
- Moghaddam, M. S., Parvizi, R., Haddad-Sabzevar, M., & Davoodi, A. (2011). Microstructural and mechanical properties of friction stir welded Cu-30Zn brass alloy at various feed speeds: Influence of stir bands. *Materials & Design*, 32(5), 2749-2755.
- Nugroho, A. W., Suwanda, T., & Irwanto, F. (2015). Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pengelasan Gesek Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304. *Jurnal Semesta Teknik*, 17(1), 83-90.
- Nugroho, A. W., Suwanda, T., & Serena, S. A. (2016). Mikrostruktur dan Kekerasan Sambungan Pengelasan Gesek Disimilar Pipa Tembaga/Kuningan (Cu/Cu-Zn). *Jurnal Semesta Teknik*, 19(1), 68-74.
- Park, H. S., Kimura, T., Murakami, T., Nagano, Y., Nakata, K., & Ushio, M. (2004). Microstructures and mechanical properties of friction stir welds of 60% Cu-40% Zn copper alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 371(1-2), 160-169.
- 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