

## PENGARUH TEKANAN GESEK PADA PENGELASAN GESEK KONTINU TERHADAP STRUKTUR MIKRO, KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN PIPA TEMBAGA

Wahyu Saputra<sup>a</sup>, Aris Widyo Nugroho<sup>b</sup>, Totok Suwanda<sup>c</sup>

<sup>a,b,c</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

<sup>a</sup>[Wahyus480@gmail.com](mailto:Wahyus480@gmail.com), <sup>b</sup>[nugrohoaris@gmail.com](mailto:nugrohoaris@gmail.com), <sup>c</sup>[suwanda@umy.ac.id](mailto:suwanda@umy.ac.id)

---

### Intisari

Penyambungan pipa tembaga menggunakan metode pengelasan gesek masih belum banyak dilakukan. Sehingga, belum banyak referensi yang dapat digunakan sebagai acuan untuk penyambungan pipa tembaga menggunakan pengelasan gesek. Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah metode penyambungan logam yang dilakukan dalam kondisi padat (*solid state*) dengan memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan antara kedua logam yang akan dilas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan gesek pada pengelasan gesek kontinu terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan tarik pada sambungan hasil pengelasan gesek pipa tembaga. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah logam pipa tembaga ASTM B280 dengan ukuran diameter luar: 22,2 mm, diameter dalam: 19,8 mm, tebal: 1,2 mm dan dipotong sepanjang: 75 mm. Proses pengelasan menggunakan putaran mesin 1000 rpm. Parameter tekanan gesek yang digunakan pada penelitian ini yaitu 30 MPa, 35 MPa, dan 40 MPa dengan waktu gesek 1 detik dan tekanan tempa 50 MPa dengan waktu tekanan tempa 5 detik. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian metallografi, pengujian kekerasan dan pengujian kekuatan tarik. Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, pada daerah sambungan las terjadi transisi fasa metalurgi yang diindikasikan dengan adanya rekristalisasi, sehingga struktur mikro daerah sambungan las memiliki butir yang halus dan rapat dibandingkan dengan daerah HAZ dan logam induk. Nilai kekerasan tertinggi daerah sambungan las terdapat pada tekanan gesek 40 MPa sebesar 161 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah daerah sambungan las terdapat pada tekanan gesek 35 MPa sebesar 120,4 VHN. Nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi terdapat pada tekanan gesek 35 MPa sebesar 180,8 MPa, namun masih rendah dari hasil kekuatan tarik pada raw material sebesar 399,6 MPa. Tekanan gesek 40 MPa menghasilkan kekuatan tarik yang lebih konsisten karena memiliki standar deviasi yang lebih rendah dibanding tekanan gesek lainnya. Parameter yang direkomendasikan untuk pengelasan gesek pipa tembaga adalah 35 MPa.

**Kata Kunci:** Pengelasan gesek, Pipa tembaga, Struktur mikro, Kekerasan, Kekuatan tarik.

---

### 1. Pendahuluan

Penggunaan tembaga di bidang keteknikan telah banyak dilakukan karena memiliki keunggulan diantaranya: konduktivitas listrik dan termal yang tinggi, sifat ketahanan korosi yang baik, penampilan yang menarik, kekuatan dan daktilitas yang cukup tinggi, juga kemudahan dalam fabrikasi (Bringas & Wayyman, 1988). Salah satu teknik penyambungan pada logam pipa tembaga yang biasa dipakai saat ini adalah *brazing*. *Brazing* merupakan salah satu jenis proses penyambungan dimana sebagai logam pengisi adalah logam *non fero* yang mempunyai temperatur leleh diatas 450 derajat celcius tetapi di bawah titik cair logam induk. Namun, metode penyambungan *brazing* ini masih memiliki kekurangan diantaranya adalah kekuatan sambungan pada *brazing* ini masih kurang, masih membutuhkan logam pengisi, menimbulkan asap, proses *brazing* membutuhkan waktu yang lama dan diperlukan tenaga ahli untuk melakukan proses *brazing* ini. Karakteristik logam dasar dasar berpengaruh pada kekuatan sambungan. Logam dasar yang memiliki kekuatan tinggi menghasilkan sambungan dengan kekuatan yang lebih besar dari pada

sambungan dengan logam dasar yang lebih lunak (faktor lain dianggap sama) (Schwartz, 1993). Sebagai alternatif untuk menutupi kekurangan pada proses *brazing* ini dapat menggunakan metode pengelasan gesek.

Pengelasan gesek (*friction welding*) adalah metode pengelasan jenis *solid state welding* yang panas pengelasan ditimbulkan dari gesekan antara permukaan kedua logam yang akan dilas. Penyambungan terjadi saat kedua logam yang bergesekan telah mencapai kondisi termoplastis akibat gesekan. Dengan mengkombinasikan panas dan tekanan tempa maka dua buah logam akan tersambung (Husodo dkk, 2013) Keunggulan *friction welding* adalah dapat menyambung logam sejenis maupun beda jenis, waktu pengelasan cepat, hemat energi, tanpa bahan tambah. Parameter penting pada proses *friction welding* adalah kecepatan putar, tekanan gesek, tekanan tempa, waktu gesek, dan waktu tempa (Kalpakjian dkk, 2001). Parameter tersebut akan berpengaruh pada sifat mekanis sambungan logam. Kualitas sambungan juga akan mempengaruhi elemen yang akan diteliti seperti struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik. *Friction welding* sendiri terdiri dari berbagai macam, yaitu *Continuous drive friction welding (CDFW)*, *Friction stir welding (FSW)* dan *Linier friction welding (LFW)*. Pada penelitian ini menggunakan las gesek *continuous drive friction welding*. *Continuous drive friction welding* adalah metode penyambungan dua buah material dengan cara salah satu material berputar dan yang lainnya diam, lalu pada material yang tidak berputar diberikan gaya aksial sehingga terjadi gesekan dengan material yang berputar yang menghasilkan panas untuk proses pengelasan.

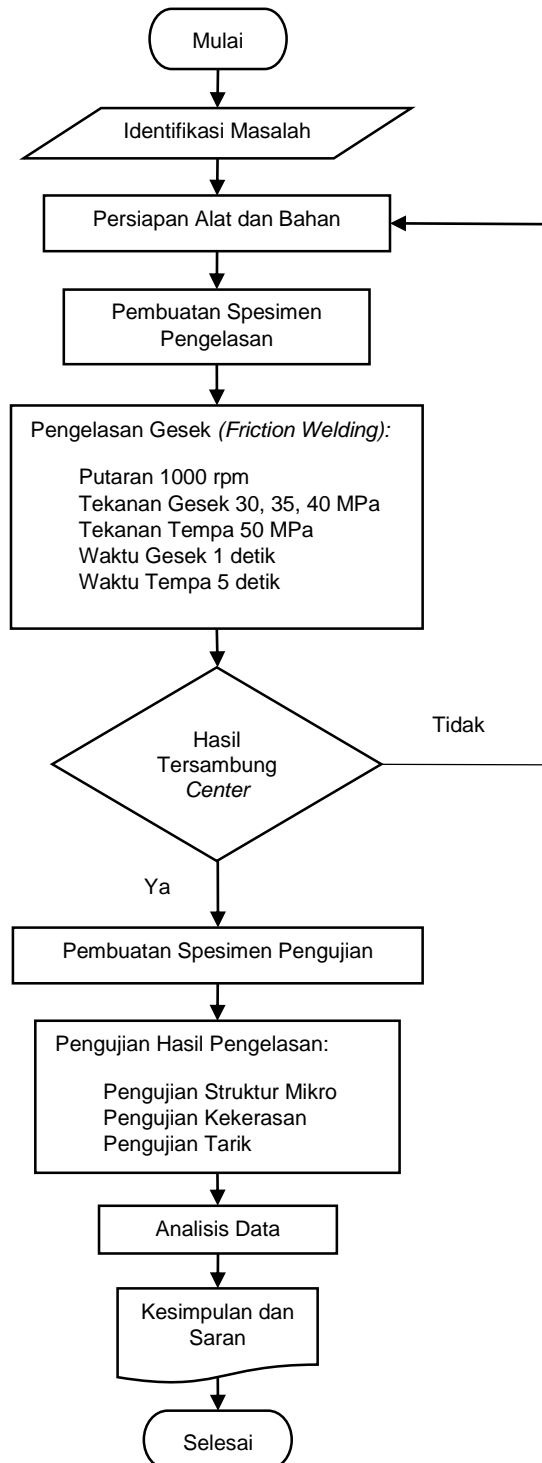
Penelitian yang dilakukan oleh Nugroho, dkk (2016) tentang mikro struktur dan kekerasan sambungan pengelasan gesek disimilar pipa tembaga/kuningan (Cu/Cu-Zn). Penelitian yang dilakukan dengan proses *continuous drive friction welding (CDFW)* menggunakan mesin bubut yang sudah di modifikasi dan diatur pada putaran 2000 rpm. Parameter pada penelitian ini menggunakan tekanan gesek 1471,68 MPa dengan waktu gesek 25, 30, 40, 60 dan 70 detik kemudian tekanan tempa 1962,24 MPa diberikan setelah tekanan gesek berakhir. Pada pengujian mikrostruktur daerah pusat las (*weld centre zone, WCZ*) tidak dapat diamati adanya perubahan struktur mikro dan butiran rekristalisasi sangat halus. Pada waktu gesek 25-30 detik, ukuran dan bentuk butir pada daerah yang terpengaruh gaya mekanik dan panas (*thermomechanically affected zone, TMAZ*) semakin mengecil sehingga menghasilkan nilai kekerasan paling tinggi (57,1 VHN pada Cu dan 93,6 VHN pada Cu-Zn). Pada waktu 60 detik ukuran dan bentuk butir membesar dan terjadi rekristalisasi sehingga nilai kekerasannya terendah (36,3 VHN pada Cu dan 62,4 VHN pada Cu-Zn). Bentuk dan ukuran butir pada daerah HAZ cenderung membesar dan membulat mirip struktur mikro *base metal*-nya dengan nilai kekerasan berkisar 40-50 VHN di Cu dan 69-80 VHN di Cu-Zn.

Yanni dan Sun, (2018) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui mikrostruktur dan sifat mekanik sambungan tembaga-baja dengan metode *continuous drive friction welding*. parameter yang digunakan yaitu tekanan gesek 20, 28, 36, dan 44 MPa dengan waktu gesek selama 5 detik. Kecepatan rotasi yang digunakan untuk menyambung tembaga dengan baja adalah 1900 rpm. Hasilnya, Kekerasan menurun seiring naiknya tekanan gesek tetapi meningkat seiring bertambahnya jarak dari *interface*. Kekuaran tarik meningkat seiring naiknya tekanan gesek.

Kurt, dkk, (2011) dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh parameter pengelasan terhadap sifat mekanik dan mikro pada sambungan AISI 1010-ASTM dengan B22. Parameter dalam penelitian ini menggunakan tekanan gesek 10, 15, 20 MPa dengan waktu gesekan 3 detik. Lalu tekanan tempa 22, 25, 30 MPa dengan waktu tempa 1, 5, 7, 8 detik. Hasil nilai kekerasan yang paling tinggi terdapat pada interface dari masing-masing logam, namun nilai kekerasan menurun dengan meningkatnya jarak dari interface dan waktu tempa. Kekuatan tarik sambungan las yang diperoleh dapat mencapai 70% dari kekuatan tarik logam dasar.

Dari penelitian yang sudah dilakukan belum banyak variasi tekanan gesek untuk penyambungan logam sejenis (*similar*) pipa tembaga dengan metode *continuous drive friction welding*, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian terhadap struktur mikro, kekerasan dan sifat tarik. Maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan gesek terhadap struktur mikro, kekerasan dan sifat tarik pada sambungan pipa tembaga.

## 2. Metode Penelitian



**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

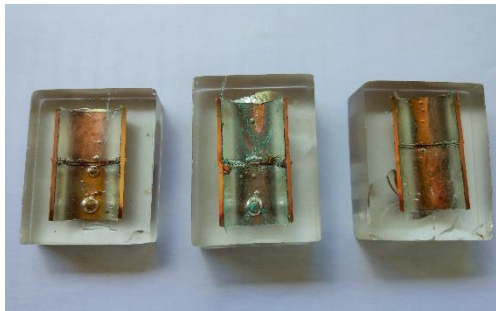
Parameter pada penelitian ini menggunakan tekanan gesek 30, 35 dan 40 MPa dengan waktu gesek 1 detik dan tekanan tempa 50 MPa dengan waktu tempa 5 detik. Putaran mesin yang digunakan adalah 1000 rpm. Selain itu, getaran yang ditimbulkan dari mesin diasumsikan tidak mempengaruhi hasil pengelasan.

Pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin las gesek hasil modifikasi dari mesin bubut. Mesin bubut diberikan aktuator hidrolis untuk menekan *chuck* yang diam. Pada aktuator hidrolis diberikan *load cell* yang berfungsi untuk membaca tekanan yang dihasilkan oleh aktuator hidrolis. Pasang pipa tembaga pada *chuck* yang berputar dan *chuck* diam. Setelah dipasang kemudian mesin las gesek dinyalakan dan tuas hidrolis dibuka untuk mendorong aktuator hidrolis. *Chuck* diam akan bergerak mendekati *chuck* berputar dan terjadi gesekan antara kedua pipa tembaga. Pengelasan ini dilakukan sebanyak 4 kali setiap variasi tekanan geseknya.

Setelah dilakukan proses pengelasan kemudian spesimen dilepas dari mesin las gesek dan dibiarkan hingga suhu akibat pengelasan relatif mendingin. Selanjutnya spesimen dibelah dengan menggunakan gergaji dan dilakukan *mounting* dengan menggunakan resin. Spesimen ini akan digunakan untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro. Untuk pengujian tarik spesimen hanya dihilangkan *flash* yang terbentuk dan dibubut sesuai dengan standar JIS Z 2201 No.14C untuk spesimen berbentuk pipa. Pengujian struktur mikro dan pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik D3 Teknik Mesin UGM. Pengujian kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Material Teknik Teknik Mesin UMY.

### 2.1 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati perubahan struktur mikro yang terjadi akibat proses pengelasan. Spesimen hasil pengelasan dibelah dengan menggunakan gergaji sebelum dilakukan proses pengamplasan dan pemolesan. Untuk memudahkan proses pengamplasan dan pemolesan perlu dilakukan *mounting* pada spesimen terlebih dahulu dengan menggunakan resin.



**Gambar 2.** Spesimen pengujian struktur mikro dan kekerasan

Setelah di *mounting* kemudian spesimen diampelas dan dipoles. Pengamplasan menggunakan amplas dengan ukuran 120, 320, 1000, 1500 dan 2000 dilakukan secara berurutan untuk menghasilkan permukaan yang halus. Selanjutnya dilakukan pemolesan menggunakan pasta autosol secukupnya untuk persiapan pengetsaan. Proses pengetsaan menggunakan larutan kimia HNO<sub>3</sub> 65% + Alcohol. Hasil pengetsaan spesimen kemudian dilakukan pengujian struktur mikro menggunakan mesin merek *Olympus* tipe BX53MRF-S milik laboratorium material D3 UGM.

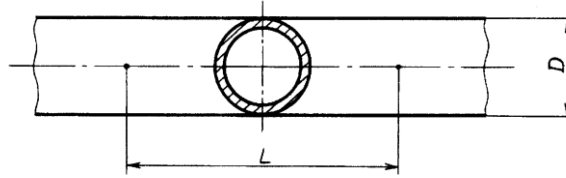
### 2.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada sambungan pengelasan gesek pipa tembaga. Pengujian kekerasan ini menggunakan spesimen yang sama dengan spesimen yang digunakan pada pengujian struktur mikro. Spesimen dilakukan pemolesan ulang untuk mendapatkan permukaan yang halus dan rata menggunakan autosol. Setelah di poles, kemudian dilakukan pengujian kekerasan menggunakan mesin merek *Shimadzu* tipe HMV-M3 milik laboratorium material D3 UGM. titik pengujian kekerasan dapat dilihat pada gambar 3.

### 2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik yang dihasilkan oleh hasil pengelasan gesek pipa tembaga. Spesimen uji tarik ini dibuat dengan mengacu pada

standar JIS Z 2201 (gambar 4) untuk pengujian tarik pipa. Panjang *gauge* (L) dihitung dengan rumus  $5.65\sqrt{A}$  dimana A adalah luas penampang pipa. Pembuatan spesimen dilakukan untuk menghilangkan *flash* yang terbentuk akibat proses pengelasan gesek. Selanjutnya dilakukan pembubutan sesuai dengan bentuk standar pengujian tarik pipa menurut JIS Z 2201 No.14C.



Gambar 3. Standar pengujian tarik JIS Z 2201 No.14C

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengelasan gesek pipa tembaga dengan metode *continuous drive friction welding* dapat dilihat pada gambar 5. Pengelasan dilakukan pada tekanan gesek sebesar 30, 35 dan 40 MPa. Pengelasan gesek pipa tembaga menghasilkan *flash* yang sedikit. Hal ini disebabkan oleh waktu gesek yang relatif cepat, yakni sekitar 1 detik.

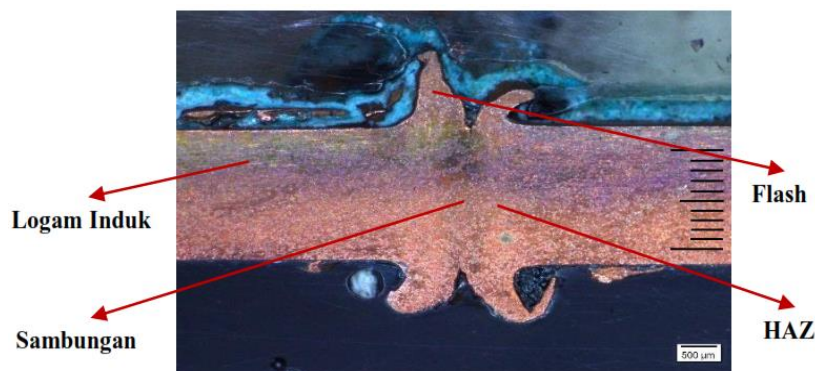


Gambar 4. Hasil Pengelasan Gesek Pipa Tembaga

#### 3.1 Hasil Pengujian Struktur Makro dan Mikro

##### a) Hasil foto makro

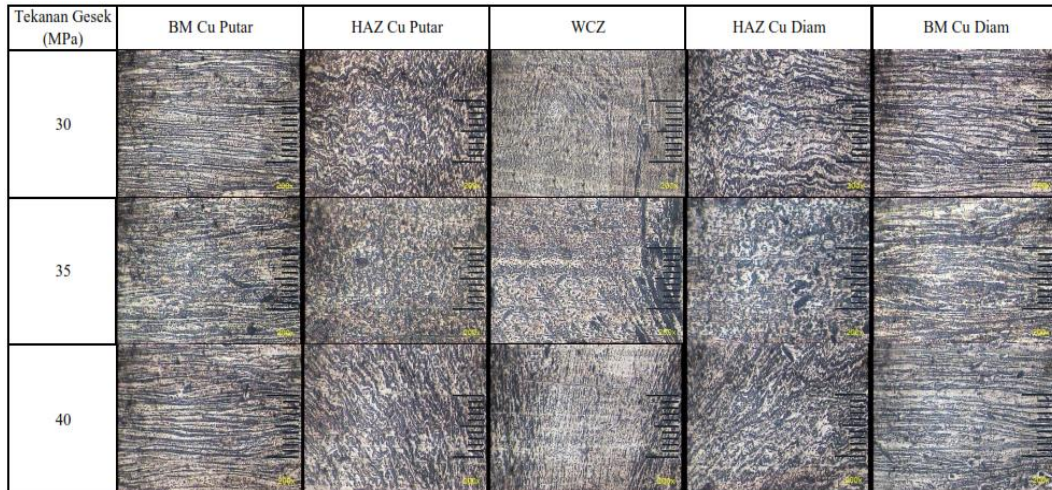
Dari hasil foto makro terdapat 4 daerah yang terlihat dari hasil dari pengelasan yaitu daerah sambungan las, HAZ, *flash*, dan logam induk. Daerah sambungan adalah daerah yang mengalami termoplastis dan deformasi plastis akibat panas pengelasan dan tekanan. Daerah HAZ merupakan daerah yang terpengaruh panas yang berasal dari pengelasan. *Flash* adalah cairan logam yang keluar dari daerah sambungan akibat tekanan. Logam induk adalah daerah logam dasar yang tidak terkena efek panas dan tekanan gesek dari pengelasan.



Gambar 5. Foto makro pada pipa tembaga dengan perbesaran 50x

b) Hasil foto pengujian struktur mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro pada material pipa tembaga setelah dilakukan pengelasan gesek. Pengujian struktur mikro dilakukan dibawah mikroskop dengan perbesaran 200x. Dari hasil foto mikro maka dapat diketahui pembagian daerah setelah dilakukan pengelasan gesek. Gambar 5 menunjukkan bentuk struktur mikro dari hasil pengelasan yang memiliki 3 daerah yaitu daerah pusat las, daerah HAZ (*heat affected zone*) dan logam induk.

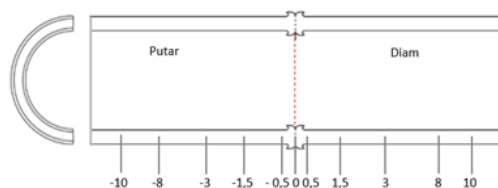


Gambar 6. Hasil Pengujian Struktur Mikro

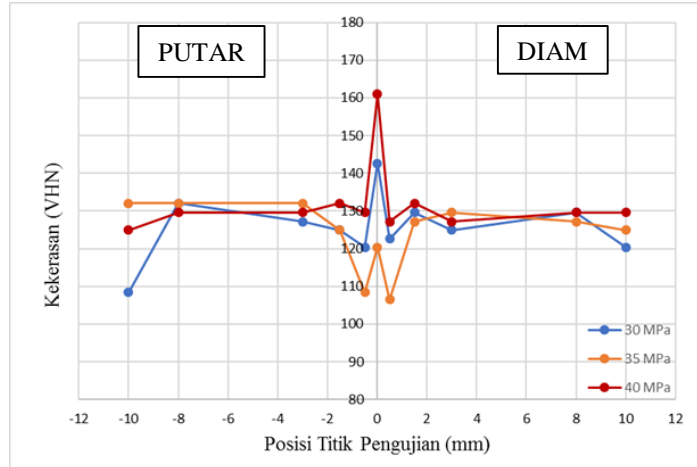
Tipikal daerah sambungan las pada penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nugroho dkk, (2016). Dari hasil pengujian struktur mikro variasi tekanan gesek 30, 35 dan 40 MPa dapat disimpulkan bahwa pada daerah pusat las atau sering disebut *weld centre zone* (WCZ) tekanan gesek 40 MPa menghasilkan butir struktur mikro yang lebih halus dan rapat dibandingkan dengan daerah WCZ tekanan gesek 30 MPa dan 35 MPa. Hal ini disebabkan tekanan gesek yang besar mengakibatkan panas pengelasan yang semakin tinggi, sehingga terjadi rekristalisasi penuh yang membuat struktur mikro pada daerah WCZ variasi tekanan gesek 40 MPa ini lebih halus dan rapat daripada variasi tekanan gesek lainnya. Pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ), menunjukkan butir struktur mikro pada HAZ putar lebih rapat dibanding HAZ diam karena pengaruh panas yang diterima HAZ putar lebih besar dibanding HAZ diam. Pengaruh panas yang diterima dari pengelasan menyebabkan rekristalisasi sebagian pada daerah HAZ sehingga butir struktur mikronya lebih besar dibanding daerah WCZ. Pada daerah logam induk atau *base metal* tidak terjadi perubahan struktur mikro dari ketiga pengujian yang telah dilakukan. Hal ini karena logam induk tidak terpengaruh panas dari pengelasan gesek

3.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk melihat nilai kekerasan pada daerah sambungan las, HAZ dan logam induk. Pada pengujian kekerasan ini diambil 11 titik di setiap variasi tekanan gesek. Posisi titik pengujian kekerasan dimulai dari titik -10, -8, -3, -1,5, -0,5, 0, 0,5, 1,5, 3, 8, 10.



Gambar 7. Posisi Titik Pengujian Kekerasan

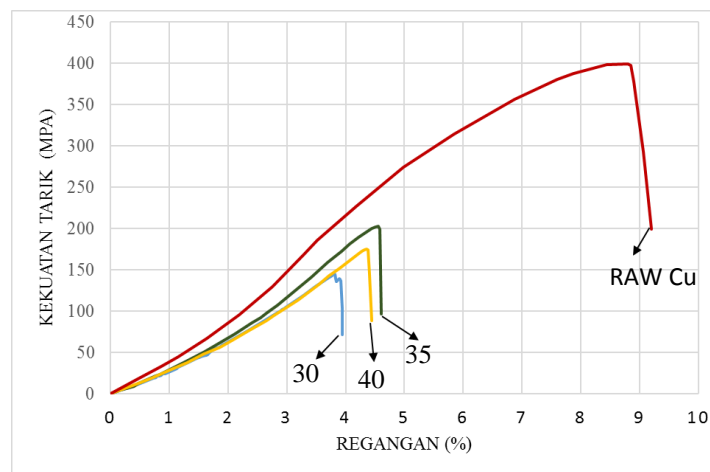


**Gambar 8.** Grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Gambar 8 menunjukkan grafik nilai kekerasan sambungan las pipa tembaga setiap variasi tekanan gesek. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada sambungan las tekanan gesek 40 MPa sebesar 161 VHN dan nilai kekerasan terendah terdapat pada sambungan las tekanan gesek 35 MPa sebesar 120,4 VHN. Hal ini berbanding lurus dengan hasil struktur mikronya karena pada daerah sambungan las ketiga spesimen, tekanan gesek 40 MPa memiliki butir paling halus dan rapat sedangkan tekanan gesek 35 MPa memiliki butir yang paling besar dan renggang. Dapat disimpulkan bahwa nilai kekerasan meningkat seiring semakin halus dan rapat butir struktur mikronya. Untuk nilai kekerasan terendah pada logam tembaga terjadi pada daerah HAZ. Daerah HAZ mengalami pelunakan logam yang disebabkan oleh pengaruh panas pengelasan yang timbul.

### 3.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan untuk melihat kekuatan tarik sambungan pengelasan gesek pipa tembaga. Pengujian dilakukan pada variasi tekanan gesek 30, 35 dan 40 MPa serta pada raw material tembaga.



**Gambar 9.** Grafik Hasil Pengujian Tarik

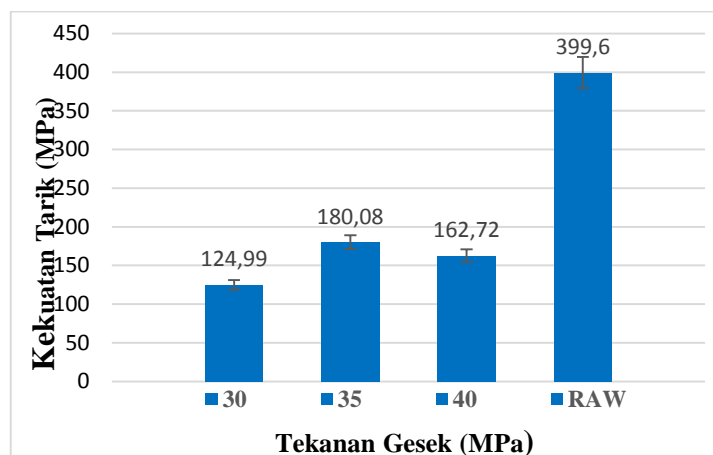
Pada gambar 9 kekuatan tarik yang paling tinggi dihasilkan oleh raw material tembaga yaitu sebesar 399,6 MPa dengan regangan sebesar 9,2 %. Kekuatan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan gesek dan menurun akibat tekanan tempa yang dialami oleh spesimen variasi tekanan gesek 40 MPa. Meskipun setiap spesimen dibebani dengan tekanan tempa yang besarnya sama tetapi pada tekanan 40

MPa terjadi deformasi plastis yang berlebihan. Hal ini yang menyebabkan struktur mikro pada tekanan gesek 40 MPa yang mengalami penyempurnaan didekat interface (daerah WCZ) hilang menjadi *flash* yang berlebihan dan berakibat pada lemahnya sambungan.

Tabel 1. Rata-rata kekuatan tarik dan regangan

No.	Tekanan Gesek (MPa)	Kekuatan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Rata-rata	
				Kekuatan Tarik (MPa) ±	Regangan (%) ± SD
1	30	131,76	3,14	124,99 ± 23,77	3,16 ± 0,79
2		144,64	3,96		
3		98,56	2,38		
4	35	177,13	3,88	180,08 ± 23,21	4 ± 0,58
5		160,48	3,49		
6		202,64	4,63		
7	40	175,37	4,47	162,72 ± 12,02	3,99 ± 0,42
8		161,36	3,83		
9		151,43	3,68		
10	RAW Cu	399,6	9,20	399,6	9,20

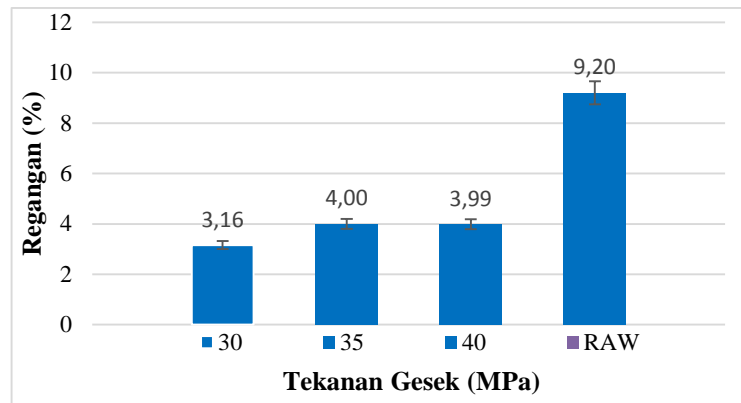
Tekanan gesek 35 MPa menghasilkan rata-rata kekuatan tarik tertinggi yang ditunjukkan pada tabel 1. Meskipun rata-rata kekuatannya tinggi tetapi standar deviasinya juga tinggi, sehingga hasil kekuatannya tidak konsisten. Tekanan gesek 40 MPa menghasilkan kekuatan tarik yang lebih konsisten karena memiliki standar deviasi yang lebih rendah dibanding dengan tekanan gesek 30 dan 35 MPa.



**Gambar 10.** Diagram kekuatan tarik rata-rata terhadap variasi tekanan gesek

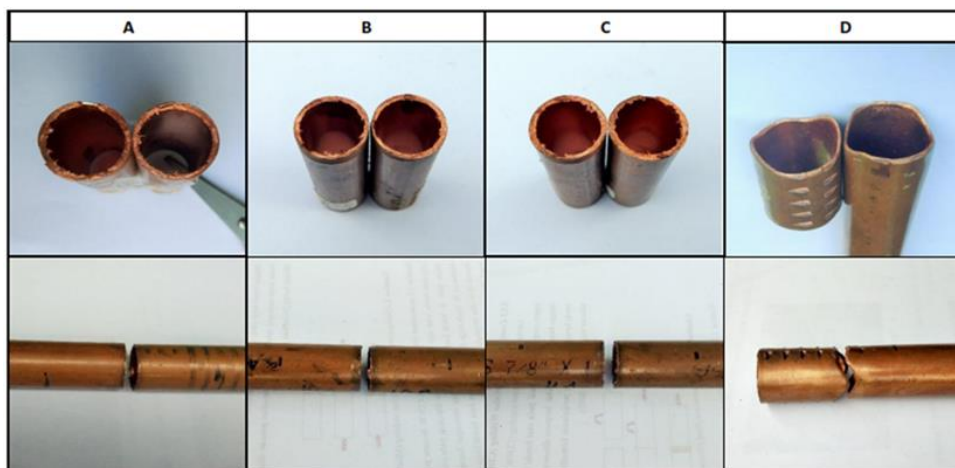
Gambar 10 menunjukkan hasil kekuatan tarik dari sambungan las pipa tembaga variasi tekanan gesek 30 MPa, 35 MPa, 40 MPa dan RAW. Dapat diamati bahwa kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan tekanan gesek 35 MPa yaitu sebesar 180,08 MPa, disusul dengan spesimen dengan tekanan gesek 40 MPa sebesar 162,72 MPa, lalu spesimen dengan tekanan gesek 30 MPa sebesar 124,99 MPa. Dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik paling optimal didapat pada variasi tekanan gesek 35 MPa. Pada tekanan gesek 35 MPa tembaga mengalami perubahan struktur mikro sehingga kekuatan tarik meningkat. Tetapi tembaga mengalami deformasi plastis yang berlebihan pada tekanan 40 MPa lalu terkena tekanan tempa sehingga kekuatan tarik pada interface sambungan melemah.





**Gambar 11.** Diagram regangan Rata-rata terhadap variasi tekanan gesek

Gambar 11 menunjukkan nilai regangan tertinggi pada daerah sambungan pengelasan gesek terjadi pada variasi tekanan gesek 35 MPa. Nilai regangan pada variasi tekanan gesek 35 MPa yaitu 4%, namun nilai regangan ini masih lebih kecil dari nilai regangan pada raw material yang memiliki nilai regangan sebesar 9,2%. Hal ini karena pada sambungan hasil pengelasan gesek mengalami patah tepat di daerah sambungan yang merupakan daerah terkena panas pengelasan dan terjadi perubahan struktur mikro, sehingga menyebabkan kekuatan tariknya menurun. Dapat disimpulkan bahwa nilai regangan berbanding lurus dengan hasil kekuatan tarik. Semakin besar nilai regangan semakin besar pula kekuatan tarik.



**Gambar 12.** Foto Patahan Hasil Pengujian Tarik pada Sambungan Pipa tembaga Tekanan Gesek (A) 30 MPa; (B) 35 MPa; (C) 40 MPa; (D) RAW

Patahan yang terjadi pada variasi tekanan gesek 30,35 dan 40 MPa (gambar 12) tidak mengalami *necking* atau penyempitan area penampang. Hal ini menunjukkan sifat dari sambungan pengelasan gesek pipa tembaga bersifat getas. Berbeda dengan patahan yang terjadi pada raw material pipa tembaga yang mengalami *necking* sebelum terjadinya patahan. Hal ini menunjukkan bahwa sifat raw material pipa tembaga bersifat ulet. Gambar 11 menunjukkan regangan rata-rata pada variasi tekanan gesek dan raw material. Tekanan gesek 30, 35 dan 40 MPa memiliki regangan yang kecil dibandingkan dengan regangan pada raw material tembaga. Dari patahan sambungan las dan nilai regangan membuktikan bahwa pada sambungan las dengan tekanan gesek 30, 35 dan 40 MPa memiliki sifat getas.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang pengaruh variasi tekanan gesek pada pengelasan gesek kontinu terhadap struktur mikro, kekerasan dan kekuatan tarik sambungan pipa tembaga

dengan parameter tekanan gesek 30, 35 dan 40 MPa yang telah dilaksanakan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur mikro pada daerah WCZ memiliki butir struktur mikro yang halus dan rapat dibandingkan dengan daerah HAZ dan base metal. Pada tekanan gesek 40 MPa menghasilkan butir struktur mikro paling halus dan rapat dibanding dengan variasi tekanan gesek lainnya, sehingga memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi.
2. Dari ketiga variasi tekanan gesek nilai kekerasan tertinggi terdapat pada sambungan las tekanan gesek 40 MPa sebesar 161 VHN dengan butir struktur mikro paling halus dan rapat, sedangkan nilai kekerasan terendah terdapat pada sambungan las tekanan gesek 35 MPa sebesar 120,4 MPa dengan butir struktur mikro paling besar dan renggang. Semakin halus dan rapat struktur mikro maka semakin tinggi nilai kekerasan yang didapat.
3. Hasil kekuatan tarik rata-rata tertinggi terdapat pada variasi tekanan gesek 35 MPa sebesar 180,08 MPa, sedangkan kekuatan tarik terendah terdapat pada tekanan 30 MPa sebesar 124,99 MPa. Tekanan gesek 40 MPa menghasilkan kekuatan tarik yang lebih konsisten karena memiliki standar deviasi yang lebih rendah dibanding tekanan gesek lainnya. Kekuatan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan gesek. Namun, pada tekanan gesek 40 MPa kekuatan tarik menurun akibat pengaruh deformasi plastis dari tekanan tempa.
4. Parameter yang direkomendasikan adalah tekanan gesek 35 MPa.

## Daftar Pustaka

Journal:

- [1] Husodo, Nur dkk., 2013. Penerapan Teknologi Las Gesek (*Friction Welding*) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk *Back Spring Pin*. Jurnal Energi dan Manufaktur Vol.6, No.1.
- [2] Kurt, I. Uygur, dan U. Paylasan. (2011). *Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Dissimilar AISI 1010-ASTM B22 Joints*, Welding Research Vol. 90 hal 102-106.
- [3] Nugroho, A. W., Suwanda, T., & Serena, S. A. (2016). Mikro Struktur dan Kekerasan Sambungan Pengelasan Gesek Disimilar Pipa Tembaga/Kuningan (Cu/Cu-Zn). *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, Vol.19, 68-74.
- [4] Yanni, W., dan Fu, S. (2018). *Microstructures and Mechanical Properties of Al/Fe and Cu/Fe Joints by Continuous Drive Friction Welding*, journal Materials Science and Engineering Vol. 2018 Article ID 2809356, 8 page

Book:

- [1] Bringas, J. E., Wayman, M. L. *The Metals Red Book: Nonferrous Metals Volume 2*. Edmonton: Casti Publishing. 1998: 18.
- [2] Schwartz, M. M. *Welding Brazing and Soldering Volume 6*. Ohio: ASM HANBOOK. 1993.
- [3] Kalpakjian, dkk. *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice-Hall International, London. 2001.

Standard:

- [1] Japanese Industrial Standard. (1998). *JIS Z 2201: Test Pieces for Tensile Test for Metallic Materials*. Tokyo: Japanese Industrial Standard.