

# Pengaruh Tekanan Gesek Terhadap Sifat Tarik Sambungan Dissimilar Silinder Pejal Tembaga-Baja dengan Metode Continuous Drive Friction Welding

Ady Ryan, R.<sup>(a)</sup>, Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D.<sup>(b)</sup>, Totok Suwanda, S.T., M.T.<sup>(c)</sup>  
 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta  
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Y, Indonesia, 55183  
 Telepon/Fax: (0274) 387656/387646  
 Email: [ryannoar@gmail.com](mailto:ryannoar@gmail.com)

---

## Intisari

*Friction welding* (difusi) adalah teknik pengelasan dengan kondisi logam lumer. Penyambungan logam menggunakan *friction welding* memanfaatkan panas yang timbul dari gesekan antara permukaan logam yang diberi gaya tekan. Gesekan yang terjadi antara permukaan kedua logam menghasilkan panas sehingga permukaan kedua logam melumer dan terjadi penyambungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan gesek terhadap kekuatan tarik, struktur mikro dan kekerasan sambungan *Continuous Drive Friction Welding* (CDFW).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah silinder pejal tembaga dan baja. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan memvariasikan tekanan gesek 30, 35, dan 40 MPa. Putaran mesin las gesek yang digunakan konstan yaitu 1000 Rpm. Tekanan tempa yang digunakan adalah 80 MPa, lalu waktu gesek dan waktu tempa masing-masing 5 detik. Pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian metalografi, pengujian kekerasan, dan pengujian tarik.

Berdasarkan hasil penelitian yang sudah dilakukan, semakin meningkatnya tekanan gesek maka perubahan struktur mikro dekat sambungan juga akan semakin lebar. Hasil kekerasan tertinggi pada daerah WCZ diperoleh dari spesimen dengan variasi tekanan gesek 30 MPa yaitu kekerasan WCZ baja adalah 179,1 VHN dan kekerasan pada WCZ tembaga adalah 114,2 VHN. Hasil kekuatan tarik tertinggi diperoleh dari spesimen dengan variasi 35 MPa sebesar 89 MPa.

**Kata kunci:** *Friction welding*, silinder pejal tembaga dan baja, tekanan gesek, tekanan tempa, struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik

---

## 1. Pendahuluan

Inovasi komponen yang terbuat dari sambungan logam berbeda jenis (*dissimilar*) menjadi sangat penting dalam aplikasi dunia industri. Banyak keuntungan yang diperoleh dari penyambungan logam beda jenis, keuntungan teknis seperti membuat produk dengan sifat yang diinginkan dan manfaat dalam area ekonomi produksi. Penyambungan logam berbeda jenis umumnya menantang karena perbedaan termal, fisik, sifat metalurgi, dan mekanik dari logam yang akan disambung. Untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal kualitas penyambungan logam harus tinggi.

Baja dan tembaga adalah logam yang cocok untuk digunakan dalam aplikasi sistem pasokan listrik dalam skala besar karena listrik membutuhkan daya konduksi yang tinggi. Namun, pengelasan baja dan tembaga dengan menggunakan metode fusi sangat sulit untuk dilakukan karena tembaga memiliki difusivitas termal yang lebih tinggi daripada baja. Dengan demikian proses pengelasan gesek (difusi) sangat cocok digunakan untuk metode penyambungan baja dengan tembaga. Dalam pengelasan gesek, panas dihasilkan dari konversi energi mekanik menjadi energi panas pada antarmuka benda kerja selama rotasi dibawah tekanan (Sahin, 2009).

Teknologi las gesek sudah mulai banyak digunakan karena mudah dioperasikan, prosesnya cepat, dan tidak memerlukan logam pengisi. Tetapi agar sambungan bisa optimal perlu adanya parameter yang mendukung seperti kecepatan putar, tekanan gesek, tekanan tempa, waktu gesek, dan waktu tempa. Parameter tersebut akan berpengaruh pada sifat mekanis sambungan logam. Kualitas sambungan juga akan mempengaruhi elemen yang akan diteliti seperti kekuatan tarik, struktur mikro, dan kekerasan.

Penelitian yang dilakukan oleh Kurt, dkk. (2011) tentang 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. Pada pengujian kekerasan, nilai kekerasan maksimum diperoleh diperoleh pada sisi baja didekat garis tengah sambungan. Nilai kekerasan umumnya meningkat dengan meningkatnya tekanan gesek dan tekanan tempa, tetapi pada penelitian ini dapat diamati bahwa nilai

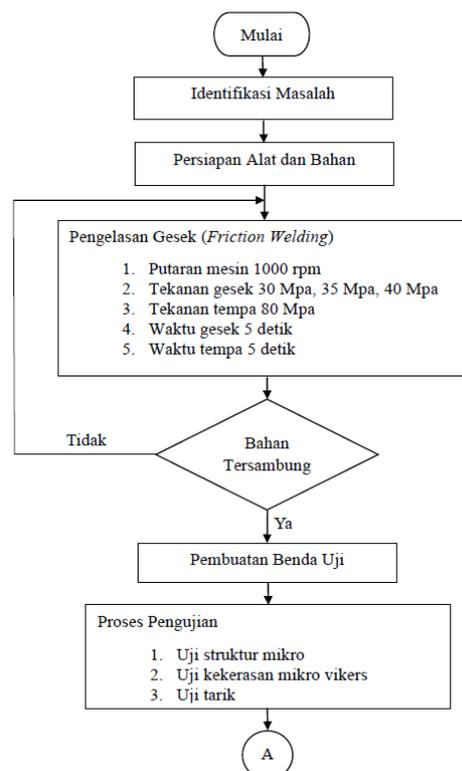
kekerasan menurun dengan meningkatnya waktu tempa. Selanjutnya pada pengujian tarik, secara umum kekuatan tarik meningkat dengan meningkatnya tekanan gesekan. Kekuatan tarik yang diperoleh sebesar 217 MPa pada variasi tekanan 20 MPa dan kekuatan sambungan las mencapai 70% dari kekuatan logam dasar.

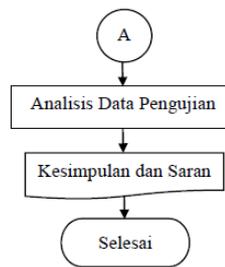
Penelitian lain sambungan tembaga dengan baja oleh Yanni dan Sun, (2018). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui mikrostruktur dan sifat mekanik sambungan tembaga dengan baja. Kecepatan rotasi yang digunakan untuk menyambung tembaga dengan baja adalah 1900 rpm. Sementara parameter lain yang digunakan yaitu tekanan gesek 20, 28, 36, dan 44 MPa dengan waktu gesek selama 5 detik. Hasil dari analisa metalografi didapatkan tidak ada perbedaan yang terlihat dalam morfologi antarmuka penyambungan beda jenis tembaga dengan baja pada tekanan gesek pengelasan yang berbeda. kekuatan tarik meningkat dengan meningkatnya tekanan gesek. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada tekanan gesek 36 MPa sebesar 222 MPa atau 95,2% dari raw materialnya. Sementara pada tekanan gesek 20 dan 28 MPa mengalami kegagalan pada matrix tembaga saat pengujian tarik.

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Sahin, (2009) bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi mekanik pada sambungan austenitic-stainless steel dan tembaga. Parameter yang digunakan pada friction welding ini adalah aluminium dan tembaga dengan diameter 10 mm, putaran mesin 1410 rpm waktu gesek 8,5 detik, tekanan gesek 75 MPa, waktu tempa 25 detik, dan tekanan tempa 160 MPa. Hasil pengujian mikro yang didapat stainless steel hampir tidak pernah cacat karena suhu leleh tembaga lebih rendah dari stainless steel. Struktur mikro dari logam dasar terdiri dari austenitik. Lebar zona leleh dan zona yang terkena panas adalah 0,2 mm dan 4.5 mm. Variasi kekerasan pada bagian yang disambung dapat dilihat bahwa kekerasan tembaga meningkat.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Subianto, dkk (2016) membahas tentang pengaruh durasi gesek, tekanan gesek, dan tekanan tempa terhadap kekuatan tarik dan impact dari sambungan baja Aisi 105. Parameter yang digunakan pada penelitian ini meliputi waktu gesekan 50 detik, 70 detik, 90 detik selanjutnya tekanan gesek 6 MPa, 12 MPa, 18 MPa dan yang terakhir adalah tekanan tempa sebesar 24 MPa, 34 MPa, 53 MPa. Hasil yang didapat dari penelitian ini kekuatan tarik yang paling tinggi dengan lokasi patahan dilogam induk diperoleh dari kombinasi parameter tekanan gesek 18 MPa, tekanan tempa 53 MPa, dan waktu gesek 90 detik yaitu 730 MPa. Lalu kekuatan tarik terendah dengan lokasi patahan pada logam las diperoleh dari kombinasi parameter tekanan gesek 6 MPa, dengan waktu gesek 50 detik, dan tekanan tempa 24 MPa sebesar 282 MPa.

## 2. Metode Penelitian



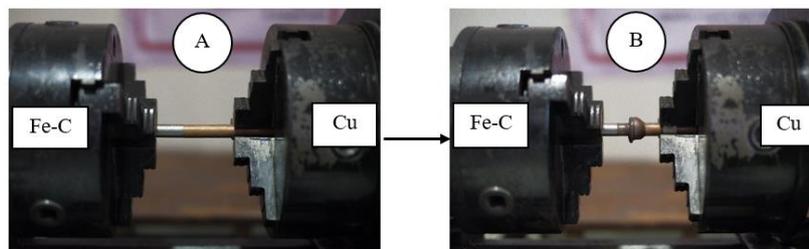


**Gambar 1** Diagram alir penelitian pengelasan gesek dissimilar silinder pejal tembaga-baja

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan variasi tekanan gesek yaitu 30, 35, dan 40 MPa. Putaran mesin tetap dijaga konstan yaitu 1000 rpm menggunakan tekanan tempa 80 MPa dengan masing-masing waktu tempa dan gesek adalah 5 detik. Pengelasan gesek dilakukan sebanyak 4 kali pada masing-masing variasi spesimen. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah silinder pejal tembaga dan baja dengan masing-masing diameter 12,7 mm.

Sebelum dilakukan pengelasan bahan harus dipotong dengan panjang masing-masing 75 mm kecuali untuk benda kerja tembaga yang akan dilas pada variasi tekanan gesek 40 MPa panjangnya 85 mm. Setelah dipotong maka ratakan permukaan yang akan disambung melalui proses pemesinan yaitu bubut. Selanjutnya melakukan kalibrasi pada mesin las gesek dengan tujuan untuk mendapatkan hasil pengujian yang sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Kalibrasi mesin las gesek ini dilakukan dengan cara menyetel tekanan dengan mesin hidrolik menggunakan alat ukur yang bernama load cell. Penyetelan ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tekanan setiap dilakukan pembukaan katup secara bervariasi.

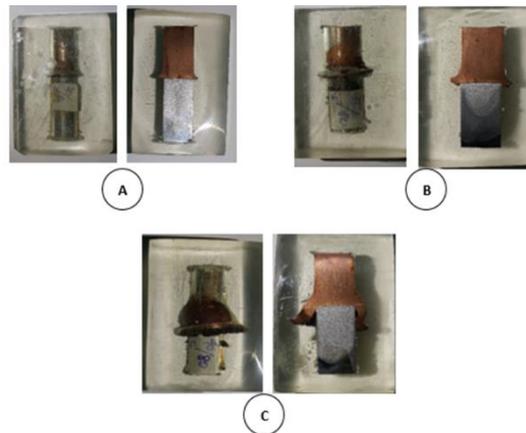
Selanjutnya pengelasan gesek dilakukan dengan memasang benda kerja pada cekam, baja pada cekam yang berputar dan tembaga pada cekam yang diam. Pada masing-masing permukaan sebisa mungkin harus rata atau presisi (gambar 2). Setelah mesin dihidupkan tarik tuas hidrolik hingga benda kerja bergesekan dengan durasi 5 detik. Tekanan tempa diberikan selama 5 detik setelah gesekan berhenti.



**Gambar 2** Proses pengelasan gesek dissimilar silinder pejal baja-tembaga, (A) Sebelum digesek, (B) Sesudah digesek.

### 2.1 Pengujian Struktur Mikro

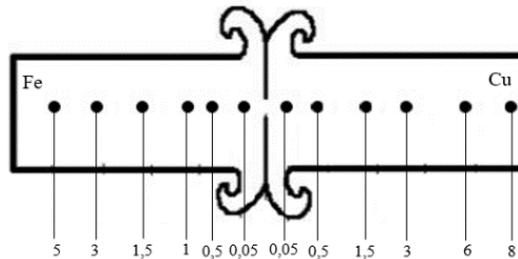
Pengujian struktur mikro dilakukan untuk melihat perubahan struktur mikro pada benda kerja setelah dilakukan pengelasan. Pengujian menggunakan mikroskop dengan 200x perbesaran. Benda uji yang telah tersambung dipotong dan dibelah menjadi 2 bagian menggunakan gergaji besi untuk pengujian struktur mikro dan kekerasan. Spesimen yang sudah dibelah kemudian dicetak dengan resin. Selanjutnya dilakukan pengamplasan menggunakan mesin amplas menggunakan nomer amplas 120, 320, 800, 1000, 1500, 2000 secara berurutan agar permukaan pada benda uji benar-benar halus. Selanjutnya dilakukan pemolesan menggunakan pasta autosol secukupnya untuk persiapan pengetsaan. Proses pengetsaan menggunakan larutan kimia HNO<sub>3</sub> 65% + Alcohol. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Olympus tipe PME3 yang terdapat di Lab Material D3 Universitas Gadjah Mada.



**Gambar 3** Hasil *mounting* spesimen uji: (A) 30 Mpa, (B) 35 MPa, (C) 40 MPa

**2.2 Pengujian Kekerasan**

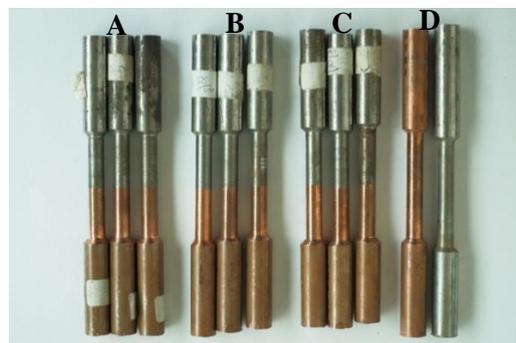
Pengujian kekerasan pada penelitian ini dilakukan di Lab Material D3 UGM menggunakan alat uji kekerasan micro vickers dengan pembebanan 200 gf. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan pada spesimen hasil pengelasan gesek tiap variasi tekanan gesek. Pada pengujian kekerasan ini, posisi titik pengujian untuk pengambilan data pada spesimen ada 12 titik pengujian. Posisi titik pengujian kekerasan dimulai dari titik 0,05; 0,5; 1,5; 3; 6; 8 pada tembaga dari titik sambungan dan 0,05; 0,5; 1; 1,5; 3; 5 pada baja dari titik sambungan. Posisi titik pengujian dapat dilihat pada gambar 4.



**Gambar 4** Posisi titik pengujian kekerasan sambungan dissimilar silinder pejal baja-tembaga

**2.3 Pengujian Tarik**

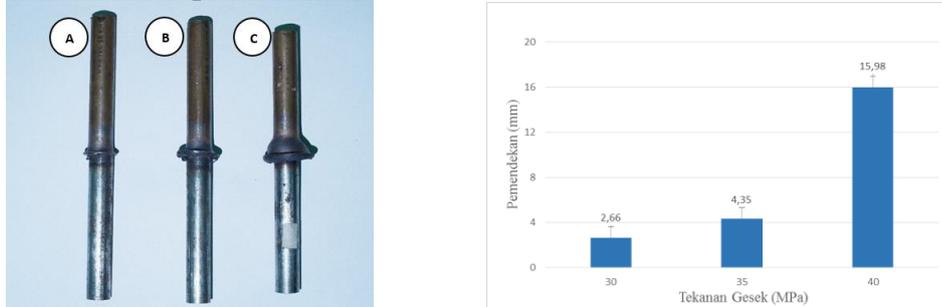
Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan di Lab Material Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Mesin uji tarik menggunakan mesin Universal Testing Machine (UTM). Pengujian tarik ini berfungsi untuk mengetahui kekuatan tarik hasil pengelasan gesek. Pegujian tarik ini dilakukan 3 kali pengujian pada masing-masing spesimen variasi tekanan gesek. Sebelum melakukan pengujian tarik, spesimen uji tarik dilakukan proses pemesinan untuk menghilangkan flash pada daerah sambungan dan dibentuk sesuai standar JIS Z 2201.



**Gambar 5** Spesimen uji tarik (standar *JIS Z 2201*), (A) 30 MPa, (B) 35 MPa, (C) 40 MPa, dan (D) Raw baja dan tembaga

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Sambungan Las Gesek Dissimilar Silinder Pejal Tembaga-Baja

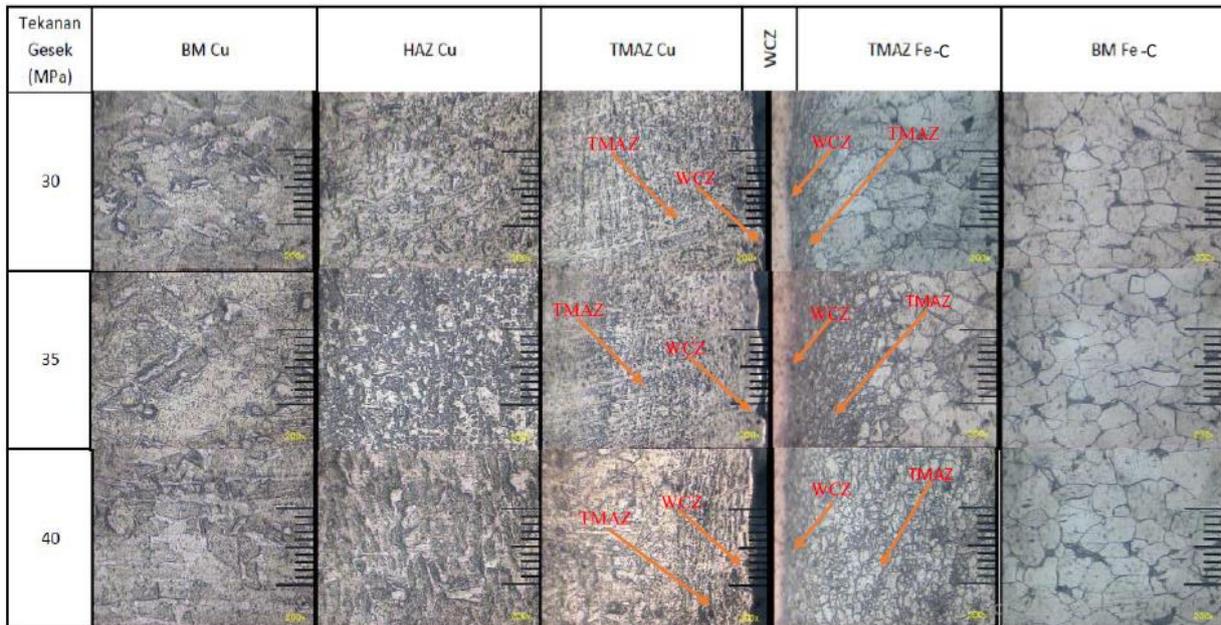


**Gambar 6** Contoh spesimen pengelasan gesek dengan tekanan (A) 30 MPa, (B) 35 MPa, (C) 40 MPa dan grafik hubungan pemendekan dengan tekanan gesek

Gambar 6 adalah hasil pengelasan gesek dissimilar silinder pejal tembaga-baja beserta grafik hubungan pemendekan dengan tekanan gesek. Dengan meningkatnya tekanan gesek maka flash yang dihasilkan semakin lebar dan pemendekan juga semakin besar. Hal ini juga disebabkan oleh durasi gesekan yang relatif lama yaitu 5 detik. Semakin lama waktu gesekan maka suhu yang diperoleh akibat gesekan juga akan semakin besar. Suhu paling tinggi dihasilkan oleh tembaga, hal itu berakibat terbentuknya flash hanya pada sisi logam tembaga.

#### 3.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Berikut adalah hasil pengujian struktur mikro :



**Gambar 7** Foto struktur mikro pengelasan gesek silinder pejal tembaga-baja

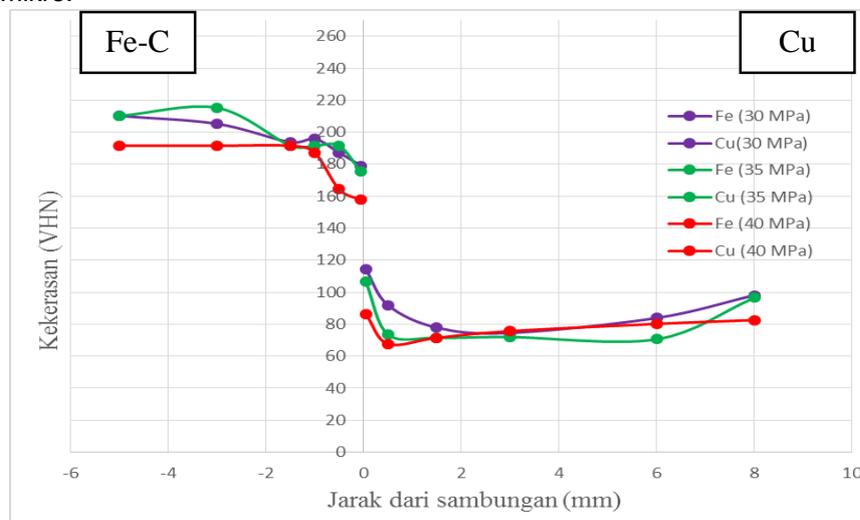
Gambar 7 menunjukkan perubahan struktur mikro pada tembaga-baja setelah dilas gesek. Pada daerah *welding center zone* (WCZ) baja terjadi pengecilan butir, pengecilan butir semakin meluas dengan naiknya tekanan gesek. Semakin tinggi tekanan gesek maka temperturnya akan semakin tinggi. Sehingga ketika temperatur mencapai titik diatas rekristalisasi maka akan merubah sifat mekanik dan bentuk struktur mikro dari baja. Lalu semakin tinggi temperturnya maka butiran yang berubah akan semakin meluas. Pada material baja tidak ditemukan *heat affected zone* (HAZ) karena temperatur pada saat gesekan tidak cukup untuk membentuk HAZ pada baja.

Struktur mikro didaerah *thermomechanically affected zone* (TMAZ) dan HAZ pada spesimen tembaga variasi tekanan 30 MPa ke 35 MPa tidak mengalami perubahan yang signifikan. Tetapi pada spesimen dengan

tekanan gesek 40 MPa daerah WCZ butirnya lebih besar dan mengalami kepadatan. Lalu daerah TMAZ butirnya besar hampir sama dengan daerah HAZ. Karena pada tekanan 40 MPa temperatur dari gesekan tinggi sehingga deformasi plastis juga tinggi dan pengaruh tekanan tempa sebesar 80. Sehingga pada bagian *interface* tembaga yang deformasi plastisnya tinggi membentuk flash yang berlebih dan mengakibatkan kepadatan struktur mikro pada *interface* tembaga. Daerah HAZ tembaga struktur mikronya hampir sama dengan *basemetal*. Peningkatan ukuran butiran HAZ pada tembaga berbanding lurus dengan peningkatan variasi tekanan gesek.

### 3.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Setelah pengujian struktur mikro dilakukan maka dapat diketahui posisi untuk menentukan titik pengujian kekerasan. Spesimen yang digunakan untuk pengujian kekerasan adalah hasil sambungan dengan variasi tekanan gesek 30, 35, dan 40 MPa. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode uji Vickers dengan pembebanan 200 gf. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah yang mengalami perubahan struktur mikro.



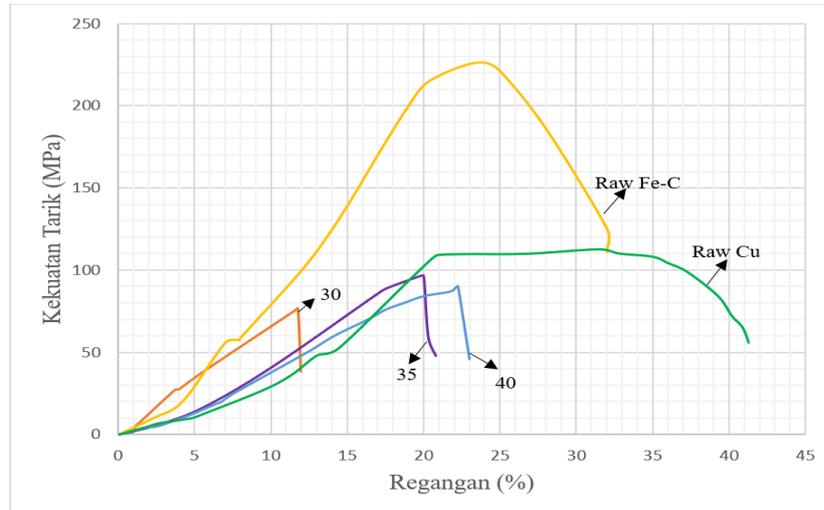
**Gambar 8** Grafik nilai kekerasan pada sambungan dissimilar silinder pejal baja-tembaga

Grafik nilai kekerasan menunjukkan nilai kekerasan setiap sambungan variasi tekanan gesek. Pada tekanan gesek 30 MPa nilai kekerasan pada jarak -0,05 (baja) dari sambungan 179,1 VHN dan pada jarak 0,05 (tembaga) dari sambungan 114,2 VHN. Pada tekanan gesek 35 MPa nilai kekerasan pada jarak -0,05 (baja) dari sambungan 175,3 VHN dan pada jarak 0,05 (tembaga) dari sambungan 106,5 VHN. Pada tekanan gesek 40 MPa nilai kekerasan pada jarak -0,05 (baja) dari sambungan 157,7 VHN dan pada jarak 0,05 (tembaga) dari sambungan 86,4 VHN.

Dari hasil nilai kekerasan maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai tekanan gesek kekerasan pada titik 0,05mm dan -0,05mm dari sambungan juga akan menurun. Kurt, dkk. (2011) berpendapat bahwa secara umum nilai kekerasan meningkat dengan meningkatnya tekanan gesek dan tekanan tempa, tetapi kekerasan dapat menurun dengan semakin lamanya durasi waktu tempa.

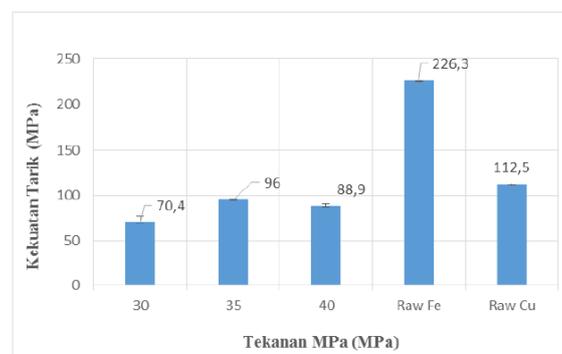
### 3.4 Hasil Pengujian Tarik

Berikut adalah hasil pengujian tarik :



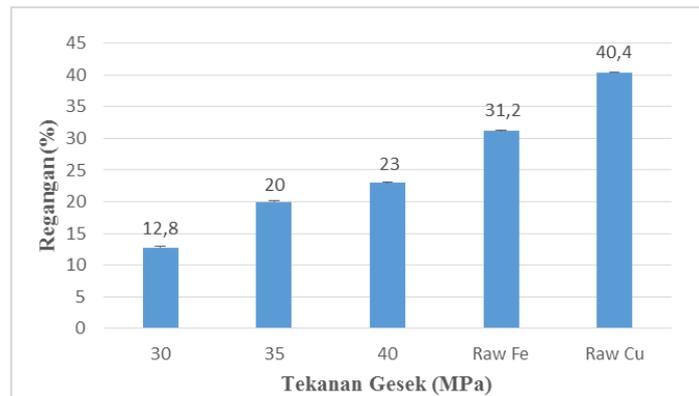
**Gambar** Grafik hubungan kekuatan tarik (MPa) dengan regangan (%)

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara kekuatan tarik dengan regangan setelah dilakukan uji tarik. Kekuatan tarik yang paling tinggi dihasilkan oleh raw material baja yaitu sebesar 226,3 MPa dengan regangan sebesar 31,2 %. Sementara kekuatan tarik raw material tembaga 112,5 MPa dengan regangan 40,4%. Hal ini disebabkan oleh perbedaan modulus young tembaga dan baja. Kekuatan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan gesek lalu turun pada spesimen variasi tekanan gesek 40 MPa.



**Gambar 10** Diagram hubungan antara tekanan gesek (MPa) dengan kekuatan tarik (MPa)

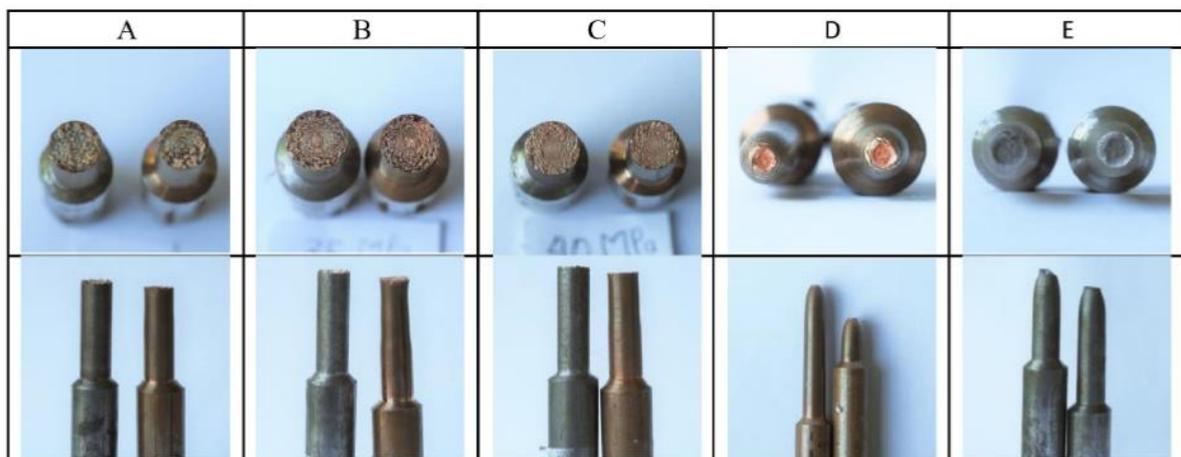
Dapat diamati bahwa kekuatan tarik tertinggi dihasilkan oleh spesimen dengan tekanan gesek 35 MPa yaitu sebesar 96 MPa, disusul dengan spesimen dengan tekanan gesek 40 MPa sebesar 88,9 MPa, lalu spesimen dengan tekanan gesek 30 MPa sebesar 70,4 MPa. dapat disimpulkan bahwa variasi tekanan gesek 35 MPa telah mencapai kekuatan tarik maksimum. Hal ini karena tembaga telah mengalami pembebanan maksimal dan juga perbedaan modulus young antara tembaga dengan baja. Pada tekanan gesek 35 MPa tembaga mengalami perubahan struktur mikro sehingga kekuatan tarik meningkat. Tetapi pada tekanan 40 MPa tembaga mengalami deformasi plastis yang tinggi dan efek tekanan tempa sehingga kekuatan tarik pada interface sambungan melemah.



**Gambar 11** Diagram hubungan antara tekanan gesek (MPa) dengan regangan (%)

Gambar 11 menunjukkan nilai regangan sambungan las gesek dissimilar silinder pejal tembaga-baja. Nilai regangan tertinggi terjadi pada spesimen dengan variasi tekanan gesek 40 MPa sebesar 23%. Hal ini disebabkan karena perubahan struktur mikro daerah HAZ tembaga pada spesimen tekanan gesek 40 MPa tidak terlalu signifikan (hampir sama) dengan struktur mikro *base metal* tembaga, maka keuletan dari spesimen 40 MPa lebih tinggi daripada spesimen lain. Semakin tinggi nilai regangan maka dapat dikatakan suatu material bersifat ulet dan semakin rendah regangan sifat materialnya getas.

### 3.5 Patahan Uji Tarik



**Gambar 12** Patahan pengujian tarik sambungan silinder pejal tembaga-baja

Gambar 12 menunjukkan detail patahan dari raw baja, raw tembaga dan masing-masing spesimen variasi tekanan gesek sambungan dissimilar silinder pejal baja-tembaga. Terlihat semua patahan terletak pada sambungan atau pada daerah WCZ tembaga. Hal ini disebabkan karena difusi kedua material tidak seimbang mengingat suhu lebur atau konduktivitas termal baja dan tembaga berbeda jauh. Semakin tinggi tekanan gesek maka semakin tebal *interface* tembaga yang menempel pada patahan interface baja. Karena suhu pada tekanan 40 MPa sudah membuat tembaga berdifusi dengan interface baja, ditambah struktur mikro pada interface tembaga lebih memadat tetapi hal ini tidak membuat kekuatan tarik spesimen dengan variasi tekanan gesek 40 MPa bertambah kuat. Selanjutnya patahan dengan kekuatan tarik yang paling tinggi yaitu pada tekanan 35 MPa, terlihat material tembaga mengalami pemanjangan akibat pembebanan tarik. Hal ini karena penyempurnaan butir yang optimal sehingga sambungan lebih kuat daripada spesimen tekanan gesek 30 dan 40 MPa.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengelasan gesek terhadap pengujian struktur mikro, pengujian nilai kekerasan, dan pengujian kekuatan tarik menggunakan material logam silinder pejal baja dengan tembaga

dengan parameter tekanan gesek 30 MPa, 35MPa, 40 MPa menggunakan metode pengelasan Continuous Drive Friction Welding (CDFW), maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada pengujian mikro tidak ditemukan daerah HAZ pada material baja, oleh sebab itu pada material baja hanya terdapat daerah WCZ, TMAZ, dan basemetal. Semakin tinggi tekanan gesek butiran kecil pada baja semakin meluas didaerah WCZ sampai ke TMAZ. Sementara pada tembaga ukuran struktur mikro didaerah HAZ semakin membesar seiring dengan bertambahnya variasi tekanan.
2. Nilai kekerasan menurun seiring bertambahnya tekanan gesek.
3. Kekuatan tarik meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan gesek. Tetapi pada tekanan 40 MPa kekuatan tarik turun karena pengaruh deformasi plastis dari tekanan tempa.
4. Variasi tekanan gesek yang direkomendasikan adalah 35 MPa.

## 5. Daftar Pustaka

### Jurnal

- Japanese Standards Association. (1998). Test Piece for Tensile Test for Metallic Materials, dalam Standardization Jurnal. Tokyo, Standardization Promotion Departement.
- Kurt, I. Uygur, dan U. Paylasan. (2011). Effect of Friction Welding Parameters on Mechanical and Microstructural Properties of Dissimilar AISI 1010-ASTM B22 Joints, dalam Welding Research Vol. 90.
- Sahin, M. (2009). Joining of Stainless Steel and Copper Materials with Friction Welding. Dalam Industrial Lubrication and Tribology Vol. 61 Iss 6 pp. 319-324.
- Subianto, H., Sigied, P. (2012). Pengaruh Durasi Gesek, Tekanan Gesek, dan Tekanan Tempa Terhadap Impact Strength Sambungan Lasan Gesek Langsung pada Baja AISI 1045, dalam Jurnal Sains dan Seni Pomits Vol.1, No.1, hal.1-5.
- Yanni, W., dan Sun, F. (2018). Microstructures and Mechanical Properties of Al/Fe and Cu/Fe Joints by Continuous Drive Friction Welding, dalam jurnal Materials Science and Engineering Vol.2018 Article ID 2809356, 8 page

### Buku

- Japan Welding Society. (2010). Welding and Joining Technologies. Tokyo: Japan Welding Society.