

PENGARUH VARIASI PUTARAN GESEK TERHADAP KUALITAS SAMBUNGAN PADA PENGELASAN GESEK CONTINUOUS DRIVE FRICTION WELDING BAHAN PIPA KUNINGAN DAN TEMBAGA

Sigit Purnomo

*Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Program Studi S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Yogyakarta 55183, Indonesia*

INTISARI

Pengelasan gesek merupakan suatu metode penyambungan material yang memanfaatkan panas yang ditimbulkan dari gesekan permukaan antara dua buah benda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi putaran yang digunakan dalam pengelasan gesek terhadap kekerasan Vickers dan struktur mikro pada daerah sambungan. Penelitian ini menggunakan mesin bubut yang sudah di modifikasi yang menjadi alat las gesek (friction welding). Bahan yang digunakan pipa tembaga dengan diameter Do 15,875mm dan Di 12,87mm dengan tebal 2 mm dan pipa kuningan Do 15,875mm Di 12,35mm dengan tebal 1,6mm atau 5/8 inch. Pengelasan dengan mesin (friction welding) menggunakan variasi putaran 1000 rpm, 1600 rpm, 2000 rpm tekanan gesek 1471.68 MPa tekanan tempa 1962,24 MPa. Setelah pengelasan dilakukan pembelahan pada pipa untuk menentukan titik struktur mikro dan kekerasan. Dimasing-masing putaran selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro dan kekerasan disetiap variasi putaran. Pada putaran 1000 dan 1600 rpm menghasilkan butiran halus dan pada putaran 2000 rpm hasilnya kasar. Dari masing-masing putaran akan menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda. Hasil pengujian kekerasan di 1000 rpm pada pipa tembaga dan kuningan. Nilai kekerasn tertinggi pada pipa tembaga 51,5 VHN sedangkan pada kuningan 77,2 VHN didaerah sambungan. Putaran 1600 rpm nilai kekerasan 85,8 VHN pada kuningan dan pada tembaga 51.5 VHN. Dan 2000 rpm nilai kekerasan 87,6 VHN pada kuningan dan tembaga 50,7 VHN. Kekerasan tertinggi di daerah pipa tembaga dan kuningan pada titik pertama yang jaraknya 0,1 dari sambungan. Nilai kekerasan yang jauh dari sambungan pada jarak 3mm menurun karena panags yang didapatkan hanya hantaran panas. Sehingga tidak merubah nilai kekerasan dan di bagian sambungan merubah struktur mikro. Dari semua variasi putaran gesek putaran yang sesuai adalah 2000 rpm karena ditinjau dari hasil pengujian kekerasan yang diperoleh.

Kata kunci : *Friction welding*, uji kekerasan vikers dan struktur mikro

1. LATAR BELAKANG

Pada saat ini penyambungan logam dengan sistem pengelasan semakin banyak digunakan, baik dalam konstruksi bangunan maupun konstruksi mesin. Salah satu yang dipakai dalam dunia industri adalah *fusion welding* sering disebut las busur. Banyak metode yang digunakan seperti sambungan lipat, sambungan mur baut. Pada pengelasan logam dalam bentuk silinder pejal maka las busur tidak cocok karena membuat kekuatan tidak maksimal. Ada juga teknik pengelasan yang lain yaitu *solid state welding* yaitu penyambungan dua material pada temperatur dibawah titik leleh material. Sehingga ditemukan cara peleburan

dengan cara pengelasan antara tepi dan tengah yaitu pengelasan gesek (*friction welding*).

Pengelasan gesek merupakan salah satu metode penyambungan material yang memanfaatkan panas yang ditimbulkan antara gesekan kedua material yang berbeda maupun tidak.. Penyambungan tanpa memberikan bahan tambah atau logam pengisi. Jenis-jenisnya yaitu *explosion welding*, *forge welding*, *friction welding*, *radial friction welding* dan lain sebagainya. Adapun metode yang digunakan dalam pengelasan salah satunya adalah pengelasan gesek (*friction welding*).

Beberapa kekurangan dan kendala yang ditemukan dalam pengelasan dengan metode

peleburan atau busur listrik. Ketebalan material yang akan di las. Penyambungan silinder yang besar mengalasi kesulitan kesulitan karena harus dilakukan secara bertahap agar lapisan logam mengisi sempurna. Dengan metode pengelasan bentuk silinder silinder pejal dapat teratasi yaitu menggunakan pengelasan las gesek (*friction welding*). Dari penelitian sebelumnya bahwa semakin tinggi putaran pengelasan dapat mempengaruhi hasil kekuatan tarik las menjadi lebuah tinggi. Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam table periodik yang memppunyai lambing Cu dan atom 29. Tembaga adalah penghantar listrik yang baik. Kuningan adalah paduan logam tembaga dan logam seng dengan kadar tembaga 60-90%. Penelitian yang dilakukan oleh Aldo (2015) didapatkan lama waktu gesek maka akan menurun nilai kekerasan pada kuningan. Dan pada tembaga nilai kekeran yang didapatkan tidak menurun. Nur Husodo,dkk (2013) Perubahan waktu gesekan mempengaruhi nilai kekerasn yang dihasilkan pada sambungan las.

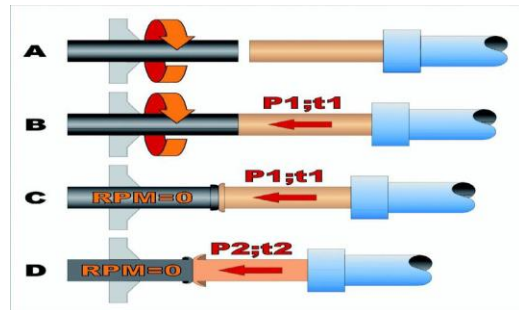
2. DASAR TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

DIN (*Deutch Industrie Normen*) mendafinisikan las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan adalah salah satu proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi menggunakan bahan tambahan maupun tidak (Wirjosutomo dan Okumura 2008). Selain untuk menyambung, proses pengelasan dapat juga digunakan untuk memperbaiki. Misalnya untuk mengisi atau menambal lubang-lubang pada bagian-bagian coran yang sudah aus.

Rotary Friction Welding

Rotary friction welding adalah pengelasan yang terjadi terjadi karena panas yang dihasilkan dari gesekan kedua ujung permukaan benda kerja. Gesekan yang terjadi disebabkan karena adanya panas yang timbul dari kedua ujung permukaan benda kerja dan

pemberian beban antara material yang berputar dan material yang diam atau keduanya berputar berlawanan arah

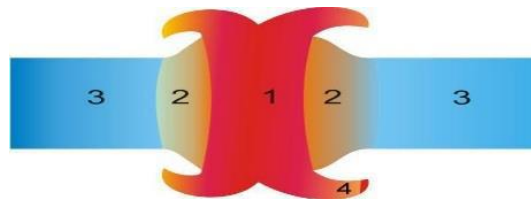


Gambar .1. Proses pengelasan

Sumber: International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering
Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459,
Volume 2, Issue 7, July 2012

Daerah Pengelasan

Daerah pengelasan adalah daerah yang terkena pengaruh panas pada saat pengelasan, pengaruh panas tersebut menyebabkan perubahan struktur mikro, sifat mekanik dan ada yang tidak merubah struktur mikro dan sifat mekanik. Daerah pengelasan dibagi menjadi 4.



Gambar 2. Daerah pengelasan

1. Daerah inti atau yang berwarna merah adalah daerah utama pengelasan yang mengalami pembekuan. Struktur mikro di logam las dicirikan dengan adanya struktur berbutir panjang (*columnar grains*).

2. *Heat Affected Zone* (HAZ) adalah daerah yang mengalami perubahanstruktur mikro dan sifat-sifat mekanismenya akibat pengaruh dari panas yang dihasilkan pada daerah inti. Daerah HAZ merupakan daerah palingkritis dari sambungan las, karena selain berubah strukturnya juga terjadi perubahan sifat pada daerah tersebut.

3. Logam Induk adalah daerah dimana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan perubahan struktur mikro dan sifat mekanik.

4. *Flash* adalah lelehan yang keluar dari pusat bidang gesekan dan tempaan.

Frayudi (2013) meneliti tentang pengaruh waktu gesek pada pengelasan gesek untuk baja karbon rendah terhadap kekuatan tarik dan kekerasan mikro. Didapatkan hasil nilai kekuatan tarik tertinggi pada spesimen dengan waktu pemanasan 8 menit sebesar 305,15 MPa. Untuk nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah las sebesar 212,8 VHN. Sedangkan daerah HAZ rata-rata kekerasannya adalah 174,08 VHN. Di daerah logam induk rata-rata kekerasannya 158,96 VHN. Pada daerah yang jauh dari titik las gesek strukturnya tidak mengalami perubahan. Disimpulkan semakin tinggi kekuatan tariknya semakin besar kecenderungan untuk berubah bentuk.

Satoto (2011) juga meneliti tentang kekuatan tarik, struktur mikro dan struktur makro lasan stainless steel dengan las gesek. Diperoleh rata-rata kekuatan tarik pada putaran pengelasan 950 rpm adalah sebesar 167,99 MPa. Dengan waktu 63,67 detik nilai kekuatan tarik pada pengelasan dengan putaran 1350 rpm adalah sebesar 237,68 MPa. Dapat disimpulkan bahwa dengan putaran motor (rpm) yang tinggi dapat mempengaruhi hasil las gesek sehingga tinggi kekuatan tariknya.

Sidiq (2013) meneliti tentang pengaruh waktu gesek terhadap kekuatan tarik dan kekerasan mikro. Hasil yang didapatkan adalah pada benda uji dengan waktu putar 10 menit mendapatkan kekuatan tarik sebesar 368,28 MPa. Waktu putar yang lama mengakibatkan kekuatan tariknya semakin kecil. Kekerasan tertinggi terdapat pada daerah inti las sebesar 263,7 VHN. Hasil pengamatan penampang patah peleburan hampir merata keseluruhan permukaan las, untuk hasil

perekatan yang sempurna terjadi pada benda uji dengan waktu pemanasan 10 menit.

Tembaga dan Kuningan

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa Latin *Cuprum*. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang cepat sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga dicampurkan dengan timah untuk membuat perunggu.

Kuningan adalah paduan logam tembaga dan logam seng dengan kadar tembaga antara 60-96% massa. Kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari tembaga dan seng. Tembaga merupakan komponen utama dari kuningan. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga ke cahaya kuning kepekaan tergantung pada jumlah kadar seng.

Kuningan lebih kuat dan lebih keras daripada tembaga, tetapi tidak sekuat baja. Kuningan sangat mudah untuk dibentuk ke dalam berbagai bentuk, sebuah konduktor panas yang baik, dan umumnya tahan terhadap korosi dan air garam. Karena sifat tersebut kuningan kebanyakan digunakan untuk membuat pipa, tabung, sekrup, radiator, alat musik, aplikasi kapal laut dan *casting cartridge* untuk senjata api.

3. Metode Penelitian

Bahan yang digunakan adalah pipa tembaga dan kuningan dengan diameter 5/8. Pipa di potong dengan panjang 7cm disetiap pipa. Perataan permukaan agar permukaan pipa rata dan halus. Penentuan variasi gesek, tekanan tempa dan tekanan gesek. variasi yang digunakan adalah 1000, 1600 dan 2000 rpm tekanan gesek 1471,68 MPa tekana tempa 1962,24 MPa. Setelah variasi putaran dan tekanan tempa siap untuk pengelasan atau penyambungan. Alat pengelasan gesek

dipasangi mesin bubut yang sudah di modifikasi. Pipa kuningan di cekam pada bagian yang diam dan pipa tembaga dicekam pada bagian berputar kemudian atur kecepatan yang sudah ditentukan sebelumnya. Setelah itu dilakukan pengelasan ketika sudah terbentuk dalam sambungan lalu lepas dari alat kemudian didinginkan. Selanjutnya pembelahan pada benda uji untuk menentukan daerah struktur mikro dan uji kekerasan.

Bahan pipa kuningan dan tembaga kemudian diresin terlebih dahulu agar mempermudah memegang saat *polish*. Polish dengan merk gripomat untuk mempercepat pengamplasan benda uji setelah diresin. Ada beberapa amplas yang digunakan 120, 200, 800, 1000, 1200 dan 1500. Setelah mendapatkan pengamplasan yang sesuai keinginan kemudian dipolis dengan autosol secukupnya. Untuk bahan etsa siapkan NH_3OH 65% secukupnya, alkohol 97%. Clupkan pipa kuningan dan tembaga kedalam larutan tersebut selama 10 detik. Cuci spesimen dengan aquades lalu bersihkan spesimen menggunakan kapas atau kain bersih yang sudah dikasih alkohol. Lihat dengan alat uji struktur mikro Olympus dengan tipe PME3 dengan pembesaran 50x sampai 2500x alat ini terdapat di Lab Material D3 UGM.

Untuk selanjutnya uji kekerasan dengan menentukan titik uji daerah mana saja yang akan diuji. Alat uji yang digunakan unyuk uji kekerasan merk Shimadzu dengan tipe HMV-M3. kekerasan bahan mulai dari lunak (5HV) sampai yang sangat kaeras (1500 HV)

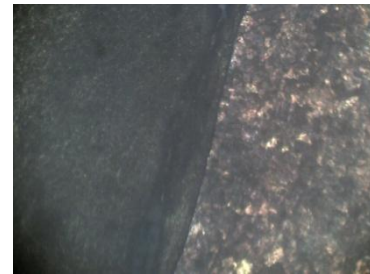
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengelasan maka didapatkan sambungan antara pipa kuningan dan tembaga yang di tunjukan pada gambar 3. Dan selanjutnya bahan dilakukan pembelahan untuk proses uji struktur mikro dan kekerasan. Setelah melalui tahap pengamplasan dan pencamburan bahan etsa maka dilanjutkan uji struktur mikro dan dapat dilihat hasilnya pada gambar 5 . pada gambar a) menggunakan putaran 1000rpm, b).1600rpm dan c). 2000 rpm. Dari semua

putaran didapatkan hasil foto struktur mikro yang berbeda beda butirannya. Factor utama yang pengaruh adalah putaran dan tekanan tempa. Dari hasil uji struktur mikro selanjutnya untuk menentukan daerah titik uji kekerasan setiap sambungan. kemudian pengujian dilakukan 5titik dari sambungan dengan jarak 1mm dapat dilihat pada gambar(6)

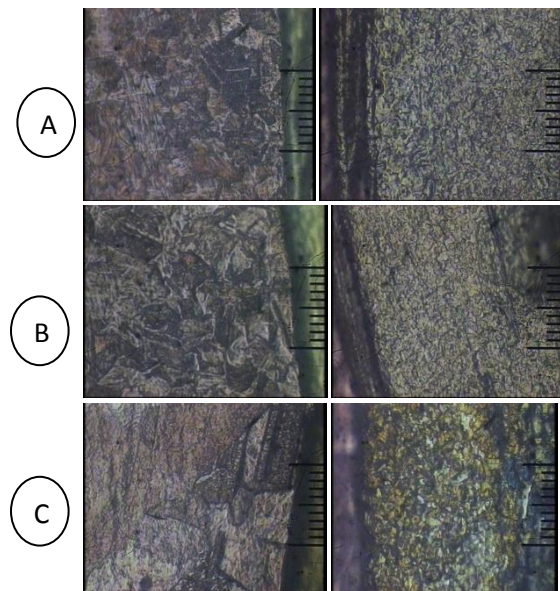


Gsmbr 3. Hasil pengelasan dan pembelahan



Gambar 4. Penampang las

HASIL FOTO STRUKTUR MIKRO



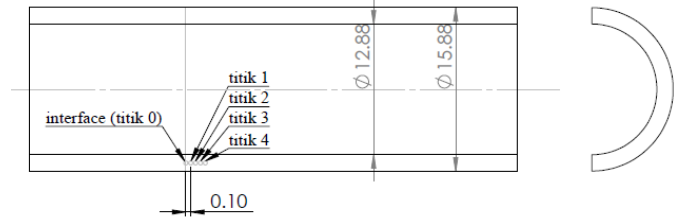
Gambar 5. hasil foto struktur mikro daerah sambungan A) 1000 rpm, B)1600 rpm dan C) 2000 rpm

Terlihat bahwa setiap variasi putaran gesek akan berbeda pada daerah sambungan (*interface*). Daerah struktur mikro dengan pembesaran 200 mikron disetiap satu setripnya 20 mikron. Dengan putaran yang bervariasi menghasilkan struktur mikro yang sama. Terlihat dari hasil foto struktur mikro butiran halus dan padat di daerah sambungan (*interface*). Bentuk akan mengecil sehingga terjadi kepadatan di daerah sambungan (*interface*). Daerah *interface* adalah daerah sambungan yang mendapatkan tekanan gesek pada saat proses pengelasan. Dengan perlakuan variasi putaran maka hasil yang didapat pada saat pengamplasan untuk uji struktur mikro disetiap bahan akan berbeda.

Variasi putaran gesek dan tekanan gesek mempengaruhi temperatur yang dibangkitkan pada saat gesekan berlangsung. Semakin tinggi putaran dan tekanan maka temperature akan tinggi. Dari gambar 4 diatas dapat disimpulkan dengan gambar struktur mikro. Variasi putaran dan tekanan tempa struktur mikro akan berbeda kepadatan, kehalusan permukaan akan berbeda. Ketika putaran dari rendah ke tinggi akan merubah struktur mikro. Bentuk flash dari masing-masing putaran 1000 rpm, 1600 rpm dan 2000 rpm akan sama tetapi hasil struktur mikronya berbeda. Dari struktur mikro bentuk butiran kecil sampai besar terlihat pada saat pengujian struktur mikro.

dengan permukaan yang halus dan bergaris saja pada **gambar 4.5**. Pada daerah sambungan tidak menyatu antara kuningan dengan tembaga ini hanya menempel. Digambarkan terlihat bentuk kawah dan bergaris yang membentuk kawah kecil yang membentuk butiran halus

Setelah dilakukan uji struktur mikro selanjutnya di uji kekerasan dengan menggunakan 5 titik uji dari setiap putaran.



Gambar 6. Titik uji kekerasan

Hasil pengujian kekerasan tembaga dan kuningan

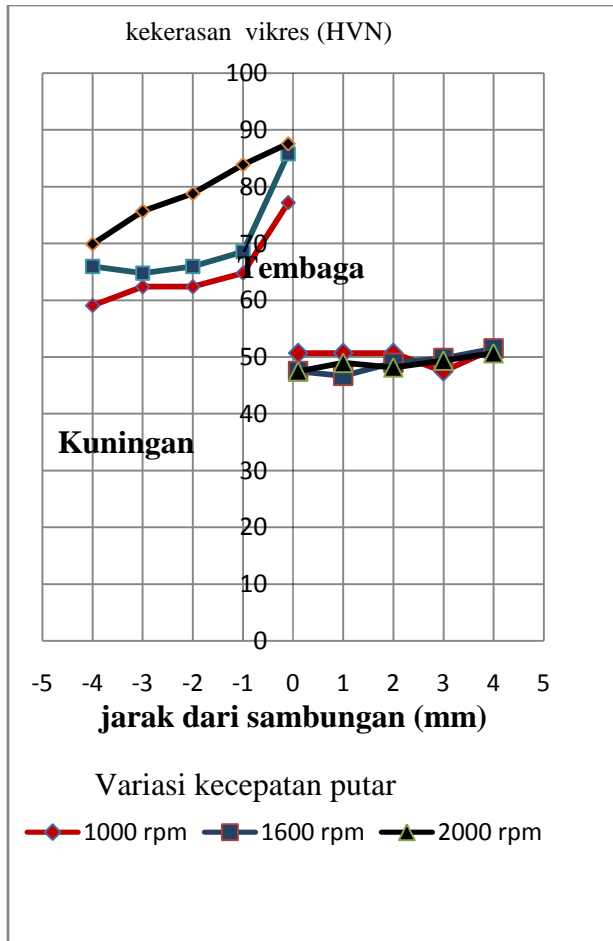
no	Putaran	Posisi titik uji dari tengah	Kekerasan (VHN)	
1	1000 rpm	Tembaga	4	50.7
			3	50.7
			2	50.7
			1	47.5
			0.1	51.5
		Kuningan	0,1	77.2
			1	64.8
			2	62.4
			3	62.4
			4	59.1
2	1600 rpm	Tembaga	4	47.5
			3	46.7
			2	49.0
			1	49.8
			0.1	51.5
		Kuningan	0,1	85.8
			1	68.6
			2	66
			3	64.8
			4	66
3	2000 rpm	Tembaga	4	47.5
			3	49.0
			2	48.2
			1	49.4
			0.1	50.7
		Kuningan	0,1	87.6
			1	83.9
			2	78.8
			3	75.7
			4	69.9

Gambar 7. Hasil pengujian kekerasan

Pada table 7 di atas diperoleh bahwa kekerasan tertinggi pada putaran 2000 rpm logam kuningan yaitu 87,6 Mpa dan kekerasn terendah diperoleh 59,1 Mpa putaran 1000 rpm pada logam kuningan. Hal ini terjadi karena kecepatan putar tinggi panas yang ditimbulkanakan semakin besar. Pada saat terjadi *themoplastis* akan mempengaruhi nilai kekerasan. Flesh pada bagian luar logam kuningan dan terjadi deformasi pada struktur mikronya. Putaran 2000 rpm adalah putaran yang optimal dari variasi putar 1000 rpm dan 1600 rpm. Nilai kekrasan dari 2000 rpm yang paling optimal. Nilai kekerasannya yang dihasilkan tidak menurun dari 87,6 Mpa sampai 69,9 Mpa hanya selisih 4 Mpa disetiap titik pada logam kunigan. Sedangkan pada logam tembaga nilai kekerasan diputaran 1000 rpm, 1600 rpm dan 2000 rpm nilai yang dihasilkan 51, 5 Mpa pada titik 0,1. Dengan nilai rendah pada putaran 1600 rpm yaitu 46,7 Mpa pada titik ke 4. Hal ini terjadi pada saat proses gesekan mendapatkan hantaran panas. Panas yang dihasilkan pada bagian sambungan lebih besar. Terlihat pada hasil struktur mikro pada gambar 8. Pipa kuningan pada putaran 1000 rpm dan 1600 rpm butiran-butiran terlihat rapat. Hasil putaran 2000 rpm terlihat butiran kasar dan dapat dilihat gambar 4.3. Hal ini adanya *deformasi* pada bagian pipa. *Deformasi* terjadi pada logam tembaga. Terlihat pada *interface* yaitu semakin bertambah putaran maka bergaris semakin jelas.

Dari tabel di atas dapat disimpulkan kekerasn pada logam kuningan terdapat pada

putaran 2000 rpm dengan nilai kekerasn 87,6 VHN di titik 0,1 mm dari sambungan. Dikarenakan pada putaran tersebut terjadinya flash lebih cepat. Panas yang dihasilkan maksimal sehingga butiran logam menjadi lebar dan mengeras. Nilai terendah pada putaran 1600 rpm pada titik 5 yang jauh dari sambungan yaitu pada pipa kuningan. Pada tabel 5. menunjukkan bahwa putaran gesek 1000 nilai kekerasan dari titik 0,1 sampai titik 4 menurun. Pada daerah sambungan mengalami pemanasan yang di gesekan dari awal. Dimana titik 1,2,3 terjadi perambatan panas sehingga titik tersebut mendapatkan hantaran panas sehingga tidak merubah nilai kekerasan.



Grafik 8. Profil kekerasan pada sambungan las gesek dengan variasi gesek gabungan antara 1000 rpm, 1600 rpm dan 2000 rpm

Dari grafik di atas dapat disimpulkan kekerasan pada logam tembaga terdapat pada putaran 1000 rpm dengan nilai kekerasan 51,5 VHN dititik 0,1 mm dari sambungan. Dikarenakan pada putaran tersebut terjadinya flash, tembaga lebih lama dari kuningan. Pada saat mulai terjadi flash pada tembaga kuningan sudah mencapai termoplastis terlebih dahulu dan panas yang dihasilkan maksimal sehingga butiran logam tembaga menjadi lebar dan mengeras. Nilai terendah pada putaran 2000 rpm pada titik 4 yang jauh dari sambungan dapat dilihat pada grafik 8. Pada grafik 8 menunjukkan

bahwa dari putaran gesek 1000 rpm penurunan kekerasan dari titik 0,1 sampai titik 4 menurun drastis yang awalnya 51,5 sampai 47,5. Putaran 1600 terjadi penurunan dari titik 0,1 sampai 4 bertahap tidak secara cepat. Putaran 2000 rpm titik uji 0,1 sampai 4 lebih stabil penurunannya karena pada putaran tersebut lebih kencang dari 1000, 1600 rpm mengalami deformasi.

5. KESIMPULAN

1. Hasil uji struktur mikro

Kesimpulan pada daerah sambungan, daerah HAZ dan daerah logam induk logam kuningan maupun tembaga dengan putaran gesek 1000 rpm, 1600 rpm dan 2000 rpm. Terlihat bahwa variasi putaran geseknya pada 1000 rpm dan 1600 rpm struktur mikronya terlihat kecil-kecil dan halus. Pada putaran 2000 rpm struktur mikronya terlihat kasar. Dipengaruhi oleh penekana yang tidak konstan pada setiap putaran.

2. Hasil uji kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada logam pipa tembaga dan kuningan dapat diambil kesimpulan bahwa. Kuningan mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi dibanding tembaga, kuningan kekerasannya 87,6 VHN dan tembaga kekerasannya 51,5 VHN. Variasi putaran mempengaruhi hasil kekerasan las. Disetiap putaran menerima penekanan yang berbeda. Jika putaran gesek tinggi maka nilai kekerasan akan semakin tinggi dan kecepatan putar rendah maka nilai kekerasannya akan rendah. Pada hasil pengamatan hubungan antara

kekerasan dipengaruhi oleh putaran gesek. Pada tembaga putaran gesek yang stabil yaitu terjadi pada putaran gesek 1000 rpm karena nilai kekerasannya yang stabil. Sedangkan pada kuningan kekerasan terletak pada putaran 2000 rpm. Karena proses terjadi flashnya sangat cepat pada putaran 2000 rpm, hal ini akan mempengaruhi nilai kekerasan kuningan. Kuningan yang melebar (*flash*) dan tembaga yang terdorong yang masuk kedalam kuningan yang sudah membentuk flash.

5.2. Saran

Penelitian yang dilakukan masih terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki kembali. Oleh karena itu penulis menyampaikan saran, sebagai berikut:

1. Untuk mempermudah pada saat mengontrol pemberian tekanan sebaiknya menggunakan pompa hidrolik yang bias mengontrol untuk menahan tekanan secara otomatis maupun pada saat pemberian tekanan. Atau di buat seperti system katrol yang di kasibeban yang telah di sesuaikan.
2. Pada saat proses pengelasan gesek perlu ditambahkan detector suhu panas yang terjadi saat pipa tembaga dan kuningan ini saat terjadi flash dengan menggunakan alat sensor panas.
3. Alat yang digunakan pengelasan gesek bias diperbaiki lagi supaya goncangan yang di hasil kan bias lebih sedikit atau kalau bias mengurangi getaran yang dihasilkan.
4. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya flash

yang dihasilkan dari pengelasan gesek agar tidak masuk kebagian dalam pipa, karena jika pipa tersebut digunakan sebagai pipa air bias menghambat aliran air.

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan mengubah variasi waktu, bahan, dan kecepatan.

DAFTAR PUSTAKA

Agus Santoso Dwi. Analisa Pengaruh Tekanan Tempa Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja ST 41 (Diameter 14 mm dan Kepala Tumpi 50 mm) Dengan Metode Direct-Drift Friction Welding Sebagai Alternatif Pembuatan Front Spring Pin T-120. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Engine Components.

<http://www.twi.co.uk/technical-knowledge/published-papers/friction-welding-of-aero-engine-components-july-2003/>. 13 Juli 2003.

<http://pressurevesseltech.asmedigitalcollection.asme.org>. Desember 2015.

Frayudi. A., (2013). “Pengaruh Waktu Gesek Pada Pengelasan Gesek Untuk Baja Karbon Rendah Terhadap Kkeuatan Tarik Dan Kekerasan Mikro”. Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

<http://www.gatwicktechnologies.com/processes/friction-welding>.

http://www.netwelding.com/Friction_Stir_Welding.htm. 26 Agustus 2003.

- Jones David. 2014. Pengertian Pengelasan.
<http://www.pengelasan.com/2014/06/pengertian-pengelasan-adalah.html>. 9 Agustus 2014.
- Materials Azo. 2015. Friction Welding in the Manufacturing of OEM Chemical Processing Equipment - A Case Study by American Friction Welding.
<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=4606>. 9 Agustus 2015.
- Nurchahyo Eko. Analisa Pengaruh Waktu Gesek Terhadap Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik (Uji Kekerasan dan Kekuatan Tarik) Pipa Baja ASTM A106 Dengan Metode Friction Welding. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nur husodo, Budi luar sanyoto, Sri bangun styawati dan Mahirul mursid (2013), "Penerapan Teknologi Las Gesek (Friction Welding) dalam Rangka Penyambungan Dua Buah Logam Baja Karbon St41 pada Produk Back Spring Pin". Skripsi, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Razzaq. R. (2011). "Pengaruh kekuatan tarik , struktur mikro dan struktur makro lasan baja karbon rendah dengan menggunakan las gesek". Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Satoto, I., (2011). "Kekuatan tarik struktur mikro dan struktur makro lasan stainless steel dengan las gesek". Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Setyawan Indra.2013. Cara Pembuatan Kuningan.
<http://bukankopipaste.blogspot.com/2013/01/cara-pembuatan-kuningan.html>. 2 Januari 2013
- Wiriyosutomo, Harsono dan Toshie Okumura, (2000), Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta, PT. Pradnya Paramitha.
- Wikipedia. 2015. Tembaga.
<https://id.wikipedia.org/wiki/Tembaga>. 11 Maret 2015.