



Volume 9 Nomor 2, November 2016 ISSN : 1979 - 018X

ROTOR

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



ROTOR

Volume 9

Nomor 2

Halaman
59 - 129

Jember
Nov 2016

ISSN
1979 - 018x

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Jember



Editor In Chief:

Prof. Dr. Ing. I Made Londen Batan, M.Eng. - *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc. - *Universitas Indonesia*

Dr. Ir. Agus Sigit Pramono - *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*

Dr. Eng. Made Sucipta, S.T., M.T. - *Universitas Udayana*

Editor:

Ir. Digdo Listyadi Setyawan, M.Sc. - *Universitas Jember*

Dr. R. Koekoeh K.W., S.T., M.Eng. - *Universitas Jember*

Dr. Agus Triono, S.T., M.T. - *Universitas Jember*

Dr. Salahuddin Junus, S.T., M.T. - *Universitas Jember*



ARTICLES

- **PERUBAHAN MASSA DAN NILAI KALOR CHAR DENGAN VARIASI HEATING RATE DAN TEMPERATUR PADA PIROLISIS SERBUK KAYU MAHONI (SWITENIA MACROPHYLLA)**
Farid Majedi, Widya Wijayanti, Nurkholis Hamidi
59-64
○ [PDF](#)
- **RANCANG BANGUN SEPEDA LISTRIK UNTUK PENDERITA CACAT KAKI**
Eko Sulistyono, Rodika Rodika
65-68
○ [PDF](#)
- **PENINGKATAN PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL BERSUDU AIR FOIL MELALUI PENAMBAHAN NOSEL DAN DIFUSER**
Jhon A. Wabang, Agustinus Betan, Edwin Hattu, Ambros Tuati, Thomas Fongo, Piter Tukah
69-71
○ [PDF](#)
- **KOMPOSISI CAMPURAN KOTORAN SAPI DAN LIMBAH PUCUK TEBU (SACCHARUM OFFICINARUM L) SEBAGAI BAHAN BAKU ISIAN SERTA PENGARUHNYA TERHADAP PEMBENTUKAN BIOGAS**
Danial Ahmad Fauzi, Yuli Hananto, Yuana Susmiati
72-76
○ [PDF](#)
- **SINTESIS BIODIESEL DARI MINYAK KESAMBI (Schleichera Oleosa L.) MENGGUNAKAN KATALIS BASA HETEROGEN DARI LIMBAH KARBIT**
Mohammad Syarif, Yuana Susmiati, Michael Joko Wibowo
77-80
○ [PDF](#)
- **STUDI NUMERIK 2-D PENGARUH PRANDTL NUMBER DAN SUB-CRITICAL REYNOLDS NUMBER TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERPINDAHAN PANAS PADA SINGLE CIRCULAR CYLINDER**
Arif Kurniawan
81-87
○ [PDF](#)
- **OPTIMASI MULTIRESPON PADA PROSES EDM SINKING BAJA ST 42 DENGAN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI DAN FUZZY LOGIC**
Galang Sandy Prayogo, Nuraini Lusi, Dian Ridlo Pamuji
88-93
○ [PDF](#)
- **PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK KELAPA SAWIT SEBAGAI MATERIAL TEKNIK**
Tarkono Tarkono, Hadi Ali
94-99
○ [PDF](#)
- **PRODUKSI BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN KATALIS HETEROGEN CANGKANG BEKICOT (ACHATINA FULICA) DENGAN METODE PENCUCIAN DRY WASHING**
Zainul Arifin, Bayu Rudiyanto, Yuana Susmiati
100-104
○ [PDF](#)
- **PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA TERHADAP KINERJA SISTEM REFRIGERASI PADA TATA UDARA SENTRAL**
M. Nuriyadi
105-109

- [PDF](#)
- [APLIKASI TEKNOLOGI CATALYTIC CONVERTER SISTEM SERABUT BAJA KARBON RENDAH PADA KENDARAAN BERMOTOR SEBAGAI PEREDUKSI POLUSI UDARA](#)
Andi Sanata
110-115
- [PDF](#)
- [PENGARUH WAKTU GESEK FRICTION WELDING TERHADAP KARAKTERISASI BAJA AISI 1045 DENGAN SUDUT CHAMFER 15 DERAJAT](#)
Riko Septian, Gaguk Jatisukamto, Salahuddin Junus
116-120
- [PDF](#)
- [ANALISIS DIAMETER GELEMBUNG PADA KERUGIAN TEKANAN ALIRAN FLUIDA](#)
Rachmat Subagyo, I.N.G. Wardana, Eko Siswanto
121-124
- [PDF](#)
- [UJI TABRAK KOMPONEN PINTU DAN BAMPER MOBIL LISTRIK BERBAHAN KOMPOSIT SERAT TEBU DENGAN METODE ELEMEN HINGGA](#)
Yuni Hermawan, Robertus Sidartawan
125-129
- [PDF](#)

University of Jember



JOURNAL | UNIVERSITY OF JEMBER



PENGARUH WAKTU GESEK *FRICION WELDING* TERHADAP KARAKTERISASI BAJA AISI 1045 DENGAN SUDUT *CHAMFER* 15°

Riko Septian¹, Gaguk Jatisukamto², Salahuddin Junus²

¹ Alumni Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember 68121

Email: Gagukjt@gmail.com

ABSTRACT

Friction welding is a technique by rubbing between two metal surfaces to produce a heat source, causing the union between the two metal surfaces without using filler metal. The purpose of this research is to improve the mechanical strength of metal welded joints 1045. The research method is done by rubbing between the two metal surfaces with the time variation of friction 25 seconds, 35 seconds, 45 seconds and 55 seconds. Friction time in 45 seconds able to get the highest tensile strength about 703,835 N/mm² and get fracture in main metal. In other, at the time of friction 25 seconds reach its low tensile strength about 429,671 N/mm² and occurred a fracture in connection welds. Best hardness distribution obtained at the time of friction 55 seconds with a value of 270 BHN in hardness weld metal, the hardness value in left part of HAZ reach 252 BHN and hardness value of right part of HAZ reach 247.6 BHN. Lowest hardness obtained at Friction time in 25 seconds with welding metal hardness of 250 BHN, hardness value in left side HAZ reach 240.3 BHN and the right side of reach 236.6 BHN. Time friction affect to the microstructure and mechanical properties of AISI 1045. Smaller crystal structure will be block the movement of the dislocation, so that the mechanical properties of the metal are getting better, and conversely when crystal structures are formed getting greater, the mechanical properties of the material will decrease.

Keywords: *friction welding, friction time, tensile strength, hardness, metallography.*

PENDAHULUAN

Penyambungan logam dengan cara las banyak diterapkan di beberapa pekerjaan manufaktur. Metode yang digunakan adalah las SMAW, las Oxy Acetylene, las TIG, las gesek dan lain sebagainya. Pengelasan metode SMAW digunakan untuk penyambungan plat dan benda datar. Las SMAW tidak cocok untuk pengelasan benda pejal [1] Penyambungan benda pejal sangat cocok menggunakan las gesek. Las gesek adalah pengelasan dengan sumber panas diperoleh dari gesekan tanpa menggunakan bahan penambah. Sambungan antara kedua material mempunyai sambungan yang homogen, aplikasinya digunakan untuk mengelas poros dan komponen tubular [2]. Las gesek berhasil menekan biaya proses pengelasan menjadi lebih murah, berkualitas, permukaan las yang dihasilkan rata, tidak ada silau busur nyala pada *fusion*, dan dapat menyambung dua buah logam yang berbeda [3]. Logam yang perlu diteliti pada sambungan las gesek adalah baja AISI 1045. Baja AISI 1045 merupakan logam yang terdiri dari perlit dan ferit. Ferit terdistribusi sepanjang batas butir perlit secara homogen, logam ini memiliki sifat mekanik yang unggul dalam kekerasan dan juga memiliki keuletan yang cukup baik [4]. Baja AISI 1045 mempunyai kadar karbon 0,45 %, tergolong sebagai baja *medium*.

Aplikasinya, sebagai poros kendaraan, skrup, *crankshaft*, *car axels*, *boilers*, *auger bits*, *screwdrivers* dan lain sebagainya. Baja AISI 1045 harus mempunyai ketahanan aus yang baik, karena sesuai dengan fungsinya harus mampu menahan keausan akibat gesekan. Ketahanan aus didefinisikan sebagai ketahanan terhadap abrasi atau ketahanan terhadap pengurangan dimensi akibat suatu gesekan. [5] Penelitian ini bertujuan meningkatkan kekuatan dari sambungan logam las AISI 1045 dengan mengkombinasikan parameter waktu gesek dengan sudut *chamfer* 15°.

METODOLOGI PENELITIAN

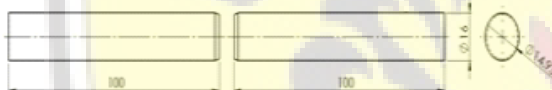
Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Baja AISI 1045. Benda kerja berbentuk poros pejal, dengan diameter 16 mm, dan kedua ujung benda kerja yang akan disambung dibentuk *chamfer* 15° seperti pada Gambar 1. Proses pengelasan gesek dimulai dengan menggesekkan kedua material yang akan disambung dan dilanjutkan penekanan tempa. Penjelasan tentang kedua proses ini sebagai berikut:

Spesimen yang telah sesuai ukuran dicekam pada alat pengecam yang terpasang pada kepala lepas dan

rotating chuck, mesin dinyalakan dengan kecepatan 3000 RPM, lalu diberi tekanan gesek sebesar 5 MPa, kemudian menghitung waktu gesek sesuai variasi yang telah ditentukan, masing-masing selama 25 detik, 35 detik, 45 detik dan 55 detik. Setelah waktu terpenuhi maka mesin dimatikan dan dilakukan pengereman agar putaran berhenti, kemudian spesimen ditekan sebesar 35 MPa dan ditahan selama 30 detik. Spesimen dilepas dari mesin dan dibersihkan. Pengujian tarik pada penelitian ini menggunakan standar ASTM E8/E8M, dan pengujian kekerasan menggunakan standar ASTM E10 dengan alat uji *universal hardness tester*. Dilakukan tiga kali pengulangan untuk setiap variasi pengelasan pada pengujian tarik dan kekerasan. Data hasil pengujian mekanik yang didapat dari alat uji diolah dengan menggunakan *software Microsoft Excel*, kemudian untuk mempermudah dalam menganalisa maka data juga ditampilkan dalam bentuk grafik. Pengujian metalografi menggunakan Mikroskop Olympus U-MSSP4 pada perbesaran 400X.



Gambar Spesimen (a)



Gambar Spesimen (b)

Gambar 1 Gambar Spesimen. (a) 2 Spesimen dengan panjang 200 mm dan sudut *chamfer* 15°, (b) Spesimen dengan sudut *chamfer* 15°

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sambungan las gesek dan Analisa Visual

Analisa secara visual menunjukkan bahwa penyambungan logam baja AISI 1045 dengan cara las gesek mendapatkan hasil simetris. Gambar 4.1 adalah dokumentasi penelitian ini dengan logam baja AISI 1045 dari sisi melintang hasil sambungan las gesek. Dua buah logam tersebut tersambung kuat membentuk *upset* yang menjadi salah satu pembeda dengan sambungan pengelasan *fusion*.



Gambar 2 Tampilan Penampang Horizontal dari Sambungan Las Gesek

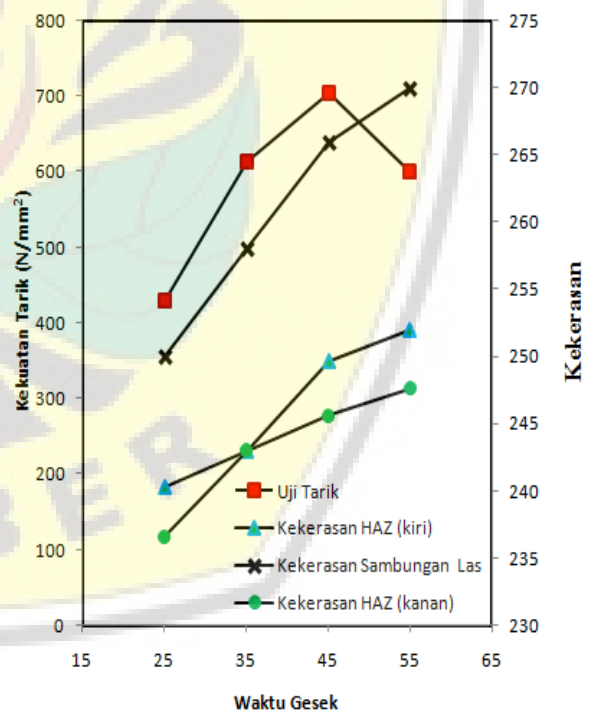
Upset adalah bagian logam yang mengalami deformasi plastis akibat terjadinya temperatur yang

tinggi dari gesekan antar permukaan dan tekanan yang diberikan [6]. Waktu gesek dan tekanan tempa pada pengelasan menghasilkan dimensi *upset* yang bervariasi, semakin besar tekanan tempa maka semakin besar *upset* yang dihasilkan, namun makin besar *upset* yang terbentuk maka panjang sampel uji semakin berkurang. Gambar 2 menunjukkan bahwa *upset* terbentuk di daerah sekitar hasil sambungan.

Variasi waktu gesek 25 detik, 35 detik, 45 detik dan 55 detik menghasilkan sambungan yang berbentuk *upset*. *Upset* yang terbentuk dari pengelasan ini secara visual mempunyai luasan yang berbeda pada setiap variasi. Gambar 2 merupakan hasil sambungan dengan variasi waktu gesek 55 detik.

Pengujian Tarik dan Kekerasan

Variasi waktu gesek sangat mempengaruhi kekuatan tarik, kekerasan, metalografi sambungan las gesek. Syarat untuk mendapatkan sambungan las yang baik adalah mencapai temperatur tempa, untuk mendapatkan temperatur tersebut maka diperlukan waktu gesek yang tepat. Berdasarkan grafik 1, waktu gesek mempengaruhi kekuatan tarik, dan kekerasan, pada material baja AISI 1045 yang dilakukan pengelasan gesek,.



Grafik 1 Korelasi antara waktu gesek, kekuatan tarik dan kekerasan.

Variasi waktu gesek 45 detik mendapatkan kekuatan tarik tertinggi dari variasi waktu gesek lainnya. 3 sampel benda uji hasil dari las gesek variasi waktu gesek 45 detik patah pada logam induk, karakteristik perpatahan yang terjadi adalah patah ulet. kekuatan tarik maksimum yaitu 703,835 N/mm² hampir setara dengan kekuatan tarik logam

induk yang mencapai 705 N/mm². Faktor-faktor yang menyebabkan kekuatan tarik variasi gesek 45 detik mendapatkan hasil terbaik yaitu panas yang didapatkan memenuhi temperatur waktu gesek, tidak adanya porositas pada sambungan, sambungan yang dihasilkan simetris, daerah *weld metal* lebar. Semakin luas daerah *weld metal* maka sambungan yang terbentuk semakin baik dan kekuatannya bertambah [7]. Hasil proses las gesek dikatakan baik bila pada sambungan rapat dengan kontak yang sempurna, batang hasil sambungan lurus segaris, dan hasil kekuatan menyamai kekuatan logam induk. Hasil yang tidak baik bila pada sambungan tidak tersambung atau terdapat cacat dan kekuatannya di bawah kekuatan logam induk [1].

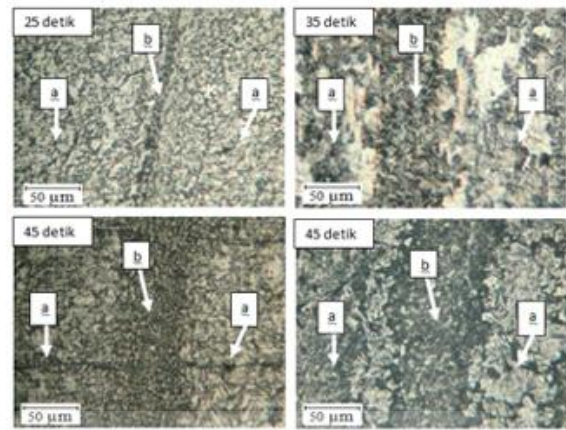
Variasi waktu gesek 25 detik mendapatkan kekuatan tarik rata-rata terendah dari variasi waktu gesek lainnya yaitu 429,671 N/mm². 3 Sampel benda uji tarik hasil dari las gesek variasi waktu gesek 25 detik patah pada sambungan las, karakteristik perpatahan yang terjadi adalah patah getas. Parameter ini menunjukkan bahwa variasi waktu gesek 25 detik memperoleh hasil yang kurang maksimal, kekuatan sambungan menghasilkan kekuatan dibawah logam induk. Faktor yang menyebabkan kekuatan tarik kurang maksimal adalah panas yang didapatkan tidak memenuhi temperatur las gesek, sehingga daerah *weld metal* sempit, dan temperatur yang belum memenuhi proses akhir atau tekanan tempa akan menyebabkan atom tidak mampu berikatan dengan bagus didaerah interface atau deformasi kurang maksimal saat tekanan tempa dilakukan.

Distribusi kekerasan terbaik didapat pada waktu gesek 55 detik dengan nilai kekerasan logam las 270 BHN, kekerasan bagian kiri HAZ 252 BHN dan kekerasan bagian kanan HAZ nilai kekerasannya 247,6 BHN. Kekerasan terendah didapat pada variasi gesek 25 detik dengan nilai kekerasan logam las 250 BHN, kekerasan bagian kiri HAZ 240,3 BHN dan kekerasan bagian kanan HAZ nilai kekerasannya 236,6 BHN

Metalografi

Las gesek dikatakan mendapatkan hasil yang baik apabila pada sambungan logam menyatu antara *rotating chuck* dan *non rotating chuck*, batang hasil sambungan simetris, dan hasil kekuatan menyamai kekuatan logam induk. Hasil yang tidak baik bila pada sambungan tidak tersambung, hasil sambungan terjadi pada garis yang eksentris, hasil sambungan terdapat cacat, hasil sambungan pada daerah interface terdapat inklusi berupa oksida atau porositas, dan hasil sambungan kekuatannya dibawah kekuatan logam induk.

Semakin luas daerah *weld metal* maka sambungan yang terbentuk semakin baik [7]. Dalam penelitian ini, untuk mendapatkan daerah *weld metal* semakin luas maka diperlukan panas yang semakin tinggi. Panas akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu gesek. Namun waktu gesek yang melebihi batas optimum akan memperlebar daerah HAZ dan akan menurunkan kekuatan mekanik material.



Gambar 3 Foto mikro sambungan spesimen (a) HAZ, (b) *Weld Metal*

Pengamatan ini sejalan dengan penelitian Iswar, Proses pengelasan yang berlangsung lama mengakibatkan daerah permukaan benda kerja yang dilas menjadi lebih rapuh karena terjadinya pemanasan yang berlebihan begitu pula dengan daerah HAZnya akan semakin besar sehingga berpengaruh terhadap sifat mekanis bahan yang dilas [8].

Gambar 3 merupakan foto mikro sambungan logam hasil dari las gesek pada masing-masing variasi waktu gesek. Masing-masing variasi waktu gesek mendapatkan struktur mikro yang berbeda. Hasil dari foto mikro variasi gesek 25 detik seperti Gambar 3, mendapatkan hasil foto mikro dengan luasan daerah *weld metal* lebih sempit dibanding variasi gesek lainnya. Faktor utama yang menyebabkan hasil kekuatan tarik dan kekerasan paling rendah dari variasi waktu gesek lainnya yaitu *weld metal* yang sangat sempit. Variasi waktu gesek 25 detik tergolong waktu gesek yang sangat singkat, variasi tersebut tidak memenuhi temperature maksimum dalam proses penekanan lanjut atau tekanan tempa, dalam pengujian tarik variasi ini patah dibagian sambungan logam las. Luas daerah *weld metal* yang terbentuk sempit karena waktu gesek yang diberikan sangat singkat, yang akan menurunkan kekuatan mekanik, walaupun luas daerah HAZ relatif kecil. Luasan daerah *weld metal* menunjukkan seberapa besar material dapat menyatu satu sama lain selama proses pengelasan berlangsung dan seberapa besar kekuatan sambungan yang terbentuk [9].

Mikrostruktur variasi waktu gesek 35 detik terlihat pada Gambar 3. Variasi waktu gesek 35 detik memiliki kekuatan tarik diatas variasi waktu gesek 25 detik dan 55 detik. Jika kita lihat hasil foto mikro daerah yang mempengaruhi kekuatan mekanik yaitu *weld metal* lebih lebar dari pada variasi waktu gesek 25 detik. luas daerah *weld metal* lebih lebar dikarena waktu gesek yang diberikan lebih lama dibanding waktu gesek 25 detik, sehingga kekuatan yang dihasilkan lebih tinggi, meskipun tidak mencapai kekuatan tarik terbaik dari variasi lainnya. Struktur butir yang dihasilkan dari variasi waktu gesek 35 detik, tergolong acak dan

daerah perbatasan antara *weld metal* dengan logam yang terkena panas HAZ strukturnya terlihat menggumpal, tidak terdeformasi oleh tekanan tempa, sehingga butir yang dihasilkan cenderung lebar. Sampel benda uji tarik hasil dari las gesek variasi waktu gesek 35 detik patah pada daerah perbatasan antara sambungan logam dan HAZ.

Mikrostruktur variasi waktu gesek 45 detik terlihat pada Gambar 3. Variasi waktu gesek 45 detik mendapatkan kekuatan tarik tertinggi dari variasi waktu gesek lainnya, dan juga mendapatkan kerasan jauh diatas logam induk. 3 sampel benda uji tarik hasil dari las gesek variasi waktu gesek 45 detik patah pada logam induk, parameter ini menunjukkan bahwa variasi waktu gesek 45 detik memperoleh hasil sambungan yang baik. Jika kita lihat hasil foto mikro daerah yang mempengaruhi kekuatan mekanik yaitu *weld metal* tergolong lebar. Pada variasi ini panas yang didapatkan memenuhi temperatur tempa sehingga kekuatan yang dihasilkan hampir setara dengan kekuatan logam induk. Struktur yang didapat dari variasi 45 detik tergolong halus dan seragam, butir yang halus akan menambah batas butir sehingga peluang terjadinya dislokasi semakin kecil dan kekerasan pada material akan menjadi meningkat.

Dari gambar diatas dapat kita korelasikan antara kekuatan mekanik dengan gambar metalografi, dan dapat kita bandingkan antara variasi gesek 25 detik, 35 detik dan 45 detik. Semakin bertambah waktu gesek maka temperaturnya akan semakin tinggi, ketika mencapai temperatur diatas rekristalisasi maka sifat mekanik dari baja akan berubah, butir pada material semakin membesar dan daerah *weld line* melumer sempurna, pada saat temperature tersebut dilakukan tekanan tempa sehingga atom-atom akan saling berikatan juga butir akan semakin padat dan seragam.

Mikrostruktur variasi waktu gesek 55 detik terlihat pada Gambar 2. variasi 55 detik merupakan variasi waktu gesek paling lama, variasi ini mampu mencapai temperature optimum sehingga hasil kekuatan tarik tidak patah pada daerah sambungan, namun patah pada daerah HAZ. Pada variasi gesek 55 detik didapatkan kekerasan paling tinggi didaerah logam induk, daerah HAZ, dan daerah sambungan las dibanding variasi gesek lainnya. parameter ini menunjukkan bahwa variasi waktu gesek 55 detik mampu mencapai temperature tempa, dan memperoleh hasil sambungan yang baik. Jika kita lihat hasil foto mikro daerah yang mempengaruhi kekuatan mekanik yaitu *weld metal* terbentuk lebih lebar dibanding variasi waktu gesek lainnya namun kekuatan material dibawah kekuatan tarik logam induk. Faktor yang menyebabkan kekuatan tarik dibawah logam induk adalah kekuatan didaerah HAZ sangat rendah. Masukan panas pada variasi waktu gesek 55 detik sangat tinggi dan terlalu lama, sehingga temperature yang tinggi tersebut menyebabkan pelebaran daerah HAZ.

Kesimpulan

1. Waktu gesekan pada las gesek mempengaruhi sifat mekanik logam AISI 1045. Waktu gesek 45 detik

mendapatkan kekuatan tarik tertinggi yaitu 703,835 patah pada logam induk dan waktu gesek 25 detik mendapatkan kekuatan tarik terendah yaitu 429,671 patah pada sambungan lasan.

2. Distribusi kekerasan terbaik didapat pada waktu gesek 55 detik dengan nilai kekerasan logam las 270 BHN, kekerasan bagian kiri HAZ 252 BHN dan kekerasan bagian kanan HAZ nilai kekerasannya 247,6 BHN. Kekerasan terendah didapat pada variasi gesek 25 detik dengan nilai kekerasan logam las 250 BHN, kekerasan bagian kiri HAZ 240,3 BHN dan kekerasan bagian kanan HAZ nilai kekerasannya 236,6 BHN.
3. Waktu gesek berpengaruh terhadap struktur mikro dan sifat mekanik logam AISI 1045. Struktur kristal atau besar butir semakin kecil akan menghambat gerakan dislokasi, sehingga sifat mekanik logam menjadi semakin baik, dan sebaliknya semakin besar butir yang terbentuk maka sifat mekanik material semakin menurun. Daerah *weld metal* semakin luas maka sifat mekanik material semakin baik dan daerah *weld metal* semakin sempit maka sifat mekanik material semakin menurun. Daerah HAZ semakin luas maka sifat mekanik material semakin menurun, dan daerah HAZ semakin sempit maka sifat mekanik material semakin baik.

Saran

1. Perlu adanya pengembangan penelitian lanjut dari aspek termodinamika, desain dan manufaktur.
2. Perlu dilakukan pengujian-pengujian lain seperti pengamatan SEM, uji *banding* uji *impact*, uji XRD, dan lain-lain..

Daftar Pustaka

- [1] Tiwan dan Aan, Ardian. Peelitian. 2005 “*Penyambungan Baja AISI 1040 Batang Silinder Pejal Dengan Friction Welding*” Tidak Diterbitkan. Yogyakarta : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Yogyakarta
- [2] Mercan, Serdar, et al 2015. *Effect of welding parameters on the fatigue properties of dissimilar AISI 2205 - AISI 1020 joined by friction welding*. International Journal of Fatigue (2015), doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2015.07.023>
- [3] Istiawan, Hoppy. 2014. Tesis. *Pengaruh Putaran dan Temperatur Terhadap Kekuatan Sambungan Las Hasil Friction Welding Antara Baja aisi 1045 Dengan Baja Tahan Karat aisi 316L* Tidak Diterbitkan. Makassar : Jurusan Teknik Mesin /

- Konstruksi Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makasar.
- [4] Ma, Hong, *et al.* 2015. *Microstructure characterization and properties of carbon steel to stainless steel dissimilar metals joint made by friction welding* [10.1016/j.matdes.2015.07.068](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.07.068)
- [5] Avner, S. H, 1964 “*Introduction to physical metallurgy*”. Mc. Graw-Hill, New York
- [6] Jenney, Cynthia L., O’Brien, Annette. 2001. *Welding Hand book Ninth Edition Volume 1 Welding Science and Technology*. United States of America : American Welding Society.
- [7] Lin, C. B., *et. al.* *The Effect of Joint Design and Volume Fraction on Friction*. *Welding Properties of A360/SiC Composites*, *Welding Journal* 78(3), (1999), 100-108.
- [8] Iswar, Muhammad. 2012. *Pengaruh Variasi Parameter Pengelasan (Putaran dan Temperatur) Terhadap Kekuatan Sambungan Las Hasil Friction Welding Pada Baja Karbon Rendah*. *Jurnal Mekanikal*, Vol. X No. X: Januari 2012: 254-260
- [9] Kuswandi, Ari. Skripsi. 2010. “*Pengaruh Friction Time Terhadap Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Pada Paduan Al-Mg-Si.*” Tidak Diterbitkan. Malang : Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

