

PENGARUH VARIASI ARUS DAN WAKTU TERHADAP SIFAT FISIK-MEKANIK PADA SAMBUNGAN *SPOT TIG WELDING DISSIMILAR* ANTARA GALVANIS DAN *STAINLESS STEEL 430*

Giri Ramdhan¹, Aris Widyo Nugroho², Muh. Budi Nur Rahman³
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia, 55183
ramdhangiri01@gmail.com

Intisari

Penggunaan arus listrik dan lama waktu pengelasan merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas dari sambungan. Pada *spot TIG welding* proses pengelasan dilakukan pada satu sisi saja sehingga memungkinkan dilakukan pengelasan pada daerah-daerah yang sulit untuk dijangkau dengan metode *resistance spot welding*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi arus dan waktu pengelasan terhadap struktur mikro, nilai kekerasan dan nilai kapasitas dukung beban tarik.

Proses penyambungan *spot TIG welding* menggunakan plat galvanis dan *stainless steel 430* dengan dimensi spesimen yaitu panjang 10 cm dan lebar 30 cm dengan ketebalan masing-masing plat sebesar 0,8 mm kemudian plat disambung secara tumpang (*lap joint*) dengan jumlah tiap parameter yaitu 5 spesimen uji. Parameter arus listrik yang digunakan yaitu 100 A, 110 A, 120 A dan 130 A dengan waktu pengelasan 3 detik dan 4 detik. Pada penelitian ini dilakukan pengujian struktur mikro, kekerasan (*vickers*) dan uji tarik-geser.

Hasil pengamatan mikro menunjukkan bahwa terdapat dominasi unsur ferrit pada *stainless steel 430* karena *stainless steel 430* merupakan baja tahan karat ferritik dengan kandungan C $\leq 0,12\%$ sehingga unsur karbida yang terbentuk hanya sedikit. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *weld metal* yaitu 313 HV pada arus 130 A 4 detik, nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ terdapat pada material galvanis sebesar 306 HV dan HAZ terendah terdapat pada *stainless steel 430* sebesar 259 HV. Nilai kapasitas beban tarik tertinggi terdapat pada arus 130 A 4 detik sebesar 5243,40 N dan nilai kpsitas beban tarik terendah terdapat pada arus 110 A 3 detik sebesar 4094,81 N. Sedangkan nilai kekuatan geser tertinggi terdapat pada arus 100 A 3 detik yaitu sebesar 187,98 N/mm² dan nilai kekuatan terendah terdapat pada arus 130A 4 detik yaitu sebesar 103,33 N/mm².

Kata kunci: *spot TIG welding*, galvanis, *stainless steel 430*, struktur mikro, kekerasan, kapasitas beban tarik-geser

Abstract

The use of electric current and welding time is one of the factors that determine the quality of the joining. In spot TIG welding the welding process is carried out on one side only so that it is possible to do welding in areas that are difficult to reach with the resistance spot welding method. The purpose of this study is to determine the effect of current variations and welding time on the microstructure, hardness value and tensile load carrying capacity.

Spot TIG welding process uses galvanized plate and stainless steel 430 with specimen dimensions of 10 cm length and 30 cm width with thickness of each plate of 0.8 mm then the plates are joined together (lap joint) with of each parameter that is 5 specimens. Electric current parameters used are 100 A, 110 A, 120 A and 130 A with welding time of 3 seconds and 4 seconds. In this study microstructure, hardness (vickers) and tensile load bearing capacity.

Micro observations show that there is predominance of ferrite elements in stainless steel 430 because stainless steel 430 is ferritic stainless steel with a content of C% 0.12% so that the element of carbide formed is only slightly. The highest hardness value is in the weld metal area of 313 HV at a current of 130 A 4 seconds, the highest hardness value in the HAZ region is in the galvanized material of 306 HV and the lowest HAZ is in the stainless steel 430 at 259 HV. The highest value of the tensile load capacity is at 130 A 4 seconds current of 5243.40 N and the lowest tensile load capacity value is at 110 A 3 seconds current of 4094.81 N. While the highest shear strength value is at a current of 100 A 3 seconds which is equal to 187.98 N / mm² and the lowest power value is at a current of 130A 4 seconds which is 103.33 N / mm².

Keywords: spot TIG welding, galvanized, stainless steel 430, microstructure, hardness, tensile load capacity

1. PENDAHULUAN

Pengelasan dalam bidang manufaktur sangat luas penggunaannya, seperti dalam krbuthan industri otomotif, kereta, perkapalan maupun untuk industri lainnya. Pengelasan secara sederhana dapat diartikan sebagai suatu proses penyambungan dua buah logam dengan cara dipanaskan menjadi satu kesatuan yang utuh. Dalam industri otomotif pengelasan seringkali digunakan dalam penyambungan dua buah logam karena dinilai lebih efisien, kuat serta lebih mudah dalam pengerjaannya (Purwaningrum dan Fatchan 2013).

Hendrawan dan Rusmawan (2014) variasi arus dan waktu dalam *spot welding* berpengaruh secara signifikan terhadap kapasitas dukung beban tarik dan nilai kekerasan, hasil kekuatan maksimum terdapat pada arus 7000 A dan 0,6 detik sebesar 5,323 kN dengan jenis kegagalan sambungan *button pullout failure mode*. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah logam las (*nugget*) sebesar $\pm 354,2$ HV.

Amin (2017) meneliti tentang pengaruh arus listrik terhadap sifat fisik dan mekanik pada sambungan *spot welding dissimilar* logam *satinless steel* dan baja karbon rendah, hasil pengujian tarik tertinggi terdapat pada arus 70 A sebesar 190,920 kN/mm². Pengamatan mikro menunjukkan bahwa pada daerah HAZ di dominasi oleh unsur perlit dengan ukuran butir yang halus dan homogen. Penelitian untuk jenis *Spot TIG Welding* diantaranya pernah dilakukan oleh Faozi (2015) dengan variasi arus pengelasan dan waktu pengelasan pada material *dissimilar* SS 400 dengan AA5083 masing-masing ketebalan plat yaitu 1,2 mm dan 2,5 mm. Hasil penelitian tersebut menunjukkan nilai *Tensile Load Bearing Capacity (TLBC)* mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya arus listrik dan lama waktu pengelasan yang diberikan, arus 100 A dan lama waktu pengelasan 8 detik merupakan parameter las dengan nilai rata-rata TLBC tertinggi yaitu sebesar 869,16 N, sedangkan nilai rata-rata TLBC terendah diperoleh pada arus listrik 70 A dengan lama waktu pengelasan 6 detik dengan nilai sebesar 86,70 N. Sedangkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada arus listrik 70 A dengan lama waktu pengelasan 6 detik dengan nilai kekerasan pada material baja SS400 sebesar $\pm 241,30$ HV, sedangkan nilai kekerasan untuk material aluminium 5083 nilai kekerasan yang diperoleh sebesar $\pm 83,52$ HV.

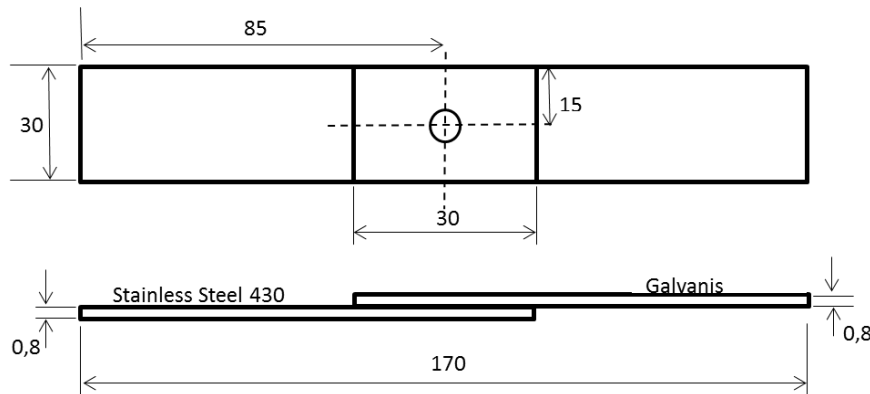
Saputra (2019) dengan menggunakan material tak sejenis antara baja karbon rendah dan aluminium 1100 dengan hasil penelitian yang menjelaskan bahwa kekuatan geser mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya arus yang diberikan sedangkan kapasitas beban mengalami penurunan pada variasi 110 A dikarenakan kekuatan sambungan las pada arus 110 A tidak menyambung dengan kuat sehingga kapasitas beban menjadi menurun, kemudian masih terdapat kegagalan las berupa *interfacial failure* dan *pull out failure*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada *resistance spot welding* banyak yang menggunakan material *dissimilar* namun penelitian pada pengelasan *spot TIG* cenderung lebih sedikit, sehingga perlu dilakukan penelitian secara lebih luas, khususnya pada penggunaan material tak sejenis (*dissimilar*) dengan menggunakan parameter variasi arus dan waktu pengelasan. Penelitian ini menggunakan material *dissimilar* antara galvanis dengan *stainless steel 430* karena kedua material tersebut banyak digunakan pada dunia industri. Selain itu penggunaan material galvanis dan *stainless steel 430* memiliki karakteristik yang saling menutupi kelemahan pada masing-masing material tersebut, kedua material tersebut memiliki sifat tahan korosi serta material galvanis cenderung memiliki harga yang lebih rendah dibanding *stainless steel 430*.

2. Metode Penelitian

2.1 Prosedur penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu plat galvanis dan *stainless steel 430* dengan masing-masing ketebalan plat 0,8 mm kemudian plat tersebut dipotong sesuai dengan standar AWS D8.9-97 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dengan dimensi panjang 100 mm dan lebar 30 mm, setelah itu dibuat titik tengah untuk daerah yang akan dilas dengan ukuran 30 mm x 30 mm.



Gambar 1. Dimensi spesimen AWS D8.9-97

Setelah dilakukan proses pemotongan bahan langkah selanjutnya yaitu proses pengelasan dengan menggunakan mesin *spot TIG welding* tipe EWM 351 Tetric. Arus yang digunakan pada masing-masing spesimen uji yaitu 100 A, 110 A, 120 A dan 130 A sedangkan waktu pengelasan selama 3 detik dan 4 detik, pada masing-masing arus dan waktu pengelasan dibuat 5 spesimen uji, sehingga jumlah keseluruhan spesimen yang dilas sebanyak 40 spesimen dengan rincian : 24 spesimen untuk pengujian tarik-geser pada masing-masing arus dan waktu, 8 spesimen untuk pengujian mikro dan kekerasan dan 8 spesimen untuk cadangan apabila terjadi kegagalan proses pengujian.

Pengujian struktur makro dan mikro dilakukan setelah proses pengelasan selesai, dengan cara memotong spesimen uji pada bagian tengah (las) sepanjang 30 mm x 30 mm dengan posisi melintang, kemudian di letakkan pada resin (*mounting*) setelah proses *mounting* selesai selanjutnya dilakukan proses pengamplasan mulai dari amplas nomor 80, 500, 1000, 1500 hingga 2000 kemudian dilakukan pemolesan dengan menggunakan autosol dan setelah proses pemolesan selesai selanjutnya dilakukan proses etsa dengan tujuan agar struktur mikro pada spesimen uji dapat teramati. Proses etsa menggunakan larutan kimia pada masing-masing material uji, pada galvanis digunakan larutan kimia dengan campuran HNO_3 (10%) dan aquades (90%) sedangkan campuran larutan kimia untuk *stainless steel 430* yaitu FeCl_3 (3 gr), HNO_3 (30 ml), metanol (30 ml) dan alkohol. Pengamatan struktur mikro dilakukan pada daerah *base metal*, HAZ dan *weld metal*, pengamatan dilakukan dengan mikroskop tipe olympus U-MSSP4 dengan menggunakan perbesaran 10x dan 50x.

Pengujian kekerasan dilakukan setelah proses pengujian makro dan mikro selesai, pengujian kekerasan dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada daerah yang terpengaruh panas. Daerah logam yang diambil untuk uji kekerasan (*vickers*) yaitu sebanyak 7 titik diantaranya daerah *base metal* galvanis, BM-HAZ, HAZ, *weld metal*, HAZ SS-430, HAZ-BM SS430 dan *base metal* SS-430. Pengujian kekerasan dilakukan dengan pemberian beban sebesar 200 gf dengan waktu 5 detik.

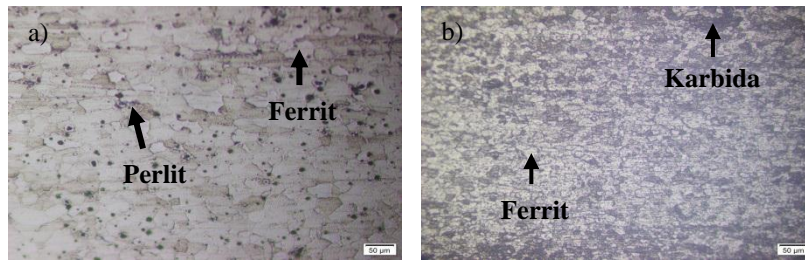
Pengujian tarik-geser dilakukan dengan 3 spesimen pada setiap arus dan waktu pengelasan, proses pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik *Universal Testing Machine (UTM)* Instron 3367, proses pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban tarik-geser terhadap sambungan spesimen uji secara konstan. Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan. Setelah dilakukan pengujian tarik selanjutnya diamati dan dianalisa bagaimana jenis patahan yang terjadi pada sambungan sehingga dapat diketahui sifat yang ada pada material uji tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengujian struktur mikro

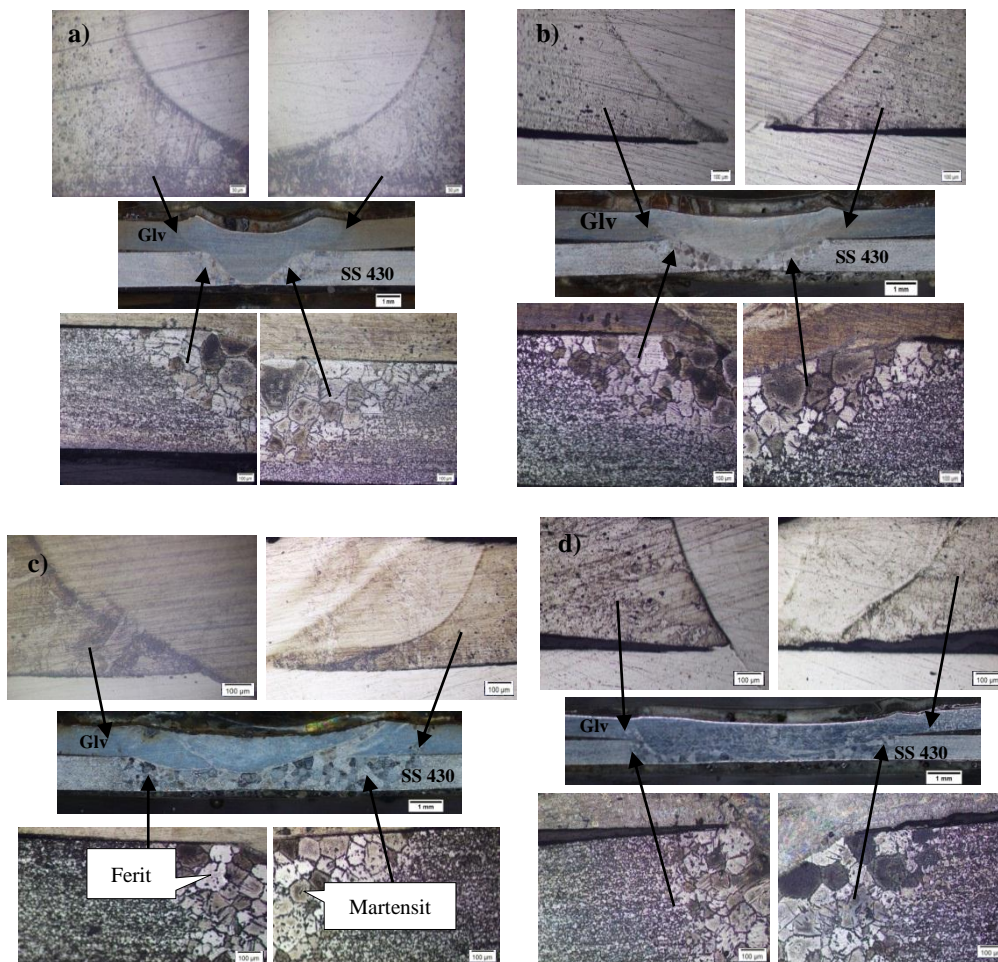
Hasil pengamatan menunjukkan bahwa struktur mikro pada *base metal* galvanis menunjukkan terdapat unsur ferit dan perlit, namun struktur mikro tersebut didominasi oleh ferit yang ditunjukkan dengan butiran putih yang memiliki karakteristik yang halus dan ulet. Sedangkan struktur mikro pada *base metal stainless steel 430* cenderung didominasi oleh

ferit, karena *stainless steel 430* termasuk baja tahan karat feritik dan terdapat sedikit unsur karbida seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur mikro *base metal* a) galvanis, b) *stainless steel 430*

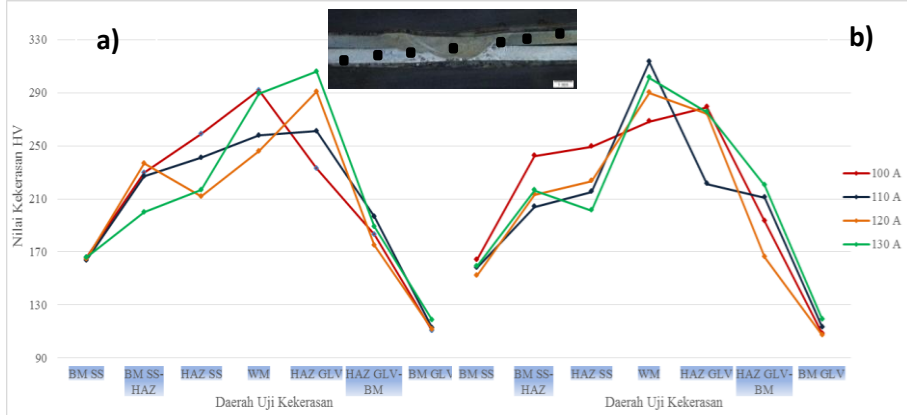
Berdasarkan pengamatan foto mikro pada Gambar 3 menunjukkan terjadi perubahan struktur pada daerah yang mengalami pengaruh panas akibat proses pengelasan. Pada daerah HAZ *stainless steel 430* terjadi perubahan ukuran butir akibat terkena pengaruh panas karena daerah HAZ berdekatan dengan daerah *weld metal*, begitupun yang terjadi pada daerah HAZ galvanis, apabila masukan panas (*heat input*) besar maka akan mengakibatkan luasan daerah HAZ semakin besar dan merubah struktur mikro menjadi butiran yang kasar, sedangkan pada *weld metal* memiliki struktur mikro yang berbeda dimana terdapat unsur martensit dan mengakibatkan nilai kekerasan pada daerah *weld metal* lebih tinggi dari pada daerah yang lain.



Gambar 3. Struktur makro dan mikro : a) 100 A 3 detik, b) 100 A 4 detik, c) 130 A 3 detik, d) 130 A 4 detik

3.2 Pengujian kekerasan (*vickers*)

Pengujian kekerasan (*vickers*) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui perbedaan distribusi kekerasan pada material logam seperti pada daerah *base metal* dan beberapa bagian yang terkena pengaruh panas saat proses pengelasan seperti pada daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) dan pada daerah *weld metal*. Pada pengujian kekerasan ini pembebanan yang digunakan yaitu sebesar 200 gf dan waktu penekanan selama 5 detik.



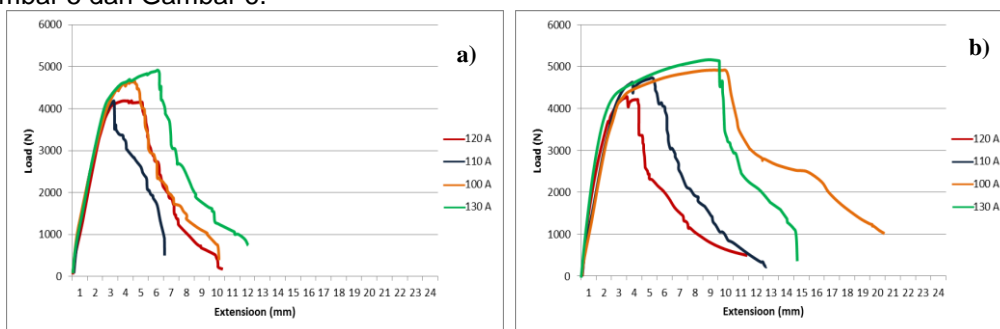
Gambar 4. Hasil uji kekerasan (*vickers*) a) 3 detik, b) 4 detik

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi dengan waktu pengelasan 3 detik terdapat pada *weld metal* dengan arus 100 A, nilai kekerasannya sebesar 292 HV, nilai kekerasan pada daerah *weld metal* dapat dipengaruhi oleh adanya pencampuran dan pencairan dari logam induk (Zhang dkk, 2013). Daerah HAZ merupakan daerah yang berdekatan dengan *weld metal* sehingga nilai kekerasan pada dua titik tersebut cenderung tidak jauh berbeda. Pada pengelasan dengan waktu 3 detik nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah HAZ terdapat pada arus 130 A, sedangkan nilai kekerasan pada waktu pengelasan 4 detik berdasarkan grafik tersebut nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah *weld metal* dengan nilai kekerasan sebesar 313 HV, nilai HAZ pada galvanis cenderung lebih tinggi dibanding dengan *stainless steel 430* karena pada daerah HAZ galvanis terdapat struktur mikro dengan di dominasi unsur perlit sehingga memiliki karakteristik yang lebih keras.

Hasil penelitian uji kekerasan menunjukkan terjadi peningkatan nilai kekerasan pada daerah las dibanding dengan nilai kekerasan pada daerah logam induk, peningkatan tersebut terjadi akan adanya masukan panas dan pendinginan yang cepat selama proses pengelasan berlangsung. Masukan panas terbesar terjadi pada daerah las kemudian diikuti dengan daerah HAZ dan daerah logam induk yang tidak terpengaruh oleh panas. Daerah yang terpengaruh oleh masukan panas akan mengalami perubahan fasa dan perubahan struktur mikro.

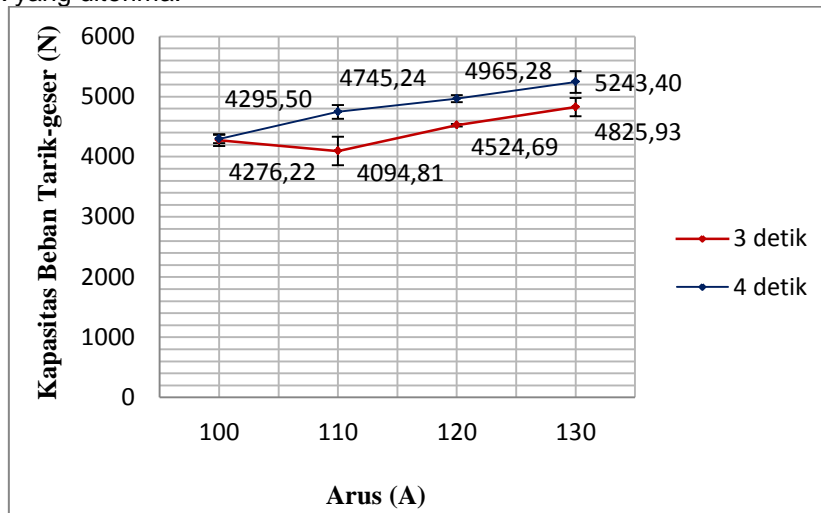
3.3 Pengujian tarik-geser

Pengujian tarik-geser bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan dan keuletan pada material logam. Pengujian ini terjadi dengan memberikan pembebanan secara konstan pada spesimen uji, beban yang diberikan merupakan kombinasi dari gaya tarik dan gaya geser atau disebut dengan daya beban dukung tarik-geser (TLBC) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil pengujian tarik-geser : a) 3 detik, b) 4 detik

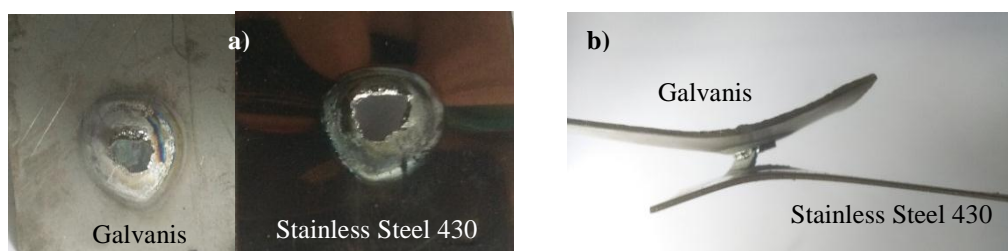
Pengujian tarik dengan variasi waktu 4 detik menunjukkan bahwa nilai kapasitas beban tarik-geser mengalami peningkatan pada setiap kenaikan arus yang digunakan. Seperti pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Faozi, 2015) menjelaskan bahwa penggunaan variasi arus dapat mempengaruhi nilai kapasitas beban tarik (TLBC) yang diterima dimana kenaikan arus pada proses pengelasan akan meningkatkan nilai kekuatan beban tarik yang diterima.



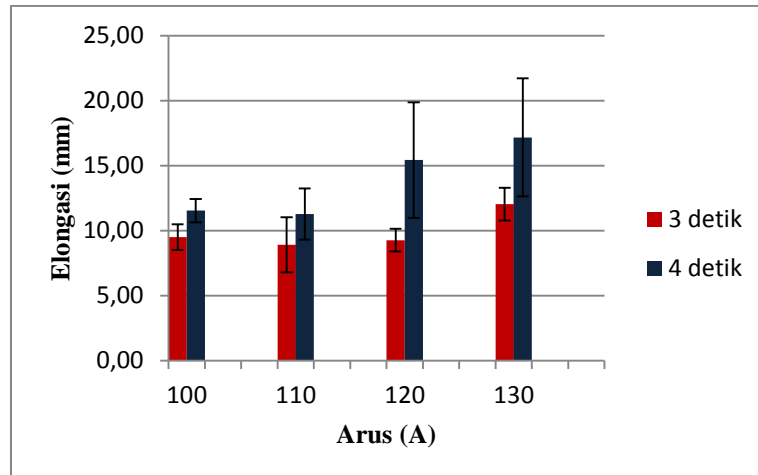
Gambar 6. Grafik perbandingan kapasitas beban tarik terhadap variasi arus

Dari proses pengujian tarik-geser yang dilakukan dapat dilihat bahwa hasil kekuatan beban tarik pada spesimen uji dengan waktu pengelasan 3 detik pada arus 100 A, 110 A, 120 A dan 130 A masing-masing memiliki nilai rata-rata sebesar 4276,22 N, 4094,81 N, 4524,69 N dan 4825,93 N sedangkan pada waktu pengelasan 4 detik diperoleh hasil kekuatan beban tarik pada masing-masing arus 100 A, 110 A, 120 A dan 130 A memiliki nilai rata-rata sebesar 4295,50 N, 4745,24 N, 4965,28 N dan 5243,40 N. Dengan demikian nilai rata-rata pada *tensile load bearing capacity (TLBC)* tertinggi terdapat pada hasil las dengan waktu 4 detik dan variasi arus sebesar 130 A sedangkan nilai *tensile bearing capacity (TLBC)* terkecil terdapat pada waktu pengelasan 3 detik dengan arus 110A.

Setelah dilakukan proses pengujian tarik-geser maka akan diperoleh jenis kegagalan pada sambungan las, mode kegagalan sambungan yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7. jenis kegagalan *pull-out failure* merupakan salah satu jenis kegagalan pada las titik yang menunjukkan adanya nilai daya beban tarik pada sambungan las tersebut.



Gambar 7. Mode kegagalan sambungan las jenis *pull-out failure* a) 3 detik, b) 4 detik



Gambar 8. Nilai elongasi yang terjadi pada sambungan *spot TIG*

Gambar 8 menunjukkan nilai elongasi yang didapat pada setiap variasi arus yang digunakan, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi arus dan waktu pengelasan yang digunakan maka nilai elongasi pada logam akan semakin tinggi, dimana nilai elongasi tertinggi terdapat pada sambungan dengan arus 130 A dengan waktu pengelasan 4 detik. Hasil tersebut menunjukkan tingkat keuletan dan getas akibat pengaruh masukan panas (*heat input*) yang diterima pada material logam las.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan mengenai pengaruh variasi arus dan waktu pengelasan pada sambungan *spot TIG welding* material tak sejenis (*dissimilar*) antara galvanis dan *stainless steel 430* dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Peningkatan arus dan waktu mengakibatkan ukuran butir pada daerah HAZ *stainless steel 430* lebih besar dan kasar akibat masukan panas yang tinggi, struktur pada HAZ *stainless steel 430* didominasi unsur ferrit dan pada *weld metal* terdapat unsur martensit
2. Peningkatan waktu pengelasan mengakibatkan meningkatnya nilai kekerasan pada daerah HAZ galvanis dan menyebabkan material lebih getas, sehingga pada waktu pengelasan 4 detik kegagalan sambungan *failure pull out* tidak putus, nilai kekerasan pada *base metal stainless steel 430* yaitu ± 166 HV nilai kekerasan *base metal* galvanis ± 119 HV, nilai kekerasan tertinggi pada daerah HAZ galvanis sebesar ± 306 HV nilai kekerasan tertinggi pada HAZ *stainless steel 430* sebesar ± 259 HV
3. Penggunaan variasi arus dan waktu berpengaruh terhadap hasil uji tarik-geser pada sambungan, dimana nilai kapasitas beban tarik-geser tertinggi terdapat pada waktu pengelasan 4 detik dengan arus 130 A sebesar 5423,40 N, sedangkan nilai tertinggi pada waktu 3 detik terdapat pada arus 130 A sebesar 4666,17 N sedangkan nilai kekuatan geser tertinggi terdapat pada arus 100 A 3 detik sebesar 187,98 N/mm² sedangkan nilai kekuatan geser terendah terdapat pada arus 130 A 4 detik sebesar 103,33 N/mm²

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pengelasan *spot TIG welding dissimilar* antara galvanis dan *stainless steel 430* dapat tersambung dengan baik dengan hasil nilai kekuatan tarik-geser tertinggi terdapat pada arus 130 A dengan waktu 4 detik. Sehingga pengelasan *spot TIG dissimilar* dengan material ini dapat dikembangkan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, 2016. Optimasi dan Prediksi Parameter Pengelasan Titik dengan Mesin TIG pada Plat *Stainless Steel* AISI 304L. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 5 No 11 : 18835-18840
- Aji W.C, 2015. Pengaruh Arus Listrik dan Jenis Gas Pelindung terhadap Sifat Fisik Mekanik Sambungan *Spot TIG Welding* Logam Sejenis antara Baja dan Paduan Alumunium, Surakarta: Skripsi Teknik Mesin UNS
- Amin A, 2017. Pengaruh Variasi Arus Listrik terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las Titik (*Spot Welding*) Logam *Dissimilar Stainless Steel* dan Baja Karbon Rendah. *Journal Sciemtific Mechanical Engineering*. Vol 2 No 1 : Hal 66-67
- Anggoro A, 2016. Studi Reaksi Intermetalik pada *Interface* Sambungan Las *Spot TIG Welding* Material tak Sejenis antara Baja-Paduan Alumunium, Surakarta : Skripsi Teknik Mesin UNS
- Callister Jr., W.D., 2001. *Fundamentals of Materials Science and Engineering, Interactive e-Text, Fifth Edition*.
- Chao, Y.J. 2003. *Ultimate Strength and Failure Mechanism of Resistance Spot Weld*. *Journal of Engineering Material and Technology*, Vol. 125 : Hal 125-132
- Faozi S. 2015. Pengaruh Arus Listrik dan *Holding Time* terhadap Sifat Fisik-Mekanik Sambungan *Spot TIG Welding* Material tak Sejenis antara Baja dan Paduan Alumunium, Surakarta: Skripsi Teknik Mesin UNS
- Handra N dan Syafr F.F. 2013. Studi Kekuatan Sambungan Plat pada *Spot Welding* Ditinjau dari Kekuatan Tarik dan Geser. *Jurnal Mechanical*, Volume 4 Nomor 1 : Hal 52-57
- Hendrawan dan Rusmawan, 2014. Studi Pengaruh Arus dan Waktu Pengelasan terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Titik (*Spot Welding*) Logam tak Sejenis. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta*
- Kuntoro AA, 2013. Pengaruh Pre-Strain dan Tegangan Listrik terhadap Sifat Fisik Mekanik dan Korosi Sambungan Las Titik (RSW) Logam Beda Jenis antara Aisi 430 dan JSL Aus (J1). Surakarta : Skripsi Teknik Mesin UNS
- Parekke S, 2014. Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda (AISI 1045) dengan (AISI 316L) terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro. *Jurnal Sains dan Teknologi*. Vol. 3 No. 2 : 191-198. Universitas Hasanuddin
- Purwaningrum dan Fatchan, 2013. Pengaruh Arus Listrik terhadap Karakteristik Fisik-Mekanik Sambungan Las Titik Logam Dissimilar Al-Steel. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Mesin* Vol. 15 No. 1 : Hal 16-22
- Raharjo W.P dan Ariawan D. 2005. Pengaruh *Welding Time* terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan, Sambungan Lap Baja Tahan Karat Feritik AISI 430 Dengan Metode Resistance Spot Welding. *Jurnal Mekanika*, Volume 3 Nomor 3 : Hal 19-23

- Saputra D, 2019. Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekuatan Geser, Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan *Spot TIG welding* Material tak Sejenis antara Baja Karbon Rendah dan Alumunium, Yogyakarta: Skripsi Teknik Mesin UMY
- Saripudin A, 2007. Pengaruh Waktu Galvanis terhadap Pembentukan Fasa Intermetalik Fe-Zn pada Permukaan Ulir Baut Baja, Skripsi Teknik Mesin Universitas Gunadharma
- Sinarep, 2003. Pengaruh Perbedaan Gaya Elektroda Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik dengan Metode Spot Welding pada Plat Baja SUS 301 dan SUS 304, Jurnal Rekayasa, Vol 4, Hal 56-63
- Sulistijono, 2008. *Study of Fe-Zn Allow Growth in HDG Process*, Final Report ITS Centre Research
- Supriyanto dan Bowo, 2012. Kajian Pengaruh Tempering terhadap Sifat Fisis dan Mekanis Pengelasan *Stainless Steel*. Jurnal Teknik Vol.2 No. 1 : Hal 49-53
- Surdia T, dan Saito S, 1995. Pengetahuan Bahan Teknik, Cetakan keenam, Pradnya Paramita, Jakarta
- Waluyo, 2013. Pengaruh Tebal Plat Alumunium dan Lama Penekanan pada Pengelasan Titik terhadap Sifat Fisis, Mekanis dan Efisiensi Panas. Jurnal Teknologi Vol 6 No 1, IST AKPRIND Yogyakarta
- Winarto, 2011. Hand Book Teknologi Pengelasan, Japan Welding Society 1-11, Kanda Sakuman-cho, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0025 Japan
- Wiyono, 2012. Penentuan Pengelasan Dissimilar Alumunium dan Plat Baja Karbon Rendah dengan Variasi Waktu Pengelasan dan Arus Listrik. Journal Foundry, 2 (1) : 19-23
- Wiryosumarto H, dan Okumura T, 2000. Teknologi Pengelasan Logam, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Yasinta S, 2016. Studi Lapisan Intermetalik pada Interface Sambungan Las Resistance Spot Welding Material tak Sejenis antara Alumunium A5052-Baja Galvanis. Surakarta: Skripsi Teknik Mesin UNS
- <https://manualslib.com/manual/1039132/Ewm-Tetrix-351.html>. (10 Juli 2019)