

PENGARUH *PRE-STRAIN* DAN TEGANGAN LISTRIK TERHADAP SIFAT MAMPU LAS DAN KEKUATAN SAMBUNGAN LAS TITIK BEDA MATERIAL ANTARA SS400 DAN JSLAUS (J1)

Sutiyono¹, Triyono², Nurul Muhayat²

¹Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

Resistance spot welding
Dissimilar metals weld
Pre-strain
Voltage
Weldability

Abstract :

In this study, Effect of pre-strain on the weldability and the strength of dissimilar resistance spot welded joint between SS400 and J1 was investigated. In the joining process, electrode pressure and weld time were kept equal and four different pre-strain (0%;1%1,5%;2%) with four different voltages were chosen. Microstructure, micro hardness, tensile-shear properties and failure mode of resistance spot welded joints were examined.

As a result of experiment, the increasing of welding voltage increased the fusion zone size lead to increasing of tensile load bearing capacity. It also changed the interface failure mode to the pullout failure mode. It also determined that increasing of pre-strain decreased tensile load bearing capacity distinctly at low voltage but nearly same at high voltage and changed the failure mode. Pullout failure mode occurred at all pre-strain level with 3.20V welding voltage and 0% pre-strain with 2.67V welding voltage.

PENDAHULUAN

Pengelasan titik atau *resistance spot welding* (RSW) memiliki peranan sangat penting sebagai proses penyambungan dalam industri otomotif, dan setiap kendaraan mengandung 2000-5000 lasan titik. Kualitas dan kekuatan lasan titik sangat penting terhadap perancangan umur dan keamanan dari kendaraan. Prosesnya yang mudah, ekonomis, dan cepat merupakan beberapa keuntungan dari proses pengelasan titik (Abadi dan Pouranvari, 2010).

Dalam proses pengelasan, bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses pengelasan, perubahan suhu terjadi secara terus menerus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut, maka terjadi pemuaiian termal pada bagian yang dilas, sedangkan pada bagian yang dingin tidak mengalami perubahan temperature, sehingga terbentuk penghalang pemuaiian yang mengakibatkan peregangan yang tidak seragam (Wiryosumarto dan Okumura, 1985). Peregangan ini akan menyebabkan perubahan bentuk hasil pengelasan yang mempengaruhi ukuran dan bentuk struktur lasan maka perlu adanya pelurusan kembali (*reforming*) setelah proses pengelasan. Proses ini adalah dengan menggunakan las asitilen yang disemburkan dan didinginkan cepat serta dipukul. Proses ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya membutuhkan waktu yang lama, membutuhkan biaya dan menurunkan sifat-sifat fisik dan mekanik, untuk mengatasi proses tersebut, ahli manufaktur menyarankan proses pelurusan yang disertai dengan *pre-strain*.

Pressing dan *stamping* yang menyebabkan peregangan tambahan pada plat logam sebelum pengelasan titik merupakan langkah-langkah umum

manufaktur pada sebagian besar aplikasi otomotif (Mukhopadhyay dkk, 2009). Contohnya, besarnya *work-hardening* dalam *press-formed* sederhana pada panel luar pintu otomotif hampir setara dengan jumlah *pre-strain* yang disebabkan oleh sekitar 1,1-7,5% dari regangan tarik uniaksial (Jeong, 1998).

Karena *pre-strain* mengubah sifat mekanik, kemungkinan sifat-sifat lain yang berubah salah satunya adalah sifat mampu lasnya. Sifat mampu las akan menjadi permasalahan pada logam tak sejenis. Penggunaan sambungan las logam tak sejenis bertujuan mengurangi berat konstruksi, menghemat biaya material tanpa mengurangi kualitas sifat mekanik dan fisik sambungan las tersebut (Wiryosumarto dan Okumura, 1985). Salah satu contoh kasus adalah penyambungan baja tahan karat jenis *jindal stainless limited-austenitic* (JSLAUS(J1)) dengan baja karbon rendah SS400.

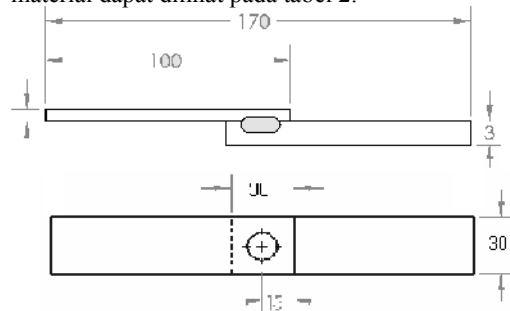
Proses pengelasan titik pada beda material akan lebih rumit dibandingkan dengan pengelasan pada material sejenis karena perbedaan sifat fisik, mekanik, termal dan metalurgi. Oleh karena itu, kebutuhan untuk memperoleh pengetahuan tentang pengaruh *pre-strain* pada plat logam terhadap kualitas sambungan las titik merupakan fokus utama dari penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini bahan yang digunakan adalah SS400 dengan ukuran (100x30x3) mm dan JSL AUS (J1) dengan ukuran (100x30x1)mm yang disusun overlap 3mm mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fatih Hayat (2010) seperti pada gambar 1. Komposisi kimia dari material

dapat dilihat pada tabel 1 dan sifat mekanik dari material dapat dilihat pada tabel 2.



Gambar 1. Susunan spesimen uji tarik-geser

Tabel 1. Komposisi kimia material (%wt)

Elemen	J1	SS400
C	0.08	0.2
Mn	6.0-8.0	0.53
S	0.005	0.04
P	0.06	0.01
Si	0.75	0.09
Ni	4.0-6.0	0.03
Cr	16.0-18.0	0.03
Cu	1.5-1.7	
N	0.1	

Tabel 2. Sifat mekanik material

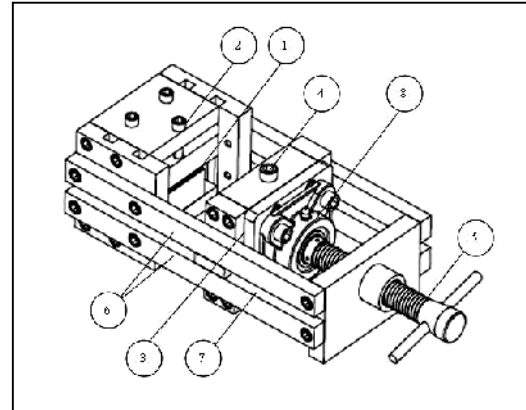
Material	Yield Strength (MPa)	Tensile strength (Mpa)	Elongation (%)
SS400	245	388	31
J1	205	550	40

Rincian peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Resistance Spot Weld Machine
- Jig stretcher
- Amplas
- Mikroskop Optik
- Ultimate tensile machine(UTM)



Gambar 1. Resistance Spot Weld Machine



Keterangan :

- | | |
|----------------------------------|--------------------|
| 1. Clamper tetap | 5. As ulir pemutar |
| 2. Baut pengencang clamper tetap | 6. Plat alur |
| 3. Clamper gerak | 7. Alur |
| 4. Baut pengencang clamper gerak | 8. Bearing |

Gambar 2. Jig Stretcher



Gambar 3. Ultimate tensile machine(UTM) servo-hydraulic INSTRON

Pengujian

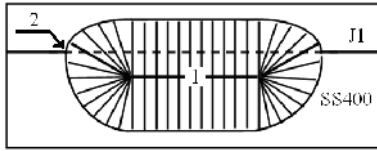
Pengujian yang dilakukan dalam pengambilan data penelitian ini adalah sebagai berikut :

1) Uji tarik-geser

Uji tarik-geser berdasarkan standard AWS digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi *pre-strain* dan tegangan terhadap kapasitas dukung beban dan sifat mampu lasnya. Sifat mampu las ditunjukkan oleh mode kegagalan.

2) Uji metalografi

Pengamatan mikro dilakukan menggunakan mikroskop optic pada penampang melintang las melewati *nugget* dengan perbesaran 100 kali, skala 1 strip 10µm sedangkan pada foto makro menggunakan perbesaran 10 kali berdasarkan prosedur standar metalografi ASTM E 8M. Struktur mikro las terungkap dengan menggunakan aquaregia (10 ml HNO3 dan 30 ml HCL). Uji struktur mikro dilakukan untuk mengambil foto mikro pada daerah *nugget* dan daerah transisi *BM/nugget* seperti ditunjukkan pada gambar 4.

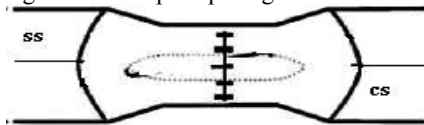


Gambar 4. Letak zona transisi BM/nugget, nugget spesimen las

Keterangan gambar

1. Nugget
 2. Zona transisi BM/nugget
- 3) Uji *microhardness vickers*

Pengujian kekerasan vickers (*microhardness vickers*) ke sumbu vertikal telah dilakukan menggunakan beban 0,2 kg (HV0.2) dengan lama penekanan 5 detik mengacu pada standar pengujian ASTM E 92. Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk menguji distribusi kekerasan pada las (Nugget), fusion line, HAZ (*Heat Affective Zone*), dan logam induk seperti pada gambar 5.

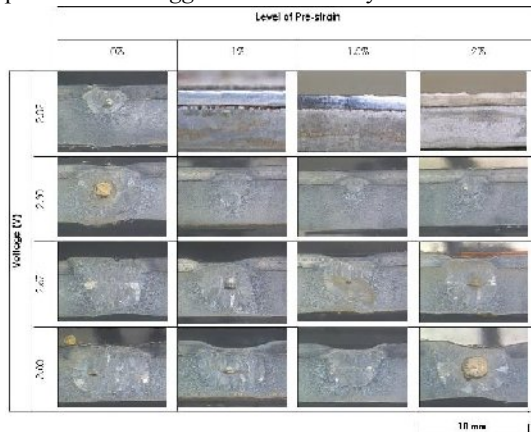


gambar 5. *Micro hardness testing profile*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metalografi

Voltase adalah parameter pengelasan yang memiliki pengaruh terhadap ukuran *Fusion Zone* (FZ) las. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 6. yang menunjukkan ukuran FZ meningkat dengan meningkatnya voltase pengelasan. Besarnya panas yang dihasilkan pada *interface* plat selama proses pengelasan titik memiliki peranan utama dalam pembentukan *nugget* dan kekuatannya.



Gambar 6. Foto makro lasan

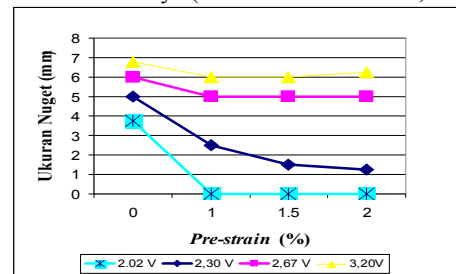
Bentuk *nugget* las adalah salah satu fitur menarik dari las titik. Dalam RSW, keseimbangan panas dapat didefinisikan sebagai kondisi di mana zona fusi dalam kedua potongan yang disambung menerima tingkat pemanasan dan tekanan yang sama. Hal ini menggambarkan terbentuknya situasi yang ideal ketika lasan simetris (dengan kedalaman penetrasi *nugget* yang sama). Keseimbangan panas

dipengaruhi oleh konduktivitas termal dari material yang disambung (Pouranvari, 2011).

Pengelasan plat yang memiliki ketebalan dan material yang berbeda yang berbeda mempengaruhi bentuk *nugget* lasan pada *fusion zone size* (FZS) dan kedalaman penetrasi hasil las. Perbedaan konduktivitas termal dan tahanan listrik yang menyebabkan terbentuknya *nugget* lasan yang asimetris (Abadi dan Pouranvari, 2010). Tahanan listrik *Austenitic stainless steel* (ASS) adalah sekitar $72 \mu\Omega\text{cm}$, sedangkan tahanan listrik *low carbon steel* (LCS) adalah $14,2 \mu\Omega\text{cm}$, konduktivitas termal ASS dan LCS adalah $16.2\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ dan $52\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (Kolar'ik dkk., 2012). Gambar 4.2 menunjukkan ketidak simetrisan hasil las. *Fusion zone size* (FZS) SS400 lebih besar dari J1 dan kedalaman penetrasi SS400 lebih besar dari pada J1. Batas solidifikasi akhir tidak terletak pada *interface* plat tetapi bergeser ke sisi SS400. Ketebalan plat yang berbeda menyebabkan hambatan jenis (*bulk resistivity*) berbeda. Plat yang lebih tebal memiliki hambatan jenis (*bulk resistivity*) jauh lebih besar dibandingkan dengan plat yang tipis sehingga mengakibatkan pemanasan yang tak seimbang (Pouranvari, 2011). Perbedaan konduktivitas termal dan tahanan listrik antara SS400 dan J1 tersebut menyebabkan bentuk *nugget* dari hasil las titik tidak simetris.

Gambar6. menunjukkan pengaruh *pre-strain* terhadap *weldability* dari material yang dilas titik. Kedua material yang disambung tersebut dapat dilas tanpa *pre-strain* (0% *pre-strain*) dengan voltase pengelasan 2.02V, tetapi kedua material tidak dapat tersambung ketika *pre-strain* diberikan. *Pre-strain* juga berpengaruh terhadap ukuran *nugget* dimana ukuran *nugget* lasan tanpa *pre-strain* lebih besar dari ukuran *nugget* lasan dengan *pre-strain* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 7. Hal tersebut disebabkan peningkatan kekerasan logam dasar dengan peningkatan *pre-strain* yang mengakibatkan *work-hardening* seperti hasil penelitian sebelumnya (Mukhopadhyay dkk, 2009).

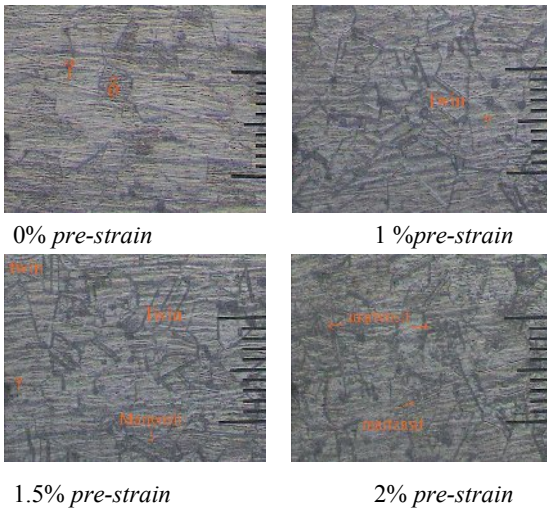
Ukuran FZ pada *interface* plat merupakan faktor utama yang berpengaruh terhadap kekuatan mekanik las titik. Pergeseran bentuk batas solidifikasi *interface* plat yang mengarah ke sisi yang ketahanannya lebih tinggi dapat mempengaruhi kekuatan mekaniknya (Abadi dan Pouranvari, 2010).



Gambar 7. Grafik hubungan antara ukuran *nugget* dengan *pre-strain*

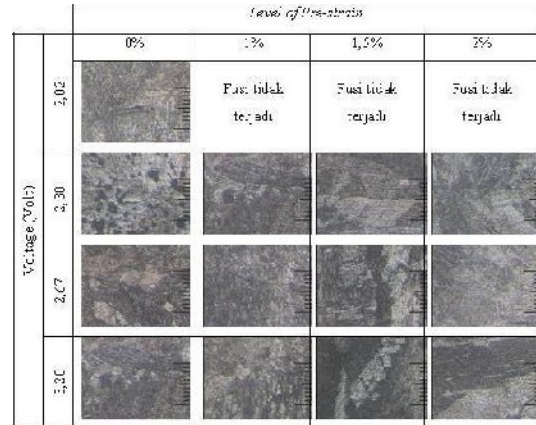
Gambar struktur mikro menunjukkan perubahan struktur pada plat J1 akibat *pre-strain*. JSLAUS(J1) adalah *metastable austenitic stainless steel* yang rentan terhadap *transformation-induced plasticity* (TRIP) yang dapat mengalami perubahan fasa ke martensit yang disebabkan oleh deformasi plastis (Jeong dkk, 2012). Stabilitas austenit menentukan kerentanan fase γ untuk transformasi fase martensit. Selain itu *strain hardening* tergantung pada parameter *cold-working* (Kurc-Lisiecka dan Kalinowska-Ozgowicz,2011).

Gambar8. menunjukkan struktur mikro J1 mengalami perubahan setelah *pre-strain*. Struktur mikro J1 pada 1% *pre-strain* terbentuk *twins*. *Twins* muncul disebabkan oleh *work-hardening* yang timbul karena *pre-strain*. Kerapatan *twins* meningkat pada 1.5% *pre-strain*. *Pre-strain* meningkatkan kerapatan dislokasi dan mengarah ke pembentukan sel-sel dislokasi. Shyan lee dan Feng Lin (2001) juga melaporkan bahwa kerapatan *twins* meningkat karena *work hardening* akibat menerima *pre-strain* lebih tinggi. Peningkatan *pre-strain* jугan menyebabkan tranformasi dari austenit ke martensit. Martensit mulai muncul pada 1.5% *pre-strain* dan terlihat semakin banyak dengan peningkatan *pre-strain*.

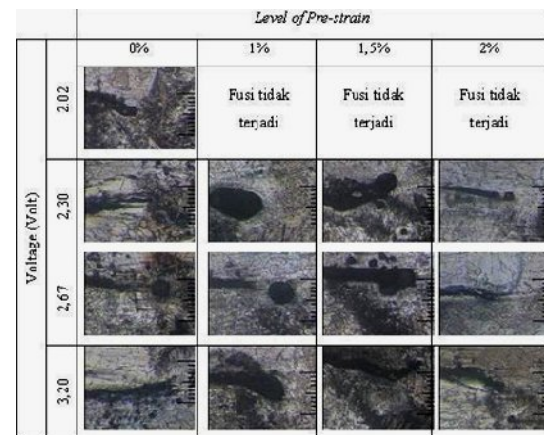


0% *pre-strain* 1% *pre-strain*
 1.5% *pre-strain* 2% *pre-strain*
 Gambar 8. struktur mikro J1 (pembesaran 100X, 1 strip = 10 μ m)

Gambar9. menunjukkan struktur mikro yang terbentuk pada FZ berupa bainit. Gambar10. menunjukkan bahwa tidak ditemukan adanya retak pada area transisi antara BM dan HAZ. Struktur mikro pada HAZ menunjukkan pengerasan butir terjadi akibat transformasi ferrit ke austenit. Pengamatan ini sesuai dengan laporan sebelumnya (Mukhopadhyay dkk, 2009). Peningkatan *pre-strain* plat tidak mempengaruhi struktur mikro pada HAZ dan zona fusi yang cenderung tetap hampir tidak berubah.



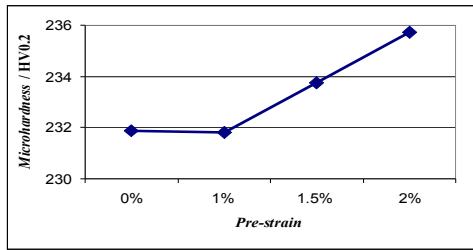
Gambar 9 Struktur mikro lasan pada FZ (pembesaran 100X, 1 strip = 10 μ m)



Gambar 10. Foto mikro lasan pada area transisi BM/HAZ

Kekerasan mikro

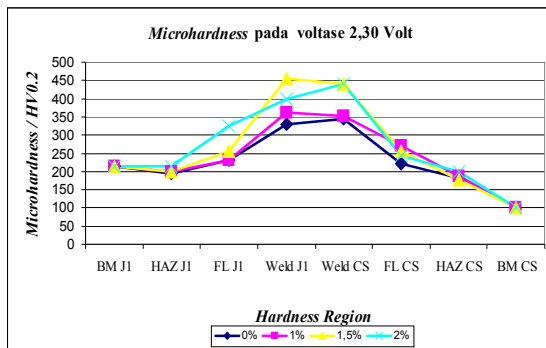
Kekerasan mikro plat J1 tanpa *pre-strain* dan plat J1 yang menerima *pre-strain* sebelum dilas dapat dilihat pada gambar11. yang menunjukkan kenaikan kekerasan mikro. Kekerasan mikro logam mempengaruhi *weldability* dari logam tersebut (Welding technology, issue 0191). Kekerasan BM meningkat dengan peningkatan *pre-strain* karena *work-hardening* yang terkait dengan meningkatnya kerapatan dislokasi (Mukhopadhyay dkk, 2012). Profil nilai kekerasan mikro lasan yang menerima *pre-strain* (J1) berbeda dengan kekerasan mikro lasan yang tanpa *pre-strain*. Kekerasan mikro HAZ lebih rendah dari kekerasan mikro base metal yang disebabkan oleh pengurangan energy regangan dalam (*internal strain energy*) karena masukan seperti penelitian sebelumnya (Mukhopadhyay dkk, 2009). Kekerasan mikro las titik pada plat yang menerima *pre-strain* menunjukkan peningkatan dengan meningkatnya *pre-strain* karena pengerasan (*work-hardening*) yang meningkatkan *dislocation density* seperti penelitian sebelumnya (Mukhopadhyay dkk, 2012).



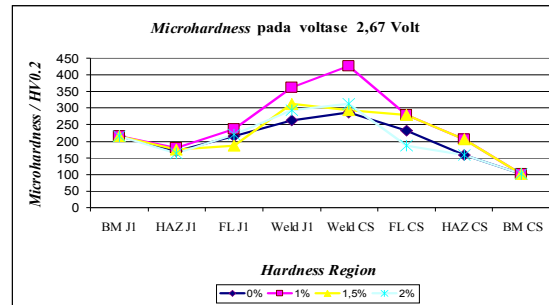
Gambar 11. Pengaruh *pre-strain* terhadap kekerasan mikro BM J1 sebelum dilas

Kekerasan mikro las tertinggi ditunjukkan pada 1,5% *pre-strain* pada voltase 2.30V di daerah nugget J1. Kekerasan terendah didapat pada variasi voltase 3.20 V dengan *pre-strain* di area HAZ pada plat SS400 sebesar 124,9. Kekerasan mikro di area *nugget*, HAZ dan FL tersebut cenderung menurun dengan variasi voltase 2.67V pada semua tingkat *pre-strain*, kemudian mengalami kenaikan kekerasan mikro dengan variasi *pre-strain* 3.20V. Hal tersebut juga terjadi pada sisi lapis SS400, namun pada variasi voltase 2.67 V dengan level *pre-strain* 1% di area *nugget* dan kemudian menurun pada variasi voltase 3.20V.

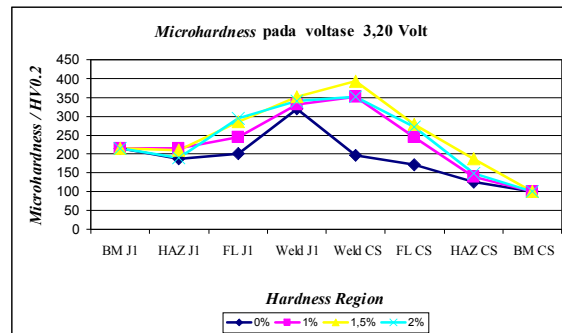
Gambar 12a. menunjukkan pengaruh *pre-strain* terhadap kekerasan mikro lasan. Kekerasan mikro di area HAZ, FL dan nugget cenderung meningkat dengan peningkatan level *pre-strain*, namun kekerasan menurun pada variasi *pre-strain* 2% di area *nugget*. Gambar 12b. menunjukkan peningkatan kekerasan mikro akibat *pre-strain* yang meningkat secara signifikan pada *pre-strain* 1% namun cenderung menurun setelah 1,5 % dan 2%. Gambar 12c. menunjukkan kekerasan pada variasi voltase 3.20V. Kekerasan mikro pada HAZ tanpa *pre-strain* lebih rendah daripada lasan dengan *pre-strain*, namun kekerasan tersebut menurun saat tingkat *pre-strain* naik. Kekerasan mikro naik bersama dengan naiknya *pre-strain* ditunjukkan pada area FL, sedangkan pada *nugget*, penurunan kekerasan terjadi setelah *pre-strain* 2%. Hal tersebut dikarenakan pelepasan *pre-strain* pada saat proses pengelasan karena masukan panas (Mukhopadhyay dkk, 2012).



Gambar 12a. Grafik perubahan distribusi kekerasan mikro lasan akibat perubahan *pre-strain* pada voltase 2.30V



Gambar 12b. Grafik perubahan distribusi kekerasan mikro lasan akibat perubahan *pre-strain* pada voltase 2.67V

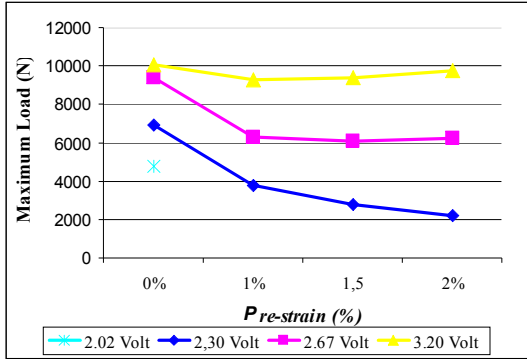


Gambar 12c. Grafik perubahan distribusi kekerasan mikro lasan akibat perubahan *pre-strain* pada voltase 3.20V

Sifat Mekanik dan Mode Kegagalan Hasil Uji Tarik-Geser Lasan

Sasaran utama yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui *tensile load bearing capacity* (TLBC) dan mode kegagalan lasan. Hasil uji tarik-geser adalah tes yang paling banyak digunakan untuk mengevaluasi sifat mekanik las titik dalam kondisi statis. Pengujian tarik-geser yang dilakukan berdasarkan standar AWS menggunakan mesin uji universal servo-hidrolik Instron.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa peningkatan voltase pengelasan menyebabkan meningkatnya *tensile load bearing capacity* (TLBC) dikarenakan peningkatan ukuran FZ sebagai akibat dari peningkatan masukan panas pada saat pengelasan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa peningkatan peak load dikarenakan peningkatan peningkatan ukuran FZ (Pouranvari, 2011). Gambar 13. menunjukkan *pre-strain* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap TLBC. Penurunan TLBC terjadi setelah *pre-strain* diberikan pada *base metal*. Peak load dari RSWS tergantung pada beberapa faktor termasuk karakter fisik las terutama ukuran *fusion zone interface* (Abadi dan Pouranvari, 2010).

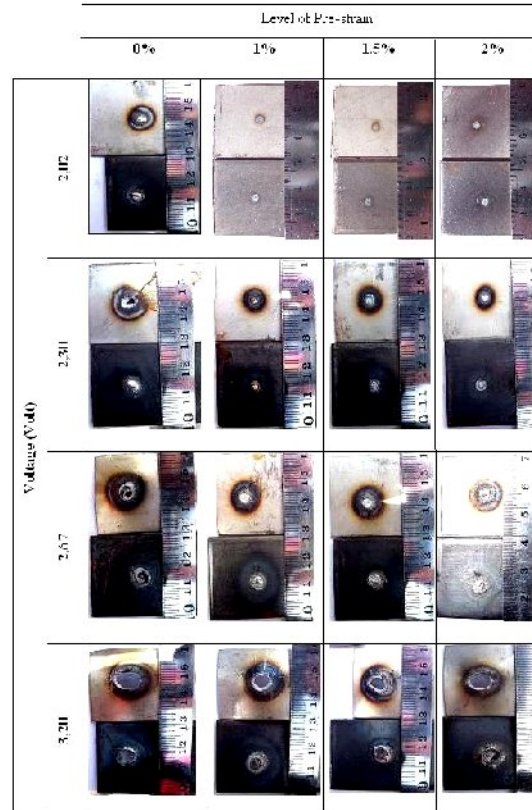


Gambar13. Grafik hubungan TLBC dengan *pre-strain*.

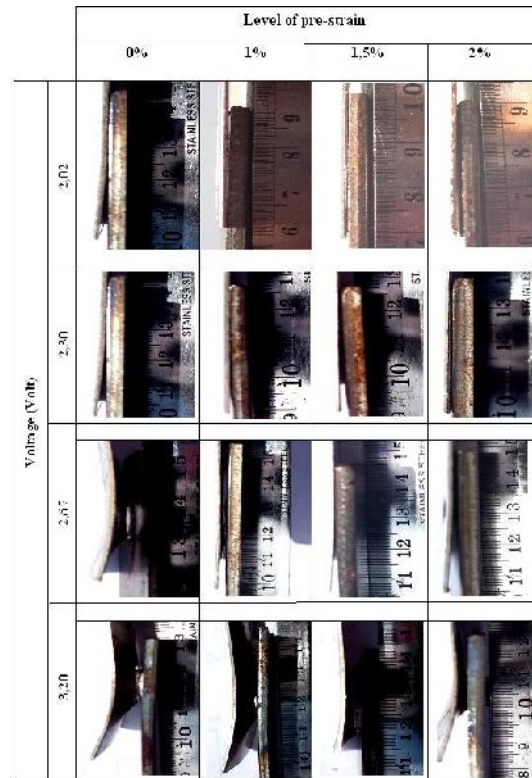
TLBC rata-rata pada variasi voltase 2,30 V menurun dari 6.926,838755 N ke 2.787,664683 N dengan 1% *pre-strain*, 3.781,635387 N dengan 1,5% *pre-strain*, dan 2210,25355 N dengan 2% *pre-strain*. Penurunan nilai TLBC tersebut juga terjadi pada variasi voltase lainnya dengan *pre-strain*.

Mode kegagalan las titik adalah ukuran kualitatif dari kualitas las (Abadi dan Pournvari, 2010). Umumnya, mode kegagalan RSW kegagalan terjadi dalam dua mode: *interface* dan *pullout*. *Interface mode* terjadi melalui melalui FZ, sedangkan *pullout mode* adalah kegagalan yang terjadi melalui penarikan *nugget* dari satu plat. Dalam mode ini, kegagalan dapat dimulai di BM HAZ atau FZ tergantung pada logam dasar dan kondisi pembebanan. Modus kegagalan secara signifikan dapat mempengaruhi TLBC (Abadi dan Pournvari, 2010).

Gambar14. menunjukkan bahwa *Interface mode* terjadi pada variasi voltase pengelasan 2.02V tanpa *pre-strain* dan 2.30V dengan *pre-strain*, sedangkan *Pullout mode* terjadi pada variasi voltase 2.30V (tanpa *pre-strain*), 2.67V dan 3.20V. *Pullout mode* adalah modus kegagalan lebih sering terjadi karena deformasi plastik dan energi absorsinya yang lebih tinggi. Berdasarkan model ini, rasio kekerasan FZ dengan kekerasan lokasi kegagalan penarikan adalah faktor metalurgi yang paling penting yang mengatur modus kegagalan RSW (Pournvari dkk, 2008).



Gambar14. Hubungan *failure mode* dengan voltase pengelasan dan *pre-strain*



Gambar 4.11 *Warping plates*

Lasan cenderung memutar sejajar dengan ujung sambungan las yang dicekam ketika lasan mendapat beban tarik-geser seperti yang ditunjukkan gambar 15. Semakin besar *peak load* maka rotasi pemisahan plat semakin meningkat (Zang dan Senkara, 2006)

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan, maka dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan yang berkaitan dengan karakteristik kuat tarik terhadap tegangan lasan dan suhu pengepresan sebagai berikut:

1. *Pre-strain* berpengaruh terhadap *weldability* material antara J1 degan SS400 terutama pada voltase rendah. Hal ini dikarenakan strain hardening dan transformasi martensit pada J1. *Failure mode* dipengaruhi oleh kekuatan dan *fusion zone* las titik. Ukuran *fusion zone* yang kecil menyebabkan *interfacial failure mode* sedangkan ukuran *fusion zone* yang besar menyebabkan *pullout failure mode*.
2. Semakin tinggi voltase pengelasan maka semakin tinggi *tensile load bearing capacity* (TLBC) dikarenakan tingkat peleburan semakin tinggi.
3. Peningkatan *pre-stain* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap TLBC las titik pada voltase rendah, semakin tinggi *pre-strain* maka TLBC semakin rendah, namun TLBC cenderung sama pada voltase pengelasan tinggi yaitu 3,20 V
4. Bentuk nugget lasan asimetrik yang disebabkan oleh perbedaan ketebalan, konduktivitas termal dan tahanan listrik material. Struktur mikro yang terbentuk pada nugget adalah bainit.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, M. M. H. dan Pouranvari, M. 2010. *Correlation Between Macro/Micro Structure and Mechanical Properties Of Dissimilar Resistance Spot Welds Of AISI 304 Austenitic Stainless Steel And AISI 1008 Low Carbon Steel*, Scientific paper UDC: 28.477:669.715
- Agustinus Eko Budi Nusantara, Triyono, Kuncoro Diharjo, 2011, *Welding Current Effect on Mechanical Properties of Spot Welded Dissimilar Metals between Stainless Steel J4 and Low Carbon Steel*, International Conference and Exhibition on Sustainable Energy and Advanced Materials (ICE SEAM 2011)
- Alenius, M., Pohjanne, P., Somervuori, M., Hanninen, H. 2007. *Exploring The Mechanical Properties of Spot Welded Dissimilar Joints for Stainless And Galvanized Steels*. ASM Heat Treating Society HT2007 Conference.
- Hayat F, 2011. *Resistance Spot Weldability of Dissimilar Material: BH180-AISI304L Steels and BH180-IF7123 Steels*. J.Mater.Sci.Technol., 2011, 27(11), 1047-1058.
- Jeong WC. *Effect of prestrain on aging and bake hardening of cold-rolled, continuously annealed steel sheets*. Metall Mater Trans A 1998;29A:463-7
- Kolařík L. dkk , 2012, *Resistance Spot Welding of dissimilar Steels*, Acta Polytechnica Vol. 52 No. 3/2012
- Kurc-Lisiecka A. dan Kalinowska-Ozgowicz E., 2011. *Structure and mechanical properties of austenitic steel after cold rolling*. JMME volume , Issue 22.
- Lee. W. S. dan Lin C. F., 2001, Effect of Prestraining On The Impact Response and Twinning Structure of 304L Stainless Steel. Materials transactions, Vol.42, 10(2001) pp.2080 to 2086.
- Mukhopadhyay G., S. Bhattacharya and K. K. Ray, 2009. *Effect of pre-strain on the strength of spot-welds*, Materials and Design 30 (2009) 2345-2354
- Mukhopadhyay G., S. Bhattacharya and K. K. Ray, 2012. *Impact toughness of spot welds on prestrained interstitial free steel sheets*. Materials Science and Technology 2012 VOL.28 NO.2
- Pouranvari M., 2011, *Effect of Welding Current on the Mechanical Response of Resistance Spot Welds of Unequal Thickness Steel Sheets in Tensile-Shear Loading Condition*, International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering, VOL. 2, NO. 6, ISSN: 2045-7057.
- Pouranvari, M., Marashi, P., Goodarzi, M. 2008. *Failure Mode Of Dissimilar Resistance Spot Welds Between Austenitic Stainless and Low Carbon Steels*. 13. – 15. 5. 2008, Hradec nad Moravici.
- Solomon N. dan Solomon I., 2012. *Deformation induced martensite in AISI 316 stainless steel*, Revista de metalurgia, 46 (2), issn: 0034-8570
- Technical Data Sheet Jindal Stainless Steel Grade JSLAUS (J1)*, www.jindalstainless.com
- Wiryo Sumarto H. dan Okumura T. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta. PT Pradnya Paramita.
- Zang H. dan Senkara J., 2006, *Resistance Welding Fundamentals and Applications*, Taylor & Francis Group, Boca Raton London, New York.