

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)

Arief Ari Kuntoro¹, Triyono², Heru Sukanto²

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163

²Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163
Email korespondensi: Arief_ae@rocketmail.com

Abstrak

Distorsi sering terjadi pada proses pengelasan pelat tipis. Pra-regangan biasanya dipilih untuk memperbaiki kegagalan tersebut. Pra-regangan adalah metode yang meregangkan dan menahan material sebelum proses pengelasan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pre-strain dan voltase pada sifat korosi, fisika dan mekanik dari logam yang berbeda yang dilas antara AISI 430 dan J1. Variasi perlakuan pra-regangan adalah (0%; 0,2%; 0,5%; 1%) dan voltase (1.60V; 1.79V; 2.02V; 2.30V). Tekanan tekanan elektrik adalah 500N. Larutan NaCl 3,5% digunakan untuk uji korosi polarisasi potensiodinamik. Hasil percobaan menunjukkan bahwa ukuran nugget membesar seiring meningkatnya tegangan yang menyebabkan mode kegagalan pullout. Ukuran Nugget menurun setelah pre-regangan diaplikasikan pada spesimen dan membuat mode kegagalan interfacial. Variasi pre-regangan pada 1% dan tegangan pada 2.30V memiliki laju korosi tertinggi 0,0497 mm / y. Korosi pitting adalah korosi yang terjadi pada spesimen. Korosi pitting terjadi karena overheating saat pengelasan dengan perlakuan pra-regangan menyebabkan lapisan film pasif pelindung oksida dari AISI 430 rusak.

Kata kunci: pengelasan titik resistan, pra-regangan, logam berbeda, korosi pitting, potensiodinamik.

Abstract

Distortion often occurs in thin plate welding process. Pre-strain is usually chosen for repairing those failure. Pre-strain is the method which stretches and holds the material before welding process. The main objective of this research is to investigate the effect of pre-strain and voltage on corrosion, physic and mechanics properties of dissimilar metals spot welded between AISI 430 and J1. Variation of pre-strain treatment is (0%; 0.2%; 0.5%; 1%) and voltage is (1.60V; 1.79V; 2.02V; 2.30V). Electrode pressure force is 500N. NaCl 3.5% solution is used for potentiodynamic polarization corrosion test. As a result of the experiment showed that nugget size enlarge with increasing voltage which cause pullout failure mode. Nugget size decrease after pre-strain was applied to the specimen and makes interfacial failure mode. Variation of pre-strain at 1% and voltage at 2.30V had the highest corrosion rate of 0.0497 mm/y. Pitting corrosion is the corrosion which occurs in the specimen. Pitting corrosion occurs due to overheating when welding with pre-strain treatment cause the protective oxide passive film layer from AISI 430 was damaged.

Keywords: resistance spot welding, pre-strain, dissimilar metal, pitting corrosion, potentiodynamic.

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah cara yang paling banyak digunakan dalam proses penyambungan logam dikarenakan las memiliki kelebihan diantaranya yaitu sambungan lebih kuat, hemat, murah, dan mudah pemakaiannya. Salah satu metode pengelasan adalah *Resistance Spot Welding* (RSW) atau sering dikenal dengan las titik. Pengelasan titik tahanan (RSW) memiliki peranan penting sebagai proses penyambungan dalam industri otomotif, dan setiap kendaraan mengandung 2000-5000 lasan titik. Kualitas dan kekuatan las titik sangat penting terhadap perancangan umur dan keamanan dari kendaraan [1]

Tingkat pendinginan las titik sangat tinggi yaitu sekitar 1000-10.000°C/s, sehingga dapat digunakan sebagai metode pengelasan yang cocok untuk mengurangi pertumbuhan butir [2] Bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat selama proses pengelasan dan perubahan suhu terjadi terus menerus sehingga distribusi suhu tidak merata. Karena panas tersebut maka terjadi pemuai termal pada bagian yang dilas, sedangkan pada bagian yang dingin tidak mengalami perubahan temperatur sehingga terbentuk penghalang pemuai yang tidak seragam [3]. Peregangan ini akan menyebabkan perubahan bentuk hasil pengelasan yang mempengaruhi ukuran dan bentuk struktur lasan maka perlu adanya pelurusan kembali (*reforming*) setelah proses pengelasan. Untuk

mengatasi hal tersebut ahli manufaktur menyarankan proses pelurusan yang disertai dengan *pre-strain*.

Pre-strain adalah peregangan awal suatu material sebelum proses pengelasan dengan mempertahankan logam pada kondisi deformasi elastis. Material logam yang di *pre-strain* harus berada pada deformasi elastis, dimana material tersebut dikenakan gaya tarik dan akan cenderung untuk kembali ke keadaan semula. Hal ini dilakukan karena logam masih dapat menahan beban yg diberikan dan menghambat pergerakan batas butir dari dislokasi. Mengingat besar efek *pre-strain* yang terjadi pada bahan struktur, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada bahan yang diaplikasikan pada lingkungan korosif.

Penggunaan sambungan las logam tak sejenis bertujuan mengurangi berat konstruksi, menghemat biaya material tanpa mengurangi kualitas sifat mekanik dan fisik sambungan las tersebut [3]. Proses penyambungan beda material akan mengalami kesulitan, dikarenakan perbedaan sifat fisik, mekanik, termal dan metalurgi. Meskipun *stainless steel* merupakan bahan yang dibuat khusus untuk tahan terhadap korosi, namun bahan ini merupakan bahan yang sangat mudah mengalami kegagalan akibat korosi retak tegang [4]. Pengelasan *stainless steel* menunjukkan beberapa derajat kerentanan terhadap korosi lokal, *pitting* dan korosi celah, yang merupakan faktor pembatas dalam aplikasi *stainless steel* [5].

Korosi adalah suatu hasil kerusakan material akibat reaksi kimia atau elektrokimia antara suatu logam dengan berbagai zat dilingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki yang dimulai dari permukaan logam [6]. Penyebab lain yang dapat mempercepat laju korosi dari suatu material adalah karena dilakukannya proses pengelasan pada material tersebut yang menyebabkan terjadinya rekristalisasi yang dapat mengubah karakteristik kekuatan dan korosi. *Stainless steel* banyak digunakan khususnya dalam industri otomotif, minyak dan gas yang harus mempunyai kekuatan dan ketahanan terhadap korosi yang cukup untuk diaplikasikan pada lingkungan korosif seperti air laut.

Kekuatan hasil pengelasan *resistance spot welding* tergantung dari arus listrik, tekanan elektroda, resistansi logam las, dan waktu pengelasan. [7] mengatakan bahwa kekakuan merupakan faktor pengendali kekuatan kelelahan las titik tahanan pada lembar austenitik *stainless steel* dengan ketebalan tak sama. Pengaruh parameter kualitas lasan beda material pada pengelasan titik tahanan (RSW) antara feritik *stainless steel* 430 dan baja karbon rendah pernah diteliti oleh [8]. Arus pengelasan merupakan parameter yang paling berpengaruh pada kualitas lasan. Beban puncak dan penyerapan energi dari pengelasan meningkat seiring dengan meningkatnya arus pengelasan, dimana pembentukan ukuran pada

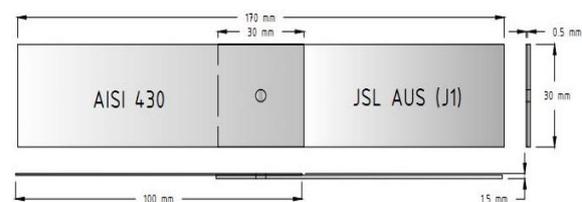
zona fusi lebih besar dengan masukan panas yang tinggi [9].

[9] yang melakukan penelitian tentang pengelasan titik baja stainless 430 menyatakan bahwa pada zona fusi dan zona terpengaruh panas (HAZ) terjadi pertumbuhan butir, serta pembentukan martensit dan presipitasi karbida yang memperburuk sifat mekanik dan terjadi fraktur di *base metal*. Kekuatan tarik-geser pada las titik tahanan tergantung dari ukuran *nugget* dan kedalaman penetrasi pengelasan [10]. Penelitian mengenai *pre-strain* oleh [11] dalam proses pengelasan mampu meningkatkan sifat mekanik (*yield* dan *tensile strength*) juga mempengaruhi umur kelelahan dari logam. Pengurangan umur kelelahan ditemukan dengan meningkatnya tingkat *pre-strain*. Perubahan sifat mekanik setelah mengalami *pre-strain* yang diberikan terhadap material akan mengakibatkan gerak dislokasi yang saling merintang antar dislokasi, sehingga menimbulkan efek pengerasan regangan yang dapat meningkatkan sifat mekanik [12]. *Pre-strain* juga meningkatkan *impact toughness* lasan titik tahanan dari *interstitial free steel*. Lokasi kegagalan umumnya terjadi pada *interface* HAZ dan logam dasar kecuali untuk las titik tanpa *pre-strain*, kegagalan yang terjadi yaitu pada logam dasar [13].

[14] dalam penelitiannya menyatakan bahwa korosi pada 3.5% NaCl tahap awal didominasi oleh korosi galvanik yaitu proses penghancuran oksida film, dan tahap akhir didominasi oleh korosi sumuran dengan butir halus. Kerentanan korosi sumuran pada permukaan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi ion klorida dalam media klorida asam. Lubang korosi dapat menyebabkan retak dan mempercepat keausan, dimana semakin banyak lubang korosi, total volume keausan akan lebih besar [15].

2. Metode

Penelitian dilakukan di Laboratorium Proses Produksi dan Laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta. Bahan yang digunakan adalah AISI 430 dengan ukuran (100x30x0.5)mm dan J1 dengan ukuran (100x30x1)mm yang disusun overlap seperti pada gambar 1.

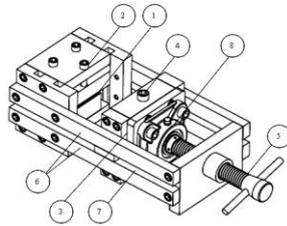


Gambar 1. Dimensi Benda Uji.

Larutan elektrolit NaCl 3.5% digunakan sebagai larutan uji korosi potensiodinamik.

Alat Penelitian

Resistance Spot Weld Machine, Jig Stretcher untuk meregangkan plat seperti pada gambar 2 berikut.

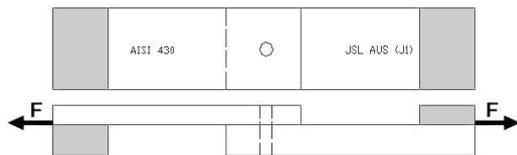


Gambar 2. Jig Stretcher.

Mikroskop optik, *Universal Testing Machine (UTM)*, Alat uji potensiodinamik polarisasi, dan *Microhardness Vickers*.

Pengujian Spesimen

Pengujian tarik-geser digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi *pre-strain* dan tegangan listrik terhadap kapasitas dukung beban dan sifat mampu lasnya. Sifat mampu las ditunjukkan oleh mode kegagalan. Uji tarik-geser mengacu pada standart AWS SAE D8.9 seperti yang terlihat pada gambar 3.



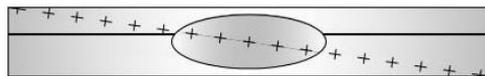
Gambar 3. Skema Uji Tarik-Geser.

Foto Struktur Mikro dan Makro digunakan untuk mengetahui struktur mikro dan makro pada area *base metal*, *HAZ*, dan *nugget* setelah dilakukan pengelasan yang mengacu pada ASTM E407 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.



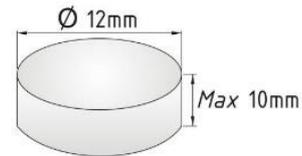
Gambar 4. Skema Uji Mikro dan Makro.

Pengujian *Microhardness Vickers* digunakan untuk mengetahui pengaruh variasi *pre-strain* dan tegangan listrik terhadap kekerasan mikro lasan yang berdasar pada ASTM E92 seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Skema Pengambilan Data Uji Keras Vickers.

Pengujian korosi potensiodinamik digunakan untuk mengetahui ketahanan laju korosi pada logam yang mengacu pada standart ASTM G102 dengan dimensi benda uji yang terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Spesimen Uji Korosi Potensiodinamik.

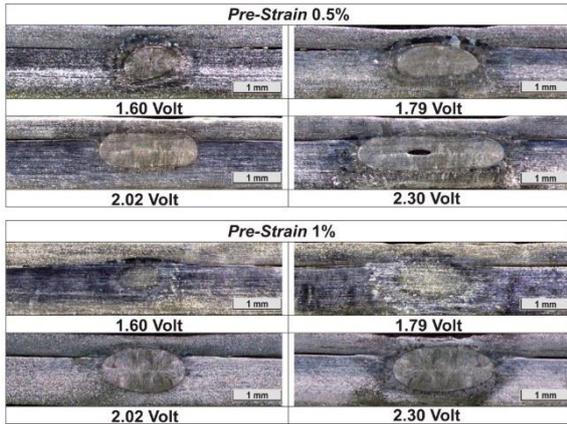
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian Struktur Makro dan Mikro

Uji struktur makro dilakukan menggunakan mikroskop optik pada penampang melintang lasan untuk mengetahui besar *nugget*, sedangkan uji struktur mikro untuk mengetahui perubahan fasa dan bentuk struktur logam hasil pengelasan pada *base metal*, *HAZ*, dan *nugget*. *Nugget* terbentuk karena panas yang dihasilkan dari proses pengelasan dan menyebabkan sebagian daerah kontak mencair akibat penekanan dan membeku sehingga menyatukan kedua logam.

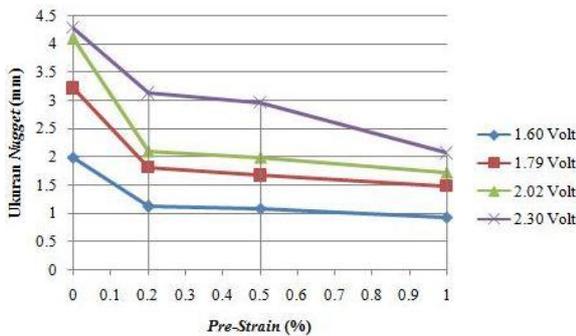
Pre-strain dan tegangan listrik merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin meningkatnya tegangan listrik pengelasan dari 1.60 volt – 2.30 volt ukuran diameter *nugget* yang dihasilkan semakin besar, sedangkan seiring meningkatnya *pre-strain* diameter *nugget* yang dihasilkan semakin kecil seperti ditunjukkan pada gambar 7. Ukuran *nugget* yang semakin besar berbanding lurus dengan naiknya tegangan listrik pengelasan, dimana tegangan listrik berbanding lurus dengan jumlah panas yang dihasilkan. Jika tegangan listrik tinggi, maka panas yang dihasilkan akan semakin tinggi yang mengakibatkan ukuran diameter *nugget* menjadi semakin besar. [8] menyatakan bahwa tegangan listrik merupakan parameter penting untuk dikontrol dalam proses pengelasan, karena memiliki efek yang lebih besar daripada panas. Apabila tegangan listrik pengelasan yang digunakan terlalu berlebihan menyebabkan ledakan logam cair [16].

Besarnya *nugget* pada *ferritic stainless steel* AISI 430 dan JSL AUS (J1) mempunyai luas yang tidak sama, hal ini disebabkan karena perbedaan ketebalan dan konduktivitas thermal kedua material tersebut. Konduktivitas thermal serta hambatan dapat mempengaruhi formasi *nugget* dan pertumbuhan *nugget* [1]. Hambatan elektrik (*electical resistivity*) serta konduktivitas thermal dari *ferritic stainless steel* AISI 430 dan JSL AUS (J1) menyebabkan terjadinya masukan panas yang tidak merata sehingga terjadi bentuk *nugget* yang tidak simetris, selain itu perbedaan ketebalan material yang dilas juga merupakan penyebab terjadinya ketidaksimetrisan bentuk *nugget*.



Gambar 7. Struktur Makro Sambungan Las.

Pengamatan foto makro gambar 7 pada variasi tegangan listrik 1.60 volt, 1.79 volt, 2.02 volt, dan 2.30 volt dengan tingkat *pre-strain* 0.2%, 0.5 dan 1% mengalami penurunan ukuran *nugget* lasan, hal tersebut menunjukkan bahwa ukuran *nugget* dipengaruhi oleh *indentation* elektroda. Tekanan elektroda yang dalam menyebabkan *indentation* menjadi lebih besar yang berpengaruh terhadap bentuk *nugget* lasan. Semakin dalam *indentation*, maka ukuran *nugget* akan semakin kecil. Daya dukung ketahanan sambungan lasan tergantung pada ukuran *nugget* dan kedalaman penetrasi pengelasan [10]. Permukaan *Indentation* elektroda dapat merubah tegangan pada sisi *nugget* yang dapat menunjukkan awal kegagalan serta mempengaruhi sifat mekanik hasil pengelasan tergantung dari tekanan dan temperatur elektroda [16].



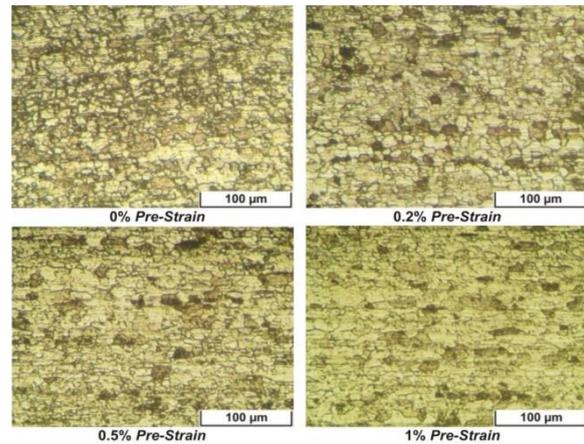
Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Tegangan Listrik dan *Pre-Strain* Terhadap Ukuran *Nugget*.

Pada gambar 8 menunjukkan bahwa ukuran *nugget* tanpa *pre-strain* lebih besar daripada ukuran *nugget* dengan *pre-strain*. Besarnya tingkat *pre-strain* mempengaruhi besarnya ukuran dari *nugget*. Hasil penurunan tersebut diikuti untuk semua tegangan listrik pengelasan dengan variasi tingkat *pre-strain*. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran *nugget* menurun seiring dengan meningkatnya tingkat *pre-strain* [13].

Base metal AISI 430 terdiri dari fasa δ ferit 100% dengan sedikit austenit dan martensit, sedangkan *base metal* JSL AUS (J1) terdiri dari fasa austenit dan δ ferit 5%. Struktur mikro *ferritic stainless steel* dapat

berupa feritik sepenuhnya dengan beberapa karbida atau campuran ferit dan martensit, dimana martensit berada di batas butir [9]. Pengamatan struktur mikro dari *ferritic stainless steel* AISI 430 pada gambar 9 menunjukkan terjadinya perubahan struktur mikro setelah mengalami *pre-strain* (0%, 0.2%, 0.5%, dan 1%). Struktur mikro *ferritic stainless steel* AISI 430 terjadi peningkatan fasa dari δ ferit 100% menuju fasa austenit dengan sedikit fasa martensit seiring dengan meningkatnya *pre-strain*. *Pre-strain* dapat meningkatkan *dislocation density* dan mengarah ke pembentukan sel-sel dislokasi yang pada gilirannya meningkatkan ketahanan terhadap deformasi [13].

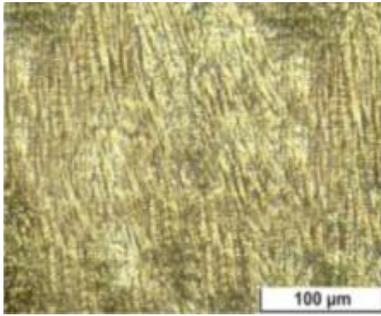
Perubahan struktur yang terjadi pada *ferritic stainless steel* 430 setelah diberikan *pre-strain* 0.2%, 0.5% dan 1% sebelum pengelasan mengalami pemipihan dan perpanjangan bentuk ukuran butir seperti yang terlihat pada gambar 9. Efek deformasi plastis akibat *pre-strain* membuat perubahan butir struktur menjadi lebih besar, reaksi dari bahan dan lingkungan lebih banyak terjadi di butir itu sendiri sehingga terjadi penggetasan butiran [12]. Perubahan sifat mekanik *base metal* yang telah mengalami *pre-strain* mengakibatkan gerak dislokasi yang saling merintang antar dislokasi, sehingga menimbulkan efek pengerasan regangan dan peningkatan sifat mekanik meningkat.



Gambar 9. Struktur Mikro *Ferritic Stainless Steel* AISI 430 Sebelum di Las.

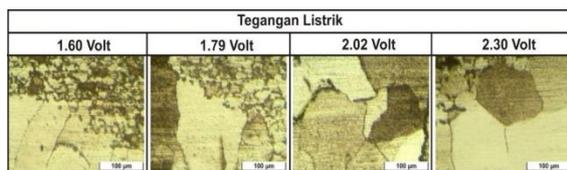
Ukuran butir semakin pipih seiring meningkatnya *pre-strain*, hal tersebut berdampak pada peningkatan kekerasan permukaan di *base metal ferritic stainless steel* 430. Nilai kekerasan logam bertambah karena transformasi fasa dan deformasi plastis akibat *pre-strain* yang meningkatkan densitas dislokasi [17]. Pengamatan foto mikro pada gambar 10 menunjukkan bahwa di daerah *nugget* pengelasan *ferritic stainless steel* AISI 430 dan JSL AUS (J1) terdiri dari fasa austenit, martensit dan 20% ferit δ . Sedangkan daerah disebelah batas *fusion zone* memiliki struktur mikro δ ferit karena laju pendinginan yang tinggi dari pengelasan titik. Batas butir di zona ini hanya terjadi transformasi fasa ferit menjadi austenit karena

penekanan pada suhu tinggi sehingga tidak terbentuk fasa martensit, dimana pembentukan lapisan martensit terjadi akibat pembentukan fase austenit pada suhu tinggi [9].



Gambar 10. Struktur Mikro *Nugget* Pengelasan *Ferritic Stainless Steel* AISI 430 dan JSL AUS (J1).

Struktur mikro *nugget* dan HAZ dipengaruhi oleh fenomena yang berbeda termasuk pertumbuhan butir, pembentukan martensit dan presipitasi karbida. *Nugget* pengelasan pada gambar 10 menunjukkan beberapa fitur pertumbuhan butir dan presipitasi karbida, yaitu pengendapan karbida kaya kromium dipadukan *ferritic stainless steel* seperti AISI 430 dan pembentukan martensit yang hadir dalam batas butir halus feritik [18]. Pengamatan foto struktur mikro gambar 11 di daerah terpengaruh panas (HAZ) menunjukkan terjadinya pengkasaran dan pertumbuhan butir akibat pemanasan dari proses pengelasan. Hal ini karena pada tingkat masukan panas tinggi siklus termal lebih panjang dan cenderung untuk menghasilkan struktur kasar [19]. Masukan panas pengelasan yang tinggi menyebabkan laju pendinginan (solidifikasi) lambat yang berdampak pada lebar HAZ yang semakin besar serta terjadi pembesaran butir.

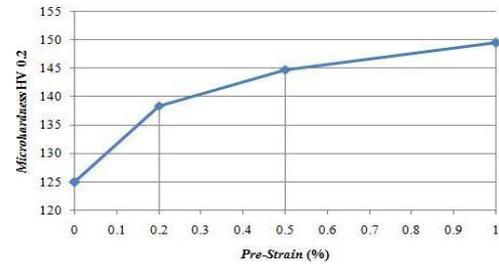


Gambar 11. Struktur Mikro Lasan HAZ *Ferritic Stainless Steel* AISI 430.

Terlihat struktur mikro HAZ *ferritic stainless steel* pada gambar 11 terjadi pembesaran ukuran butir seiring meningkatnya tegangan listrik pengelasan. Pengkasaran butir tersebut terjadi untuk semua variasi *pre-strain* pada tegangan listrik pengelasan 1.60 volt, 1.79 volt, 2.02 volt, dan paling besar terjadi pada tegangan listrik pengelasan 2.30 volt. Struktur mikro dominan HAZ di ujung *nugget* adalah feritik (berwarna terang) dengan ukuran butir besar [8].

Pengujian Kekerasan Mikro

Pengujian *microhardness vickers* menggunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut 136° . Indenter ditekan dengan gaya sebesar 200 gf dan periode penekanan selama 10 detik.

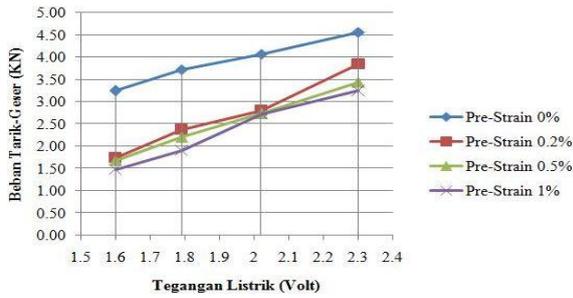


Gambar 12. Pengaruh *Pre-Strain* Terhadap Kekerasan Mikro *Ferritic Stainless Steel* AISI 430.

Pengujian kekerasan dari material baja tahan karat AISI 430 feritik yang dilakukan *pre-strain* sebelum pengelasan terjadi peningkatan kekerasan setelah diberikan *pre-strain*, hal ini dikarenakan meningkatnya *dislocation density*. Pada gambar 12 menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada *base metal* meningkat seiring dengan meningkatnya *pre-strain*. Meskipun ukuran butir di *nugget* lebih kecil daripada HAZ, akan tetapi nilai kekerasannya lebih tinggi karena adanya karbida terdispersi halus dan juga pembentukan fasa martensit [9]. Kekerasan dekat *fusion zone* mengalami penurunan dikarenakan terjadi peningkatan ukuran butir yang mengakibatkan nilai kekerasan di HAZ menurun. Nilai kekerasan yang lebih rendah di HAZ dibandingkan dengan daerah yang berdekatan dengan *fusion zone* dapat berkontribusi terhadap pertumbuhan butir dan juga tidak adanya martensit pada batas butir ferit. Hasil *microhardness* mencatat nilai tertinggi di lokasi dimana karbida berada di samping *fusion line* [8]. Fraksi volume endapan di HAZ lebih tinggi dari *base metal* serta kurangnya pembentukan martensit dan juga terjadi pengendapan dispersi kasar yang mengakibatkan nilai kekerasannya lebih tinggi daripada *base metal* [9].

Pengujian Tarik-Geser dan Mode Kegagalan

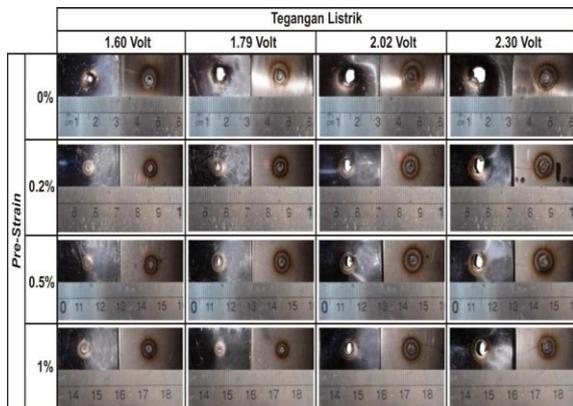
Pre-strain yang diberikan pada *base metal* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap TSLBC, dimana penurunan beban tarik-geser maksimum terjadi setelah material mengalami *pre-strain* pada *base metal*. Hal tersebut dikarenakan terjadi penurunan ukuran *nugget* seiring dengan meningkatnya *pre-strain*. Hasil penelitian pada gambar 13 menunjukkan bahwa peningkatan beban tarik-geser maksimum dan *energy absorption* naik seiring dengan bertambahnya tegangan listrik pengelasan. Pengaruh peningkatan tegangan listrik pengelasan menyebabkan pembesaran pada daerah *nugget*. Besar dari *nugget* pengelasan mengakibatkan berpindah mode kegagalan dari *interfacial* ke *pullout* [16].



Gambar 13. Grafik Hubungan Tegangan Listrik Pengelasan dan Tingkat *Pre-Strain* Terhadap Beban Tarik-Geser Maksimum.

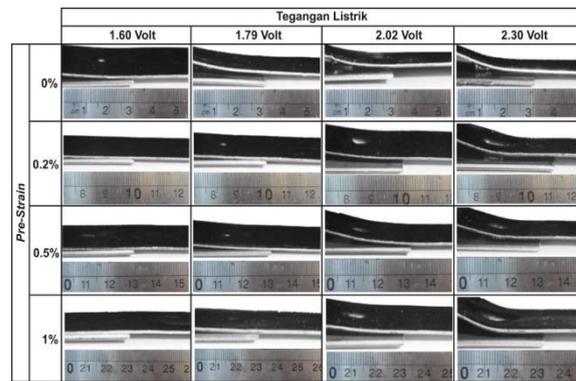
Pengamatan dari gambar 13 menunjukkan bahwa nilai dari beban tarik-geser maksimum terus meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan listrik pengelasan. Semakin tinggi tegangan listrik pengelasan maka semakin besar ukuran *nugget*, dikarenakan masukan panas yang lebih tinggi. Terdapat hubungan antara tegangan listrik pengelasan dan sifat mekanik las pada beban puncak dan energi kegagalan, dimana beban puncak dan energi kegagalan meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan listrik pengelasan karena terjadi peningkatan ikatan pengelasan [9].

Kualitas dari hasil *resistance spot welding* dapat diketahui dari sifat fisik mekanik dan mode kegagalan hasil pengelasan [16]. *Peak load* dari *resistance spot welding* (RSW) tergantung dari faktor fisik hasil pengelasan, salah satunya yaitu ukuran *fusion zone interface*. Mode kegagalan secara signifikan dapat mempengaruhi TSLBC [1]. Mode kegagalan dari *resistance spot welding* yang terjadi yaitu *interface* dan *pullout*. *Interface mode* yaitu mode kegagalan yang terjadi melalui perambatan retak melewati *nugget*, sedangkan *pullout mode* adalah mode kegagalan yang terjadi melewati penarikan *nugget*. Peningkatan ukuran *nugget* berhubungan secara linear dengan beban tarik-geser dan beban puncak menjadi mode kegagalan *pullout* [9].



Gambar 14. Hubungan Mode Kegagalan dengan Tegangan Listrik Pengelasan dan *Pre-Strain*.

Mode kegagalan dapat terjadi pada *base metal*, HAZ, dan *nugget* tergantung pada sifat fisik mekanik logam dasar dan kondisi pembebanannya. Pada gambar 14 menunjukkan bahwa *interface mode* terjadi pada tegangan listrik pengelasan 1.60 volt dengan tingkat *pre-strain* 0.2%, 0.5%, 1% dan tegangan listrik pengelasan 1.79 volt dengan tingkat *pre-strain* 1%. Terlihat juga pada gambar 15 yang menunjukkan mode kegagalan *pullout* plat *ferritic stainless steel* AISI 430. Mode *pullout* terjadi pada tegangan listrik pengelasan 1.60 volt, 1.79 volt, 2.02 volt dan 2.30 volt tanpa *pre-strain* dan 1.79 volt, 2.02 volt, 2.30 volt dengan tingkat *pre-strain* 0.2%, dan 0.5%. Sedangkan pada tingkat *pre-strain* 1%, mode kegagalan *pullout* hanya terjadi pada tegangan listrik pengelasan 2.02 volt dan 2.30 volt. Kegagalan dimulai dekat tengah *nugget*, dengan lingkaran dalam plat *ferritic stainless steel* AISI 430 sampai robek. Hal tersebut terjadi karena perbedaan ketebalan material dan kekerasan mikro HAZ pada plat *ferritic stainless steel* AISI 430 yang lebih rendah dari pada JSL AUS (J1).



Gambar 15. Mode Kegagalan Plat Baja Tahan Karat AISI 430 Feritik dan JSL AUS (J1).

Pengujian Potensiodinamik Polarisasi

Pengujian korosi potensiodinamik menggunakan larutan NaCl dengan konsentrasi 3.5%. Metode polarisasi *resistance* merupakan cara yang paling cepat untuk menentukan laju korosi tanpa merusak logam dengan hasil pengukuran yang lebih akurat [20].



Gambar 16. Spesimen Hasil Uji Korosi 3.5% NaCl pada Tegangan Listrik Pengelasan 1.60 Volt.

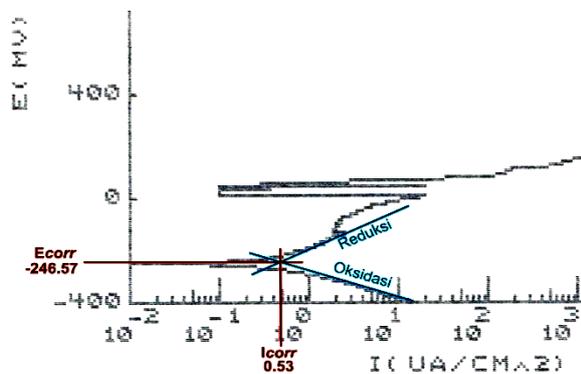
Larutan NaCl dengan tingkat konsentrasi yang semakin pekat akan mempengaruhi proses cepat dan

lambatnya laju korosi karena reaksi elektrokimia yang diterima oleh *stainless steel*. Larutan NaCl mengandung ion klorida yang mudah merusak permukaan lapisan oksida. Pada gambar 16 dan 17 terlihat dengan jelas untuk semua variasi tingkat *pre-strain* mengalami peningkatan korosi sumuran (*pitting corrosion*) yang terjadi di permukaan spesimen. Semakin tinggi tegangan listrik pengelasan dan penambahan tingkat *pre-strain* yang diterapkan, korosi yang terjadi juga semakin meningkat.



Gambar 17. Spesimen Hasil Uji Korosi 3.5% NaCl pada Tegangan Listrik Pengelasan 2.30 Volt.

Meningkatnya korosi disebabkan oleh rusaknya lapisan pasif film pada permukaan *ferritic stainless steel* 430 akibat beban penekanan dan panas yang berlebih selama pengelasan. Rusaknya lapisan pasif film tersebut menyebabkan ion klorida dengan sangat mudah menyusup masuk pada rongga-rongga kecil *stainless steel* yang menyebabkan *pitting corrosion*. Korosi tertinggi pada spesimen terdapat di HAZ, karena terjadi pengkasaran dan pertumbuhan butir akibat masukan panas berlebih selama proses pengelasan. Korosi sumuran permukaan berawal dari rusaknya butir dari pada batas butir [21].



Gambar 18. Hasil Uji Korosi 3.5% NaCl Tanpa *Pre-Strain* Pada Tegangan Listrik Pengelasan 1.60 Volt.

Terjadinya korosi dikarenakan adanya reaksi reduksi dan oksidasi dari ion klorida. Reaksi pembangkit gas klorin terjadi dalam larutan elektrolit yang mengandung klorida [6]. Diagram tafel hasil pengujian korosi pada gambar 18 terjadi reaksi elektrokimia, dimana reaksi tersebut menghasilkan nilai potensial elektrokimia atau potensial korosi (E_{corr}). E_{corr} dapat ditentukan dari banyaknya muatan negatif yang terbentuk. Besar kecilnya nilai dari potensial korosi mengindikasikan kecenderungan material untuk mengalami oksidasi. Jika nilai

potensial korosi rendah, maka spesimen lebih mudah teroksidasi dan terkorosi ataupun sebaliknya. Laju korosi yang terjadi pada pengelasan *stainless steel ferritic* 430 meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan listrik pengelasan. Laju korosi pada tegangan listrik pengelasan 1.60 volt tanpa *pre-strain* menghasilkan laju korosi yang lebih rendah dibandingkan dengan tegangan listrik pengelasan 2.30 volt tanpa *pre-strain*. Hal tersebut karena perbedaan masukan panas dan tegangan sisa yang terjadi selama proses pengelasan yang dapat memperburuk sifat ketahanan korosi dari *ferritic stainless steel* 430.

Panas pengelasan yang sangat tinggi pada material mengakibatkan lapisan kromium permukaan material rusak dan berkurang. Rusaknya lapisan kromium menyebabkan ion klorida dengan sangat mudah masuk kedalam rongga-rongga kecil pada *stainless steel* sehingga menyebabkan *pitting corrosion* seperti yang terlihat pada gambar 16 dan 17. Korosi sumuran bersifat lokal dan menusuk kedalam di daerah yang terkorosi. Terjadinya korosi sumuran disebabkan oleh tegangan sisa dan dislokasi [6]. Peningkatan nilai laju korosi disebabkan oleh dislokasi struktur yang terjadi pada spesimen akibat penerapan tingkat *pre-strain* dan tegangan listrik pengelasan, sehingga nilai laju korosi yang dihasilkan semakin tinggi.

Hasil laju korosi *ferritic stainless steel* 430 pada larutan NaCl 3.5% mengalami peningkatan untuk semua variasi tegangan listrik dan *pre-strain*, akan tetapi hal tersebut masih dapat dikategorikan dalam laju korosi dengan tingkat *excellent*. Nilai laju korosi pada tegangan listrik pengelasan 1.60 volt dengan tingkat *pre-strain* 0%-1% yaitu 5.48×10^{-3} mm/tahun - 49.76×10^{-3} mm/tahun. Sedangkan laju korosi pada tegangan listrik pengelasan 2.30 volt dengan tingkat *pre-strain* 0% - 1% adalah 28.44×10^{-3} mm/tahun - 44.89×10^{-3} mm/tahun.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisa data serta pembahasan dapat diambil kesimpulan. Peningkatan *pre-strain* menyebabkan ukuran *nugget* mengecil dan meningkatkan kekerasan mikro pada *base metal* untuk semua variasi. *Pre-strain* tidak begitu berpengaruh terhadap pembesaran dan pengkasaran butir di HAZ. Tegangan listrik pengelasan berpengaruh terhadap nilai *tensile shear load bearing capacity*. Nilai kekerasan mikro tertinggi berada di *nugget* dengan fasa austenit, martensit, dan 20% δ -ferrit. Korosi sumuran (*pitting corrosion*) terjadi pada larutan 3.5% NaCl, karena rusaknya lapisan pelindung pasif film *ferritic stainless steel* 430 akibat panas yang berlebih dengan penambahan *pre-strain*.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh skema Hibah Fundamental, Universitas Sebelas Maret.

Daftar Pustaka

- [1] Abadi, M.M.H., and 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.
- [2] Chuko, W.L., and Gould, J.E., 2002. Development of Appropriate Resistance Spot Welding Practice for Transformation-Hardened Steels. *Weld J* 2002:1s-7s.
- [3] Wiryosumarto, H., dan Okumura, T., 1985. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta, PT Pradnya Paramita.
- [4] Jones, D.A., 1996. *Principles and Prevention of Corrosion*. Second Edition, Prentice Hall, Inc, United State of America.
- [5] Ognjanovic, V.N.R., and Grgur, B.N., 2011. *Corrosion of an Austenite and Ferrite Stainless Steel Weld*. *J. Serb. Chem. Soc.* 76 (2011) 1027–1035.
- [6] Trethewey, K.R., and Chamberlain, J., 1991. *Korosi untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [7] Triyono., Jamasri., Ilman, M.N., and Soekrisno, R., 2012. *Fatigue Behavior of Resistance Spot-Welded Unequal Sheet Thickness Austenitic Stainless Steel*. *Modern Applied Science*, Vol.6 No.5.
- [8] El-Shennawy, M., and Khafagy, S.M., 2012. Parameters Effect on Weld Quality for Dissimilar Spot Welding Between Ferritic Stainless Steel and Low Carbon Steel Sheets. *Journal of American Science*, 2012: 8 (5).
- [9] Alizadeh-Sh, M., Marashi, S.P.H., and Pouranvari, M., 2014. Resistance Spot Welding of AISI 430 Ferritic Stainless Steel: Phase Transformations and Mechanical Properties. *Materials and Design* 56 (2014) 258–263.
- [10] Lifang, M., Jiming, Y., Dongbing, Y., Jinwu, L., and Genyu, C., 2012. *Comparative Study on CO² Laser Overlap Welding and Resistance Spot Welding for Galvanized Steel*. *Materials and Design* 40 (2012) 433–442.
- [11] Mukhopadhyay, G., Bhattacharya, S., and Ray, K.K., 2012. *Impact Toughness of Spot Welds on Prestrained Interstitial Free Steel Sheets*. *Materials Science and Technology*, Vol.28 No.2.
- [12] Badaruddin, M., Suudi, A., dan Hamni, A., 2006. Perilaku Korosi Retak Tegang Stainless Steel 304 Dalam Lingkungan Asam Sulfat Akibat Prestrain. *Makara Teknologi*, 2006:67-71 Vol.10 No.2.
- [13] Mukhopadhyay, G., Bhattacharya, S., and Ray, K.K., 2009. *Effect of Pre-Strain on The Strength of Spot-Welds*. *Materials and Design* 30 (2009) 2345–2354.
- [14] Balusamy, T., Narayanan, T.S.N.S., Ravichandran, K., Park, I.S., and Lee, M.H., 2013. *Influence of Surface Mechanical Attrition Treatment (SMAT) on the Corrosion Behaviour of AISI 304 Stainless Steel*. *Corrosion Science* 74, 332–344.
- [15] Asaduzzaman, M.D., Mohammad, C., and Mustafa, M.I., 2011. *Effects of Concentration of Sodium Chloride Solution on the Pitting Corrosion Behavior of AISI-304L Austenitic Stainless Steel*. *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 17 (4) 477–483.
- [16] Pouranvari, M., and Ranjbarnoodeh, E., 2011. Resistance Spot Welding Characteristic of Ferrite-Martensite DP600 Dual phase Advanced High Strength Steel-Part III: Mechanical Properties. *World Applied Sciences Journal* 15 (11): 1521-1526.
- [17] Cigada, A., Mazza, B., Pedferri, P., Salvago, G., Sinigaglia, D., and Zanini, J.G., 1982. *Corrosion Science*. 22/6 (1982) 559-578.
- [18] Lippold, J.C., and Kotecki, D.J., 2005. *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [19] Kou, S., 2003. *Welding Metallurgy*. John-Wiley & Sons, Hoboken, N.J.
- [20] Djatmiko, E., dan Budiarto., 2009. Analisis Laju Korosi dengan Metode Polarisasi dan Potensiodinamik Bahan Baja SS 304L. Surakarta, ISSN: 0854-2910.
- [21] Jones, K., and Hoepfner, D.W., 2008. *The Interaction Between Pitting Corrosion, Grain Boundaries and Constituent Particles During Corrosion Fatigue of 7075-T6 Aluminum Alloy*. *International Journal of Fatigue* 31,686-692.