

PENGARUH VARIASI ARUS LAS SMAW TERHADAP KEKERASAN DAN KEKUATAN TARIK SAMBUNGAN *DISSIMILAR STAINLESS STEEL 304* DAN ST 37

Oleh:

M. Yogi Nasrul L., Heru Suryanto, Abdul Qolik
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
Jl. Semarang 5, Malang 65145, Telp. (0341) 551-312
Email : yogilizzam30@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus las SMAW (Shielded Metal Arc Welding) terhadap kekerasan dan kekuatan tarik pada sambungan stainless steel 304 dan ST 37. Penelitian ini menggunakan baja tahan karat stainless steel 304 yang disambung baja karbon rendah ST 37 dengan elektroda E 309. Variasi arus menggunakan arus 60 ampere, 70 ampere, dan 80 ampere. Setelah proses pengelasan, dilanjutkan dengan pembuatan 11 spesimen untuk pengujian tarik dengan standar JIS Z 2201 1981, 3 spesimen untuk pengujian kekerasan, dan 3 spesimen untuk pengujian struktur mikro. Setelah itu dilakukan pengujian tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah proses pengelasan kekuatan tarik hasil las dengan perlakuan pengelasan pada semua variasi arus lebih besar dari raw material ST 37 dan lebih rendah dari raw material stainless steel 304. Nilai kekuatan tarik optimal pada spesimen dengan perlakuan pengelasan terdapat pada arus 70 ampere sebesar 51,656 kg/mm². Setiap penambahan arus menunjukkan peningkatan nilai kekerasan di daerah weld metal karena perubahan struktur mikro dendritik yang jumlahnya meningkat, akan tetapi mengalami penurunan di HAZ (Heat Affected Zone) akibat struktur mikro ferit membesar di temperatur tinggi. Nilai uji kekerasan tertinggi pada weld metal terdapat di spesimen dengan arus 80 ampere dan nilai uji kekerasan rata-rata tertinggi pada HAZ dimiliki oleh spesimen dengan variasi arus 60 ampere.

Kata Kunci: arus listrik, las SMAW, sambungan *stainless steel* 304 dan ST 37, kekuatan tarik, kekerasan

Abstract. This study aims to determine the effect SMAW (Shielded Metal Arc Welding) welding current variation on hardness and tensile strength at the connection between *stainless steel* 304 and ST 37. This study used material of *stainless steel* 304 who connected with low carbon steel ST 37 by welding electrodes E 309. Welding current variations used 60 amperes, 70 amperes, and 80 amperes. After welding process is continued with creation of 11 specimens for testing of tensile with standard JIS Z 2201 1981, 3 specimens for testing of hardness, and 3 specimens for microstructure. Further testing which included testing of tensile, hardness, and microstructure. The results showed that after the welding process, the tensile strength of welded result with all variations were greater than raw material ST 37 and lower than raw material *stainless steel* 304. The value of optimum traction on the specimen with the welded specimen obtained on 70 amperes current was 51.656 kg/mm². Every additional electric current indicated of increasing hardness value in weld metal area because the change of dendritic microstructure which become increased in quantities, but decreased in the HAZ caused by ferrite microstructure enlarged in high temperatures percentages. The highest hardness test on weld metal and HAZ were owned by specimen with 80 amperes and 60 amperes, respectively.

Keywords: electric current, SMAW, connection of *stainless steel* 304 and ST 37, tensile strength, hardness

Pada era modernisasi yang disertai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi menciptakan sifat yang menuntut setiap individu untuk ikut serta didalamnya sehingga sumber daya manusia dituntut untuk menguasai perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta dapat mengaplikasikan ilmunya dalam dunia kerja. Salah satu dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terdapat dalam konstruksi mesin adalah las/pengelasan. Pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Pengelasan logam berbeda adalah suatu proses pengelasan yang dilakukan pada dua jenis logam atau paduan logam yang berbeda. Pengelasan logam berbeda (*Dissimilar Metal Welding*) merupakan perkembangan dari teknologi las modern akibat dari kebutuhan akan penyambungan material-material yang memiliki jenis logam yang berbeda (Parekke, 2014 :192).

Kelemahan dari pengelasan diantaranya adalah timbulnya lonjakan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah las yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan dan akibat adanya tegangan sisa dan adanya cacat dan retak akibat proses pengelasan (Jamarsi, 1999). Kemudian kegagalan pada pengelasan *dissimilar* dikarenakan kualitas sambungan las yang tidak optimal akibat lonjakan tegangan tinggi disekitar las yang ditimbulkan dari temperatur puncak las dan temperatur terdistribusikan tidak sama pada kedua logam yang disambung (Sugiarto, 2011 :98). Untuk menghindari kelemahan dan kekurangan tersebut pada penelitian yang dilakukan Parreke (2014) variasi arus pengelasan SMAW dengan elektroda berdiameter

2,5 mm menggunakan arus 50, 60, 70 ampere dimana arus tersebut adalah arus yang rendah dari pada standarisasi arus pada Howard (1994) dimana untuk elektroda yang berukuran 2,5 arus paling rendah adalah 60 ampere. Pendapat marihot (1988) juga mengatakan bahwa penggunaan kawat las dan besar arus yang lebih rendah sangat memungkinkan dipakai pada pengelasan terutama *stainless steel*. Adapula pendapat dari Basuki (2009) mengatakan semakin besar arus yang digunakan maka akan meningkatkan kekuatan mekanis. Oleh karena itu diperlukan dilakukan pengujian dengan variasi arus yang mencakup arus rendah dan tinggi menurut standar pemilihan arus untuk mengetahui nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang tinggi dan menghindari kegagalan sambungan.

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan penelitian deskriptif eksperimental. Untuk memperoleh deskripsi tentang analisis pengaruh variasi arus terhadap kekerasan dan kekuatan tarik, dalam menentukan perubahan kekerasan dan kekuatan tarik data diperoleh.

Bahan

Bahan yang digunakan yaitu baja tahan karat jenis *stainless steel* 304 dan baja karbon ST 37 dengan panjang keseluruhan panjang 200 mm, lebar 200 mm, dan tebal 5 mm dengan area pengujian 190 mm. Proses pengelasan dan penelitian dilakukan di VEDC Malang

Prosedur Pengelasan

Proses pengelasan menggunakan Las SMAW dengan jenis butt joint. Salah satu

jenis butt joint adalah kampuh V (Saputra, 2012), menurut standar dari Sonawan (2004) tentang kampuh V, pengujian ini memakai jenis kampuh V terbuka dengan sudut kampuh 70°, *root opening* 2 mm, dan *root face* 1 mm. dengan menggunakan arus las 60 ampere, 70 ampere, dan 80 ampere. Jenis elektroda yang digunakan adalah E 309 yang khusus untuk pengelasan *dissimilar* dengan posisi pengelasan 1G dengan kecepatan pengelasan 40 cm/menit. Setelah proses pengelasan selesai, pembuatan spesimen dilakukan untuk masing-masing pengujian

Uji Keras

Pengujian kekerasan dilakukan di Universitas Merdeka Malang menggunakan alat uji keras *hardness rockwell ball* dengan merk Torsee tipe RH-3NR-A buatan jepang, memakai indenter 1/16” ball, dan major load 100 kg. Spesifikasi spesimen uji kekerasan mempunyai dimensi panjang 50 mm dan lebar 10 mm seperti pada gambar 1. Pada pengujian ini, letak titik dibuat sejajar dengan 10 titik dengan jarak antar titik adalah 3 mm dan satu titik digunakan sebagai alternatif rata-rata untuk *weld metal*. Untuk masing-masing titik, pada *stainless steel stainless steel 304* memakai 4 titik dan baja karbon rendah ST 37 memakai 4 titik.

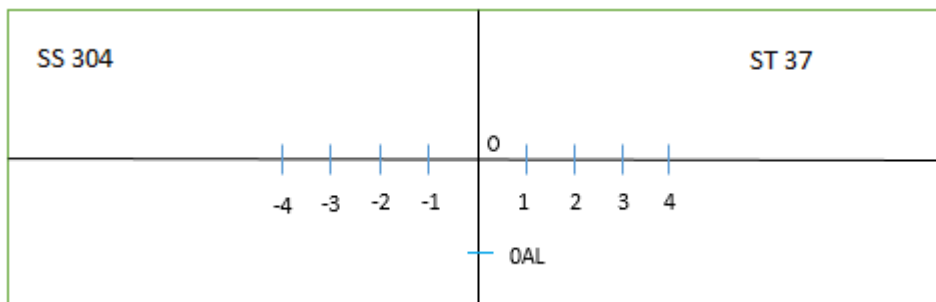
Uji Tarik

Spesimen uji tarik sambungan sesuai dengan standar JIS 2201 1981 untuk pelat dengan dimensi panjang 200 mm, lebar 16 mm, dan tebal 5 mm seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

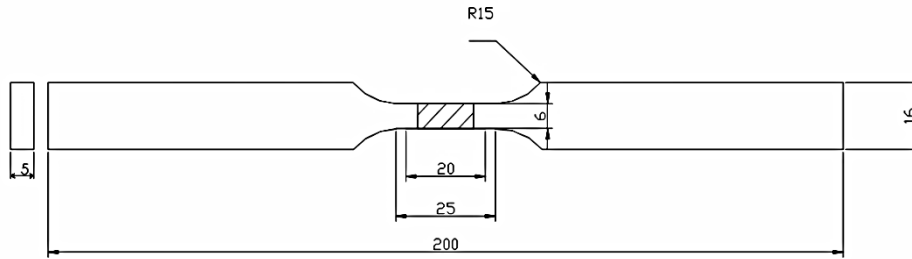
Pengujian tarik menggunakan mesin *UPM Kai Wei Universal Testing Machine* dengan kapasitas 1000 kN. Pada pengelasan untuk *layer*-nya menggunakan 2 layer. Proses uji tarik dilakukan dengan kecepatan 25 mm/min.

Pengamatan Mikro Struktur

Proses pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop logam Nikon tipe 59520, kamera Dyno Eye, dan lensa optik M Plan 40. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang ada dalam sambungan las kemudian dilakukan pemfotoan struktur mikro dengan mikroskop optik. Pembesaran untuk mesin ini adalah 760x dan untuk etsanya terdapat 2 etsa yaitu untuk *stainless steel 304* menggunakan nital dengan prsentase alkohol 90% ditambah HNO₃ dan ST 37 menggunakan aqua regia dengan perbandingan HNO₃ dan HCL adalah 1:3. Masing-masing benda di celup bergantian selama kurang lebih 20 detik kemudian dibersihkan dengan air sabun dan dikeringkan setelah itu diuji struktur mikronya.



Gambar 1 titik untuk uji kekerasan



Gambar 2. Spesimen uji tarik JIS Z 2201 1981 (Santoso, 2006)

HASIL DAN PEMBAHASAN

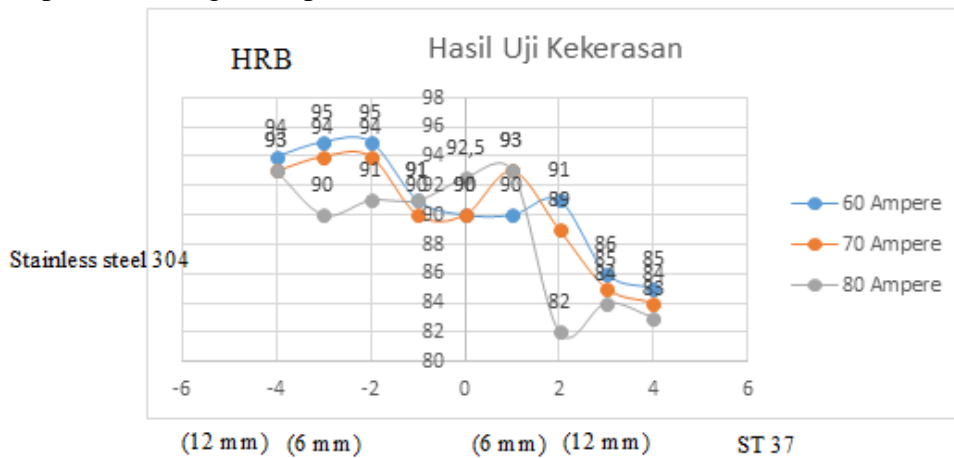
Dari hasil penelitian maka dapat dideskripsikan tentang pengaruh variasi arus las SMAW terhadap kekerasan dan kekuatan tarik pada sambungan *dissimilar stainless steel* 304 dan ST 37 adalah sebagai berikut.

Pengujian Kekerasan

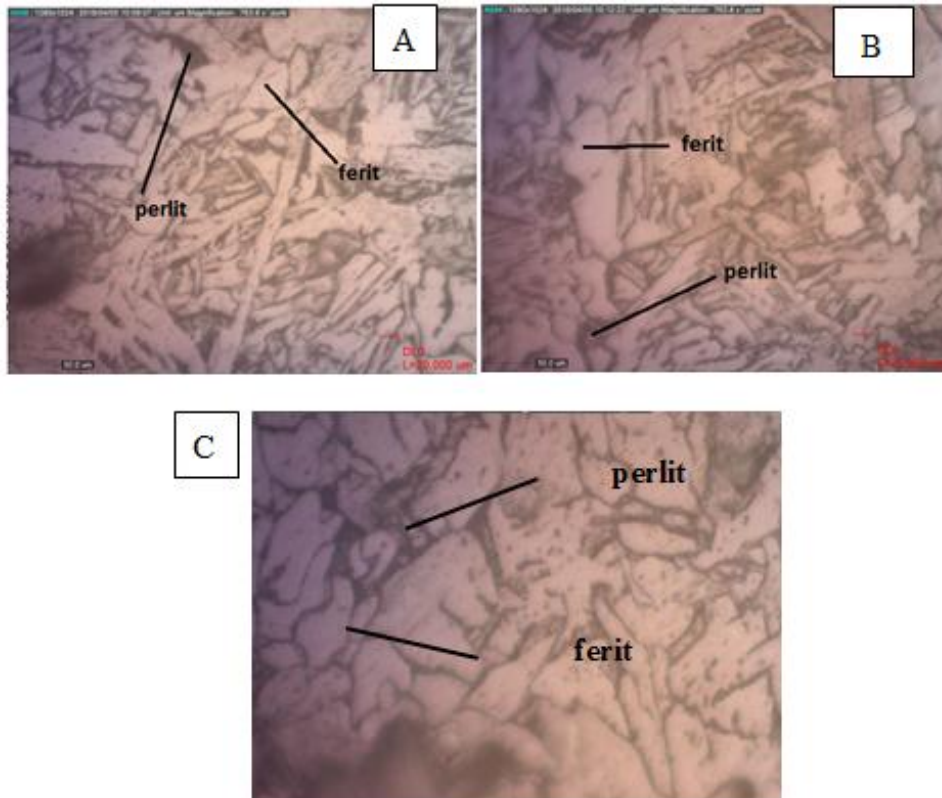
Adapun hasil pengujian kekerasan *Hardness Rockwell* pada spesimen sambungan antara baja ST 37 dan *stainless steel* 304 yang telah dikerjakan dengan variasi arus adalah sebagai berikut.

Pada gambar 3 terlihat pada daerah HAZ yang menuju parent *metal* ST 37 setiap penambahan arus terjadi penurunan nilai kekerasannya dengan selisih masing-masing 1 HRB. Pengurangan ini terlihat dikarenakan setiap penambahan arus akan meningkatkan panas. Peningkatan panas mem-

buat struktur logamnya semakin kasar (Sonawan, 2004) semakin tinggi temperatur juga akan memperbesar butir. Pada struktur mikro spesimen arus 60 ampere butiran strukturnya tipis dan cenderung memanjang dan struktur perlitnya terlihat lebih banyak dari struktur mikro pada spesimen 70 dan 80 ampere. Untuk spesimen variasi arus 70 ampere butiran strukturnya tipis dan memanjang, terlihat juga terdapat pembesaran butiran struktur ferit yang membuat kekerasannya turun 1 HRB dari spesimen 60 ampere. Pada spesimen variasi arus 80 ampere butiran strukturnya lebih besar daripada spesimen 70 dan 80 ampere, terlihat butiran ferit membesar dari unsur ferit di spesimen variasi arus 60 dan 70 ampere sehingga kekerasan turun 1 HRB dari spesimen variasi arus 70 ampere dan turun 2 HRB dari spesimen variasi arus 60 ampere.



Gambar 3 Grafik hasil pengujian kekerasan spesimen sambungan antara baja ST 37 dan *stainless steel* 304 yang telah mengalami proses pengelasan SMAW dengan variasi arus



Gambar 4 (a) daerah HAZ ST 37 di spesimen 60 ampere, (b) daerah HAZ ST 37 di spesimen 70 ampere, dan (c) daerah HAZ ST 37 di spesimen 80 ampere

Menurut Fredriksson (2008) difusi adalah perpindahan dengan gerakan atom. Mekanisme difusi adalah mengisi kekosongan atom pada daerah kumpulan atom, pengisian ini berjalan melalui batas butir dan koefisien difusi akan meningkat bila temperatur meningkat. Menurut Leferink (1993) bahwa kromium secara perlahan menuju ke baja. Atom kromium akan berpindah masuk ke dalam baja dan mengisi daerah yang kosong sehingga terjadi perpindahan kromium menuju HAZ ST 37. Pada daerah fusion line dan HAZ pada ST 37 terlihat bahwa setiap penambahan arus yang diberikan terjadi peningkatan nilai kekerasannya dibanding HAZ yang menuju ke parent metal pada titik 3 dan 4. Peningkatan ini sesuai dengan Penelitian Sinarep (2003) bahwa pada daerah fusion line dan HAZ terjadi proses

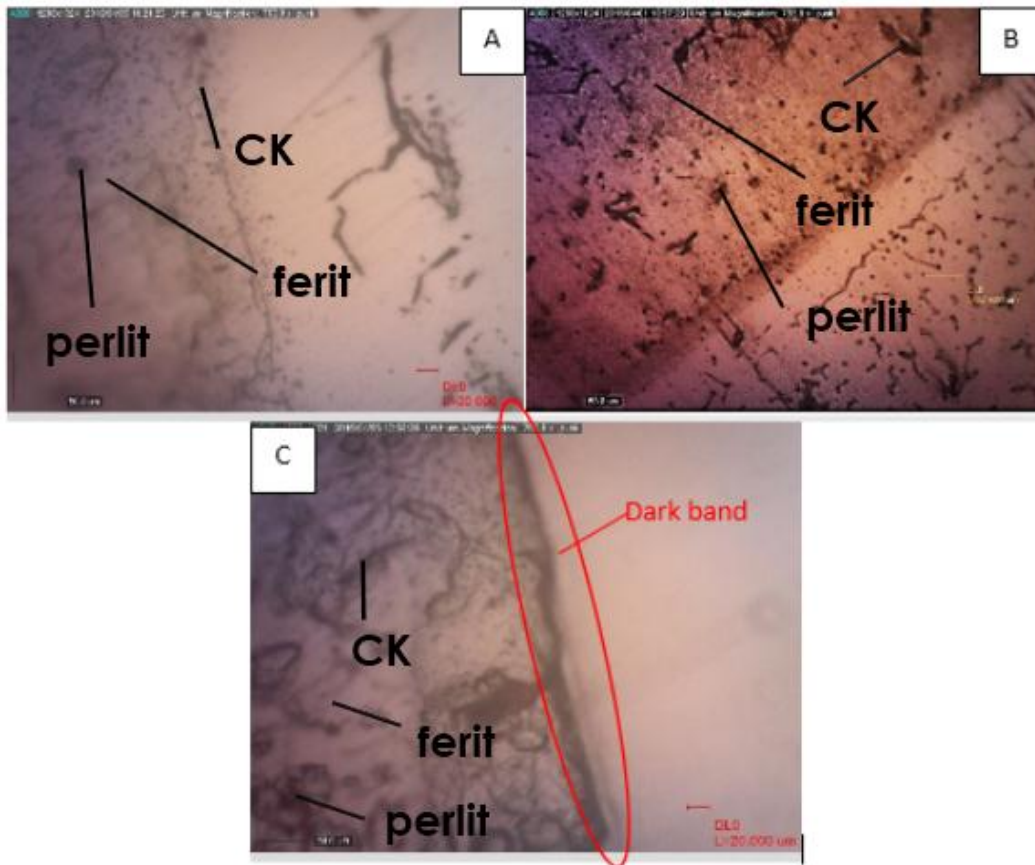
rekristalisasi sehingga nilai kekerasan tinggi. Peningkatan ini terlihat di daerah HAZ banyak terdapat endapan karbida krom ($Cr_{23}C_6$) yang membentuk butir-butir kristal kecil sehingga kekerasannya meningkat. Pada daerah HAZ dari baja karbon rendah ST 37 terjadi reaksi berupa berdifusinya kromium ke dalam HAZ di ST 37 dan terdifusi dari *weld metal* ke dalam logam induk ST 37. Hal ini menyebabkan kekerasan di batas *weld metal*, fusion line, dan HAZ ST 37 menjadi sangat keras dibandingkan logam induknya.

Pada daerah batas *weld metal*, fusion line, dan HAZ ST 37 terjadi penurunan pada spesimen dengan variasi arus 80 ampere. Penurunan ini dikarenakan indikasi difusi karbon pada batas fusi parent metal dan *weld metal* terdapat dark band atau LHZ (Lord Hard Zone). Karbon bermigrasi

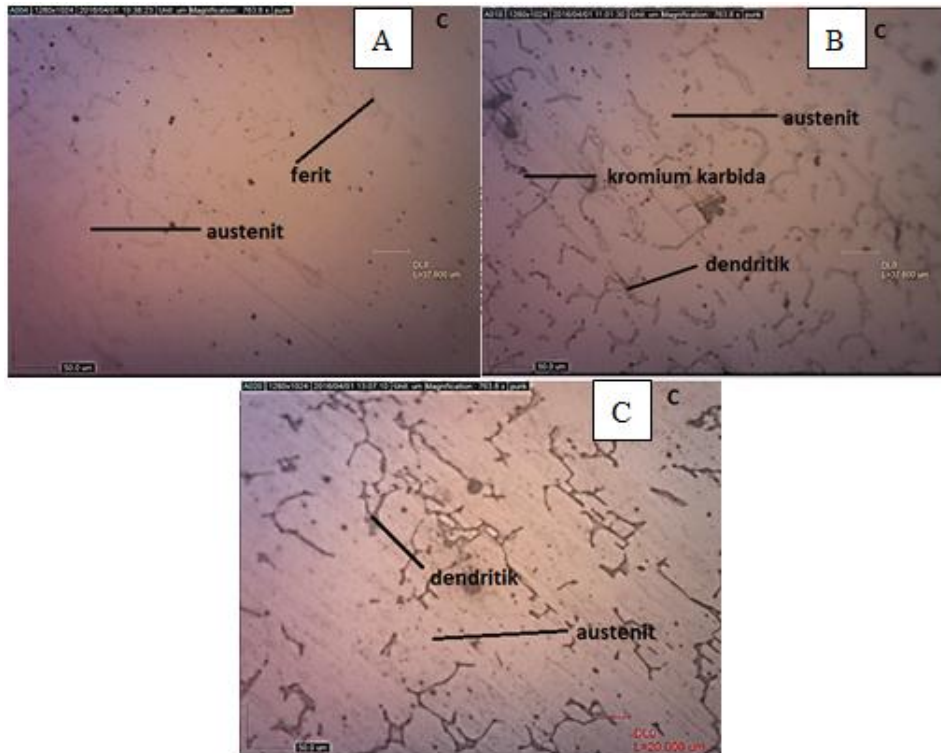
menuju fusion line dan diikat oleh kromium sehingga menghasilkan kromium karbida pada batas butir. Pada daerah dark band akan menunjukkan kekerasan tinggi tetapi sebaliknya pada daerah HAZ sangat lunak dan terdiri dari ferit besar (Lippold, 2014). Hal ini jelas terlihat pada gambar 5.

Pada daerah *weld metal* setiap penambahan arus terjadi juga penambahan nilai kekerasannya. Peningkatan hasil uji kekerasan ini juga terjadi pada hasil penelitian yang dilakukan Basuki (2009) dimana hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan kekerasannya dikarenakan arus yang

besar dapat meningkatkan penguatan mekanis (Basuki, 2009). Sementara itu pada daerah *weld metal* pada setiap arus secara umum terlihat struktur ferit perlit berbentuk dendritik-dendritik yang memanjang dan struktur mikro yang berwarna putih yang merupakan struktur austenit. Semakin besarnya arus semakin banyak pula dendritik yang terjadi maka akan semakin tinggi kekerasannya. Penambahan kekerasan tersebut terlihat pada gambar 6 bahwa setiap penambahan arus maka semakin banyak dendritik yang terjadi dan membuat kekerasannya meningkat.



Gambar 5 (a) daerah batas daerah *weld metal* dan *parent metal* ST 37 di spesimen 60 ampere, (b) daerah batas *weld metal* dan *parent metal* ST 37 di spesimen 70 ampere, dan (c) daerah batas *weld metal* dan *parent metal* ST 37 di spesimen 80 ampere

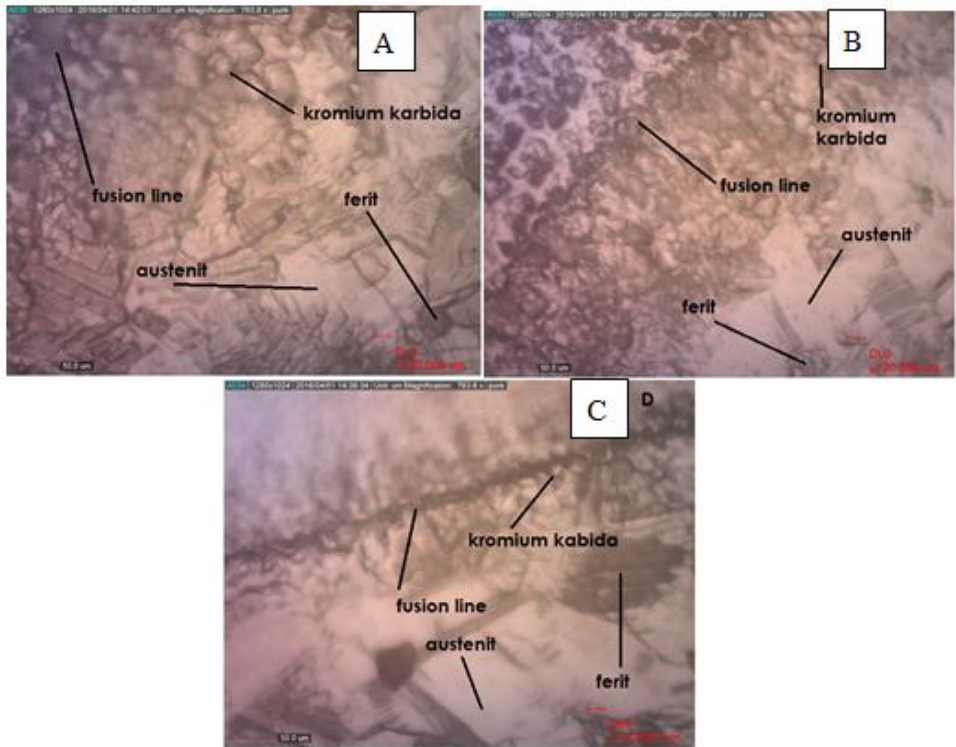


Gambar 6 (a) daerah *weld metal* di spesimen 60 ampere, (b) daerah *weld metal* di spesimen 70 ampere, dan (c) daerah *weld metal* di spesimen 80 ampere

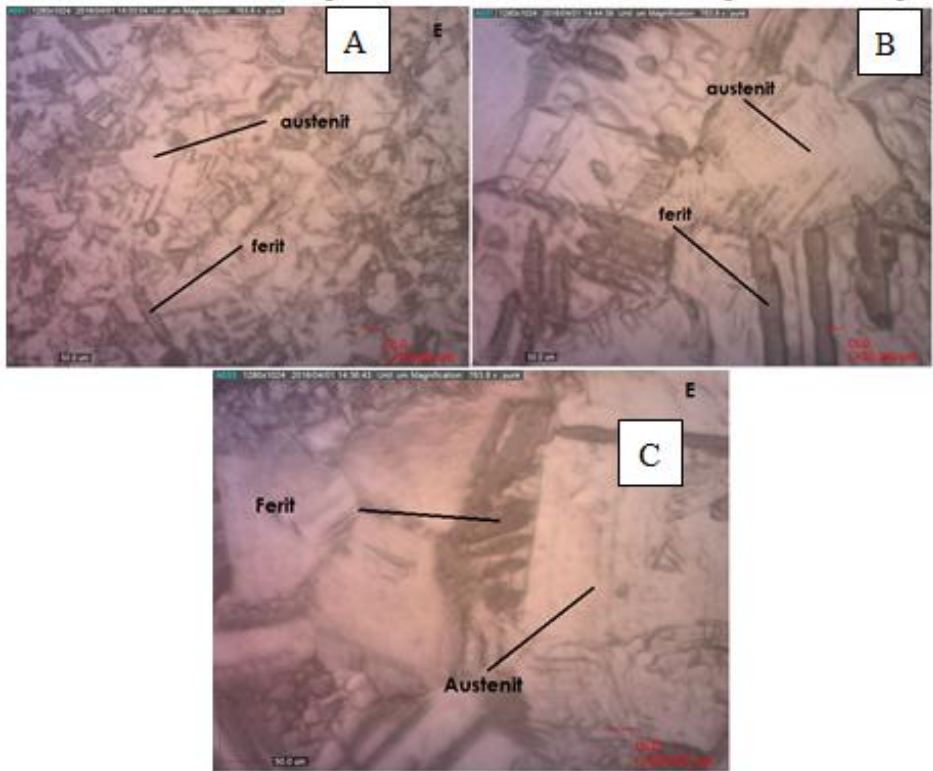
Pada daerah fusion line dan HAZ pada *stainless steel* 304 terlihat bahwa setiap penambahan arus yang diberikan terjadi penurunan nilai kekerasannya. Penurunan ini terjadi karena kromium berdifusi dan menghasilkan kromium karbida pada daerah fusion line. Hal ini menyebabkan kekerasan di batas *weld metal*, fusion line, dan HAZ *stainless steel* 304 menjadi sangat keras dibandingkan logam induknya. Terlihat unsur kromium karbida pada spesimen arus 60 ampere lebih banyak kromium karbidanya sehingga akan lebih keras, kemudian disusul oleh spesimen arus 70 ampere dimana kekerasannya turun 1 HRB dari spesimen arus 60 ampere, dan pada spesimen arus 80 ampere terlihat kromium karbida pada fusion line lebih sedikit dari

arus 60 dan 70 ampere dan butiran austenit terlihat membesar (Sonawan, 2004) sehingga kekerasannya lebih rendah 3 HRB dibandingkan spesimen arus 70 ampere dan 4 HRB dari spesimen variasi arus 60 ampere.

Pada daerah HAZ *stainless steel* 304 setiap penambahan arus terjadi penurunan nilai kekerasannya dengan selisih 1 HRB. Penurunan ini dikarenakan pada spesimen dengan arus 70 dan 80 ampere butiran austenit lebih besar dari spesimen dengan variasi arus 60 ampere. Dan ini sesuai dengan penelitian oleh Sonawan (2004) bahwa setiap penambahan temperatur membuat struktur logamnya semakin kasar dan semakin tinggi temperatur juga akan memperbesar butir.



Gambar 7 (a) daerah batas daerah batas *weld metal* dan *parent metal stainless steel 304* di spesimen 60 ampere, (b) daerah batas *weld metal* dan *parent metal stainless steel 304* di spesimen 70 ampere, dan (c) daerah batas *weld metal* dan *parent metal stainless steel 304* di spesimen 80 ampere



Gambar 8 (a) daerah HAZ *stainless steel 304* di spesimen 60 ampere, (b) daerah HAZ *stainless steel 304* di spesimen 70 ampere, dan (c) daerah HAZ *stainless steel 304* di spesimen 80 ampere

Tabel 1 Hasil Rata-rata Pengujian Kekuatan Tarik Spesimen Yang Telah Mengalami Proses Pengelasan SMAW dengan Variasi Arus, baja ST 37, dan *Stainless steel* 304 Tanpa Perlakuan

| No | Spesimen | Data Pengujian | | |
|----|--------------------------------|--------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| | | Kekuatan tarik (kg/mm ²) | Perpanjangan (%) | Kekuatan Luluh (kg/mm ²) |
| 1 | Raw ST 37 | 43,881 | 16,88 | 32,199 |
| 2 | Raw <i>stainless steel</i> 304 | 73,3 | 42,892 | 44,194 |
| 3 | 60 Ampere | 48,724 | 8,124 | 37,556 |
| 4 | 70 Ampere | 51,656 | 8,4 | 39,471 |
| 5 | 80 Ampere | 48,175 | 10,404 | 39,199 |

Pengujian Tarik

Data hasil pengujian tarik disajikan pada tabel berikut ini:

Berdasarkan Tabel 1 terlihat angka kekuatan tarik spesimen yang dilas dengan variasi arus 60, 70, dan 80 ampere dengan pengelasan SMAW dibandingkan dengan *Raw material*. Nilai kekuatan tarik terendah dimiliki oleh *Raw material* ST 37 yaitu sebesar 43,881 kg/mm². Pada dasarnya variasi arus yang digunakan pada pengelasan *dissimilar* adalah arus rendah dimana pada kawat las dengan ukuran 2,5 mm memakai arus 60-90 ampere (Howard BC, 1994).

Untuk nilai kekuatan tarik tertinggi dari *Raw material* antara ST 37 dan *stainless steel* 304 dimiliki oleh *Raw material stainless steel* 304 dengan nilai kekuatan tarik sebesar 73,3 kg/mm². Pada spesimen yang telah mendapatkan perlakuan pengelasan dengan variasi arus nilai kekuatan tarik tertinggi dimiliki oleh arus 70 ampere dimana mempunyai kekuatan tarik sebesar 51,656 kg/mm², kemudian disusul oleh arus 60 ampere yang memiliki kekuatan tarik 48,724 kg/mm², dan kekuatan tarik terendah pada arus 80 ampere sebesar 48,175 kg/mm².

Jika dibandingkan dengan kelompok *raw material stainless steel* 304 dan ST 37 maka *raw material* lebih rendah kekuatan tariknya adalah *raw material* ST 37 kemudian kedua adalah spesimen variasi arus 80 ampere kemudian spesimen 60 ampere dan

disusul oleh spesimen 70 ampere dan spesimen paling tinggi adalah spesimen *raw material* dari *stainless steel* 304. Pada penelitian yang dilakukan Santoso (2006) spesimen *raw material* untuk baja karbon rendah mengalami penurunan dibanding dengan variasi arus pengelasan karena panas yang dihasilkan saat pengelasan menyebabkan bahan makin ulet sehingga ketangguhan yang dihasilkan tinggi. Jadi semakin besar arus yang digunakan maka akan meningkatkan panas yang akan membuat kekuatan tariknya akan meningkat. Pada penelitian yang dilakukan Parreke (2014) pada pengujian spesimen dengan variasi arus setiap penambahan arus maka kekuatan tariknya juga akan meningkat. Dengan gejala ini maka dapat terlihat di hasil kekuatan tariknya dari arus 60 ampere ke 70 ampere kekuatan tariknya meningkat akan tetapi pada arus 80 ampere mengalami penurunan. Dengan gejala ini maka dapat terlihat di hasil kekuatan tariknya dari arus 60 ampere ke 70 ampere kekuatan tariknya meningkat akan tetapi pada arus 80 ampere mengalami penurunan. Penurunan ini diakibatkan oleh retakan pada spesimen yang menimbulkan penurunan akibat dari retak panas yang terlihat pada gambar 9. Hal ini sesuai dengan teori yang dijelaskan Nurhidayat (2012 :73) bahwa penurunan ini diakibatkan struktur butir menjadi lebih besar setelah mengalami perlakuan panas sehingga mengurangi jumlah daerah batas butir yang berfungsi mengu-

rangi terjadi slip atau pergeseran dan pembentukan partikel karbida yang membulat sehingga kurang efektif sebagai penghambat deformasi plastis. Karena pada pengujian tarik mengalami tegangan geser maka pada spesimen dengan variasi arus 80 ampere mengalami penurunan akibat pembesaran dan pembulatan butir serta deformasi akan mudah terjadi dan putus pada batas butiran.

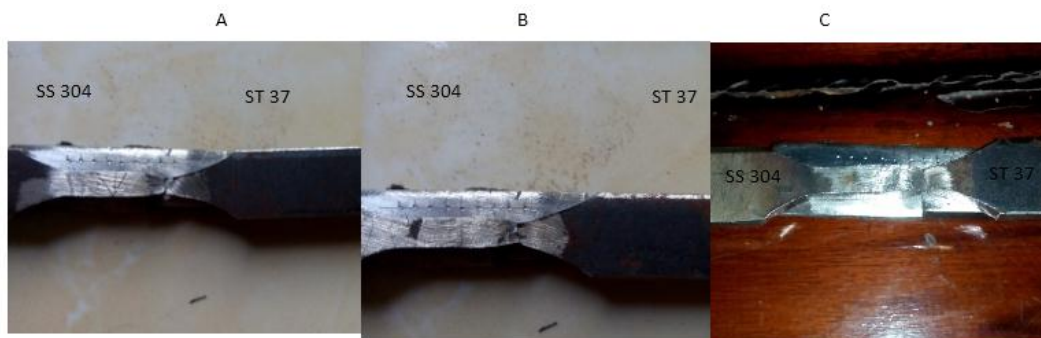
Dalam pengujian tarik yang dilakukan sambungan dari baja *stainless steel stainless steel 304* cenderung lebih kuat daripada sambungan baja dari karbon rendah ST 37 karena letak putus selalu ada di daerah HAZ di ST 37. Hal ini didukung hasil penelitian dari Aravinthan dan Nachimani (2011) yang mengatakan *stainless steel* memiliki lebih tinggi kekuatan las dibandingkan dengan baja karbon rendah dan lasan campuran karena sifat dari material itu sendiri dan dilihat dari kekerasannya, kekerasan paling tinggi dimiliki oleh *stainless steel 304* dan ini dibuktikan dengan patahan pada gambar 10.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data dapat disimpulkan bahwa variasi arus las SMAW pada sambungan *stainless steel 304* dan ST 37 memberikan pengaruh

pada kekerasannya. Semakin besar arus yang digunakan maka akan meningkatkan kekerasannya pada daerah *weld metal* dan nilai kekerasan terbesar dimiliki spesimen arus 80 ampere sebesar 92,5 HRB di titik 0 dan 93 HRB di titik 1. Pada daerah batas *weld metal*, *fusion line*, dan HAZ kekerasan semakin besar arus maka akan tinggi kromium karbida dan meningkatkan kekerasannya dengan kekerasan terbesar pada spesimen arus 60 ampere sebesar 91 HRB di batas HAZ dan *fusion line* ST 37 dan 95 HRB di batas HAZ dan *fusion line stainless steel 304*, dan penurunan kekerasan di 80 ampere daerah batas HAZ dan *fusion line* karena difusi karbon dan kromium dengan nilai kekerasan 82 HRB. Untuk kekuatan tariknya spesimen dengan variasi arus kekuatan tarik lebih besar dari raw material ST 37 dengan kekerasan tertinggi pada spesimen variasi arus dimiliki oleh spesimen arus 70 ampere dengan kekuatan tarik sebesar 51,656 kg/mm² dan lebih rendah dari raw material *stainless steel 304* dengan nilai kekuatan tarik 73,3 kg/mm² dan semakin besar arus maka akan semakin besar kekuatan tariknya dan penurunan kekuatan tarik spesimen 80 ampere dikarenakan ada pembesaran dan pembulatan butir dengan nilai kekuatan tarik sebesar 48,175 kg/mm².



Gambar 10 tempat patahan pada spesimen (A) 60A, (B) 70A, dan (C) 80A

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada: (1) Kepala Lab PPPPTK VEDC yang memperbolehkan melakukan pengelasan dengan *welder* yang bersertifikat. (2) Kepala

Lab logam Universitas Merdeka Malang yang memberikan izin untuk melakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro. (3) Kepala Lab Teknik Sipil dan instruktur atas bantuannya memberikan ilmu dan izin melakukan uji tarik.

DAFTAR RUJUKAN

- Aravinthan, A. & Nachimani, C. 2011. *Analysis of Spot Weld Growth On Mild and Stainless steel Supplement to The Welding Journal*. (Online). 143-147. (https://app.awg.org/wj/supplement/wj201108_s143.pdf). Diakses 25 Maret 2015
- Basuki W. 2009. *Analisis Perlakuan Panas Normalising pada Pengelasan Argon terhadap sifat mekanik hasil lasan Baja karbon rendah*. Jurnal Teknologi Technoscintia. Vol.2 No.1 Agustus. Teknik ITN Malang.
- Howard BC. 1994. *Modern Welding Technology*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Jamasri dan Subarmono. 1999. *Pengaruh Pemanasan Lokal terhadap Ketangguhan dan Laju Perambatan Retak Plat Baja Grade B*. Media Teknik. UGM, Yogyakarta.
- Leferink, R.G.I. 1993. *Chromium Coating on Low-Alloyed Steels for Corrosion Protection Under Sulphidizing Conditions*. Netherland. KEMA Chemical Technology and Materials Research Department. KEMA Research and Development.
- Lippold, Jhon. 2014. *Welding Metallurgy and weldability*. Wiley. US America.
- Marihot, Goklas. 1984. *Mengelas Logam dan Pemilihan Kawat Las*. PT. Gramedia Jakarta.
- Nurhidayat, Achmad. 2012. *Pengaruh Metode Pendinginan pada Perlakuan Panas Pasca Pengelasan terhadap Karakteristik Sambungan Las Logam Berbeda antara Baja Karbon Rendah ASTM A36 dengan Baja Tahan Karat Austenitik AISI 304*. POLITEKNO-SAINS. Vol. 11 No. 1. Universitas Surakarta
- Parekke, Simon. 2014. *Pengaruh Pengelasan Logam Berbeda (AISI 1045) Dengan (AISI 316L) Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro*. Jurnal Sains & Teknologi . Vol.3 No.2 Desember. Universitas Hasanuddin.
- Santoso, Joko. 2006. *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW dengan Elektroda E7018*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Universitas Negeri Semarang.
- Saputra, Benny. 2012. *Prediksi Tegangan Sisa Pada Pengelasan Beda Logam (Dissimilar Metal) Dengan Menggunakan Analisa Metoda Elemen Hingga*. Depok: FT UI
- Sinarep. 2003. *Pengaruh Perbedaan Gaya Elektroda Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik Dengan Metode Spot Welding pada Baja SUS 301 dan SUS 304*. Rekayasa, Vol. 4, Hal 56-63.
- Sonawan, H., Suratman, R., 2004. *Pengantar untuk Memahami Pengelasan Logam*. Alfa Beta: Bandung.
- Sugiarto, 2011. *Dampak Perubahan Temperatur Lingkungan Terhadap Temperatur Puncak Las dan Laju Pendinginan Sambungan Dissimilar Metal Menggunakan Las MIG*. Jurnal Rekayasa

12 M. Yogi Nasrul L., Heru Suryanto, Abdul Qolik, Pengaruh Variasi Arus Las SMAW...

Mesin. Vol.2 No.2. Universitas Bra-
wijaya.

Fredrikson, Hosse, dkk. 2008. *Physics of
Function Materials. Chapter 5 Trans-*

*formation Kinetics: Diffusion in So-
lids.* New Jersey: John Wiley &
Son.Inc