

PENGARUH ARUS DAN WAKTU *SPOT WELDING* TERHADAP KETAHANAN KOROSI SAMBUNGAN *DISSIMILAR* AISI 1003 DENGAN AISI 1025

1. Joko Pitoyo 2. Ratna Kartikasari 3. Feri Frandika

Jurusan Teknik Mesin STTNAS Yogyakarta
Jl. Babarsari no.1 Caturtunggal, Depok, Sleman
e-mail: pitoyok2011@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi di bidang pengelasan melahirkan metode pengelasan bernama *Resistance Spot Welding* (las titik). Namun kendala utama pada proses pengelasan ini masih ditemui, yakni benda kerja yang dilas sering kali tidak menempel dengan kuat, pada kasus ini plat SPCC-SD 1,8 (AISI 1003) dan *nut weld* M6 (AISI 1025). Pada penelitian ini peneliti mencoba mengkombinasikan antara waktu diambil 14, 17, 20, 23, 26 *cycle* dan arus listrik diambil 49, 52, 55, 58, 61 ampere dengan tujuan mengetahui penyebab perilaku kegagalan *IF* (*interfacial fracture*) dan *PF* (*pullout fracture*) dalam pengelasan titik logam tak sejenis (*dissimilar*) yang selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan arus listrik dan waktu pengelasan optimum yang selanjutnya bisa digunakan sebagai parameter utama dalam pengelasan di perusahaan yang hingga saat ini belum ditemukan pengaturan yang paling tepat. Selanjutnya dilakukan pengujian meliputi uji komposisi, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji ketahanan korosi. Hasil penelitian menunjukkan ketahanan korosi tertinggi terjadi pada variasi arus 55, 58 ampere dengan waktu 20 *cycle* dengan laju korosi sebesar 0,31 mm/tahun berdasarkan Fontana dalam Tabel 4.4 termasuk dalam klasifikasi baik. Dilihat dari foto struktur mikro pada variasi ini struktur didominasi *widmanstätten ferrite*. Sedangkan arus (*ampere*) dan waktu (*cycle*) yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi menyebabkan ketahanan korosi rendah, karena struktur mikro yang terbentuk bila terlalu rendah adalah *acicular ferrite*, bila terlalu tinggi adalah feritik.

Kata Kunci :AISI 1003, AISI 1025, *Spot Welding*, *Dissimilar*.

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan zaman, maka teknologi di bidang pengelasanpun juga mengalami perkembangan. Metode pengelasan bernama *Resistance Spot Welding* (las titik) muncul seiring dengan energi listrik yang semakin mudah dipergunakan. Pengelasan titik (*resistance spot welding*) adalah suatu bentuk pengelasan tahanan dimana suatu las dihasilkan pada suatu titik pada benda kerja diantara elektroda – elektroda pembawa arus, las akan mempunyai luas yang kira – kira sama dengan ujung elektroda, atau sekecil ujung elektroda dari ukuran yang berbeda – beda (Kenyon, 1985). Dalam las titik, pelat yang dilas dijepit pada tempat sambungan dengan sepasang elektroda dari paduan tembaga dan kemudian dialiri arus listrik yang besar dalam waktu yang singkat (Wirjosumarto & Okumura, 1996).

Sejauh ini penggunaan las titik dapat ditemui di dunia industri, diantaranya seperti industri otomotif, peralatan rumah tangga, kerajinan, rekayasa pesawat ruang angkasa *auto-body*, truck kabin, dan

hospital equipment. Metode pengelasan titik (*spot welding*) digunakan dengan alasan memiliki kelebihan mudah dioperasikan karena tidak dibutuhkan keahlian khusus seperti metode pengelasan lainnya, waktu lebih singkat, sehingga akan meningkatkan kecepatan produksi yang berdampak pada efisiensi waktu yang lebih baik.

Namun dibalik kelebihan kelebihan ada kendala utama pada proses pengelasan ini yang masih ditemui, yakni benda kerja yang dilas sering kali tidak menempel dengan kuat, kasus ini dialami pada plat SPCC-SD 1,8 (AISI 1003) dan *nut weld* M6 (AISI 1025). Hal ini bisa disebabkan karena variasi waktu penekanan dan arus listrik belum mendapatkan pengaturan yang sesuai. Variasi arus dan waktu yang dipilih mungkin terlalu kecil, atau mungkin terlalu besar. Kondisi ini menyebabkan sambungan las titik mempunyai kekuatan terlalu rendah sehingga terjadi kegagalan antar muka (*interfacial fracture/IF*) atau terlalu kuat melebihi kekuatan plat yang disambung sehingga terjadi kegagalan pada plat yang disambung (*pullout fracture/PF*). Selain itu faktor baja karbon rendah

yang sangat rawan korosi juga mempengaruhi kekuatan sambungan. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti perilaku kegagalan antar muka *IF* (*interfacial fracture*) dan kegagalan pada pelat *PF* (*pullout fracture*) dalam pengelasan titik logam tak sejenis (*dissimilar*), dan rawan korosi yang selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan arus listrik dan waktu pengelasan optimum yang selanjutnya bisa digunakan sebagai parameter utama dalam pengelasan di perusahaan yang hingga saat ini belum ditemukan standarisasinya.

2. Metode

Pengelasan menggunakan mesin las *spot welding* UTO CHUO SPOT WELDER milik PT. Mega Andalan Kalasan Yogyakarta. Bahan baku pengelasan menggunakan plat SPCC-SD 1,8 (AISI 1003) dan *nut weld* M6 (AISI 1025). Perhitungan komposisi kimia dilakukan dengan alat di PT. Itokoh Ceperindo, Klaten, Jawa Tengah. Selanjutnya spesimen dipotong menjadi 2 bagian dengan gergaji manual dan selanjutnya dilakukan pengamplasan, pemolesan, dan etsa untuk selanjutnya dilakukan pengujian struktur mikro (mikroskop optik dan SEM-EDX), pengujian kekerasan, dan uji ketahanan korosi. Foto mikro menggunakan mikroskop optik merk Olympus milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program D3 UGM serta menggunakan mikroskop electron (SEM) milik LPPT UGM. Uji kekerasan (mikro *vickers*) dengan alat KARL FRANK GMBH, WIENHEIM – BIRKENAU type : 38505 milik Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program D3 UGM. Uji korosi dilakukan dengan metoda *weight loss* dengan media pengkorosi NaCl 9 % berdasarkan standard ASTM G31-72 dengan penimbangan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin Program D3 UGM.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur pada spesimen plat SPCC-SD 1,8 dan *nut weld* M6 (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Uji Komposisi

| No | UNSUR | Wt (%) | |
|----|-------|--------|-------|
| | | Plat | Mur |
| 1 | Fe | 99,63 | 98,83 |
| 2 | S | 0,01 | 0,01 |
| 3 | Al | 0,02 | 0,02 |
| 4 | C | 0,03 | 0,25 |
| 5 | Si | 0,01 | 0,18 |

| | | | |
|---|----|------|------|
| 6 | Cr | 0,02 | 0,03 |
| 7 | Mn | 0,21 | 0,49 |
| 8 | P | 0,01 | 0,02 |
| 9 | N | 0,02 | 0,08 |

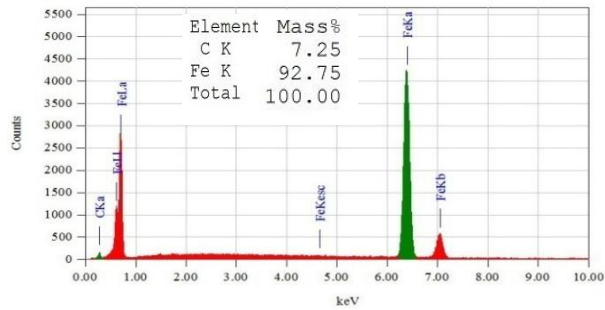
Sumber: PT. Itokoh Ceperindo, Klaten.

Tabel 1 menunjukkan bahwa plat SPCC-SD 1,8 mempunyai komposisi karbon (C) sebesar 0,03%, Mn sebesar 0,21%, Si sebesar 0,01%, S sebesar 0,01%, dan P sebesar 0,01%. maka plat ini termasuk dalam klasifikasi baja karbon karena dalam proses pembuatannya unsur seperti Mn, Si, S, P tidak mungkin dihilangkan. Kandungan karbon (C) sebesar 0,03% menunjukkan bahwa plat ini termasuk dalam klasifikasi baja karbon rendah karena menurut (Wirjosumarto, 2008) dikatakan baja karbon rendah bila baja tersebut memiliki kandungan kadar karbon kurang dari 0,30%.

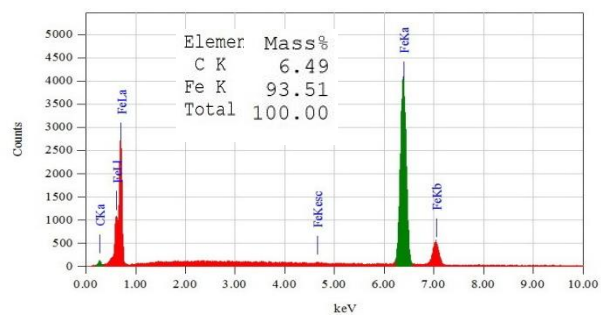
Sedangkan pada mur (*nut weld* M6) terdapat kandungan unsur karbon (C) sebesar 0,25%, sebesar 0,49%, Si sebesar 0,18% serta unsur S dan P sebesar 0,3 % maka mur ini termasuk dalam klasifikasi baja karbon karena dalam proses pembuatannya unsur seperti Mn, Si, S, P tidak mungkin dihilangkan. Sama halnya dengan plat kandungan karbon (C) pada mur sebesar 0,25% menunjukkan bahwa mur termasuk dalam klasifikasi baja karbon rendah karena menurut (Wirjosumarto, 2008) dikatakan baja karbon rendah bila baja tersebut memiliki kandungan kadar karbon kurang dari 0,30%. Dari klasifikasinya baja karbon rendah memiliki struktur kristal *BCC* yang diharapkan memiliki ketangguhan yang tinggi karena struktur mikro yang terbentuk akan didominasi oleh struktur ferit dan perlit.

Selain mempunyai kandungan unsur karbon (C) baja karbon rendah pada penelitian ini juga memiliki kandungan mangan (Mn) yang mempunyai sifat tahan terhadap gesekan dan tahan tekanan. Unsur ini mudah berubah kekerasannya pada kondisi temperatur yang tidak tetap dan juga digunakan untuk membuat alloy mangan tembaga yang bersifat ferromagnetic, silikon (Si) mempunyai sifat menaikkan kekuatan serta ketangguhan. Kandungan kadar Belerang (S) mengakibatkan baja karbon bersifat rapuh bila dalam keadaan panas. Serta kadar pospor (P) mengakibatkan baja bersifat rapuh bila dalam keadaan dingin.

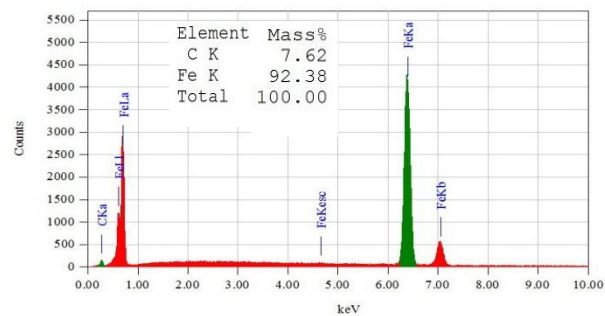
uji komposisi EDX



Gambar 1. Komposisi Kimia *weld zone* Arus 61 Ampere dengan Waktu 14 cycle.



Gambar 2. Komposisi Kimia *HAZ* Arus 61 Ampere dengan Waktu 14 cycle.



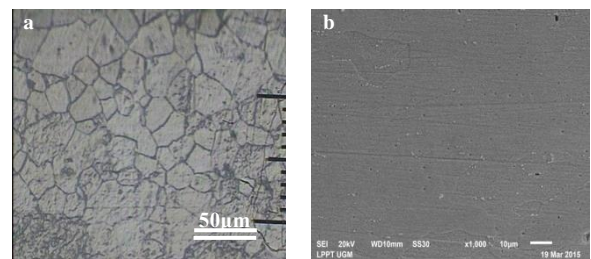
Gambar 3. Komposisi Kimia *base metal* Arus 61 Ampere dengan Waktu 14 cycle.

Dari Gambar 1 – 3 dapat diketahui hasil pengujian EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectrometer*) untuk sampel *spot welding* sambungan *dissimilar* variasi arus 61 Ampere dan waktu 14 cycle terlihat bahwa pada *weld zone* terlihat struktur ferit batas butir, *ferit acicular*, serta juga terdapat ferit memiliki kandungan karbon (C) sebesar 7,25% massa, pada daerah *HAZ* yang didominasi ferit batas butir dan ferit memiliki kandungan karbon (C) 6,49% massa, serta daerah *base metal* yang didominasi oleh fasa ferit memiliki kandungan kadar karbon (C) 7,62% massa.

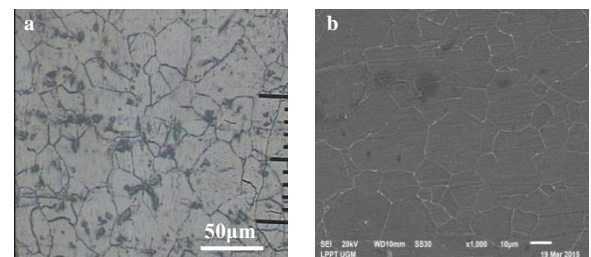
Analisis Hasil Pengujian Struktur mikro

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati perubahan bentuk dan ukuran butir pada bahan setelah proses las. Pengujian struktur mikro dilakukan terutama pada daerah las, daerah batas las, daerah *HAZ*, daerah batas *HAZ* dan logam induk. Hasil pengujian struktur mikro dianalisis melalui foto atau gambar dari benda uji hasil pemotretan dengan menggunakan mikroskop optik pada pembesaran 200X dan mikroskop electron (SEM) pada perbesaran 1000X. Perubahan-perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 – 19.

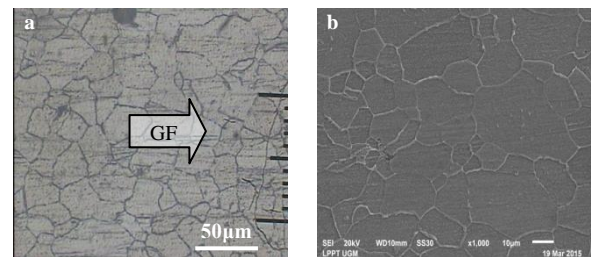
Struktur mikro daerah logam induk



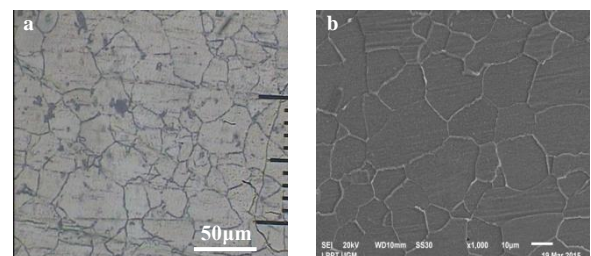
Gambar 4. Pengelasan variasi 49 ampere 20 cycle



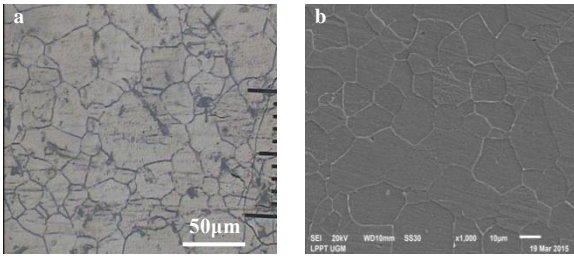
Gambar 5. Pengelasan variasi 52 ampere 20 cycle



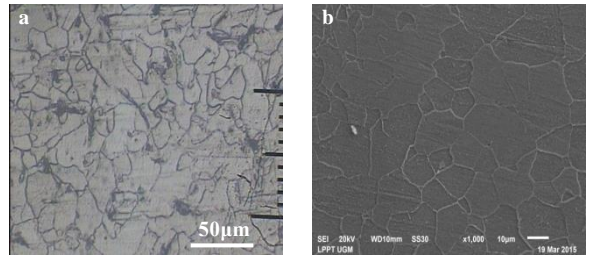
Gambar 6. Pengelasan variasi 55 ampere 20 cycle



Gambar 7. Pengelasan variasi 58 ampere 20 cycle

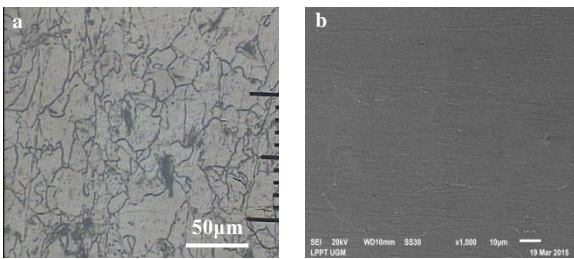


Gambar 8. Pengelasan variasi 61 ampere 14 cycle

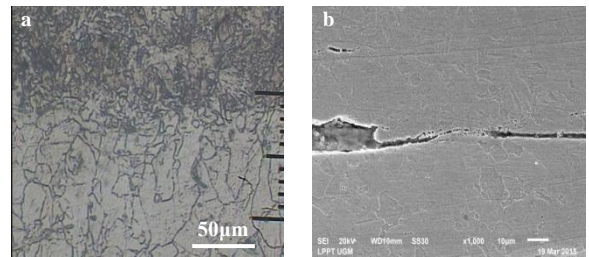


Gambar 13. Pengelasan variasi 61 ampere 14 cycle

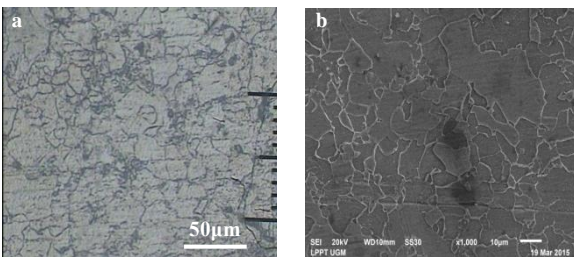
Struktur mikro daerah HAZ



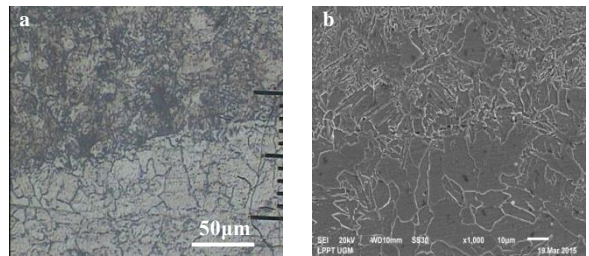
Gambar 9. Pengelasan variasi 49 ampere 20 cycle



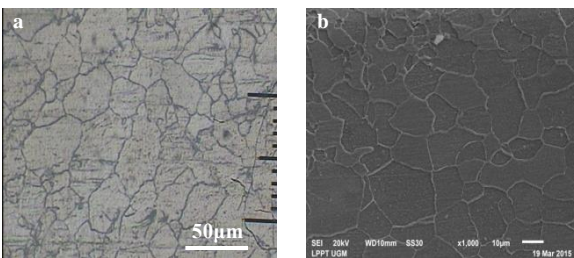
Gambar 14. Pengelasan variasi 49 ampere 20 cycle



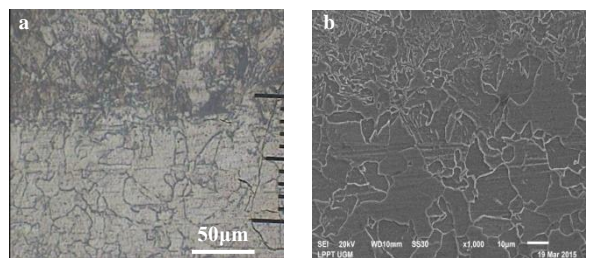
Gambar 10. Pengelasan variasi 52 ampere 20 cycle



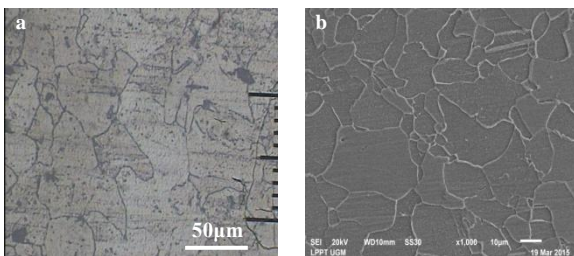
Gambar 15. Pengelasan variasi 52 ampere 20 cycle



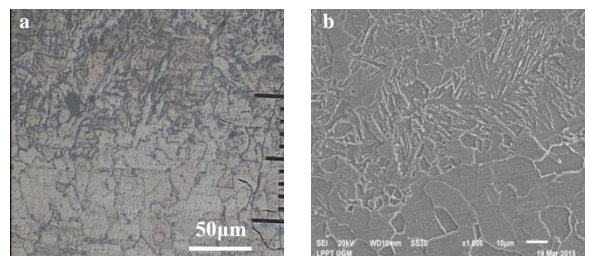
Gambar 11. Pengelasan variasi 55 ampere 20 cycle



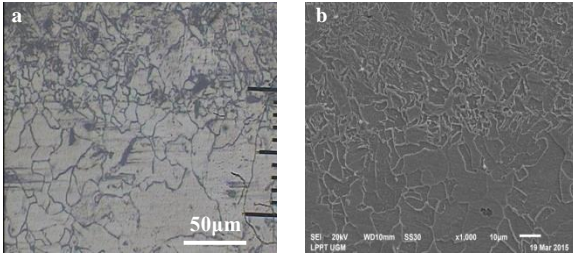
Gambar 16. Pengelasan variasi 55 ampere 20 cycle



Gambar 12. Pengelasan variasi 58 ampere 20 cycle



Gambar 17. Pengelasan variasi 58 ampere 20 cycle



Gambar 18. Pengelasan variasi 61 ampere 14 cycle

Dimana AF adalah *Acicular ferrite*, WF adalah *Wimanstatten ferrite*, sedangkan GF adalah *Grain boundary ferrite*. Gambar a adalah pemotretan dengan mikroskop optik sedangkan gambar b adalah pemotretan dengan SEM.

Struktur mikro pada umumnya terjadi tergantung dari komposisi kimia logam induk dan logam pengisi, pada proses pengerjaan sebelumnya dan teknik yang di gunakan. Struktur dominan yang terbentuk setelah proses pengelasan baik pada daerah induk, HAZ ataupun daerah las adalah ferit. Struktur ferit merupakan struktur paling lunak, dibawah mikroskop optik struktur ferit kelihatan berwarna putih.

1. Daerah logam induk

Pada daerah logam induk struktur mikro yang terbentuk adalah ferit dan perlit, dengan didominasi oleh struktur ferit karena pada daerah ini tidak terpengaruh oleh panas proses pengelasan.

2. Daerah HAZ

Struktur mikro pada daerah HAZ hampir sama dengan logam induk, dari struktur mikro dapat di lihat ferit terbentuk dan terlihat semakin halus di bandingkan dengan logam induk. Dilihat dengan SEM (Gambar 10 – 13) struktur mikro HAZ juga terdapat *grain boundary ferrite* dengan ukuran butir yang lebih besar dibandingkan daerah logam las.

Pada waktu (*cycle*) yang sama, semakin tinggi arus (untuk range 49 – 58 ampere) kecenderungan struktur pada daerah HAZ terlihat bahwa ukuran butir *grain boundary ferrite* dan ferit semakin besar.

3. Daerah logam las

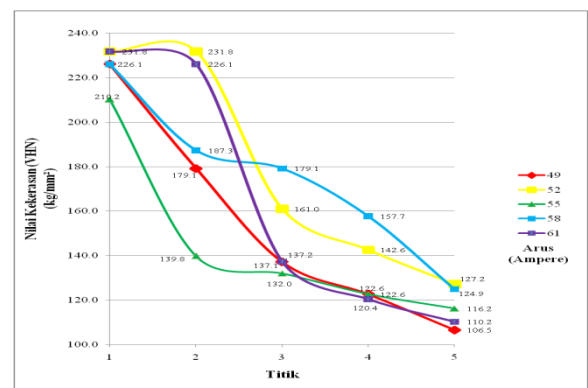
Pada variasi waktu 20 *cycle* dan arus 49 Ampere (Gambar 14) terlihat struktur *Acicular ferrite* dengan jumlah yang cukup banyak dengan letak tersebar secara acak, nampak juga *Widmanstatten ferrite* terlihat lebih halus dengan jumlah yang lebih sedikit dibandingkan *Acicular ferrite*. Pada variasi waktu 20 *cycle* dan arus 52 Ampere (Gambar 15) terlihat struktur *Acicular*

ferrite dengan letak tersebar acak. Terlihat pula *Widmanstatten ferrite* dengan jumlah yang cukup banyak seperti ditunjukkan pada foto SEM serta terdapat juga beberapa *grain boundary ferrite*. Pada variasi waktu 20 *cycle* dan arus 55 Ampere (Gambar 16) terdapat struktur *Acicular ferrite* dengan jumlah lebih sedikit dibandingkan variasi arus dan waktu sebelumnya. Terdapat juga *Widmanstatten ferrite* dengan jumlah yang sama dengan variasi sebelumnya namun ukuran terlihat lebih pendek seperti ditunjukkan pada foto dengan SEM, serta terdapat juga *grain boundary ferrite*. Variasi waktu 20 *cycle* dan arus 58 Ampere (Gambar 17) terlihat struktur *Widmanstatten ferrite* mendominasi hal ini juga didukung oleh foto menggunakan SEM, struktur *Acicular ferrite* terlihat lebih sedikit dibanding variasi arus dan waktu sebelumnya. Dilihat dengan foto SEM juga terdapat *grain boundary ferrite*. Serta pada variasi waktu 14 *cycle* dan arus 61 Ampere (Gambar 18) terlihat struktur *Acicular ferrite* dengan jumlah sedikit karena pendinginan berlangsung dengan cepat, terdapat juga struktur *Widmanstatten ferrite* dengan jumlah sedikit. Pada variasi ini struktur didominasi *ferrite* dan *grainboundary ferrite*

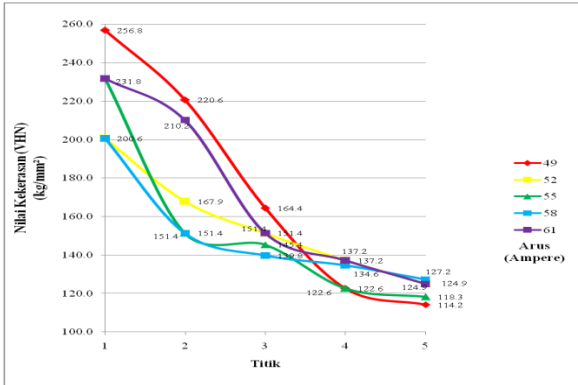
Pada waktu (*cycle*) yang sama, terlihat bahwa pada arus yang rendah struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh *acicular ferrite*, dengan beberapa *widmanstatten ferrite*, dan semakin tinggi arus struktur *widmanstatten ferrite* semakin mendominasi (untuk range 49 – 58 ampere). Hal ini terjadi kerana memang dalam pembentukannya *acicular ferrite* terbentuk pada suhu yang lebih rendah dibandingkan *widmanstatten ferrite*. *Acicular ferrite* terbentuk pada suhu 650°C, sedangkan *widmanstatten ferrite* terbentuk pada suhu 500°C-750°C.

Analisis Hasil Pengujian Kekerasan

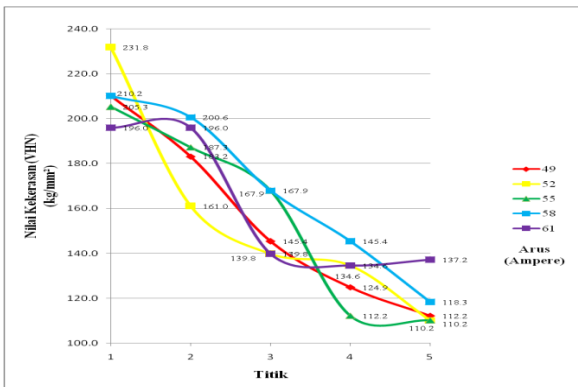
Pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers microhardness* dengan beban sebesar 200 gf dan lama waktu penekanan penetrator 5 detik, pada 5 titik yang berbeda yang diatur dengan jarak tiap titik 0,5 mm.



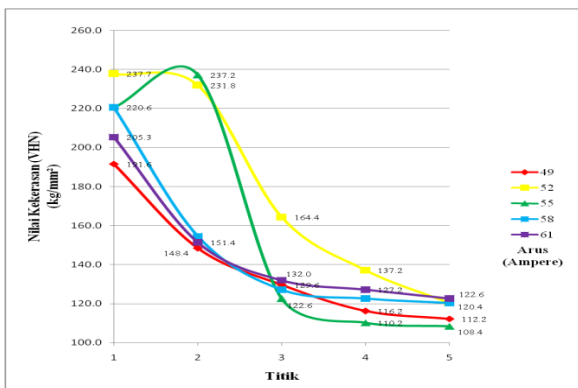
Gambar 19. Nilai kekerasan micro *vickers* variasi 14 cycle.



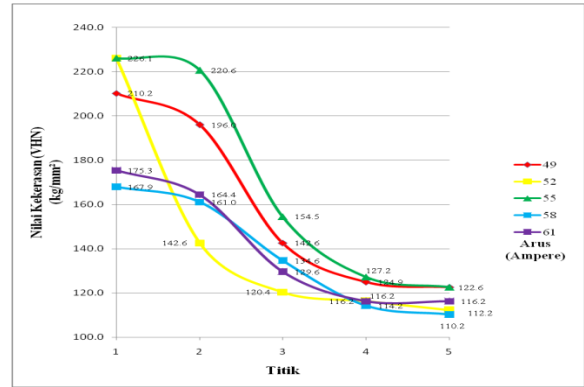
Gambar 20. Nilai kekerasan micro *vickers* variasi 17 cycle.



Gambar 21. Nilai kekerasan micro *vickers* variasi 20 cycle.



Gambar 22. Nilai kekerasan micro *vickers* variasi 23 cycle.



Gambar 23. Nilai kekerasan micro *vickers* variasi 26 cycle.

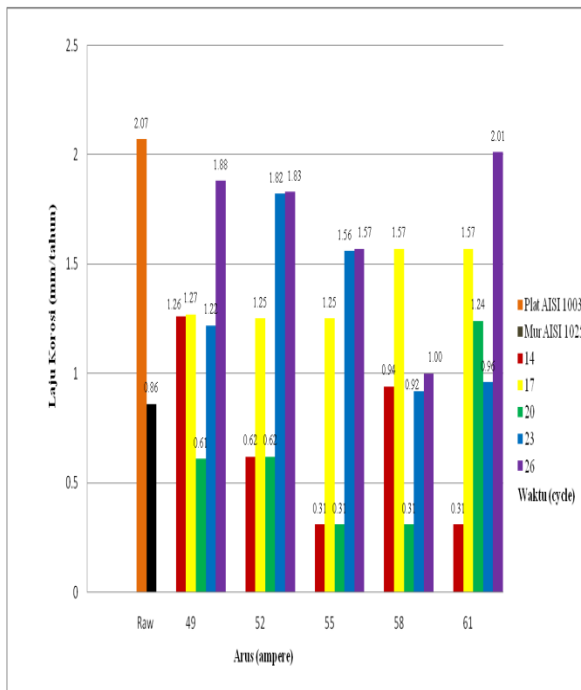
Gambar 19 menunjukkan nilai kekerasan pengelasan variasi waktu 14 cycle yang divariasikan dengan semua arus. Dapat dilihat pada titik 1 yaitu daerah las, nilai kekerasan daerah lasan ini memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan pada titik 2 atau titik antara daerah las dan HAZ, titik 3 atau daerah HAZ, titik 4 atau titik antara daerah HAZ dan logam induk maupun titik 5 atau daerah logam induk. Hal ini dapat dilihat pada arus 49 ampere nilai kekerasan sebesar 226,1 kg/mm², pada titik kedua nilai kekerasan sebesar 179,1 kg/mm² turun 20,79 %. Pada titik ketiga nilai kekerasan kembali mengalami penurunan 23,45 % menjadi 137,1 kg/mm². Pada titik ke empat nilai kekerasan sebesar 122,6 kg/mm² turun 10,58 %. Serta dititik kelima nilai kekerasan mengalami penurunan lagi sebesar 13,13 % menjadi 106,5 kg/mm². Penurunan nilai kekerasan dari titik 1 – 5 seperti pada arus 49 ampere tersebut juga terjadi pada variasi arus 52 – 61 ampere, serta pada spesimen dengan variable waktu (cycle) dan arus (ampere) yang lain, bisa dilihat pada Gambar 20 – 23.

Semakin jauh dari logam las nilai kekerasan akan semakin kecil, hal ini disebabkan pada daerah las terjadi proses pemanasan pada saat pengelasan dan proses pendinginan setelah pengelasan sehingga struktur ferit berubah menjadi struktur *acicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *grainboundary ferrite*. *Acicular ferrite* terbentuk pada suhu dibawah 650°C bersifat menghambat laju perambatan retak, dibandingkan dengan struktur yang lain *acicular ferrit* merupakan struktur yang memiliki nilai kekerasan tertinggi. *Widmanstatten ferrite* terbentuk pada suhu 500°C-750°C dan bersifat menurunkan keuletan dan ketangguhan. Serta *grain boundary ferrite* terbentuk pada suhu 650°C-1000°C bersifat menurunkan ketangguhan dan keuletan. Perubahan struktur ferit menjadi *acicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *grainboundary ferrite* dapat dilihat pada gambar struktur mikro di daerah las, HAZ, dan logam induk (Gambar 4 – 19). Daerah

logam induk dan HAZ memiliki ferit lebih banyak dibandingkan daerah las. Ukuran butir dan jumlah kandungan ferit akan berpengaruh pada kekerasan bahan.

Analisis Hasil Pengujian Korosi

Pengujian korosi dilakukan dengan metoda kehilangan berat yaitu dengan mengukur selisih berat benda uji sebelum dan sesudah perendaman. Perendaman dilakukan dengan memasukkan benda uji kedalam cawan uji korosi yang berisi larutan 9 % NaCl dengan lama perendaman yaitu 300 jam.



Gambar 24. Histogram laju korosi sambungan *dissimilar* AISI 1003 dengan AISI 1025.

Pengujian ketahanan korosi dilakukan dengan metoda *weight loss*. Laju korosi dihitung menggunakan rumus (Fontana, 1987):

$$\frac{mm}{yr} = 87,6 \frac{W}{DAT} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : W adalah kehilangan berat (milligrams), D densitas (gram/cm³), A luas permukaan yang terendam (cm²) dan T waktu (jam).

Tabel 2. Tingkat Ketahanan Korosi Berdasarkan Harga MPY

| Tingkat Ketahanan Korosi | MPY | Konversi kesatuan-satuan lain | | | |
|--------------------------|--------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | mm/tahun | μ/tahun | mm /tahun | p m/tahun |
| Luar Biasa | < 1 | < 0,02 | < 25 | < 2 | < 1 |
| Sangat Baik | 41644 | 0,02-0,1 | 25-100 | 18537 | 20-50 |
| Baik | 41779 | 0,1-0,5 | 100-500 | 50-150 | 41779 |
| Cukup Baik | 20-50 | 0,5-1 | 500-1000 | 50-150 | 20-50 |
| Kurang Baik | 50-200 | 41644 | 1000-5000 | 150-500 | 50-200 |
| Tidak Dianjurkan | 200 + | 5 + | 5000 + | 500 + | 200 + |

Sumber : Fontana, 1987

Pada Gambar 24 terlihat bahwa laju korosi yang rendah adalah pada specimen las dengan variasi arus 55 Ampere dan waktu 14 *cycle*, variasi arus 55 Ampere dan waktu 20 *cycle*, variasi 58 Ampere dan waktu 20 *cycle*, serta variasi arus 61 Ampere dan waktu 14 *cycle* dengan nilai laju korosinya 0,31 mm/tahun berdasar Tabel 2 (Fontana, 1987) termasuk dalam kategori baik. Untuk laju korosi yang tergolong tinggi terjadi pada specimen RAW material plat AISI 1003 dengan nilai laju korosinya 2,07 mm/tahun menurut Fontana dalam Tabel 2 termasuk kurang baik. Ketahanan korosi kurang baik juga terjadi pada spesimen variasi arus 61 Ampere dan waktu 26 *cycle* dengan nilai laju korosinya 2,01 mm/tahun termasuk kategori kurang baik juga menurut Fontana dalam Tabel 2.

Adapun faktor yang mendukung terjadinya korosi adalah jumlah ferrit dan perlitnya masih tersebar, butir yang semakin kecil juga akan mempengaruhi terjadinya laju korosi, seperti struktur *acicular ferrite* akan lebih korosif jika dibandingkan *grainboundary ferrite*, *grainboundary ferrite* lebih korosif jika dibandingkan *widmanstatten ferrite*. Korosi juga menyerang pada bagian yang terdapat celah ataupun kotoran yang terperangkap pada baja baik itu pengaruh faktor metalurgi ataupun pengaruh lingkungan.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa plat SPCC-SD 1,8 mengandung kadar karbon (C) 0,03 % dan *nut weld* mengandung kadar karbon (C) 0,25 % sehingga keduanya termasuk baja karbon rendah.
2. Struktur mikro yang terbentuk di daerah *weld zone* adalah *acicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *grain boundary ferrite*, pada daerah HAZ terdiri dari ferit dan *grain boundary ferrite*, sedangkan daerah *base metal* terdapat ferit. Pada daerah las semakin tinggi arus struktur *acicular ferrite* mengalami penurunan jumlah, dan *widmanstatten ferrite* semakin mendominasi.
3. Hasil uji kekerasan *Vickers* menunjukkan bahwa nilai kekerasan tertinggi terjadi di pada variasi arus 52 ampere dengan waktu 23 *cycle* sebesar 237,7 kg/mm². Secara umum nilai kekerasan tertinggi terjadi di daerah logam las. Semakin jauh dari logam las nilai kekerasan semakin menurun, hal ini disebabkan pada daerah las terjadi proses pemanasan pada saat pengelasan dan proses pendinginan setelah pengelasan sehingga struktur ferit berubah menjadi struktur *acicular ferrite*, *widmanstatten ferrite*, dan *grainboundary ferrite*.
4. Hasil pengujian ketahanan korosi menunjukkan ketahanan korosi tertinggi terjadi pada variasi arus 55, 58 ampere dengan waktu 20 *cycle* dengan laju korosi sebesar 0,31 mm/tahun berdasarkan Fontana dalam Tabel 4.4 termasuk dalam klasifikasi baik. Dilihat dari foto struktur mikro pada variasi ini struktur didominasi *widmanstatten ferrite*. Sedangkan arus (*ampere*) dan waktu (*cycle*) yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi menyebabkan ketahanan korosi rendah, karena struktur mikro yang terbentuk bila terlalu rendah adalah *acicular ferrite*, bila terlalu tinggi adalah feritik.

Daftar Pustaka

Aisyah, 2010, Perubahan Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Drum Baja Karbon Wadah Limbah Radioaktif, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, BATAN.

Anon, *Handbook for Resistance Spot Welding*, Miller, Appleton, Wisconsin, 2005, p.6.

ASTM Internasional, 2004, ASTM G31-72: *Standart Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. United State.

Fontana, Mars, 1987, "*Corrosion Engineering*", 3rd ed, Mc Graw Hill Book Company, New York.

Foret,R., Zlamal, B., dan Sopousek, J., 2006, *Structural Stability of Dissimilar Weld between Two Cr-Mo-V Steels*, Supplement to The Welding Journal.

Callister, D William, 2007, *Material Science and Engineering*, John Willey and Sonc Inc, New York.

Haikal dan Triyono, 2013, Studi Literatur Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik pada Las Titik (*resistance spot welding*), Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Kenyon, W., 1985, "*Dasar – Dasar Pengelasan*", Penerbit Erlangga, Jakarta.

Kou, S., 1987, "*Welding Metallurgy*", John Wiles & Sons, Singapore.

Malau, V, 2003, *Diktat Kuliah Teknologi Pengelasan logam*, Yogyakarta.

Minto Basuki dkk, 2009, Analisa Laju Korosi Duplex SS AWS 2205 Dengan Metode Weight Loss, Institut Teknologi Adhi Tama, Surabaya.

Muhammad Anis, 2000, Teknologi Pengelasan Logam, Universitas Indonesia, Depok.

Muhammad Anis, 2009, Studi Lapisan Intermetalik Cu₃Sn Pada Ujung Elektroda Dalam Pengelasan Titik Baja Galvanis, Universitas Indonesia, Depok.

Ratna Kartikasari dan Sutrisna, 2013, Pengaruh Temperatur Anil Terhadap Ketangguhan Dan Ketahanan Korosi Kandidat Baja Ringan Paduan Fe-Al-Mn-Si, STTNAS, Yogyakarta.

Rautaruukki, 2009, *Resistance Welding Manual*, Suolakivenkatu 1, FI-00811 Helsinki, Finland

Smallman, R.E., 2000, "*Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material*", Edisi Keenam, Gramedia, Jakarta.

Sonawan, H., Suratman, R., 2004, *Pengantar Untuk Memahami Pengelasan Logam*, Alfa Beta, Bandung.

Suharno, 2008, Struktur Mikro Las Baja C-Mn Hasil Pengelasan Busur Terendam dengan variasi Masukan Panas, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Sun, X. dan M. A. Khaleel, 2004, *Resistance Spot Welding of Aluminium Alloy to Steel with Transistion Material-Part II: Finite Element Analyses of Nugget Growth*. *Welding Journal*, 197s-199s.

Tata Surdia, Saito.S., 1999, "*Pengetahuan Bahan Teknik*", Pradnya Paramita, Jakarta.

Trethewey, K. R., 1991, "*Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*", PT. Gramedia, Jakarta

- Wirjosumarto, Okumura, H. T., 1996, "Teknik Pengelasan Logam", Pradnya Paramitha, Jakarta.
- Yudhyadi, 2007, Karakteristik Hasil Las Titik Berdasarkan Pemilihan Variabel Arus Pada Pengelasan Plat Baja Karbon Rendah, Universitas Mataram, Mataram.
- Yustiasih Purwaningrum, Pengaruh Tebal Plat dan Tegangan Listrik Terhadap Mode Patah Sambungan *Dissimilar* Las Titik, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.