

PENGARUH LAPISAN OKSIDA TAMBAHAN PADA ELEKTRODA E 6013 TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO LASAN BAJA KARBON RENDAH

Jon Affi¹, Gunawarman²

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik - Universitas Andalas
Kampus Limau Manis - Kecamatan Pauh – Padang, Sumatera Barat
Telp. 0751-72586 Fax. 0751-72566
email: jon_affi@ft.unand.ac.id dan gunawarman@ft.unand.ac.id

Abstrak

Elektroda stick pada pengelasan SMAW adalah logam isian yang dibungkus fluks. Jenis elektroda E 6013 merupakan jenis yang banyak digunakan dengan harga yang cukup murah. Komposisi fluks secara detail dari elektroda stick ini tidak diketahui secara pasti. Fluks pada elektroda stick mempunyai banyak fungsi seperti penambah unsur paduan, terbakar sebagai gas pelindung dan pemantap busur. Penelitian ini dilakukan karena adanya keinginan untuk meningkatkan kualitas sambungan las menggunakan elektroda E 6013 dengan biaya yang relatif murah untuk jenis baja yang lain seperti baja karbon medium dan baja paduan rendah.

Pengelasan dilakukan pada plat baja karbon rendah ST 37 setebal 10 mm. Elektroda yang digunakan adalah E 6013 berdiameter 2.6mm. Alur sambungan dibuat bersudut 90° dengan jarak akar 1.6 mm. Elektroda dilapisi dengan variasi jenis fluks tambahan yang dilarutkan dalam aseton. Sebanyak 3 sampel plat dilas dengan masing menggunakan fluks tambahan yaitu Al₂O₃, TiO₂, dan MnO serta satu sampel plat tanpa fluks tambahan. Keempat plat dilas dengan parameter pengelasan yang sama untuk mengetahui pengaruh masing-masing fluks terhadap sifat mekanik dan struktur mikro sambungan.

Hasil pengujian tarik menunjukkan adanya peningkatan kekuatan pada daerah HAZ untuk semua jenis fluks dibanding tanpa plat tanpa tambahan fluks. Fluks dari jenis TiO₂ mempunyai efek yang lebih besar dari fluks lainnya. Pengujian bending dan pengujian kekerasan mikro juga menunjukkan kecenderungan yang sama. Hal ini dibuktikan dengan kemampuan ketiga fluks dalam mereduksi penyusutan hidrogen dan oksigen selama pengelasan. Jumlah Void dan inklusi ditemukan lebih sedikit pada pengelasan menggunakan fluks Al₂O₃, TiO₂, dan MnO dibanding tanpa fluks tambahan. Jumlah void dan inklusi yang paling sedikit diperoleh dari penggunaan fluks TiO₂. Pengamatan fasa-fasa pada sampel las yang dietsa juga menunjukkan penurunan ukuran butir (grain refinement) yang tampak pada weld metal. Pengaruh yang lebih dominan antara penurunan void/inklusi dan penurunan ukuran butir pada weld metal terhadap peningkatan sifat mekanik tidak bisa ditentukan. Tetapi kedua sebab ini punya kontribusi masing-masing.

Keyword: Fluks Al₂O₃, TiO₂, MnO, Elektroda E6013, Sifat Mekanik, Void, Grain refinement.

1. Pendahuluan

Biasanya standar pengelasan seperti AWS tidak merinci komposisi detail dari fluks dan proses detail untuk pembuatan logam isian (filler metal). Elektroda hanya disyaratkan untuk memenuhi sifat mekanik minimum dan parameter pengelasan yang bisa digunakan. Seharusnya jika elektroda diproduksi sesuai dengan standard akan memiliki kualitas produk yang sama walaupun dibuat dengan berbagai merk. Dengan bervariasinya komposisi fluks tambahan dan variasi komposisi logam isian menyebabkan kualitas elektroda akan berbeda tiap produsen. Selain itu komposisi kandungan fluks yang diproduksi oleh masing-masing produsen elektroda tersebut tidak dicantumkan dalam kemasan elektroda. Hal ini mungkin sudah menjadi rahasia pabrik dan rahasia dagang pembuat elektroda.

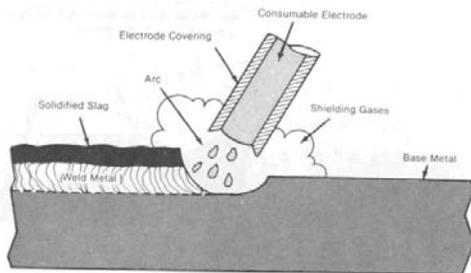
Pada dasarnya semua merk telah memasukan unsur-unsur atau senyawa yang diperlukan seperti yang diisyaratkan oleh standard. Tetapi setelah diuji dengan serangkaian penelitian terdahulu[1], lain merk ternyata lain pula karakteristik proses dan kualitas sambungan melalui serangkaian pengujian mekanik dan pengamatan struktur mikro. Hal inilah yang mendorong peneliti untuk melanjutkan penelitian tentang karakteristik fluks yang dipakai untuk pelapis elektroda SMAW.

Dari penelitian sebelumnya [7] juga diperoleh bahwa karakteristik fluks sangat berpengaruh pada kualitas sambungan dan bentuk busur las TIG. Bentuk busur las yang baik akan memberikan performa sambungan yang baik pula. Dengan alasan ini penulis mencoba mengaplikasikan fluks ini sebagai tambahan fluks pada elektroda SMAW dengan tujuan mendapatkan peningkatan kualitas yang tinggi dengan biaya rendah. Elektroda E 6013 adalah elektroda yang cukup mudah diperoleh di

pasaran. Penggunaan elektroda ini terbatas pada baja karbon rendah dengan kekuatan yang tidak terlalu besar. Dengan penambahan fluks diharapkan elektroda ini bisa dipakai pada berbagai jenis baja dengan kualitas yang memadai.

2. Karakteristik Fluks pada Pengelasan SMAW

Shielded Metal Arc Welding (SMAW) atau Stick welding adalah proses penyambungan logam dengan elektroda berbentuk stick yang terbungkus fluks. Bagian luar (coating fluks) elektroda akan terbakar pada saat proses pengelasan berlangsung dan sebagian menghasilkan gas yang melindungi proses pengelasan terhadap kontaminasi udara luar. Sebagian dari fluks kemudian membentuk slag dan berfungsi untuk menghambat laju pendinginan, sehingga kualitas sambungan lasan menjadi baik. Inti elektroda berfungsi sebagai filler metal (logam isian). Jika elektroda digerakkan pada benda kerja dengan kecepatan yang tepat dan goyangan yang sesuai akan diperoleh deposit lasan seragam disebut dengan weld bead (manik las). Prinsip proses pengelasan SMAW terlihat pada Gambar 1. Busur terbentuk di antara logam induk dan ujung elektroda yang menghasilkan panas sehingga logam induk dan ujung elektroda mencair kemudian membeku bersamaan. Bagian fluks yang mencair berfungsi sebagai penambah unsur paduan pada logam las dan sebagian besar menjadi terak di permukaan untuk melindungi logam yang masih panas dari kontaminasi atmosfer dan menghambat laju pendinginan.



Gambar 1 Proses Pengelasan SMAW [4]

Secara detail fluks berfungsi sebagai:

- Pemantap busur

Pembakaran oksida mempengaruhi intensitas loncatan elektron dari elektroda ke logam induk dan ion dari logam induk ke elektroda. Loncatan ion dan elektroda terjadi pada busur yang disebut plasma. Semakin tinggi intensitas semakin banyak energi yang dibawa dan semakin tinggi kemampuan mencairkan logam akan semakin baik terhadap kedalaman penetrasi ataupun lebar manik las. Masing-

masing komponen fluks mempunyai efek yang berbeda [14].

- Penghasil gas pelindung

Fluks akan terbakar menghasilkan gas yang berfungsi sebagai pelindung busur dan logam cair dari kontaminasi udara luar. Dua jenis gas yang berbahaya bila menyusup adalah oksigen dan hidrogen. Kelarutan gas oksigen dan hidrogen dalam keadaan padat lebih rendah dibanding dalam keadaan cair. Dengan pendinginan yang cepat dikhawatirkan pelepasan gas akibat penurunan batas kelarutan lebih lambat dibanding laju pendinginan yang menyebabkan gas-gas terperangkap. Oksigen terperangkap membentuk keropos dan hidrogen terperangkap menghasilkan penguatan [3].

- Elemen paduan tambahan

Fluks yang digunakan pada pengelasan sebagian akan masuk ke dalam logam lasan, hal ini akan mempengaruhi sifat mekanik dari logam lasan sesuai dengan karakteristik dari bahan yang terkandung pada fluks yang digunakan.

- Sebagai penghasil slag

Slag terbentuk dari pembakaran fluks dan membentuk slag cair. Temperatur cair slag lebih tinggi dari logam sehingga pada pendinginan akan membeku lebih dulu. Berat jenis slag jauh lebih rendah dari logam cair dan mudah mengapung di permukaan. Slag padat akan melindungi logam yang masih panas dari kontaminasi udara luar sekaligus menghambat laju perpindahan panas logam untuk tujuan memperlambat laju pendinginan. Laju pendinginan lambat lebih diutamakan untuk logam-logam yang mudah membentuk fasa keras dan rapuh seperti martensit dan karbida lainnya [3].

- Mempengaruhi efek penetrasi

Kedalaman penetrasi pengelasan dipengaruhi oleh fluks, hal ini juga berhubungan dengan fungsi fluks sebagai pemantap busur, dimana jika busur yang dihasilkan baik maka penetrasinya akan semakin baik.

Fluks terdiri dari komposisi bahan-bahan tertentu. Bahan-bahan yang digunakan dapat digolongkan ke dalam bahan pemantapan busur, pembuat terak, penghasil gas, unsur paduan dan bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut antara lain oksida-oksida logam, karbonat, silikat, fluorida, zat organik, baja paduan dan serbuk besi [4, 20].

Proses pemindahan logam dari elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa oleh arus busur listrik. Jika arus listrik yang digunakan besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus, sebaliknya arus listrik yang kecil menyebabkan butiran logam cair yang terbawa menjadi kasar. Pola pemindahan logam cair mempengaruhi bentuk manik las dan kedalaman penetrasi.[4] Sedangkan pola pemindahan cairan

dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi bahan fluks yang digunakan.

Elektroda E6013

Elektroda E 6013 termasuk elektroda dengan kandungan hidrogen yang rendah dengan slag yang mudah dibuang. Penandaan menurut AWS biasanya dengan kode EXXXX. Huruf E menyatakan elektroda terbungkus untuk SMAW, XX setelah E menyatakan kekuatan tarik deposit bahan lasan dalam 1000 psi, X ketiga menyatakan posisi pengelasan yang bisa dilakukan, X keempat menyatakan jenis fluks yang digunakan. Elektroda E 6013 bisa dipakai untuk berbagai posisi pengelasan [3]. Berdasarkan AWS [4,6], elektroda E 6013 mempunyai kriteria sebagai berikut :

1. Komposisi kimia elektroda E6013

Komposisi karbon dalam elektroda mild steel sekitar 0.15 %, mangan 1.6 %, dan silikon 1 % dari berat elektroda.

2. Bahan Fluks

Fluks E6013 terbuat dari low hydrogen potasium, artinya fluks yang mempunyai kandungan hidrogen rendah.

Karakteristik Oksida Logam

Pada elektroda yang diproduksi dari pabrik memiliki komposisi fluks yang tidak diketahui secara pasti. Elektroda tersebut dapat dilapisi oleh fluks tunggal yang biasanya berupa oksida logam yang memiliki karakteristik yang disukai agar bisa menghasilkan perubahan sifat mekanik yang diinginkan. Ada beberapa karakteristik oksida logam antara lain [14,20]:

1. TiO₂ (*Titanium Dioksida*)

Titanium dioksida merupakan suatu oksida logam yang jika digunakan sebagai fluks tambahan pada permukaan elektroda dapat berfungsi sebagai penghasil slag yang baik. Slag yang dihasilkan oleh fluks ini sangat baik dalam melindungi lasan dari kontaminasi udara luar dan mencegah udara masuk ke dalam lasan. Selain itu fluks yang mengandung TiO₂ juga berfungsi sebagai penstabil busur yang baik, sehingga dapat memperbaiki penetrasi pengelasan. Manik las yang dihasilkan oleh fluks ini sangat halus sehingga kekuatannya meningkat. Karakteristik dari fluks ini dapat meningkatkan kualitas sambungan las yang diindikasikan dengan meningkatnya sifat mekanik logam lasan [14]

2. Al₂O₃ (*Aluminium Dioksida*)

Oksida logam Al₂O₃ merupakan suatu oksida logam yang selain berfungsi sebagai penghasil slag yang baik juga berfungsi sebagai deoksidator pada proses pengelasan. Dimana oksida logam Al₂O₃ dapat mengikat hidrogen dengan baik sehingga produk lasan memiliki cacat yang

sedikit. Akan tetapi fluks Al₂O₃ tidak begitu berperan sebagai penstabil busur sehingga penetrasi yang didapatkan tidak begitu meningkat dibandingkan tanpa menggunakan fluks tambahan. Oleh karena itu penggunaan dari fluks ini baik pada proses pengelasan plat baja tipis [1]

3. MnO (*Manganese Okside*)

Fungsi utama dari fluks MnO adalah penghasil slag yang baik, lapisan slag dari fluks MnO melindungi logam lasan dari kontak dengan udara luar sehingga dapat mencegah masuknya hidrogen maupun oksigen ke dalam logam lasan. Weld bead dari fluks MnO juga halus sehingga kekuatan dari logam lasan meningkat. Fluks MnO juga berperan sebagai deoksidator yang baik. Selain itu fluks MnO memiliki karakteristik sebagai elemen penambah paduan logam lasan

3. Bahan dan Metodologi Penelitian

Plat Baja ST 37 dengan ukuran tertentu sebagai *base metal* dilas dengan tambahan fluks dari oksida Al₂O₃, TiO₂, dan MnO. Sebagai pembandingan digunakan plat yang dilas tanpa lapisan fluks tambahan pada elektroda. Fluks dilarutkan dalam acetone hingga berbentuk pasta. Pelapisan dilakukan dengan kuas dan dikeringkan hingga semua acetone menguap meninggalkan lapisan fluks tambahan pada elektroda E 6013. Semua sampel dilas dengan parameter pengelasan yang dibuat sama. Pemeriksaan sampel pengelasan dilakukan untuk memastikan tidak terdapat cacat pada sambungan.

Pengujian mekanik yang dilakukan meliputi pengujian tarik, uji bending dan pemeriksaan kekerasan mikro. Sampel uji tarik dan uji bending dibuat menurut standard ASTM A370 dan dilakukan pada Universal Testing Machine type RAT-30P. Kekerasan mikro diuji pada daerah *weld metal* (logam isian), *HAZ* (*Heat affected Zone*/daerah pengaruh panas), dan *base metal* (logam induk) dengan digital Vicker micro hardness type *HMV Version 2.02 Shimadzu Hardness Tester*

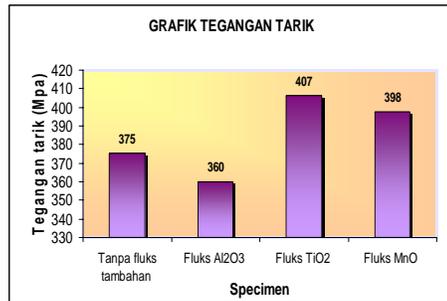
4. Hasil dan Diskusi

Pengujian Tarik

Perbandingan harga kekuatan tarik masing-masing lasan yang elektrodanya dilapisi oksida tambahan dan tanpa oksida tambahan diperlihatkan pada Gambar 2. Kekuatan tarik tertinggi diperoleh dari pengelasan dengan elektroda E 6013 yang dilapisi fluks TiO₂ tambahan sebesar 406 MPa, diikuti oleh fluks MnO tambahan sebesar 398 MPa, sebaliknya pengelasan yang menggunakan elektroda yang dilapisi fluks Al₂O₃ lebih rendah dibandingkan dengan elektroda tanpa penambahan lapisan fluks.

Berdasarkan kualifikasi AWS (American Welding Society), kekuatan tarik terendah untuk elektroda terbungkus kelompok E 60XX setelah dilas yaitu sebesar 430- 460 Mpa. Sementara nilai kekuatan tarik yang didapat dari pengujian lebih kecil dari nilai yang seharusnya untuk elektroda E 6013

menurut AWS, hal ini terjadi karena pada saat pengujian bagian dari benda uji yang putus adalah daerah base metal atau HAZ. Hasil ini mengindikasikan bahwa kekuatan sambungan las dari elektroda yang digunakan dalam pengujian lebih baik dari kekuatan logam induk. Untuk mengetahui kekuatan logam las harus diuji pada All Weld Metal, artinya pengujian harus dilakukan pada seluruh logam las bukan pada sambungan las.



Gambar 2 Perbandingan Kekuatan Tarik Elektroda E 6013 yang Dilapisi Fluks Tambahan dan Tanpa Fluks Tambahan

Kekuatan tarik yang lebih tinggi pada pengelasan dengan menggunakan fluks TiO₂ disebabkan oleh fungsinya sebagai penghasil slag yang baik selama proses pengelasan. Hidrogen dan oksigen yang masuk lebih sedikit sehingga logam las cukup terlindungi dari kontaminasi. Akibat yang baik dirasakan juga oleh daerah HAZ, dimana rendahnya kandungan hidrogen dan oksigen dalam logam las menyebabkan kedua gas sedikit yang sempat berdifusi ke HAZ. Oksigen dan hidrogen yang sedikit berdifusi ke logam induk akan menghasilkan kualitas HAZ yang lebih baik [1].

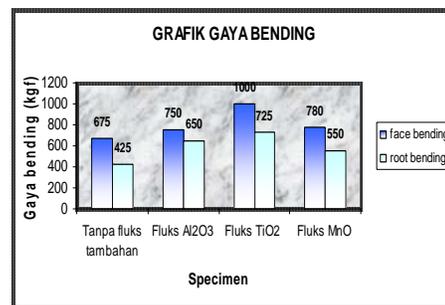
Selain sebagai pembentuk slag yang baik, oksida TiO₂ juga berfungsi sebagai pemantap busur sehingga proses memiliki kedalaman penetrasi yang baik. Penetrasi yang dalam disebabkan oleh konsentrasi busur listrik tinggi (perpindahan elektron yang terkonsentrasi) sehingga menghasilkan panas lebih tinggi pada daerah yang lebih sempit. Fenomena ini sesuai dengan yang telah dibuktikan oleh Anderson, Lucas dan kawan-kawan pada pengelasan TIG yang diumpangkan Fluks [10,11]. Penetrasi yang dalam juga berarti penembusan yang dalam dari busur untuk mencairkan logam sehingga travel speed bisa lebih tinggi (Heat Input turun). Menurunkan heat input merupakan salah satu cara menurunkan kegetasan daerah HAZ pada pengelasan baja karbon medium dan tinggi.[3]. Heat input yang rendah juga berarti bahwa kandungan panas yang diterima dan harus dibuang saat pendingin sedikit sehingga laju pendinginan bisa lebih rendah dan penggetasan bisa diatasi.

Kekuatan tarik elektroda yang menggunakan fluks MnO masih lebih baik ketimbang tanpa

fluks tambahan. Banyak literatur yang menyebutkan bahwa fluks MnO selain berperan sebagai pembentuk slag juga sebagai penambah unsur paduan. Selama logam mencair MnO akan melepas oksigen dan Mn akan mengikat sulfur. Diketahui bahwa sulfur yang rentan membentuk fasa getas FeS. Mangan yang ditambahkan melalui MnO dapat mereduksi sulfur yang terdapat pada logam. Adanya gas terperangkap membentuk porositas dan fasa getas FeS (dapat dianggap sebagai pengotor/inklusi) dapat terlihat jelas sebagai void pada logam yang diampelas dan dipoles sebelum dietsa.

Pengujian Bending

Perbandingan harga kekuatan bending empat variasi lapisan fluks pada permukaan elektroda dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 Gaya Bending Sampel yang Dilas dengan Variasi Tambahan Fluks

Pada Gambar diperoleh bahwa semua nilai kekuatan face bending lebih tinggi dibandingkan dengan root bending. Hal ini mudah dipahami karena volume logam las atau weld metal lebih besar pada face daripada akar lasan sehingga tegangan normal yang ditahan oleh momen bending lebih besar pada face weld. Dari Pengujian tarik sudah diperoleh bahwa kekuatan logam las lebih tinggi dibanding base metal. Jika volume weld metal yang dimiliki sambungan lebih besar maka sudah pasti bagian atas sambungan punya kekuatan yang lebih baik dibanding bagian akar sambungan.

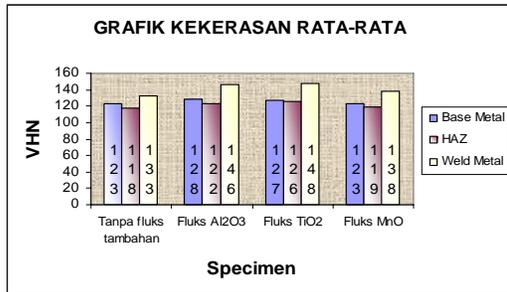
Gaya bending tertinggi untuk face bend diperoleh pada pengelasan yang menggunakan lapisan fluks TiO₂ tambahan yaitu 1000 kgf, diikuti oleh fluks MnO senilai 780 kgf, fluks Al₂O₃ sebesar 750 kgf. Pengelasan tanpa fluks tambahan mempunyai gaya bending terkecil yaitu 675 kgf. Dapat disimpulkan bahwa semua jenis fluks (TiO₂, MnO dan Al₂O₃) mempunyai efek positif meningkatkan kekuatan bending logam lasan. Hasil pengujian root bend juga tertinggi pada pengelasan dengan lapisan fluks TiO₂ (725 kgf), fluks Al₂O₃ (650 kgf), diikuti fluks MnO (550 kgf) dan terakhir tanpa fluks tambahan juga mempunyai gaya bending terkecil (425 kgf).

Mendukung hasil pengujian tarik, hasil pengujian bending diperoleh kekuatan bending tertinggi diperoleh dengan fluks tambahan TiO₂, sedangkan yang paling rendah terdapat pada tanpa penambahan fluks. Penjelasan yang paling masuk akal adalah karena fluks TiO₂ mampu menahan masuknya gas-

gas selama proses dan pelindung yang baik dalam bentuk slag. Kemampuan memberikan penetrasi yang dalam dan travel speed yang tinggi menyebabkan gas-gas tidak sempat masuk. Semakin sedikit gas-gas yang terperangkap semakin sedikit void yang terdapat pada logam lasan dan akhirnya kekuatan bending akan lebih baik.

Distribusi Kekerasan Mikro

Pengujian kekerasan secara mikro dilakukan pada sampel yang diampelas dan dipoles serta dietsa. Permukaan etsa memperlihatkan fasa-fasa dan perubahan ukuran butir. Gambar 4 adalah kekerasan rata-rata dari beberapa titik yang diambil pada daerah weld metal, HAZ dan base metal. Beban (P) yang digunakan dalam pengujian adalah 1,905 N dengan waktu penekanan 15 detik.

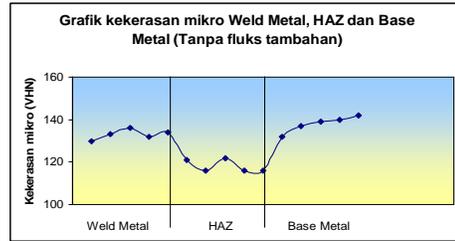


Gambar 4 Grafik kekerasan mikro rata-rata

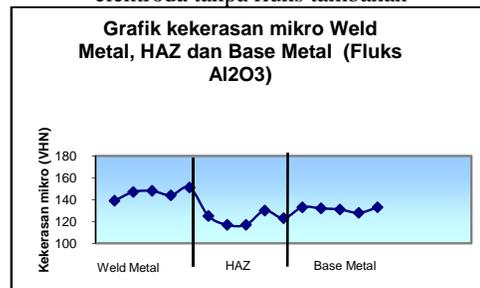
Kekerasan daerah pengaruh panas (HAZ) pada seluruh variasi fluks yang digunakan lebih rendah dibandingkan daerah weld metal, maupun base metal. Kekerasan mikro rata-rata yang diperoleh menunjukkan kekerasan tertinggi weld metal adalah pada pengelasan dengan elektroda yang dilapisi oleh fluks TiO₂ sebesar 148 VHN. Kekerasan dengan fluks Al₂O₃ sebesar 146 VHN serta fluks MnO sebesar 138 VHN. Sedangkan pengelasan tanpa fluks tambahan merupakan harga kekerasan yang paling kecil sebesar 133 VHN. Fakta ini memperkuat data pengujian bending dan pengujian tarik dimana kekuatan bending dan kekuatan tertinggi adalah dengan fluks TiO₂. Sedangkan pada daerah HAZ tidak ditemukan perubahan kekerasan yang berarti untuk semua penggunaan fluks terhadap tanpa fluks.

Variasi angka kekerasan pada daerah base metal, HAZ dan weld metal ditunjukkan pada Gambar 5.4 hingga Gambar 5.7. Semua data memperlihatkan fluktuasi kekerasan dan kecenderungan menurun pada daerah HAZ dibanding weldmetal, bahkan ada yang lebih rendah dari base metal. Variasi kekerasan pada HAZ lebih disebabkan perlakuan panas yang terjadi selama proses pengelasan. Daerah HAZ mengalami pemanasan berlebihan tapi tidak sampai mencair sehingga butir-butir fasa membesar. Butir-butir yang membesar sesuai

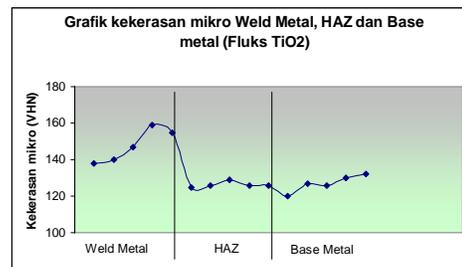
dengan teori Hall-Petch akan mempermudah pergerakan dislokasi dan akhirnya menurunkan kekerasan [14]. Hall -Petch merumuskan angka kekerasan logam berbanding terbalik dengan akar kuadrat besar butir.



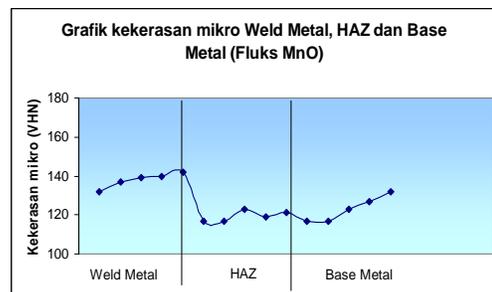
Gambar 5.4 Distribusi kekerasan *base metal*, HAZ, *weld metal* dengan elektroda tanpa fluks tambahan



Gambar 5 Distribusi kekerasan *base metal*, *weld metal* dan HAZ dengan elektroda dengan fluks tambahan Al₂O₃



Gambar 6 Distribusi kekerasan *base metal*, *weld metal* dan HAZ dengan elektroda dengan fluks tambahan TiO₂



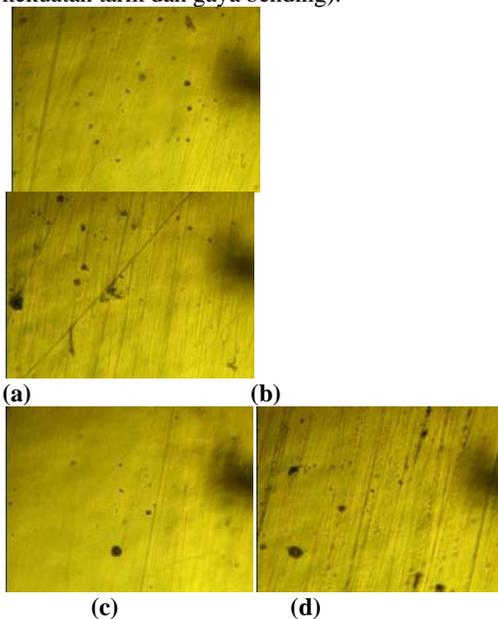
Gambar 7 Distribusi kekerasan *base metal*, *weld metal* dan HAZ dengan elektroda dengan fluks tambahan MnO

Kekerasan mikro sangat tergantung pada bentuk dan ukuran fasa pada struktur mikro logam serta komposisi kimianya. Pada pengelasan terjadi proses pencairan dan pembekuan logam pada waktu yang singkat sehingga struktur dan ukuran fasa yang

terbentuk bisa sangat bervariasi. Fakta ini terbukti dengan fluktuasi harga kekerasan mikro seperti terlihat pada Gambar 4 hingga Gambar 7. Jika jejak indentor memotong banyak fasa (butir-butir yang halus) akan diperoleh kekerasan yang lebih tinggi dibanding jika indentor memotong sedikit butir. Penyebab lain adalah karena jejak penekanan sangat kecil sehingga kemungkinan indentor alat uji menekan berbagai fasa, pengotor dan porositas sangat tinggi. Jika yang tertekan adalah fasa getas yang keras maka akan mempunyai angka kekerasan yang tinggi, sedangkan bila yang tertekan indentor adalah fasa yang mengandung porositas maka kekerasan akan rendah. Porositas dan inklusi tergantung pada kemampuan fluks menahan masuknya gas-gas kedalam logam cair (weld pool).

Pengamatan Void

Gambar 8 menunjukkan cuplikan daerah yang difoto pada weld metal. Pada pengamatan struktur mikro sebelum etsa ini diperoleh bahwa weld metal banyak mengandung bintik hitam yang diduga kuat adalah void atau inklusi. Void berasal dari hidrogen atau oksigen yang terperangkap masuk dan tidak sempat berdifusi keluar dari logam lasan saat pendinginan. Sedangkan inklusi berasal dari fasa-fasa pengotor seperti FeS dan lain-lain. Terlihat jelas pada Gambar 5.8 dapat kita lihat bahwa penggunaan oksida logam TiO₂ sebagai fluks tambahan memiliki jumlah void dan inklusi yang paling sedikit, diikuti oleh penggunaan fluks MnO, dan fluks Al₂O₃. Pada pengelasan dengan menggunakan elektroda tanpa fluks tambahan memiliki jumlah void dan inklusi yang paling banyak sehingga sifat mekaniknya paling rendah (kekuatan tarik dan gaya bending).

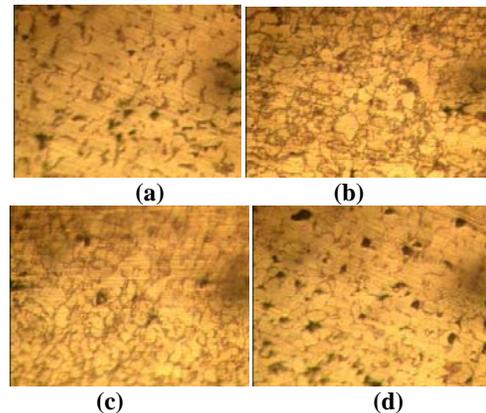


Gambar 8 Pengamatan Void *Weld Metal* (a) Tanpa Fluks Tambahan, (b) Fluks Al₂O₃, (c) Fluks TiO₂, (d) Fluks MnO

Void dan inklusi merupakan cacat yang terdapat pada material logam. Cacat ini tak bisa dihilangkan hanya bisa direduksi. Kualitas suatu logam sangat bergantung pada kualitas dan jumlah void atau inklusinya. Standard material bahkan telah mengelompokkan jenis logam seperti baja berdasarkan jumlah inklusi dan voidnya. Makin sedikit jumlah void dan inklusi, maka logamnya makin mahal karena makin banyak persyaratan manufaktur yang harus dipenuhi.

Pengamatan Fasa-Fasa (Mikro Struktur)

Seperti halnya pengujian kekerasan, pengamatan struktur mikro dari logam juga dilakukan pada permukaan yang sudah dietsa. Permukaan etsa memperlihatkan distribusi fasa, jenis fasa dan ukuran fasa-fasa. Hasil proses pengelasan akan terlihat jelas perubahan struktur mikro akibat pemanasan dan pendinginan serta memberikan informasi mengenai kualitas weld metal dan HAZ. Gambar 5.9 memperlihatkan foto struktur mikro daerah weld metal yang dilas dengan berbagai tambahan fluks pada elektroda E6013.



Gambar 9 Struktur Mikro *Weld Metal*. (a) Tanpa Fluks Tambahan, (b) Fluks Al₂O₃, (c) Fluks TiO₂, (d) Fluks MnO

Pada pengamatan fasa-fasa pada weld metal diperoleh fasa ferrite lebih dominan dibanding pearlite. Pearlite adalah gubahan dua fasa ferrite dan cementite terjadi dengan reaksi tiga fasa eutektoid. Semakin sedikit jumlah pearlite menunjukkan kandungan karbon yang semakin rendah dari logam. Terlihat untuk satu jenis fluks tambahan ukuran butir hampir merata pada setiap bagian. Bagian yang gelap merupakan fasa pearlite sedangkan bagian yang terang adalah fasa ferrite.

Ukuran fasa-fasa pada mikro struktur weld metal (Gambar 5.9) menunjukkan butir yang paling besar pada pengelasan tanpa fluks tambahan. Semua fluks mempunyai pengaruh yang hampir sama yaitu mereduksi ukuran butir pada weld metal. Efek paling besar diberikan oleh Fluks TiO₂ dengan ukuran butir paling kecil. Dari penelitian sebelumnya pada

pengelasan A-TIG baja tahan karat austenitic, TiO₂ mempunyai pengaruh yang signifikan pembentuk ferrite dan menekan jumlah austenite [7]. Dengan kata lain, transformasi dari austenite ke ferrite di percepat oleh fluks TiO₂ ini. Jika proses transformasi di-fasilitasi oleh fluks ini berarti kemungkinan pengintian fasa ferrite yang lebih banyak dan menghasilkan fasa ferrite yang lebih halus. Hal ini akan memperkuat logam las dan telah dibuktikan pada pengujian tarik, bending dan kekerasan mikro.

5. Kesimpulan

Penelitian pengaruh fluks (Oksida) tambahan terhadap kualitas sambungan baja karbon rendah yang dilas dengan elektroda E 6013 dengan serangkaian pengujian mekanik dan pemeriksaan struktur mikro telah dilakukan. Beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh adalah:

1. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa baja ST 37 mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding dari weld metal-nya yang dilas dengan elektroda E 6013. Semua sampel menunjukkan patah pada HAZ (bagian logam induk)
2. Kekuatan tarik tertinggi pada HAZ diperoleh dari pengelasan dengan elektroda E 6013 yang dilapisi fluks TiO₂ tambahan sebesar 406 MPa, diikuti oleh fluks MnO tambahan sebesar 398 MPa, sebaliknya pengelasan yang menggunakan elektroda yang dilapisi fluks Al₂O₃ lebih rendah dibandingkan dengan elektroda tanpa penambahan lapisan fluks.
3. Gaya bending tertinggi untuk *face Bend* dengan lapisan fluks berturut-turut TiO₂, MnO, Al₂O₃ dan tanpa fluks adalah 1000 kgf, 780 kgf, 750 kgf dan 675 kgf. Gaya Bending pada *root bend* berturut-turut untuk TiO₂, MnO, Al₂O₃ dan tanpa fluks adalah 725 kgf, 650 kgf, 550 kgf dan 425 kgf. Disimpulkan semua jenis fluks (TiO₂, MnO dan Al₂O₃) mempunyai efek positif meningkatkan kekuatan bending logam lasan.
4. Pemeriksaan kekerasan mikro untuk *weld metal* menunjukkan elektroda yang dilapisi oleh fluks TiO₂ memiliki angka kekerasan sebesar 148 VHN diikuti oleh fluks Al₂O₃ sebesar 146 VHN serta fluks MnO sebesar 138 VHN. Sedangkan pengelasan tanpa fluks tambahan merupakan angka kekerasan yang paling kecil sebesar 133 VHN.
5. Terjadi variasi kekerasan mikro pada HAZ dan weld metal untuk semua sampel. Hal ini disebabkan pengaruh pemanasan dan pendinginan yang cepat selama proses pengelasan serta efek komposisi fluks elektroda dan fluks tambahan.
6. Semua jenis fluks tambahan dapat mereduksi jumlah void dan inklusi pada weld metal dan HAZ. Dari ketiga jenis fluks, TiO₂

memberikan efek yang paling diikuti MnO dan Al₂O₃.

7. Semua jenis fluks memberikan efek penghalusan butir pada weld metal dan mampu meningkatkan sifat mekanik. Efek yang paling besar diberikan oleh fluks TiO₂.

Referensi

1. Akbar, Surya, Jon Affi, Gunawarman, *Karakteristik Elektroda E 6013 Berbagai Merk terhadap Kualitas All Weld Metal Sambungan Baja Karbon Rendah*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin – Oktober, 2007
2. The WE team of Institute in Germany Welding Society, *The Welding Engineer's Current knowledge, 2003 edition*, 2003 SLV Duisburg Niederlassung der GSI mbH.
3. Harsono W, Toshie O, *Teknologi pengelasan Logam*, Pradnya Paramita, 1986
4. ASM International Hand Book Comitte, *ASM Vol 6 Welding Soldering and Brazing, 1995*
5. D. D. Harwig, D. P. Longenecker And J. H. Cruz, *Effects of Welding Parameters and Electrode Atmospheric Exposure on the Diffusible Hydrogen Content of Gas Shielded Flux Cored Arc Welds*, Edison Welding Institute Journal, 1999
6. Jon Affi, *Diktat Pengelasan*, Jurusan Teknik Mesin, 2003
7. Jon Affi, Pengamatan Sifat Mekanik dan Struktur Mikro pada Pengelasan A-TIG Baja Tahan Karat AISI 316 dengan Memvariasikan Jenis Komponen Fluks, *Prosiding SNTTM 2*, Padang, 2003
8. Jon Affi, Pengaruh lapisan SiO₂ dan Al₂O₃, Pada Permukaan Logam Yang Dilas dengan TIG terhadap Penetrasi dan Produktifitas, *Jurnal Ilmiah Teknik Industri Edisi 5 tahun III*, Oktober 2003
9. Rafdi Yunuzir, Analisis perbandingan kualitas elektroda E6013 produk lokal dan import, *Laporan Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Mesin, 2005
10. Anderson, P.C.J., Wiktorowicz, R., *Improving Productivity with A-TIG Welding*, Welding and Metal Fabrication, march 1996
11. Lucas, W., *Activating flux-Improving the performance of the TIG Process*, Welding and Metal Fabrication, vol.68, No.2, pp. 7-10, February 2000
12. ASME Boiler and Pressure Vessel Committee, *Section IX Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operations*, N.Y, 1995.
13. The ASM Handbook Committee, *Atlas Of Microstructures of Industrial Alloys*, Metal Handbook vol. 7, Material Park Ohio US, 1972
14. Easterling, K.E., *Introduction to The Physical Metallurgy of Welding*, Butterworths & Co Ltd, 1983
15. Samsonov, G.V., *The Oxide Handbook*, IFI/Plenum Data Corporation, New York, 1973

16. Editorial Staff of ASTM, Annual Books of ASTM Standards, Vol. 03.01, *Metals-Mechanical Testing: Elevated and Low-Temperatures Tests*, Philadelphia, 1983
17. The ASM Handbook Committee, *Atlas Of Microstructures of Industrial Alloys*, Metal Handbook vol. 7, Material Park Ohio US, 1972
18. The ASM Handbook Committe, *Metallography and Microstructure*, ASM vol. 9, Material Park Ohio US, 1995
19. Nasser, E., *Fundamentals of Gaseous Ionization and Plasma Electronics*, A Division of John Wiley and Son. Inc, New York, 1971
20. Samsonov, G.V., *The Oxide Handbook*, IFI/Plenum Data Corporation, New York, 1973