

Pengaruh Masukan Panas Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Pada Pengelasan Busur Rendam Baja Karbon AISI 1020

Sutrimo

Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung

E-mail: sutrimo_wtc@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh masukan panas proses las busur rendam atau Submerged Arc Welding (SAW) pada struktur mikro dan sifat mekanik logam las baja karbon. Struktur mikro berupa ferit acicular dapat meningkatkan sifat mekanik logam las. Proses pengelasan dilakukan dengan arus 600 Amper, arus DC tegangan konstan 35 volt pada pengelasan pelat ketebalan 12 mm, dengan variasi masukan panas 2 kJ/mm, 3 kJ/mm dan 4 kJ/mm. Pengujian yang dilakukan meliputi pengamatan mikro struktur yang terbentuk diuji dengan mikroskop optik dan scanning electron microscope (SEM), uji kekerasan, uji tarik dan uji impak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa logam las dengan masukan panas 2 kJ/mm mempunyai jumlah prosentase struktur ferit acicular lebih besar dari pada grain boundary ferrite dan widmanstatten ferrite, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik pada logam las.

Kata Kunci: Masukan panas, acicular ferrite, sifat mekanis

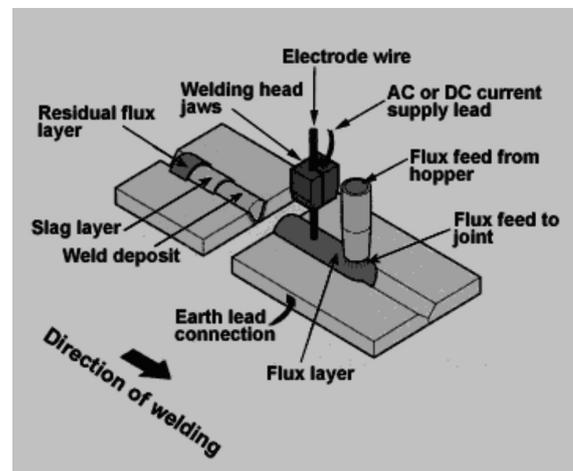
I. PENDAHULUAN

Saat ini penggunaan sambungan pada logam dengan cara pengelasan telah menunjukkan kemajuan yang sangat berarti baik produktivitas maupun kualitasnya. Luasnya penggunaan proses penyambungan ini disebabkan oleh biaya yang relative murah, pelaksanaan pengerjaan lebih cepat, dapat dilakukan secara otomatis dan memiliki keandalan yang tinggi.

Las busur terendam adalah pengelasan yang menggunakan energi listrik sebagai pembangkit panas seperti pada Gambar 1. Las busur terendam adalah salah satu jenis pengelasan busur listrik elektroda terumpan yang prosesnya berlangsung dalam rendaman fluks. Fungsi kawat las selain sebagai elektroda pembangkit busur listrik juga sebagai bahan pengisi atau penambah (*filler*).

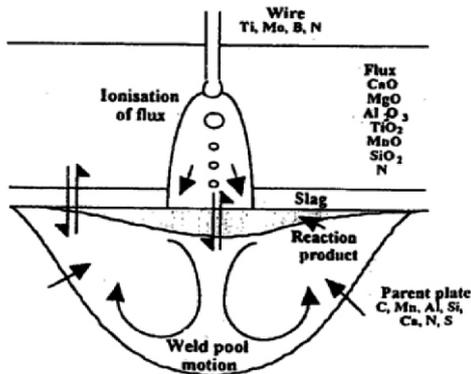
Pada las SAW elektroda berupa gulungan kawat las yang diumpankan kontinyu secara otomatis melalui mekanisme pengumpan, sedangkan fluks dialirkan dari wadah fluks

(*flux hopper*) akibat gravitasi melalui pipa fluks (*flux tube*).



Gambar 1. Proses Pengelasan SAW

Panas yang timbul dari busur api listrik akan mencairkan logam-logam induk, kawat las dan fluks, kemudian setelah lasan tersebut membeku akan menjadi endapan las (*weldment*). Dinamika proses pengelasan SAW yang menggunakan kawat dan rendaman fluks sebagai pelindung logam las ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini.



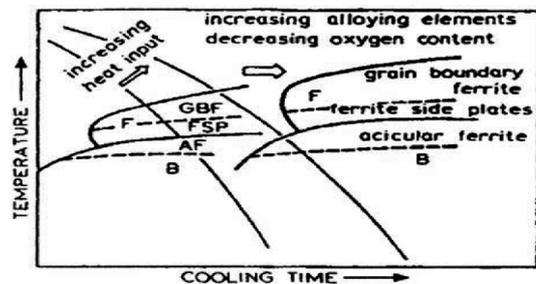
Gambar 2. Dinamika Proses Pengelasan SAW (Thomson, 1999)

Gambar 2 menunjukkan bahwa komposisi dari logam lasan yang terbentuk merupakan gabungan dari kawat las, logam induk dan fluks. Bentuk kolam logam las cair sangat dipengaruhi oleh konveksi yang terjadi pada kolam las selama proses pengelasan yang disebabkan gaya gravitasi, gaya karena adanya tegangan permukaan dan gaya elektromagnetik. Konveksi ini berpengaruh terhadap komposisi kimia logam las karena akan mempengaruhi tingkat dilusi logam. Sebagian fluks yang terbakar akan melindungi logam las dari udara luar. Fluks yang tidak terbakar juga akan melindungi panas sehingga hanya sedikit panas yang keluar secara radiasi, akibatnya efisiensi perpindahan panas dari elektroda ke logam las tinggi. Banyak penelitian yang menunjukkan bahwa tegangan tarik dan ketangguhan las untuk baja karbon dan baja paduan rendah tergantung pada struktur mikro yang terjadi di daerah las. Pada pendinginan lambat, ferit mulai terbentuk pada bagian ujung dan sepanjang batas butir austenit dan mulai tumbuh kearah dalam butir austenit. Ferrite ini dinamakan *grain boundary ferrite* dan proses terbentuknya ferit ini berlangsung secara difusi karbon. Dari batas butir austenit menuju kedalam butir austenit berbentuk plat yang panjang sedangkan *acicular ferrite* pertumbuhannya difasilitasi oleh adanya kerapatan dari tempat nukleasi yang tinggi. Inklusi membantu pertumbuhan *acicular ferrite* yang berbentuk jarum dengan orientasi arah acak.

Struktur mikro pada logam las terbentuk pada saat transformasi fase dari austenit ke ferit dan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti komposisi kimia logam pengisi (*filler*) logam induk, inklusi, masukkan panas, dan laju pendinginan, maka dalam penelitian ini difokuskan untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik dengan mengatur variasi masukan panas.

Struktur Mikro dan Sifat-Sifat Mekanik

Pada proses pengelasan, transformasi (austenit) (ferit) merupakan tahap yang paling krusial karena struktur mikro logam las yang berarti juga sifat-sifat mekanisnya sangat ditentukan pada tahap ini. Diantara faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi (austenit) (ferit) adalah masukan panas (*heat input*), komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las seperti ditunjukkan oleh diagram CCT (*Continuous Cooling Transformstion*), seperti pada Gambar 1.



Gambar 3. Diagram CCT baja C-Mn

Struktur mikro logam las baja terdiri dari kombinasi dua atau lebih fasa-fasa berikut yang disusun berdasarkan suhu pembentuknya :

1. Ferit *proeutectoid* atau ferit polygonal. Struktur ini terdiri dari ferit batas butir (*grain boundary ferrite*) dan *intragranular polygonal ferrite*, terbentuk antara suhu 1000°C sampai 650°C sepanjang batas butir austenit.
2. Ferit *Widmanstatten* (*Widmanstatten ferrite side plates*). Struktur ini berbentuk pelet-pelet sejajar dengan

lapisan karbida diantara pelat itu, terbentuk antara suhu 750°C sampai 650°C .

- 3 . Ferit acicular (*acicular ferrite*). Struktur ini berbentuk pelat-pelat kecil yang saling menyilang seolah-olah membentuk anyaman, terbentuk antara suhu 650°C .
- 4 . Bainit. Struktur ini berbentuk seperti ferit *Widmanstatten*, tetapi proses pembentukannya disebabkan oleh laju pendinginan yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan logam las sehingga mengakibatkan pengkasaran butir pada daerah ini, terbentuk antara suhu 400 - 500°C .
- 5 . Martensit. Struktur ini terbentuk jika pendinginan berlangsung sangat tinggi sehingga berbentuk pelat-pelat besar yang sejajar dan mempunyai kekerasan sangat tinggi sehingga cenderung bersifat getas.

Dari kelima struktur mikro di atas, ferit acicular merupakan struktur mikro yang diinginkan karena dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan logam las. Peningkatan kekuatan ini disebabkan oleh ferit acicular berbutir halus sesuai dengan persamaan Hall-Petch berikut :

$$\sigma = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

Dimana

σ_0 : tegangan luluh

σ_0 : tegangan friksi (*friction stress*)

K : koefisien penguat (*strengthening coefficient*)

d : ukuran (diameter) butir

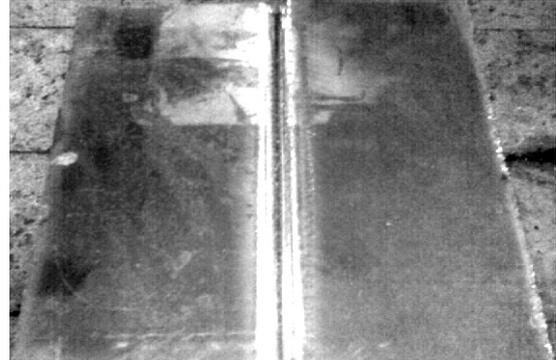
Pada sisi lain, ketangguhan las disebabkan karena struktur ferit acicular berbentuk anyaman (*interlocking structure*) sehingga dapat menahan laju rambatan retak dan memberikan ketangguhan yang baik.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pelat baja karbon AISI 1020 dengan ukuran tebal 12 mm, lebar 150 mm dan panjang 300 mm seperti pada Gambar 2

menggunakan elektroda (*filler*) AWS A5.17 EM12 (kadar Mn 1.0 %) dan fluks OK Flux 10.71 (kadar Mn 1.0%).



Gambar 4. Bahan Penelitian

Komposisi Kimia

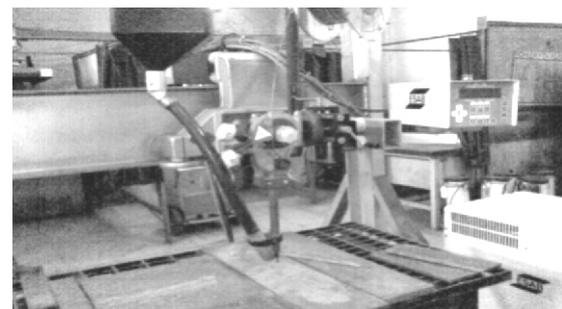
Komposisi kimia logam induk dan logam las diuji dengan alat uji *spectrometry* di laboratorium Politeknik Manufaktur Bandung.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam pembuatan spesimen adalah satu unit mesin las busur rendam (SAW) merk ESAB, dalam proses pengelasannya dilakukan secara otomatis, posisi pengelasan *flat position* (1G) seperti pada Gambar 3, adapun parameter pengelasan selengkapnya seperti pada Tabel berikut.

Tabel 1. Pengelasan SAW Pada Tegangan Konstan 35 volt

Spesimen	I (Arus) Amper	Kecepatan (v) (mm/s)	Heat Input (kJ/mm)
A	600	10,5	2
B		7,0	3
C		5,25	4

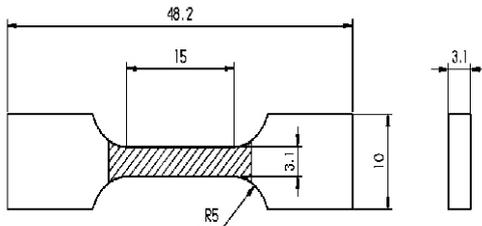


Gambar 5. Proses dan Posisi Pengelasan SAW

Persiapan Pengujian

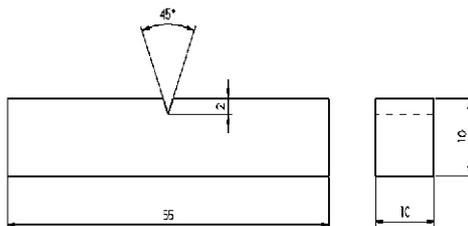
Untuk persiapan pengujian dilakukan pemotongan pada spesimen las sbb:

- Pemotongan spesimen untuk uji mikro struktur dan uji kekerasan sebanyak 3 spesimen, untuk spesimen A, B dan C.
- Pemotongan spesimen las untuk uji tarik mengacu standar seperti pada Gambar 4.



Gambar 6. Spesimen uji tarik (JIS Z 2201)

- Pemotongan spesimen untuk uji dampak mengacu standar seperti pada Gambar 5.



Gambar 7. Spesimen Impak (A 370)

Pengujian

a. Struktur Mikro

Tahapan persiapan sebelum melakukan pemeriksaan adalah melakukan pengampelasan, pemolesan dan pengetsaan dengan menggunakan 2,5% HNO₃ + 98 propanol. Pengujian dilakukan dengan alat uji mikroskop optik logam merk Olympus.

b. Uji Kekerasan

Pada pengujian ini digunakan metode *Vickers Micro Hardness* yang pada prinsipnya adalah mengukur bekas injakan indenter pada spesimen kemudian dimasukkan ke rumus perhitungan untuk diperoleh nilai kekerasannya. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui distribusi kekerasan dari mulai daerah las, HAZ dan logam induk.

b. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan pada arah transversal pada daerah las, dengan bentuk spesimen yang sedemikian rupa sehingga patah yang terjadi diharapkan berada didaerah las. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kualitas hasil pengelasan yang dipengaruhi oleh variasi masukan panas.

c. Uji Impak

Pengujian dampak digunakan untuk mengukur ketangguhan suatu spesimen. Ketangguhan suatu spesimen adalah kemampuan spesimen tersebut untuk menyerap energi pada daerah plastis. Prinsip kerja pengujian dampak menurut Charpy adalah suatu benda uji dengan dibuat takikan di tengah dan menerima pukulan (beban kejut) oleh palu yang di jatuhkan dengan satu pukulan, dimana pukulan yang terpakai diukur, ayunan palu setelah mematahkan batang uji juga diukur. Sedangkan bentuk dan ukuran spesimen menggunakan standar A 370 seperti Gambar 5.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari uji spektrometer logam induk dan logam las diperoleh komposisi kimia dalam % berat sebagai berikut:

Hasil uji logam induk

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni
(%wt)	0,1825	0,3082	0,0067	0,0117	0,8757	0,0179

Cr	Mo	V	Cu	W	Ti	Al
0,0317	0,0094	0,0014	0,0395	0,0004	0,0024	0,0446

Hasil uji daerah las

Unsur	C	Si	S	P	Mn	Ni
(%wt)	0,0999	0,2764	0,0119	0,0229	1,0977	0,0449

Cr	Mo	V	Cu	W	Ti	Al
0,0507	0,0031	0,0052	0,1039	0,0047	0,0032	0,0093

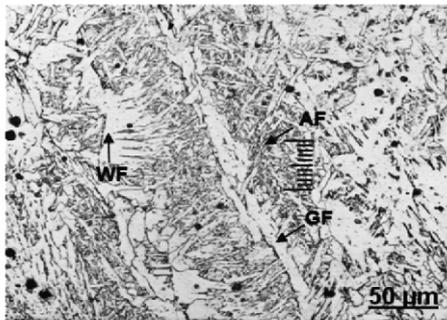
Berdasarkan data hasil uji tersebut diatas menunjukkan unsur Mangan (Mn) dan Silicon (Si) memiliki jumlah persen berat yang besar. Dari kedua unsur ini nantinya akan berpengaruh terhadap pembentukan inklusi yang pada akhirnya mempengaruhi

jumlah ferit acicular yang terbentuk selama pengelasan (Jang dan Indacochea, 1987).

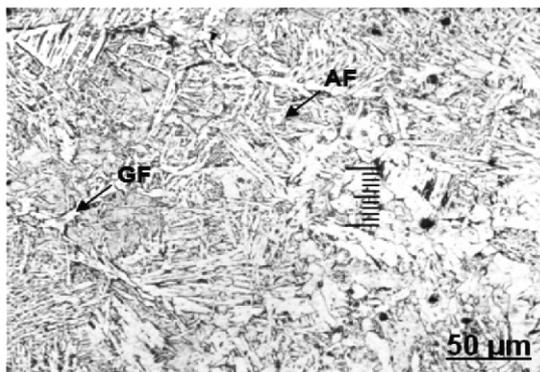
Uji Struktur Mikro

Uji struktur mikro dimaksudkan untuk mengetahui bentuk, susunan, dan ukuran butir pada logam las. Beberapa faktor yang mempengaruhi struktur mikro logam las antara lain: proses pengelasan, komposisi akhir logam las, masukan panas, dan siklus termal.

Pada Gambar 8, berdasarkan diagram *CCT* dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada daerah lasan ini adalah ferit batas butir, ferit *Widmanstatten*, dan ferit *acicular*, dan nampak bahwa ferit *acicular* mempunyai jumlah cukup banyak pada daerah ini. Struktur ferit *acicular* inilah yang diharapkan dari setiap proses pengelasan, karena struktur ini sebagai *interlocking structure* yang mampu menghambat laju rambatan retak dan memberikan ketangguhan yang baik.

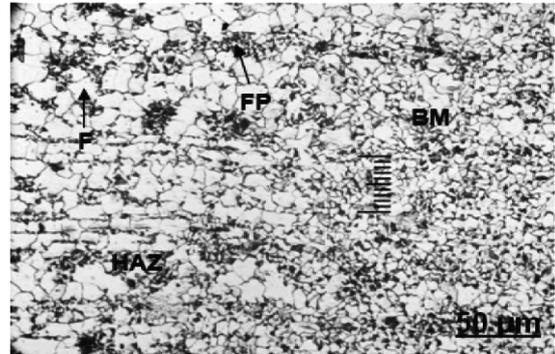


Gambar 8. Foto struktur mikro spesimen A (2 kJ/mm): Daerah las



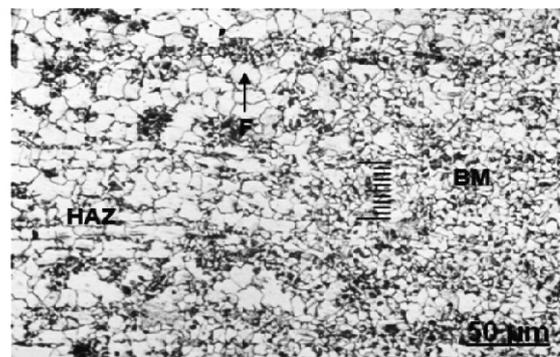
Gambar 9. Foto struktur mikro spesimen A (2 kJ/mm): Daerah las

Pada Gambar 9 tampak bahwa jumlah struktur ferit *acicular* mengalami peningkatan tetapi ferit batas butir masih mendominasi.



Gambar 10. Foto struktur mikro spesimen A (2 kJ/mm): HAZ halus

Pada Gambar 10 tampak bahwa struktur yang terbentuk didominasi oleh ferit, terbentuknya struktur yang demikian disebabkan oleh waktu pendinginan yang relatif lambat.



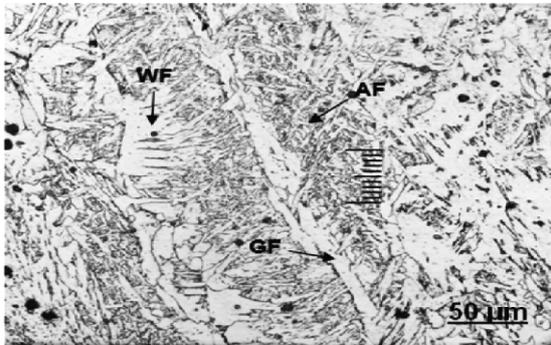
Gambar 11. Foto struktur mikro spesimen A (2 kJ/mm): HAZ – logam induk.

Keterangan:

- AF* = Acicular Ferrite
- GF* = Grain Boundary Ferrite
- WF* = Widmanstatten Ferrite
- F* = Ferrite
- FP* = Ferrite-Perlite
- BM* = Base Metal

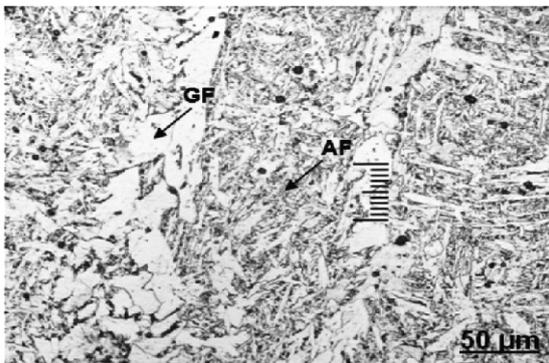
Pada Gambar 11 terlihat struktur mikro logam induk yang tidak terpengaruh panas berupa ferit-perlit yang memanjang searah

dengan arah pengerolan. Pengaruh masukan panas terhadap struktur mikro logam las terlihat pada Gambar 12, 13 dan 14.



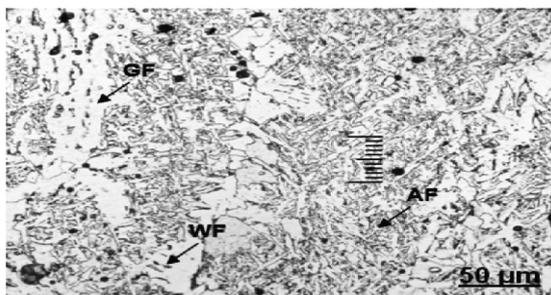
Gambar 12. Struktur mikro logam las: Spesimen A (2 kJ/mm)

Pada Gambar 12 terlihat bahwa jumlah struktur ferit *acicular* menunjukkan jumlah yang terbesar dibandingkan dengan ferit batas butir dan ferit *Widmanstätten*.



Gambar 13. Struktur mikro logam las: Spesimen B (3 kJ/mm)

Pada Gambar 13 tampak bahwa jumlah struktur ferit *acicular* mengalami peningkatan tetapi ferit batas butir dan ferit *Widmanstätten* masih mendominasi.

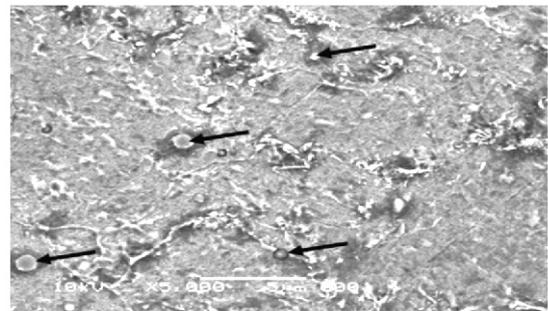


Gambar 14. Struktur mikro logam las: Spesimen C (4 kJ/mm)

Pada Gambar 14 tampak bahwa struktur yang terbentuk didominasi oleh ferit batas butir dan ferit *Widmanstätten*, dan sedikit ferit *acicular*. Terbentuknya struktur yang demikian disebabkan oleh besarnya masukan panas dan waktu pendinginan yang relatif lebih lambat. Dalam proses pembentukan struktur mikro, terutama ferit *acicular*, sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah inklusi. Inklusi adalah partikel halus sebagai akibat dari reaksi oksidasi atau reduksi selama proses pengelasan dan tidak ikut larut dalam logam las cair. Unsur ini dapat membantu terbentuknya struktur ferit *acicular*.

Sedangkan terbentuknya inklusi dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain komposisi logam induk, elektroda las, gas, udara, atau fluks yang digunakan. Inklusi biasanya merupakan senyawa oksida dengan ukuran antara 0,2 – 1 μm dan biasanya dalam bentuk MnO_2 , SiO_2 atau Al_2O_3 .

Uji SEM



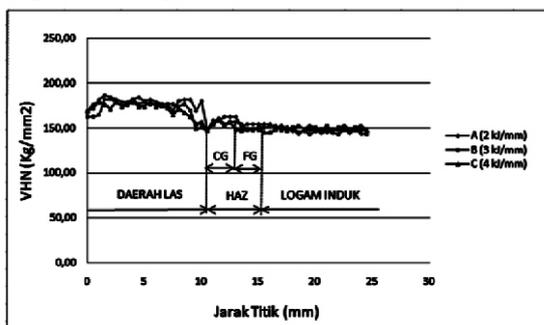
Gambar 15. Hasil uji SEM

Pada Gambar 15 untuk menampilkan bentuk inklusi (anak panah menunjukkan inklusi yang dianalisis). Jumlah inklusi sangat dipengaruhi oleh kandungan oksigen didalam logam las. Apabila kandungan oksigen didalam logam las sekitar 350 ppm (0,035%) akan menyebabkan struktur mikro yang terbentuk berupa campuran antara ferit batas butir dan ferit *acicular*, sementara jika kandungan oksigen didalam logam las sebesar 107 ppm (0,01 %) cenderung membentuk bainit. Sedangkan ferit *acicular* akan terbentuk jika kandungan oksigen

dalam logam las berkisar antara 200 ppm – 250 ppm, dimana pada kisaran ini 90% ferit *acicular* dapat terbentuk. Dengan demikian inklusi juga bermanfaat untuk membantu terbentuknya *acicular ferrite*.

Uji Kekerasan

Uji kekerasan ini dilakukan pada logam las, HAZ dan logam induk. Pada daerah logam las terjadi kekerasan yang tinggi sekitar 162 Kgf/mm² sementara pada daerah HAZ dan logam induk relatif lebih rendah, hal ini disebabkan oleh adanya struktur mikro material yang sama yaitu antara ferit batas butir, ferit *acicular* dan sedikit ferit *widmanstatten*. Nilai kekerasan yang paling tinggi pada masukan panas 2 kJ/mm hal ini terjadi akibat pendinginan yang terjadi sangat cepat dan terbentuk struktur ferit *acicular* dan ferit batas butir yang kecil, pada masukan panas 4 kJ/mm karena mengalami proses pendinginan yang sangat lambat sehingga struktur mikro didominasi oleh ferit batas butir yang memiliki nilai kekerasan yang rendah. Pada daerah HAZ nilai kekerasannya cenderung menurun yang struktur butirnya semakin besar, hal ini juga terjadi pada daerah antara HAZ dengan logam induk, kondisi ini disebabkan oleh struktur pada HAZ yang didominasi oleh struktur ferit batas butir dan ferit *widmanstatten* sedangkan didaerah yang mendekati logam induk sudah banyak ferit dan perlit halus. Pada daerah logam induk nilai kekerasannya relatif merata, hasilnya dapat dilihat pada Gambar 16 .

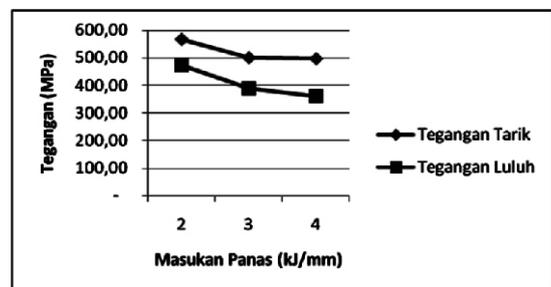


Gambar 16. Grafik kekerasan vs jarak dari pusat pengelasan.

Uji Tarik

Dalam pengujian tarik ini dilakukan arah transversal pada daerah las, karena bentuk specimen yang sedemikian rupa sehingga patah yang terjadi dipastikan berada didaerah las. Tujuan dari pengujian tarik ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan masukan panas terhadap kekuatan tarik hasil pengelasan (di daerah las).

Dibawah ini adalah grafik hasil pengujian tarik daerah las.



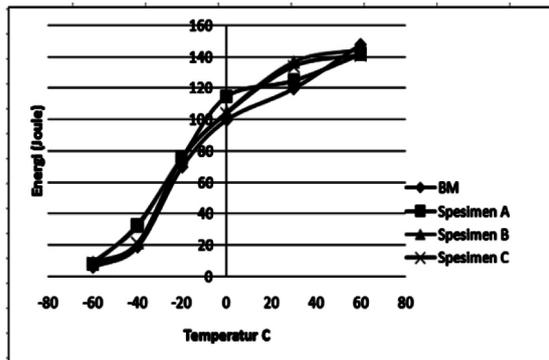
Gambar 17. Grafik kekuatan tarik logam las

Dari hasil pengujian terlihat bahwa tegangan tarik dan tegangan luluh yang paling tinggi terjadi pada spesimen A dengan masukan panas 2 kJ/mm sebesar 567 dan 472 MPa. Sedangkan tegangan tarik dan tegangan luluh yang paling rendah terjadi pada logam induk yaitu 490 MPa dan 360 MPa. Untuk masukan panas yang lain tegangan tarik maupun tegangan luluhnya relatif hampir sama, sehingga dapat dikatakan bahwa hasil pengelasan ini cukup baik karena memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan dengan logam induknya.

Uji Impak Daerah Las

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui ketangguhan daerah las. Pengujian ketangguhan dilakukan pada suhu -60°C, -40°C, -20°C, 0°C, 30°C dan 60°C. Hasil pengujian menunjukkan, bahwa variasi suhu sangat berpengaruh terhadap nilai ketangguhan, semakin rendah suhu pengujian maka nilai ketangguhannya semakin rendah, dan semakin tinggi suhu

pengujian maka semakin besar pula nilai ketangguhannya seperti pada Gambar 18. Pada temperatur pengujian terendah variasi masukan panas relatif tidak mempengaruhi ketangguhan suatu pengelasan, hal ini dibuktikan dengan nilai ketangguhan yang relatif hampir sama.



Gambar 18. Kurva ketangguhan impact daerah las vs perubahan suhu pengujian.

Suhu transisi adalah suhu dimana terjadi perubahan sifat ketangguhan pada logam dari getas menjadi ulet. Dibawah suhu transisi logam mempunyai sifat getas, sedangkan diatas suhu transisi logam mempunyai sifat ulet. Semakin kecil suhu transisinya maka ketangguhan logam semakin baik.

Pada gambar diatas menunjukkan bahwa nilai impact logam las specimen A dengan masukan panas 2,0 kJ/mm memiliki kekuatan impact tertinggi sebesar 76 Joule pada suhu transisi -20°C , pada suhu 60°C sebesar 142 Joule sedangkan nilai ketangguhan specimen yang lain berkisar antara 141 sampai dengan 145 Joule. Ketangguhan ini dipengaruhi oleh besarnya prosentase ferit acicular yang terjadi pada daerah lasan .

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Masukan panas yang optimal terjadi pada specimen A (2,0 kJ/mm), hal ini ditandai dengan adanya jumlah struktur ferit acicular yang lebih besar dari pada grain boundary ferrite dan widmanstatten ferrite, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis pada logam las.
- Kekuatan mekanis tertinggi dengan harga kekerasan 162 VHN, tegangan tarik 567 MPa dan harga impact 76 Joule pada suhu transisi -20°C .

DAFTAR PUSTAKA

- Cary, H.B., 1994, *Modern Welding Technology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Kou, Sindo., 2003, *Welding Metallurgy, Second Edition*, John Wiley & Sons, Inc.
- Messler, Robert, W., 1999, *Principles of Welding Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy*, John Willey & Sons, New York.
- Abson, D.J., dan Pargeter, R.J., 1986, *Factors Influencing As-Deposited Strength, Microstructure, and Toughness of Manual Metal Arc Welds Suitable for C-Mn Steel Fabrications*, International Metals Reviews, 1986, Volume 31, pp 141-189.
- Dowling, J.M., Corbett, J.M., And Kerr, H.W., *Inclusion Phases and the Nucleation of Acicular Ferrite in Submerged Arc Welds in High Strength Low Alloy Steels*, *Metallurgical Transactions* ,
- JIS Hand Book Ferrous Materials and Metallurgy, 1991
- Jang, J., dan Indacochea, J.E., 1987, inclusion effects on submerged arc weld microstructure, journal of materials science, 22, pp 689-700.