

Struktur Mikro Las Baja C-Mn Hasil Pengelasan Busur Terendam dengan Variasi Masukan Panas

Suharno

Jurusan Pendidikan Teknik dan Kejuruan, Program Studi Teknik Mesin,
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta
Email: myharno@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh masukan panas proses las busur rendam pada struktur mikro logam las baja C-Mn. Struktur mikro dengan bentuk *acicular ferrite* merupakan struktur yang dapat meningkatkan sifat mekanis logam las. Proses pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan empat macam masukan panas yang berbeda, yaitu 3,99 kJ/mm, 3,19 kJ/mm, 2,12 kJ/mm, dan 1,77 kJ/mm. Struktur mikro yang terbentuk diuji dengan mikroskop optik dan *scanning electron microscope (SEM)*. Hasilnya menunjukkan bahwa logam las dengan masukan panas 2,12 kJ/mm mempunyai jumlah struktur *acicular ferrite* lebih besar dari pada *grain boundary ferrite* dan *widmanstatten ferrite*. Hal ini disebabkan oleh adanya nukleasi dari inklusi yang berbentuk SiO₂, TiO, dan Al₂O₃.

Kata kunci: masukan panas, *acicular ferrite*, sifat mekanis

ABSTRACT

This research aims to study the effect of heat input of submerged arc welding on the microstructure of weld metal made from C-Mn steel. The study focused on the formation of acicular ferrite which could improve weld mechanical properties. The welding process was carried out using various heat inputs, i.e. 3.99 kJ/mm, 3.19 kJ/mm, 2.12 kJ/mm, and 1.77 kJ/mm. Microstructural examinations were performed using optical microscope and scanning electron microscope (SEM). Results show that the weld metal welded with heat input 2.12 kJ/mm produces more acicular ferrite than grain boundary and Widmanstatten ferrite. It is evident that this acicular ferrite nucleates on inclusions in the forms of SiO₂, TiO, and Al₂O₃.

Keywords: heat input, *acicular ferrite*, mechanical properties.

PENDAHULUAN

Dewasa ini pengembangan sambungan pada logam dengan sistem pengelasan telah menunjukkan kemajuan yang sangat berarti baik pengembangan produktivitas maupun kualitasnya. Luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat, lebih ringan, dan bentuk konstruksi lebih variatif [1]. Berbagai penelitian 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 (*ferrite*) mulai terbentuk pada bagian ujung dan sepanjang batas butir austenit dan mulai tumbuh ke arah dalam butir austenit. *Ferrite* ini dinamakan *grain boundary ferrite* dan proses terbentuknya *ferrite* ini berlangsung secara difusi karbon. Dari batas butir austenit menuju ke dalam butir austenit dengan bentuk plat yang panjang sedangkan

acicular ferrite pertumbuhannya difasilitasi oleh adanya kerapatan dari tempat nukleasi yang tinggi. Inklusi membantu untuk tumbuhnya *acicular ferrite* yang berbentuk jarum dengan orientasi arah acak [2].

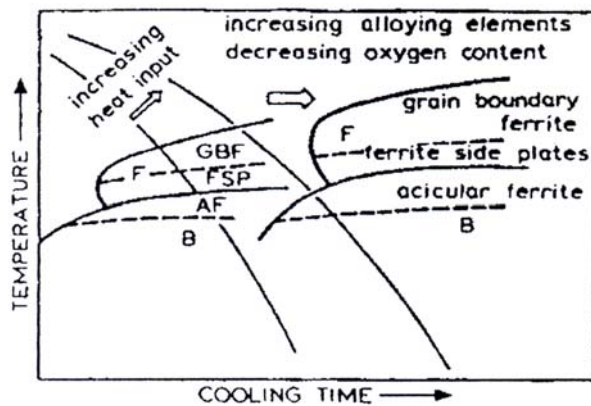
Struktur mikro pada logam las terbentuk pada saat transformasi fase dari austenit ke ferit dan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti komposisi kimia logam pengisi (*filler*) dan logam induk, inklusi, masukan panas, dan laju pendinginan [3], sehingga penelitian ini difokuskan untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik dengan mengatur masukan panas.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian ini adalah plat baja SM490, tebal plat 20 mm, tegangan luluh maksimum adalah 325 N/mm², tegangan tarik maksimum adalah (490–610) N/mm², dan regangannya adalah 22%. Pengelasan dilakukan di PT. Bukaka Teknik Jakarta

menggunakan las busur listrik jenis *submerged arc welding* (SAW) dengan empat macam masukan panas yang berbeda, yaitu 3,99 kJ/mm, 3,19 kJ/mm, 2,12 kJ/mm, dan 1,77 kJ/mm.

Komposisi kimia di logam las diuji dengan alat uji *spectrometry* milik laboratorium uji logam Ceper, Klaten dengan merk Hilger type E2000/Fe. Struktur mikro yang terbentuk dari hasil pengelasan dianalisis menurut diagram *Continuous Cooling Transformations* (CCT). Selanjutnya struktur mikro yang terbentuk akan dianalisis lebih lanjut mengenai pengaruhnya terhadap sifat mekanis material hasil lasan. Untuk mengetahui lebih dalam tentang struktur mikro yang terbentuk terutama kemungkinan munculnya inklusi di dalam logam las maka dilakukan pula uji *SEM/EDS* yang bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia di dalam inklusi. Untuk mengetahui kekuatan mekanis dari bahan yang dilas maka dilakukan pula uji kekerasan di daerah las, *HAZ*, dan logam induk.



Gambar 1. Diagram *Continuous Cooling Transformations* [4]

Pengujian dilakukan pada material hasil lasan meliputi uji struktur mikro dilakukan dengan alat uji mikroskop optik logam dengan merk Olympus, uji kekerasan dilakukan dengan alat uji kekerasan *Vickers Hardness Number* (HVN) dengan merk Shimadzu Seri 2 di Laboraturium Bahan Teknik Jurusan Teknik Mesin UGM, sedangkan uji *SEM* dilakukan dengan alat mikroskop optik dengan merk EDAX di FT. UI Jakarta Jurusan Teknik Metalurgi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan pada penelitian ini meliputi: hasil uji komposisi logam, hasil pengamatan makro, hasil pengamatan struktur mikro, dan hasil uji kekerasan. Dari uji komposisi kimia logam las diperoleh komposisi kimia logam las dalam % berat adalah 0,113%C, 0,329%Si, 1,171%Mn, 0,018%S, 0,017%P, 0,040%Cu, 0,050%Ni, 0,036%Cr, 0,004%Mo, 0,04%W, 0,003%Al,

0,01%Nb, 0,02%V, dan 98,15%Fe. Dari uji komposisi kimia logam las nampak bahwa bahan termasuk dalam kategori baja carbón rendah dengan kandungan carbon sebesar 0,113%. 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. Bainit bisa muncul namun dalam jumlah yang sangat terbatas. Sedangkan martensit yang memiliki sifat khas sangat keras tidak akan muncul karena pada jenis baja karbon rendah jumlah karbon tidak mencukupi untuk membentuk struktur *BCT* [5].

Uji struktur mikro bertujuan untuk mengetahui bentuk, susunan, dan ukuran butir pada bahan. Selain pengujian secara mikro, pada bagian ini akan disajikan pula bentuk struktur makro untuk setiap perlakuan pengelasan.

Pada uji struktur makro, terlihat dengan jelas bahwa besarnya masukan panas (*heat input*) yang sangat bergantung pada kecepatan pengelasan, ternyata memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap luasan yang terpengaruh oleh panas, baik luasan pada daerah lasan (*fusion Zone*) maupun pada daerah *Heat Affected Zone* (*HAZ*). Tampilan struktur makro daerah las dan sekitarnya untuk masing-masing *heat input* ditunjukkan pada Gambar 2.

Dari tampilan Gambar 2, dapat dilihat bahwa masukan panas yang besar akan mengakibatkan daerah yang terpengaruh panas juga luas. Sebaliknya masukan panas yang kecil akan mengakibatkan daerah yang terpengaruh panas juga sempit. Hal yang demikian ini terjadi karena efek perpindahan panas yang terjadi pada bahan yang dilas.

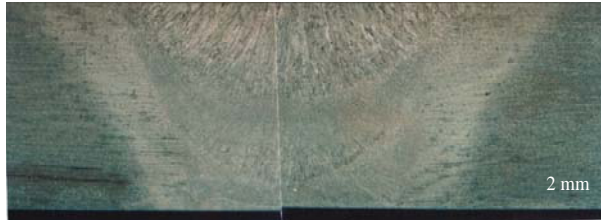
Struktur mikro las dan *HAZ* dapat dilihat pada Gambar 3. Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengetahui bentuk, susunan, dan ukuran butir pada bahan. Struktur mikro logam las ditentukan pada saat proses pembekuan (*solidification*) dan transformasi γ (austenit) ke α (ferit). Beberapa faktor yang mempengaruhi struktur mikro logam las antara lain : proses pengelasan, komposisi akhir logam las, masukan panas, dan siklus termal. Selain pengujian secara mikro, pada bab ini akan disajikan pula bentuk struktur makro untuk setiap perlakuan pengelasan.

Besarnya masukan panas (*heat input*) yang sangat tergantung pada kecepatan pengelasan, ternyata memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap luasan yang terpengaruh oleh panas, baik luasan pada daerah lasan (*fusion zone*) maupun pada daerah *Heat Affected Zone* (*HAZ*).

Mengacu pada tampilan struktur makro di atas, maka variasi struktur mikro yang terbentuk pada daerah las *HAZ* dan logam induk dapat dilihat pada Gambar 3.



a). Foto struktur makro pada daerah yang terpengaruh panas, *heat input* 3,99 kJ/mm



b). Foto struktur makro pada daerah yang terpengaruh panas, *heat input* 3,19 kJ/mm



c). Foto struktur makro pada daerah yang terpengaruh panas, *heat input* 2,12 kJ/mm



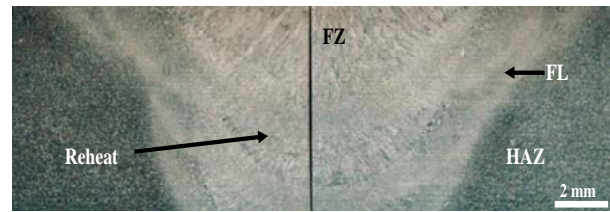
d). Foto struktur makro pada daerah yang terpengaruh panas, *heat input* 1,77 kJ/mm

Gambar 2. Foto Struktur Makro pada Daerah yang Terpengaruh Panas

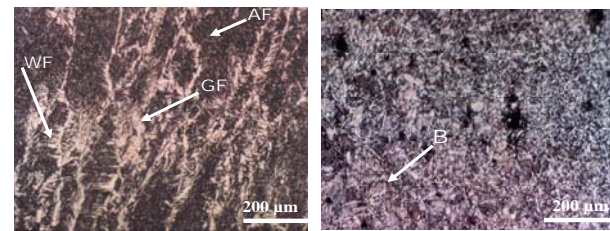
Pada Gambar 3(b) berdasarkan diagram *CCT* dapat dilihat bahwa struktur mikro yang terbentuk pada daerah lasan ini adalah ferit batas butir, ferit *Widmanstatten*, dan ferit *acicular*, dan nampak bahwa ferit *acicular* mempunyai jumlah cukup banyak pada daerah ini (untuk membedakan struktur ferit *acicular* dengan struktur yang lain dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 5. Struktur ferit *acicular* inilah yang diharapkan dari setiap proses pengelasan, karena struktur ini sebagai *interlocking structure* yang mampu menghambat laju perambatan retak [6].

Pada daerah perbatasan antara las dengan *HAZ* (Gambar 3(c)) terlihat adanya struktur bainit. Hal ini disebabkan karena terjadinya pengasaran pada butir austenit saat pemanasan dan laju pendinginan yang relatif lebih cepat dari pada daerah las [7]. Struktur bainit berupa perlit dan

sementit dan memiliki bentuk mirip dengan ferit *Widmanstatten*. Perbedaannya terletak pada proses terbentuknya kedua struktur tersebut. Struktur bainit memiliki angka kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan ferit *Widmanstatten*.

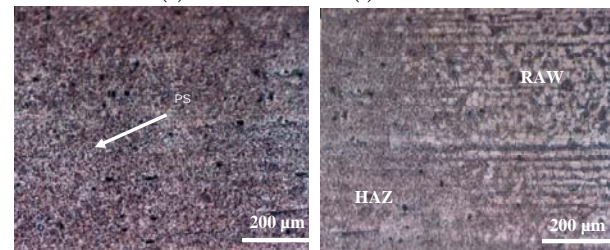


a. Foto struktur makro pada daerah yang terpengaruh panas, untuk, *heat input* 2,12 kJ/mm



(b) Las

(c) Batas las dan *HAZ*



(d) *HAZ*

(e) Batas *HAZ* dan logam induk

Gambar 3. Struktur Mikro Pengelasan untuk *Heat Input* 2,12 kJ/mm

Keterangan:

AF = Acicular Ferrite

GF = Grain Boundary Ferrit

B = Bainite

WF = Widmanstatten Ferrite

F = Ferrite

FZ = Fusion Zone

FL = Fusion Line

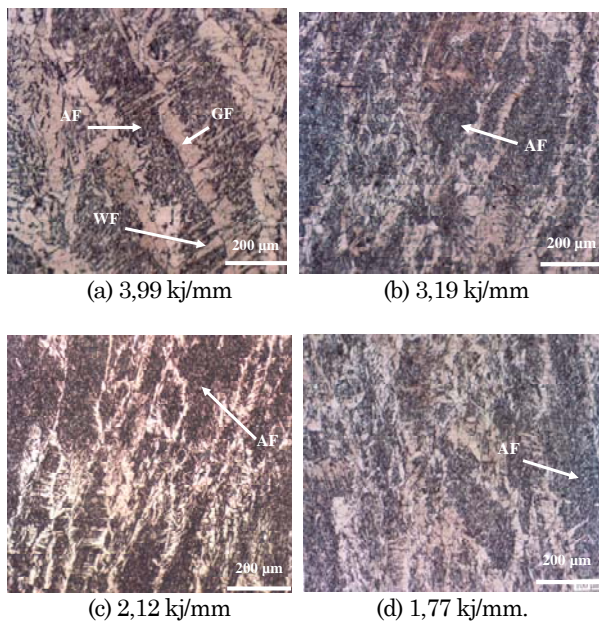
PS = Perlit-Sementit

Pada daerah *HAZ* (Gambar 3(d)) terlihat struktur perlit-sementit dan merata. Hal ini disebabkan karena suhu maksimum yang dicapai saat pemanasan relatif lebih rendah sehingga hanya mengalami proses rekristalisasi dan pada saat pendinginan berubah menjadi ferit halus.

Pada Gambar 3(e) terlihat struktur mikro logam induk yang tidak terpengaruh panas yang berupa ferit-perlit yang memanjang searah dengan arah pengerolan.

Pengaruh masukan panas (*heat input*) terhadap struktur mikro logam las terlihat pada Gambar 4. Pada Gambar 4(a) tampak bahwa struktur yang terbentuk didominasi oleh ferit batas butir dan ferit

Widmanstatten, dan sedikit ferit *acicular*. Terbentuknya struktur yang demikian disebabkan oleh besarnya masukan panas dan waktu pendinginan yang relatif lebih lambat. Pada Gambar 4(b) tampak bahwa jumlah struktur ferit *acicular* mengalami peningkatan tetapi ferit batas butir dan ferit *Widmanstatten* masih mendominasi. Sedangkan pada Gambar 4(c) terlihat bahwa jumlah struktur ferit *acicular* menunjukkan jumlah yang terbesar dibandingkan dengan ferit batas butir dan ferit *Widmanstatten*. Pada Gambar 4(d) terlihat bahwa pada *heat input* ini jumlah ferit *acicular* mulai mengalami penurunan dan peningkatan ferit *Widmanstatten*. Hal ini disebabkan karena pada laju pendinginan yang agak tinggi ferit *acicular* sulit tumbuh sehingga mempercepat terbentuknya ferit *Widmanstatten*. Jika waktu pendinginan dipercepat lagi maka kemungkinan struktur yang akan terbentuk adalah bainit dan martensit. Dari gambar dan uraian diatas terlihat bahwa *heat input* yang optimal adalah pada *heat input* 2,12 kj/mm. Pada *heat input* ini struktur ferit *acicular* menunjukkan jumlah yang paling besar.

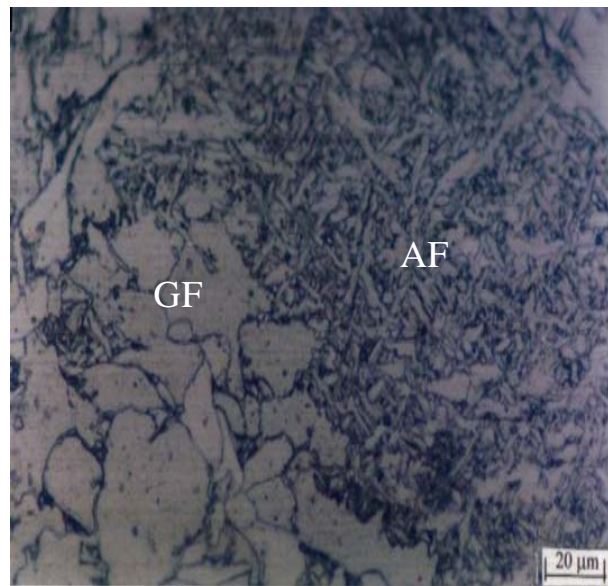


Gambar 4. Struktur Mikro Daerah Lasan

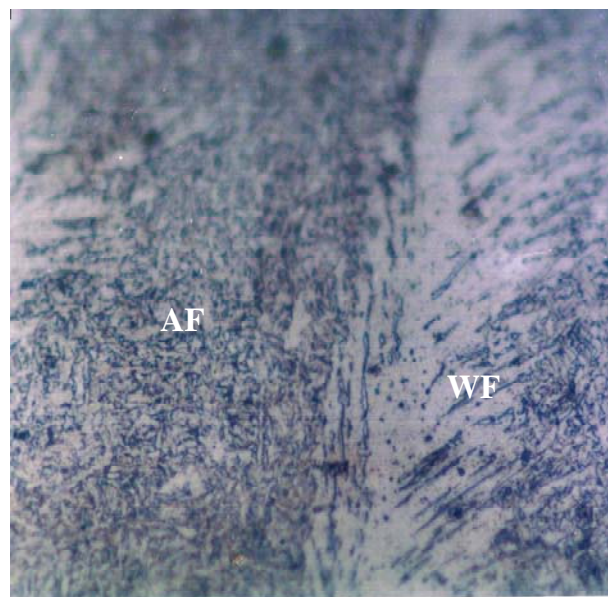
Dengan pembesaran struktur mikro yang lebih tinggi terlihat jelas pola dari ferit *acicular* yang berfungsi sebagai *interlocking structure* (Gambar 5).

Seperti telah dikemukakan di depan bahwa keuletan dan ketangguhan logam las dipengaruhi oleh banyak faktor seperti komposisi, struktur mikro, ukuran butir dan juga inklusi. Keuletan dan ketangguhan logam las akan meningkat jika struktur mikro yang terbentuk berupa ferit *acicular*, sebaliknya penurunan keuletan dan ketangguhan terjadi jika pada logam las struktur mikro yang terbentuk berupa ferit batas butir, ferit *Widmanstatten*, bainit, atau martensit [8].

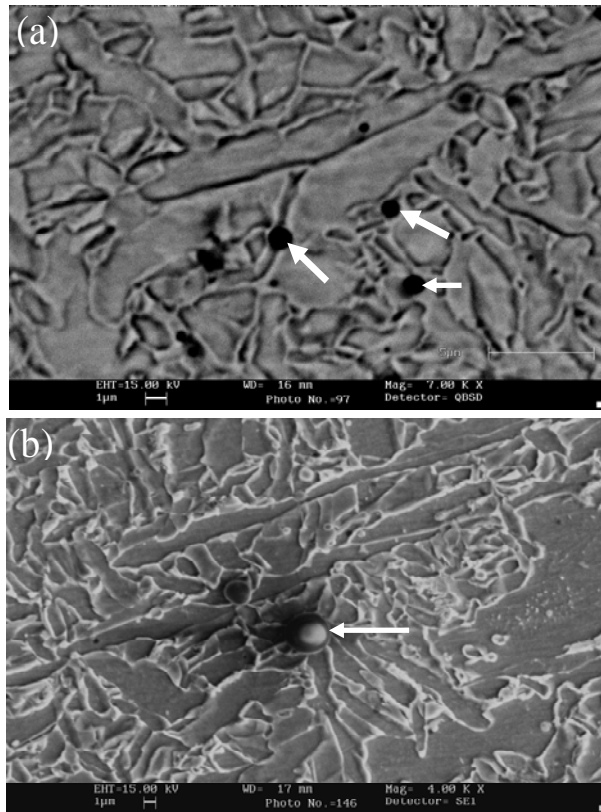
Dalam proses pembentukan struktur mikro, terutama ferit *acicular*, sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah inklusi. Inklusi adalah partikel halus sebagai akibat dari reaksi oksidasi atau reduksi selama proses pengelasan dan tidak ikut larut dalam logam las cair. Unsur ini dapat membantu terbentuknya struktur ferit *acicular* [9]. Sedangkan terbentuknya inklusi dipengaruhi oleh beberapa hal antar 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 MnO₂, SiO₂, atau Al₂O₃ [9].



Gambar 5. Struktur Mikro Acicular Ferrite



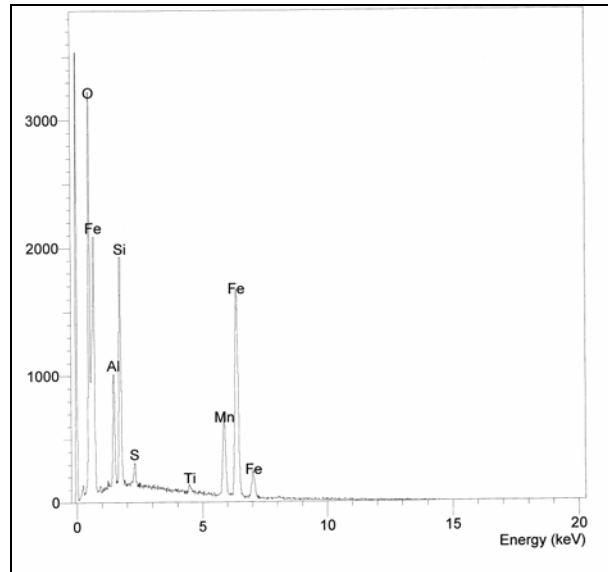
Gambar 6. Struktur Mikro Ferit Widmanstatten



Gambar 7. Hasil Uji SEM untuk menampilkan Bentuk Inklusi (a). Pembesaran 7000X, (b) pembesaran 4000X. (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 [6]. Dengan demikian inklusi di satu sisi bermanfaat untuk membantu terbentuknya *acicular ferrite*, dengan catatan persentase jumlah inklusi dapat diatur. Untuk mengamati dan meneliti bentuk dan komposisi kimia inklusi maka dilakukan pengujian SEM dan EDAX, yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.

Dari gambar 7 terlihat bahwa inklusi berbentuk bulat dan disekitar inklusi adalah struktur ferit *acicular* yang berbentuk seperti anyaman dan bentuk inilah yang disebut dengan *interlocking structure*. Ferit *acicular* tumbuh secara radial dari inklusi sehingga membentuk struktur *interlocking*. Dalam batas tertentu inklusi dibutuhkan untuk nukleasi ferit *acicular* [6]. Hasil analisis EDAX pada inklusi yang ditunjukkan oleh Tabel 1.



Gambar 8. Inklusi Kimia Hasil Uji EDAX

Tabel 1. Komposisi Kimia dari Inklusi (dalam % berat)

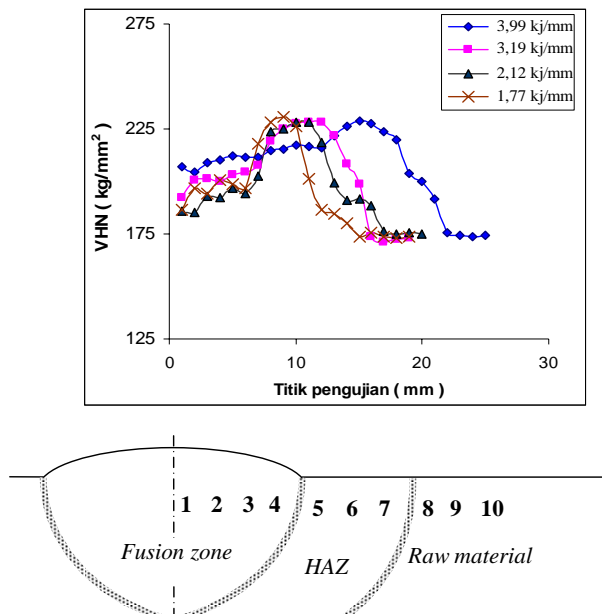
No	Unsur Kimia	Element (% wt)	Atomic (% vol)
1	O	58,22	79,08
2	Al	3,41	2,75
3	Si	4,61	3,57
4	S	4,27	2,89
5	Ti	2,72	1,23
6	Mn	8,17	3,23
7	Fe	18,60	7,24
Total		100	100

Dari unsur-unsur yang teridentifikasi terlihat bahwa inklusi tersusun oleh berbagai jenis senyawa/fasa, yang kemungkinan berupa campuran Al_2O_3 , SiO_2 , MnO , TiO , dan CuS atau MnS .

Pada pengujian kekerasan yang dilakukan, jumlah titik uji yang diambil berbeda antara spesimen satu dengan yang lain. Hal ini disebabkan oleh area spesimen yang terpengaruh oleh panas pengelasan berbeda-beda. Hasil pengujian kekerasan pada masing-masing masukan panas ditunjukkan oleh Gambar 9.

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa luasan dari daerah yang terpengaruh panas baik daerah lasan maupun HAZ adalah berbeda antara satu dengan yang lain. Terbukti bahwa *heat input* sangat mempengaruhi luasan dari daerah yang terpengaruh panas. Sedangkan angka kekerasan pada masing masing daerah hampir merata. Tetapi daerah HAZ merupakan daerah yang mempunyai angka kekerasan paling tinggi. Hal ini terjadi karena di daerah HAZ terjadi pengkasaran butir dan struktur yang terbentuk didominasi oleh struktur bainit. Angka kekerasan pada daerah HAZ tertinggi dicapai pada *heat input* 1,77 kJ/mm yakni

sebesar 230,9 kg/mm². Dan juga angka kekerasan rata - rata tertinggi dicapai pada *heat input* 1,77 kJ/mm, hal ini disebabkan oleh laju pendinginan yang lebih cepat dibandingkan dengan laju pendinginan pada *heat input* yang lain.



Gambar 9. Kurva Uji Kekerasan untuk Las, HAZ, dan Logam Induk

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

Jika masukan panas besar maka laju pendinginan proses pengelasan menjadi lambat, akibatnya struktur yang terbentuk didominasi oleh ferit batas butir yang bersifat lunak. Dari masukan panas yang ditetapkan dapat diamati bahwa masukan panas yang optimal diperoleh pada *heat input* 2,12 kJ/mm, yang ditandai dengan jumlah struktur ferit *acicular* yang maksimal dibandingkan dengan yang lain. Inklusi memicu terbentuknya ferit *acicular* dan inklusi yang terbentuk berupa Al₂O₃, SiO₂, TiO, dan MnS. Daerah HAZ merupakan daerah yang mempunyai angka kekerasan paling tinggi.

Hal ini terjadi karena di daerah HAZ terjadi pengkasaran butir dan struktur yang terbentuk didominasi oleh struktur bainit. Angka kekerasan pada daerah HAZ tertinggi dicapai pada *heat input* 1,77 kJ/mm yakni sebesar 230,9 kg/mm².

DAFTAR PUSTAKA

1. Cary, H.B., *Modern Welding Technology*, 4th edition, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1998.
2. Anang, S., dan Wardana, Y., 2006, Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Submerged Arc Welding pada Baja SM 490, *Jurnal Teknik Mesin*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
3. Kou, S., *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, Singapore, 1987.
4. Messler, Jr., *Principles of Welding*, John Wiley & Sons, New York, 1999.
5. Vlack, V., *Ilmu dan Teknologi Bahan terj.* Sriati Djaprie, Cetakan ke-empat, Erlangga, Jakarta, 1981.
6. 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*, Vol.17A, pp.1610-1623, USA, 1986.
7. Harrison, P.L., and Farrar, R.A., Influence of Oxygen-Rich Inclusions on the $\gamma \rightarrow \alpha$ Phase Transformation in High Strength Low Alloy (HSLA) Steel Weld Metals, *Journal of Material Science*, 16, pp 2218-2226, 1989
8. Abson, D.J., dan Pargeter, R.J., Factors Influencing as Deposited Strength, Microstructure and Toughness of Manual Metal Arc Welds Suitable for C-Mn Steel fabrications, *International Metal Reviews*, Vol.31 No.4, pp-141-193, 1986.
9. Fox, A.G., and Evans, G.M., How non-Metallic Inclusions Containing Ti and Al Nucleate Acicular Ferrite in SMA Welds Made on C-Mn Steels, *Weld Journal*, 75 (10) 330s, 1996.