

Analisa Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Daerah Las dan HAZ Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding pada Baja SM 490

Anang Setiawan dan Yusa Asra Yuli Wardana

Jurusan Teknik Penerbangan STTA, Yogyakarta

E-mail: raffiadit@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pengelasan dengan menggunakan metode Sumerged Arc Welding (SAW) adalah pengelasan yang banyak digunakan untuk penyambungan konstruksi berat, misalnya jembatan, perpipaan dan bangunan. Luasnya penggunaan metode ini dikarenakan dapat dilakukan secara otomatis dan memiliki keandalan yang tinggi. Struktur mikro dan ketangguhan las dipengaruhi oleh banyak faktor seperti komposisi kimia logam las, input panas, *filler*, *fluks* dan lain-lain. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa struktur mikro dan ketangguhan hasil pengelasan SAW pada bahan baja karbon rendah. Percobaan dilakukan menggunakan bahan baja SM 490 dan *filler* jenis EH 14 sedangkan input panas yang digunakan adalah 2,1 kJ/mm, 3,16 kJ/mm, dan 4,3 kJ/mm. Hasil penelitian menunjukkan terjadinya pembesaran ukuran butir logam induk untuk setiap kenaikan input panas. Pada heat input 2,1 kJ/mm menunjukkan jumlah *Ferit Accicular* yang lebih banyak, sehingga memberikan nilai ketangguhan las tertinggi pada suhu transisi -10°C sebesar 50 joule dan pada suhu 20°C ketangguhan las tertinggi pada masukan panas 3,16 kJ/mm sebesar 117 joule.

Kata kunci: *Sumerged arc welding*, ketangguhan, input panas.

ABSTRACT

Submerged Arc Welding (SAW) is one of method for welding process which used for the extensions of heavy construction, for example bridge construction. Broadness usage of SAW caused by welding process can be done automatically and have high reliability. Microstructure and toughness properties of weld metal were influenced by many factors such as chemical composition, heat input, filler, fluks, etc. This research aim to study influence of heat input. Welding Process was carried out using SAW with the material is SM 490, filler type used was EH 14 and the heat input were varied at 2,1 kJ/mm, 3,16 kJ/mm and 4,3 kJ/mm. The Results of this research show that an increase on heat input leads to coarsening the microstructure on the weld metal. A maximum percentage of Acicular Ferrite and hence the highest impact toughness were achieved at weld metal with heat input 2,1 kJ/mm where it's 50 joule with transition temperature -10°C . The highest toughness with transition temperature 20°C were obtained at heat input 3,16 kJ/mm where toughness was 117 joule.

Keywords: *Sumerged arc welding*, toughness, heat input

PENDAHULUAN

Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang di sekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal. Untuk mengurangi pengaruh tersebut, maka dalam proses pengelasan perlu diperhatikan metode dan prosedur pengelasan yang benar dan tepat, termasuk pemilihan bahan pengisi (*filler*) yang di gunakan.

Menurut Cary [1] luasnya penggunaan proses penyambungan dengan pengelasan disebabkan oleh biaya murah, pelaksanaan relatif lebih cepat dan mudah serta bentuk konstruksi lebih variatif. Namun demikian disamping keuntungan, sambungan las juga memiliki kelemahan, diantaranya adalah timbulnya lonjakan tegangan yang besar disebabkan oleh perubahan struktur mikro pada daerah sekitar las yang menyebabkan turunnya kekuatan bahan dan akibat adanya tegangan sisa, serta adanya retak akibat proses pengelasan.

Pengelasan dengan menggunakan metode SAW atau las busur terendam adalah pengelasan dengan prinsip logam cair ditutup dengan fluks yang diatur melalui suatu penampang, fluks dan logam pengisi yang berupa kawat pejal diumpankan secara terus menerus [2] sehingga pengelasan tersebut dapat dilakukan secara otomatis dan mudah dalam pengoperasiannya serta memiliki keandalan yang tinggi.

Sambungan las yang akan digunakan pada sambungan konstruksi baja seperti jembatan dan bejana tekan, harus memenuhi persyaratan yang ketat diantaranya adalah tegangan tarik dan ketangguhan harus mempunyai nilai tinggi, minimal 27 Joule pada suhu yang $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ atau 100 Joule pada suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3].

Persyaratan di atas dapat terpenuhi jika struktur mikro logam las berupa *Ferit Accicular*. Menurut Harisson dan Farrar [4], menyatakan bahwa *Ferit Accicular* dapat meningkatkan kekuatan tarik logam las karena ukuran butirannya kecil, sedangkan ketangguhannya yang baik disebabkan oleh adanya struktur *interlocking*

Submerged Arc Welding (SAW)

Submerged Arc Welding merupakan proses pengelasan otomatis dimana busur listrik dan logam cair tertutup oleh lapisan serbuk fluks, sedangkan kawat pengisi diumpankan secara kontinu. Karena panas yang hilang dalam bentuk radiasi sangat kecil maka efisiensi perpindahan panas dari busur listrik ke logam las sangat tinggi yaitu sekitar 90 % [2].

Fluks

Fluks adalah bahan serbuk yang berfungsi sebagai sumber terak untuk melindungi logam cair dari udara sekitarnya, menjaga busur listrik agar tetap stabil, sebagai deoksidator, menghasilkan gas pelindung, mengurangi percikan api dan uap pada pengelasan, serta sebagai sumber unsur paduan. *Basicity Index* (BI) atau indeks kebasaaan digunakan untuk menentukan derajat keasaman atau kebasaaan suatu fluks. BI dapat dibedakan menjadi 4 jenis yaitu bersifat asam jika $BI < 1$, bersifat netral untuk $1 < BI < 1,5$, bersifat semi basa untuk $1,5 < BI < 2,5$ dan bersifat basa jika $BI > 2,5$

Input Panas

Input panas adalah besarnya energi panas tiap satuan panjang las ketika sumber panas bergerak. Input panas (H), dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut [1]:

$$H = P/v = EI/v \quad (1)$$

dimana,

- P : Tenaga input (watt)
- E : Potensial listrik (volt)
- I : Arus listrik (amper)
- v : Kecepatan Las (m/s)

Input panas juga mempengaruhi bentuk penampang lintang lasan (*bead on plate*) yang meliputi besarnya permukaan logam induk yang mencair, permukaan bahan pengisi dan HAZ.

Fungsi utama sumber panas pada las cair (*fusion welding*) adalah untuk mencairkan logam, yang mempunyai dua pengaruh, yaitu; pada pembentukan struktur mikro las dan juga menimbulkan siklus termal daerah lasan yang masing-masing akan dijelaskan sebagai berikut.

Siklus Termal Daerah Lasan

Selama pengelasan berlangsung, logam las dan daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) akan mengalami serangkaian siklus thermal, yaitu pemanasan sampai mencapai suhu maksimum kemudian diikuti dengan pendinginan. Siklus thermal tersebut mempengaruhi struktur mikro logam las dan HAZ, di mana logam las akan mengalami serangkaian transformasi fasa selama proses pendinginan, yaitu dari logam las cair berubah menjadi *Ferit- δ* kemudian γ (*Austenit*) dan akhirnya menjadi α (*Ferrit*). Pada umumnya waktu (*cooling time*) antara temperatur 800°C – 500°C dipakai sebagai acuan pada pengelasan baja karbon, karena pada interval suhu tersebut terjadi transformasi fasa dari *Austenit* (γ) menjadi *Ferrite* atau *Bainite* yang tergantung pada kecepatan pendinginannya. Besarnya waktu pendinginan dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$\Delta t_{8/5} = \frac{q/v}{2\pi k} \left[\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right] \quad (2)$$

dimana:

- $\Delta T_{8/5}$: Waktu pendinginan antara $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $500\text{ }^{\circ}\text{C}$
- T_0 : Temperatur akhir las ($^{\circ}\text{C}$)
- q : Masukan panas (kJ/mm)
- v : Kecepatan las (mm/s)
- k : Konduktifitas termal ($\text{J}/\text{mm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Struktur Mikro Las

Selama pendinginan dari logam cair sampai menuju suhu kamar, logam las mengalami serangkaian perubahan fasa. Baja karbon rendah (kandungan C $< 0,1\%$) akan mengalami perubahan-perubahan fasa cair menjadi *Ferrite δ* ketika pembekuan berlangsung kemudian berubah menjadi *Austenite γ* dan akhirnya menjadi *Ferrite α* dan *Pearlite*. Struktur mikro yang akan terbentuk ditentukan pada saat pendinginan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi struktur mikro, seperti komposisi akhir logam las, *filler* serta kondisi udara sekitar pengelasan.

Proses pendinginan pada las berlangsung secara kontinu, yaitu proses penurunan suhu berlangsung tanpa adanya penurunan suhu secara mendadak.

Menurut Abson dan Pargeter (1986), struktur mikro yang mungkin terbentuk dari pengelasan adalah:

1. *Proeutectoid Ferrite*, terdiri dari *grain boundary Ferrite* dan *intragranular polygonal Ferrite* pada suhu 1000-650 °C.
2. *Widmanstatten Ferrite* atau *Ferrite with aligned second phase* pada suhu 750-650 °C.
3. *Accicular Ferrite*, tumbuh di dalam butir *Austenite* pada suhu 650 °C.
4. *Bainite*, terbentuk pada suhu 400-500 °C.
5. *Martensite*, terjadi jika pendinginan berlangsung sangat cepat.

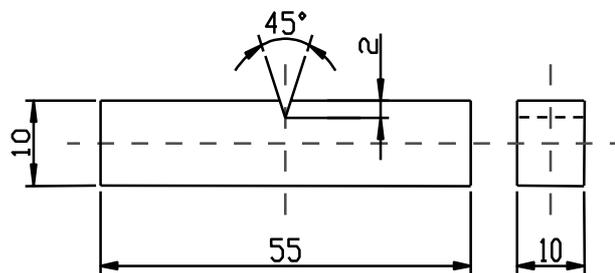
Proses pendinginan hasil pengelasan pada umumnya berlangsung secara cepat sehingga untuk menganalisa struktur mikro hasil pengelasan tidak dapat digunakan diagram fasa. Diagram fasa hanya dapat dipergunakan untuk kondisi dimana laju pendinginan sangat lambat dan proses difusi atom berlangsung. Karena itu untuk menganalisa struktur mikro hasil pengelasan dapat digunakan diagram *Continuous Cooling Transformation (CCT)*.

METODE PENELITIAN

Bahan yang di gunakan pada penelitian ini adalah SM 490 dengan tebal 20 mm yang memiliki spesifikasi tegangan tarik sebesar 490 – 610 N/mm² dan tegangan luluh sebesar 325 N/mm².

Proses pengelasan yang dilakukan menggunakan metode SAW dengan elektrode EH 14 ϕ 4 mm, fluks CHF 101 (by Atlantis) sedangkan input panas yang digunakan adalah 2,1 kJ/mm, 3,16 kJ/mm, dan 4,3 kJ/mm.

Untuk mengetahui Ketangguhan material di adakan Pengujian Impak, dengan bentuk dan ukuran spesimen sesuai dengan standar ASTM [5] seperti ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan komposisi kimia untuk logam induk, filler dan fluks terdapat pada tabel 1, 2, dan 3.



Gambar 1. Spesimen Uji Impak sesuai ASTM E23-96 [5]

Tabel 1. Komposisi Kimia Logam Induk (wt %)

C	Mn	S	P	Ni	Cr
0,146	0,321	0,022	0,012	0,021	0,031

Tabel 2. Komposisi Kimia Elektrode Las (wt %)

C	Mn	Si
0,1	1,9	0,2

Tabel 3. Komposisi Kimia Fluks (wt %)

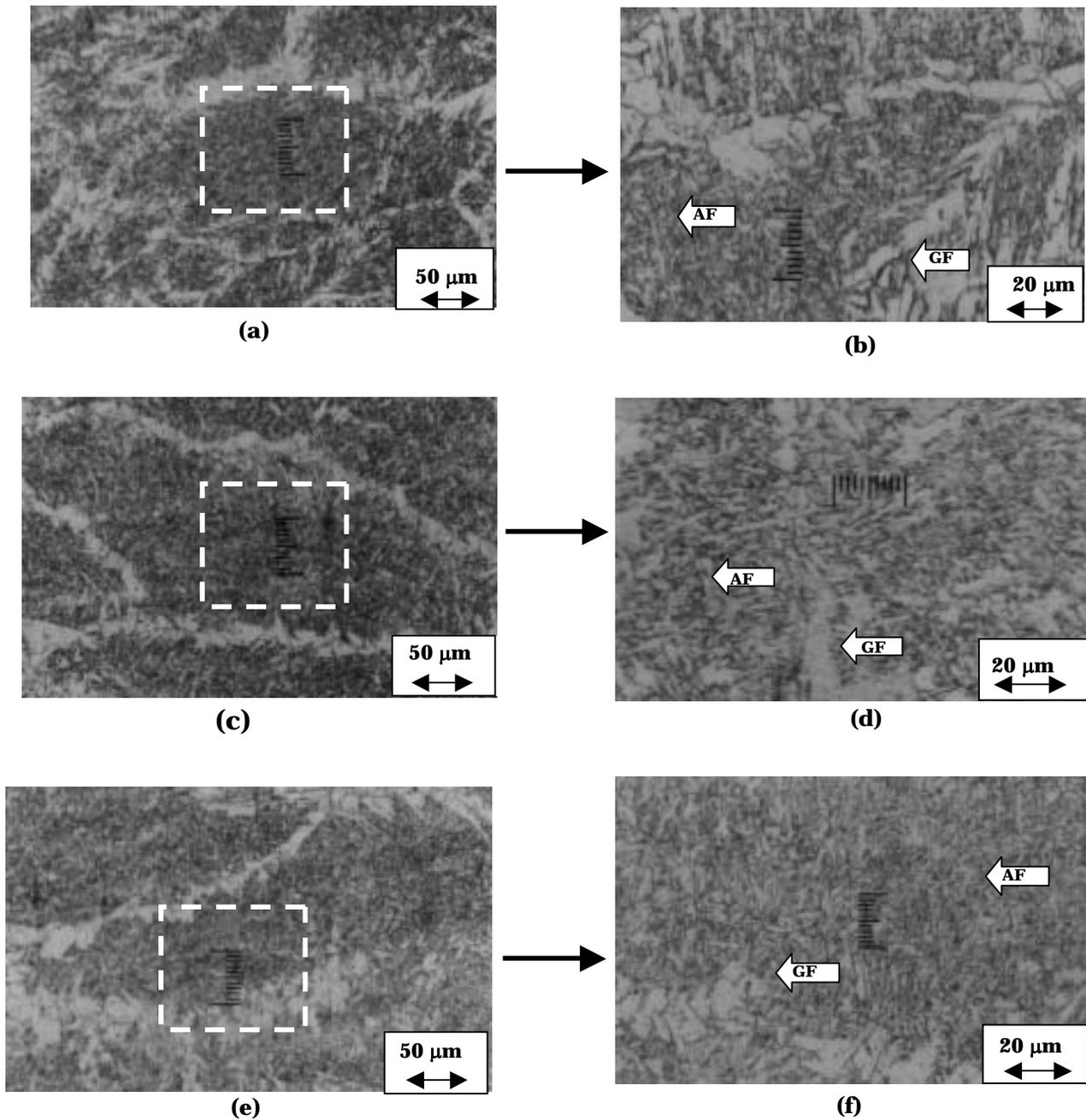
C	Mn	S	P	Ni	Cr
0,12	1.5-1.9	0,035	0,035	0,31	0,2

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pendinginan lambat, *Ferrite* mulai terbentuk pada bagian ujung dan sepanjang batas butir *ausenite* dan mulai tumbuh ke arah dalam butir *Austenite*. *Ferrite* ini dinamakan *grain boundary Ferrite* dan proses terbentuknya *Ferrite* ini berlangsung secara difusi karbon. Dari batas butir *Austenite* menuju ke dalam butir *Austenite* dengan bentuk pelat yang panjang sedangkan *accicular ferrite* pertumbuhannya di fasilitasi oleh adanya kerapatan dari tempat pembutiran atau nukleasi yang tinggi. Inklusi membantu untuk tumbuhnya *Acicular Ferrite*. *Acicular Ferrite* berbentuk jarum dengan orientasi arah acak.

Kecepatan pendinginan tinggi maka karbon sulit untuk berdifusi ke *Austenite*; hal ini menyebabkan terjadinya struktur mikro berupa *Bainite* yang merupakan agregat dari *Ferrite* dan *Cementite* (Fe₃C). *Bainite* dapat di kelompokkan menjadi bainit atas dan bainit bawah. Bainit atas adalah *Ferrite* yang tumbuh dari batas butir *Austenite* dan berbentuk pelat dengan Fe₃C berada di antara plat-plat *Ferrite* tersebut, sedangkan *Bainite* bawah Fe₃C berada di dalam *Ferrite* berbentuk plat.

Kecepatan pendinginan sangat cepat transformasi terjadi tanpa adanya proses difusi karbon dan menghasilkan *Martensite*. Untuk mendapatkan struktur mikro hasil pengelasan yang baik maka unsur-unsur paduan, waktu pendinginan dan ukuran butir *Austenite* harus tepat.



Gambar 2. Struktur Mikro Daerah Las

Keterangan:

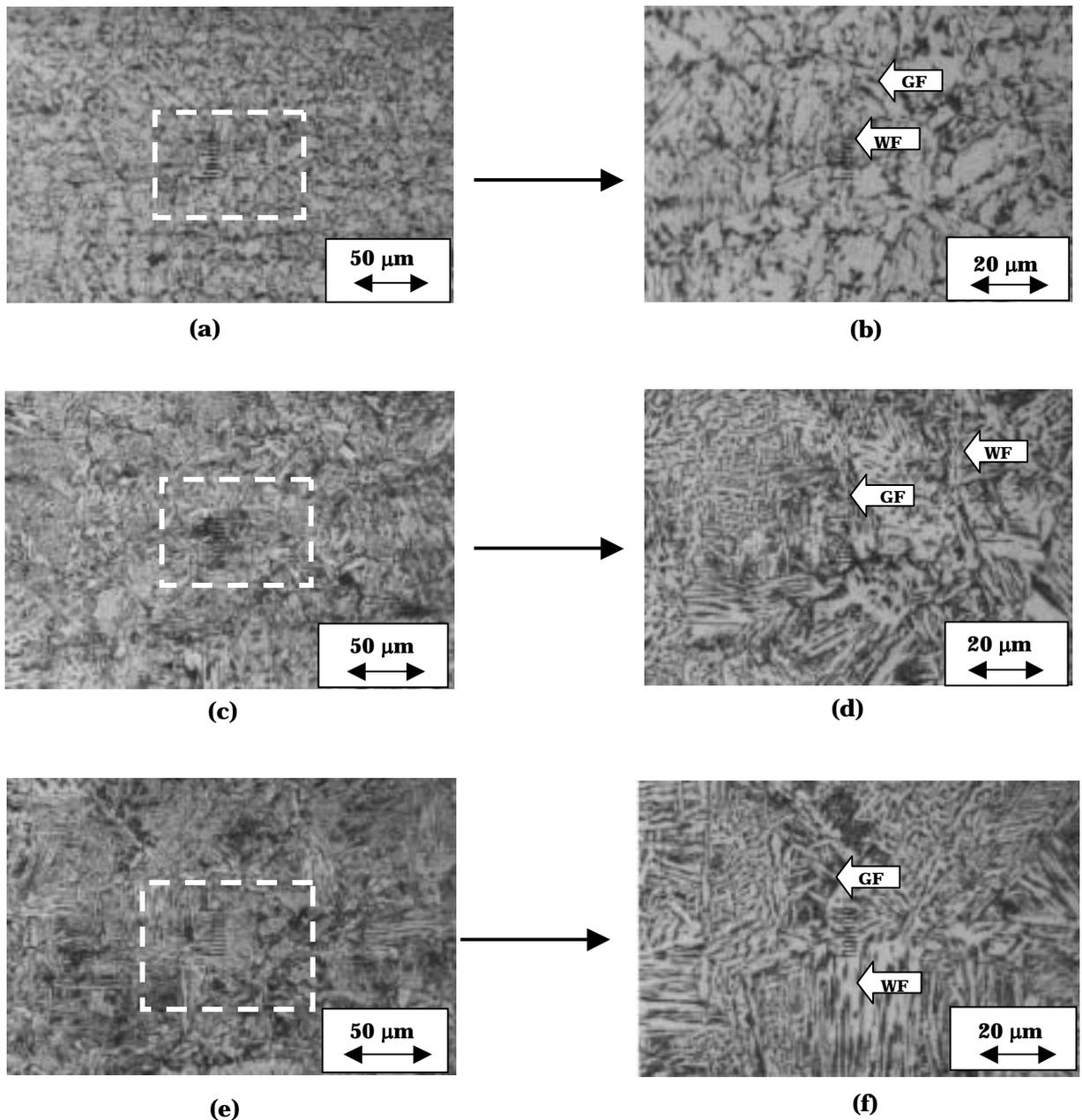
(a), (b) hasil pengelasan dengan heat input 2,16 kJ/mm,

(c), (d) hasil pengelasan dengan heat input 3,4 kJ/mm,

(e), (f) hasil pengelasan dengan heat input 4,3 kJ/mm

AF : *Acicular Ferrite (Accicular Ferrite)*

GF : *Grain boundary Ferrite*



Gambar 3. Struktur Mikro Daerah HAZ

Keterangan:

(a), (b) hasil pengelasan dengan heat input 2,16 kJ/mm,

(c), (d) hasil pengelasan dengan heat input 3,4 kJ/mm,

(e), (f) hasil pengelasan dengan heat input 4,3 kJ/mm

AF : *Acicular Ferrite (Accicular Ferrite)*

GF : *Grain boundary Ferrite (ferit batas butir)*

WF : *Widmanstatten Ferit*

Struktur Mikro

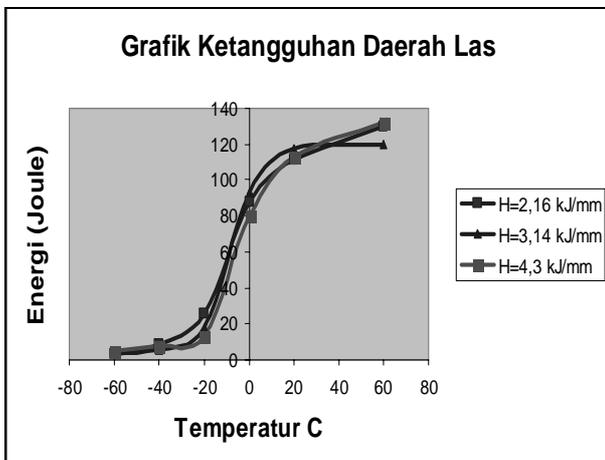
Pengamatan struktur mikro dimaksudkan untuk mengetahui bentuk, susunan, dan ukuran butir pada daerah las dan HAZ. Struktur mikro pengelasan ditentukan oleh banyak faktor diantaranya masukan panas, kuat arus, filler dan fluks, kecepatan las, dan laju pendinginan.

Pengaruh heat input terhadap struktur mikro logam las terlihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2a dan b menunjukkan struktur mikro yang terbentuk didominasi oleh Ferit batas butir dan *accicular Ferrite*, Terbentuknya struktur seperti ini disebabkan oleh pendinginan yang relatif cepat. Pada Gambar 2c dan d terlihat peningkatan *accicular Ferrite*, namun Ferit batas butir juga masih tinggi, ini disebabkan laju pendinginan semakin lambat. Untuk Gambar 2e dan f menunjukkan bahwa jumlah struktur *accicular Ferrite* terlihat lebih banyak. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya masukan panas yang sesuai untuk terbentuknya *accicular Ferrite*. Sedangkan untuk daerah HAZ pada masukan panas 2,16 kJ/mm struktur kolumnar lebih halus dan memiliki struktur *Widmanstanten Ferit* yang lebih sedikit hal ini terjadi karena proses pendinginan yang lebih cepat (Gambar 3a) lain halnya pada masukan panas 4,3 kJ/mm menghasilkan struktur mikro yang didominasi oleh *Widmanstanten Ferit* dan memiliki kolumnar yang lebih besar (Gambar 3e).

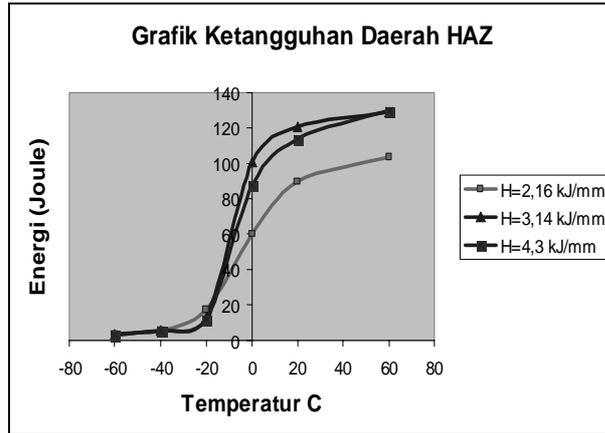
Ketangguhan

Pengujian impact bertujuan untuk mengetahui ketangguhan daerah las. Pengujian ketangguhan dilakukan pada suhu -60 °C, -40 °C, -20 °C, 0 °C, 20 °C dan 60 °C. Pengujian impact menunjukkan bahwa besarnya masukan panas mempengaruhi ketangguhan lasan.

Hasil uji ketangguhan impact pada daerah las terlihat bahwa variasi suhu pengujian sangat mempengaruhi nilai ketangguhan dari sambungan las



Gambar 4. Hasil Uji Impact Daerah Las



Gambar 5. Hasil Uji Impact Daerah HAZ

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin rendah suhu pengujian maka nilai ketangguhan dari sambungan las semakin rendah, dan semakin tinggi suhu pengujian maka semakin besar nilai ketangguhan sambungan las. Pada pengujian temperatur terendah masukan panas relatif tidak mempengaruhi ketangguhan las karena pada kurva terlihat kecil sekali perubahannya. Suhu transisi terjadi pada suhu -10 °C, ketangguhan yang paling tinggi terjadi pada masukan panas 2,16 kJ/mm dengan nilai 50 joule sedangkan ketangguhan tertinggi pada suhu 20 °C pada masukan panas 3,14 kJ/mm adalah 117 Joule. Ketangguhan daerah HAZ pada suhu transisi -20 °C paling tinggi di capai oleh masukan panas 2,16 kJ/mm sebesar 17,5 joule.

KESIMPULAN

1. Secara umum masukan panas mempengaruhi nilai ketangguhan dan struktur mikro daerah las dan HAZ bahan baja SM 490.
2. Pada masukan panas 2,1 kJ/mm memiliki Nilai ketangguhan optimal sebesar 50 joule pada suhu transisi -10 °C hal ini disebabkan karena Frekuensi *acicular Ferrite* yang lebih banyak
3. Pada masukan panas 4,3 kJ/mm paling kecil karena terjadi pendingin yang paling lambat sehingga menghasilkan struktur mikro yang didominasi oleh *grain boundary Ferrite*.
4. Untuk daerah HAZ kenaikan masukan panas menyebabkan meningkatnya prosentase *Widmanstanten Ferit*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Cary, H.B., *Modern Welding Technology*, Third Edition, Printice Hall, New Jersey, 1989.
2. Wiryosumarto, H. dan Okumura, T., *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradya Paramita, Jakarta, 2000.

3. Johnson, M.Q., Evans, G.M and Edwards, G.R., The Influences of Addition and Interpass Temperatur on the Microstructures and Mechanical Properties of High Strength SMA Weld Metals, *ISIJ International* vol 35 No. 10, 1985, pp. 1222-1231.
4. Harrison, P.L, dan Farrar, R.A., Influence of Oxigen-rich Inclusions on the γ - α Phase Transformation in High Strength Low Alloy (HSLA) Steel Weld Metals, *Journal of Material Science*, 16, 1981, pp. 2218-2226.
5. ASTM Standards, *Metal Test Methods and Analytical Procedures* Volume 03.01 Edisi 3, West Conshohocken, 2001.