

PENGARUH MASUKAN PANAS PENGELASAN KAMPUH V TERHADAP STRUKTUR MIKRO

Asfarizal

Staf pengajar jurusan teknik mesin fakultas teknik
Institut Teknologi Padang

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh masukan panas pengelasan kampuh V terhadap struktur mikro. Sampel uji pengelasan ini menggunakan baja karbon rendah sebagai logam induk (Parent Metal) sedangkan elektroda yang digunakan dengan kode AWS 6013 diameter 2,6 mm. Pengelasan dilakukan dengan cara manual dan pemotongan sampel uji metalografi dilakukan pada bengkel Baristand Industri Padang. Untuk pengamatan dan pemotretan struktur mikro dilakukan pada Laboratorium Material Fakultas Teknik Mesin dan Material Institut Teknologi Padang. Dari penelitian ini dapat dibuktikan pertumbuhan ukuran butir daerah HAZ lebih besar dari logam induk karena pengaruh masukan panas pengelasan. Ukuran butir rata-rata daerah Fusion Zone, HAZ, dan Base Metal adalah 2,58 μm , 14,87 μm , dan 9,29 μm .

Kata kunci: Temperatur, Pengelasan, Struktur Mikro

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat menuntut tersedianya bahan baku yang harus diolah menjadi bahan jadi. Penggunaan teknologi pada masyarakat sangat mendukung akan aktivitas dan fasilitas manusia, misalnya teknologi pengelasan sangat banyak diminati pemakaiannya untuk penyambungan material logam dan sering ditemui pada pengerjaan konstruksi, industri mesin pertanian, gerbong kereta api.

Banyak penelitian mahasiswa mengenai pengelasan terhadap sifat-sifat mekanik dan jarang sekali penelitian yang meneliti struktur mikro hasil pengelasan. Oleh karena itu, penulis berkeinginan untuk meneliti Pengaruh Masukan Panas Pengelasan Kampuh V Terhadap Struktur Mikro

Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Jenis material yang digunakan adalah baja karbon rendah (mild steel) dengan karbon kurang dari 0,25 % sebagai logam induk dengan tebal 12 mm
2. Jenis pengelasan yang dilakukan adalah las busur listrik logam berpelindung/ *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), dan pengelasan dilakukan dengan cara manual
3. Jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan kampuh V.
4. Jenis elektroda yang digunakan adalah E. 6013 diameter 2,6 mm
5. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variabel yang mempengaruhi yaitu *Heat Input* (HI) dari arus pengelasan sedangkan variabel yang dipengaruhi yaitu ukuran daerah butir pada struktur mikro pada daerah logam

pengisian las (*Fusion Zone*), Daerah Pengaruh Panas Pengelasan (*Heat Affected Zone*), dan logam induk (*Base Metal*).

6. Pendinginan setelah pengelasan dilakukan dengan membiarkan dingin pada udara terbuka.

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh panas pengelasan terhadap arus yang digunakan
2. Mengetahui struktur mikro dari penyambungan logam yang dipengaruhi oleh panas pengelasan berlapis kampuh V pada Daerah Pengisian Logam Las (*Fusion Zone*), Daerah Pengaruh Panas Pengelasan (*Heat Affected Zone*) dan logam induk (*Base Metal*).

Manfaat Penelitian

Memberikan informasi baru kepada industri yang bergerak dalam produksi yang berhubungan dengan pengelasan, sehingga dapat mengetahui struktur mikro yang terbentuk pada pengelasan kampuh V. Serta memberikan tambahan pengetahuan dalam penelitian bidang material dalam meneliti struktur mikro yang terdapat material yang dilas karena penelitian bidang material yang sebelumnya banyak meneliti dengan melakukan pengujian secara mekanik yaitu pengujian tarik dan pengujian kekerasan

Asumsi

1. Welder bekerja dengan stabilitas yang baik
2. Mesin las sudah dikalibrasi
3. Waktu pengelasan pada masing-masing masukan panas adalah sama
4. Voltase pada masing-masing masukan panas adalah sama.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian eksperimental. Dalam melakukan penelitian ini dilakukan terdapat 2 (dua) tahapan kerja :

- Proses Pengelasan dilaksanakan di Balai Riset dan Standardisasi Industri (Baristand Industri) Padang
- Pengujian Metalografi dilakukan di Laboratorium Material Fakultas Teknik Mesin dan Material Institut Teknologi Padang

2. Material Benda Uji

Jenis material benda uji adalah baja karbon rendah (*mild steel*) dimana material ini sanggup untuk di las dengan menggunakan elektroda 6013. Perlakuan material benda uji memiliki beberapa tahapan yaitu membuat material untuk pengujian panas pengelasan dan pengambilan sample uji pengelasan untuk pengujian struktur mikro.

3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini dilakukan pada 2 tempat yaitu pada Balai Riset dan Standardisasi Industri Padang (Baristand Industri) Padang dan Laboratorium Material Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Padang. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Mesin Las
Spesifikasi mesin yang digunakan untuk melakukan proses pengelasan kampuh V adalah :
 - Merk : Miller
 - Tipe : Thunderbolt 300
 - Voltase Output : 30 Volts
 - Max. Ampere : 300 Ampere
 - Duty Cycle : 20%
 - Max OCV : 80
- Mesin Poles
Spesifikasi alat untuk pemolesan adalah :
 - Merk : 100 V (satu phase)
 - Tipe : 511 rpm
 - Piring Poles : besi cor, dia. 200 mm
- Mikroskop Optik

Mikroskop optik yang digunakan adalah mikroskop otik logam (*Metallurgy Microscope*). Adapun data spesifikasi mikroskop tersebut adalah:

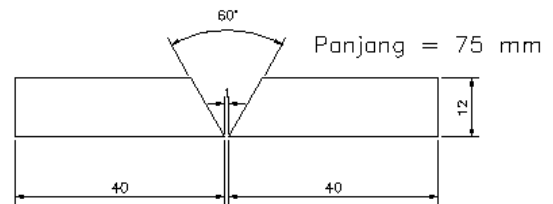
- Merk : Epiphot-300
- Digunakan dengan kamera khusus (*Photomicro equipment*) Merk Nikon, kamera ini dapat digunakan untuk memotret bentuk struktur mikro material uji yang telah dipersiapkan sebelumnya dengan pembesaran yang bervariasi. Pembesaran maksimum yang dapat dilihat dengan mikroskop ini adalah 1000X.

4. Prosedur Pengujian Pengelasan

i. Persiapan Material Uji Pengelasan

Material uji yang digunakan atau yang dipersiapkan adalah baja karbon rendah (*mild steel*) berjumlah 3 buah :

- 1 buah material uji untuk pengelasan arus 80 A (Kode 80)
- 1 buah material uji untuk pengelasan arus 85 A (Kode 85)
- 1 buah material uji untuk pengelasan arus 90 A (Kode 90)



Gambar-1 Bahan Uji

ii. Proses Pengelasan

Adapun prosedur yang dilakukan dalam pengelasan ini adalah sebagai berikut :

- Persiapkan material uji seperti gambar 3.1
- Pesiapan mesin dan peralatan pengelasan seperti (mesin las listrik, klem massa, pemegang elektroda, kabel las, sikat kawat baja, Kaca mata las, sarung tangan las, palu terak dan lain-lain.
- Pasang elektroda 6013 pada stang pemegang elektroda
- Pilih arus 80 A untuk melakukan pengelasan (kode material uji 80A)
- Lakukan pengelasan pada material lain untuk pengambilan api las (pengambilan api las pada ujung elektroda, jika ada penggantian elektroda maka dilakukan pengambilan api pada material yang lain tersebut). Hal ini dilakukan diluar material uji pengelasan
- Memberikan las ikat (*tack weld*) agar tidak terjadi perubahan bentuk setelah pengelasan selesai
- Lakukan pengelasan awal dengan pembuatan *root* atau akar las dengan cara menarik api busur las ke dalam celah material tersebut.
- Bersihkan terak dengan menggunakan palu dan sikat baja dan dinginkan pada udara terbuka
- Lakukan pengelasan selanjutnya untuk pembuatan lapis yang yang kedua dan seterusnya seperti no. 7 dan 8 (lapis yang kedua dan seterusnya dilakukan pengelasan dengan cara mengayun)
- Lakukan hal yang sama pada pengelasan arus 85 A, dan 90 Ampere pada material uji dengan kode 85 A dan 90 A.

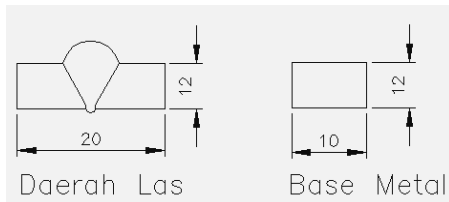
5. Pengujian Metalografi

Pengujian metalografi bertujuan untuk melihat struktur mikro yang terjadi setelah dilakukannya pengelasan.

Persiapan Spesimen Uji

a. Pemotongan Spesimen Uji

Spesimen uji metalografi diambil pada hasil pengelesan Kampuh V dengan dimensi spesimen seperti gambar 3.2 dibawah ini:



Gambar-2 Potongan Material Uji menjadi Spesimen Uji Metalografi

Dari gambar 3.4 diatas maka diambil pemotongan untuk pengambilan spesimen uji metalografi dengan ukuran panjang minimal 20 mm, lebar 10 mm dan tebal minimal 12 mm.. Untuk base metal, spesimen uji yang digunakan bahan di luar hasil pengelasan atau pemotongan spesimen pada material uji yang tidak di las.

Keterangan Contoh Kode:

- Spesimen 1 dengan kode 80 A : Pengelasan dengan arus 80 A
- Spesimen 2 dengan kode 85 A : Pengelasan dengan arus 85 A
- Spesimen 3 dengan kode 90 A : Pengelasan dengan arus 90 A

b. Pengampelasan

Pengampelasan dilakukan tegak lurus dengan arah putaran piringan mesin poles, sedangkan ampelas yang dipakai dari yang kasar sampai yang paling halus (dengan urutan nomor ampelas 150, 300, 500, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000)

c. Pemolesan

Pemolesan menggunakan kain beludru dengan pasta jenis Autosol, selama pemolesan spesimen digerakan ke titik pusat dan sisi piringan dengan tujuan agar partikel-partikel yang abrasive dapat terdistribusi secara merata diatas piringan pemoles. Disamping itu pemolesan juga harus diputar untuk mencegah terjadi ekor komet pada spesimen.

d. Pengetsaan

Proses etsa diakhiri jika pengamatan mikroskop telah adanya butir dan batas butir. Pengetsaan adalah proses pencelupan spesimen ke dalam larutan etsa selama 3 detik yang bertujuan untuk mengkorosi batas butir sehingga struktur mikro dapat terlihat. Larutan etsa adalah etsa campuran antara 2 ml HNO₃ + 90 ml methanol. Setelah

melakukan pengetsaan lalu disiram dengan air yang mengalir dan keringkan dengan menggunakan Hair dryer. Setelah itu lihat hasil dengan menggunakan mikroskop optik. Jika batasnya belum terlihat maka lakukan pengetsaan berulang samapai terlihat batas butir.

6. Pemeriksaan dengan mikroskop optik

Pemeriksaan dengan mikroskop bertujuan untuk mengamati bentuk struktur makro dan mikro yang terjadi pada setiap layer pengelasan. Pemeriksaan ini dilakukan dengan meletakkan spesimen diatas lensa objektif mikroskop. Permukaan yang akan dilihat pada penelitian ini adalah bagian logam pengisian las (*Fusion Zone*), *Heat Affected Zone* (HAZ) dan Logam Induk (*Base Metal*). pada permukaan yang telah di etsa atau bagian yang akan dilihat jangan tersentuh dengan tangan. Pengamatan dilakukan dengan lensa objektif dengan pembesaran yang bisa dilihat struktur butir hingga dapat mengukur butir tersebut. Jika pembesaran pada objek 100 x, maka pembesaran pada mata (penglihatan) dikalikan dengan 10 menjadi pembesaran 1000 kali.

i. Pemotretan

Pemotretan dilakukan dengan peralatan fotografi yang dipasang pada mikroskop, yang bertujuan untuk mendapatkan gambar struktur mikro yang terbentuk. Pemotretan ini dilakukan setelah lensa objektif terfokus dengan baik dan cahaya yang diberikan diatur cukup secukupnya. Dari hasil pemotretan dapat diketahui perubahan struktur mikro yang terjadi.

ii. Metode Analisa Data

Fasa yang terbentuk setelah pengelasan dapat dilihat dengan membandingkan gambar hasil pemotretan dari spesimen dengan gambar-gambar atau matrik dari fasa-fasa yang telah ada. Diagram Fasa Fe-Fe₃C sangat membantu analisa karena bisa menentukan temperatur cair logam pengisian las dan Diagram CCT dan TTT sebagai acuan tambahan pengamatan temperatur terhadap waktu pendinginan. Pengamatan dari hasil photo dapat membedakan batas HAZ dengan *base metal* dengan melihat ukuran besar butir dari struktur mikro dari pengujian metalografi ini.

Dari pemotretan yang berupa gambar dapat ditentukan ukuran butir dari spesimen metalografi. Pada photo struktur mikro dibuat garis horizontal sepanjang photo. Dari garis tersebut dapat ditentukan jumlah titik potong antara garis horizontal dengan batas butir. Sebaiknya gunakan garis horizontal sebanyak tiga buah garis. Agar mendapatkan hasil yang lebih presisi. Dari ketiga garis tersebut ditentukan jumlah titik potongnya dan dalam hitungan dipakai rata-rata titik potong.

Untuk ukuran butir pada photo dengan menggunakan metoda garis dapat diperhatikan formulanya sebagai berikut :

$$d = \frac{Lt}{MxTp}$$

Dimana :

D = Ukuran butir (µm)

Lt = Panjang garis (mm)

Tp = Jumlah titik potong rata-rata

M = Pembesaran (x)

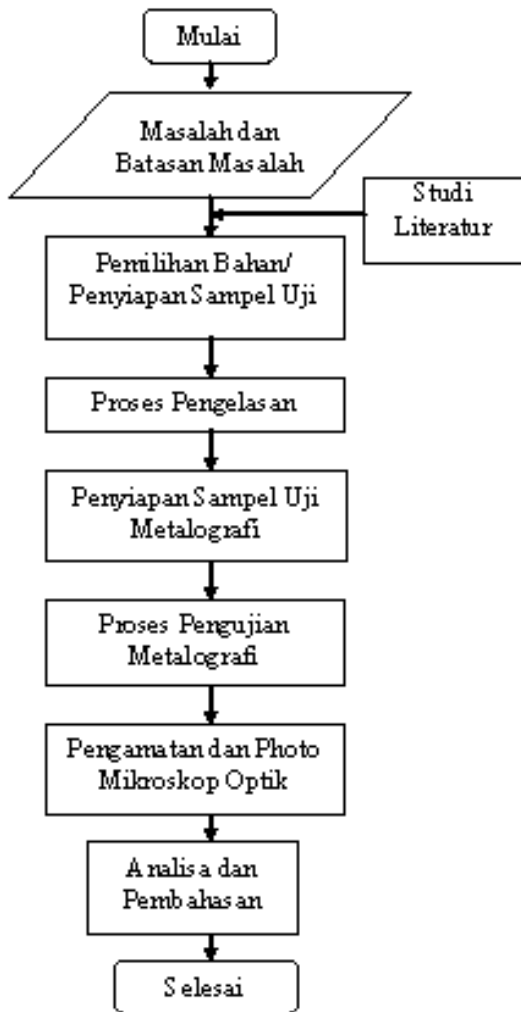
Pada gambar 3 di bawah ini dapat dicontohkan, untuk poembesaran (M) 100X terlihat pada suatu garis tiga dapat berturut-turut 9,6 dan buah titik potong. Dari ketiga titik potong tersebut didapat rata-rata (Tp) 8, panjang dari garis uji adalah 20 mm maka besar butir adalah :

$$d = \frac{Lt}{MxTp}$$

$$d = \frac{20mm}{100x8} = 0,025mm = 25\mu m$$

Maka besar butir pada contoh di atas adalah 25µm.

7. Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar-3 Diagram Alir Metodologi Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pengujian dan pengamatan secara metalografi. Pengujian ini akan menghubungkan pengaruh masukan panas atau *Heat Input* pengelasan yang terjadi pada daerah logam las atau *Fusion Zone*. Sedangkan pengujian metalografi akan membahas pengaruh *Base Metal* setelah dilakukan pengelasan dimana akan terdapat daerah yang terpengaruh panas yang dikenal dengan *Heat Affected Zone* atau HAZ dengan menghitung ukuran butir dengan menggunakan metoda garis. Selan itu juga dapat memprediksi fasa yang terjadi pada hasil photo metalografi.

1. Hasil Pengujian

1.1 Data Waktu Pengelasan

Pengambilan data waktu pengelasan diambil dengan menggunakan arus 80A seperti dilakukan dalam pengujian pengelasan dengan panjang lintasan (L) 7,5 cm

Tabel 4.1 Tabel Pengambilan Waktu Pengelasan

Waktu, t (detik)				t _{rata-rata} (detik)
1	2	3	4	
21	20	18	22	20.25

Keterangan : Pengukuran waktu pengelasan ini dilakukan pada 4 lapis yang terakhir.

Rata-rata waktu (t) yang dilakukan dalam pengelasan ini = 20,25 detik atau 0,3375 menit

Perhitungan Heat Input
 V = Kecepatan pengelasan =

$$\frac{L}{t} = \frac{0,075 m}{0,3375 menit} = 0,2222 m / menit$$

$$HI = \frac{V.I.60}{v}$$

$$= \frac{30 V.80A.60}{0,222 m / menit} = 648006,48 J / m = 0,648 MJ / m$$

Dari perhitungan di atas maka dapat diketahui juga untu arus 85 A dan 90 A sebagai berikut
 Arus 85 A = 0,688 MJ/m
 Arus 90 A = 0,729 MJ/m

1.2 Data Hasil Pengujian Metalografi

Hasil yang didapat dalam pengujian struktur mikro ini berupa gambar-gambar yang dicetak dengan photo. Pada foto tersebut dapat menghitung batas butir yang terjadi pada tiap-tiap spesimen. Berikut ini photo dari logam induk atau material uji pengelasan.



Sampel Base Metal



Sampel 85 Amper



Sampel 80 Amper



Sampel 90 Amper

Gambar-3 Sampel Metalografi

Untuk menghitung besar butir dapat diukur dengan menggunakan metoda garis.

- ❖ Spesimen uji logam induk (*Base Metal*)

Lt = 127 mm

M = 1000 x

Tp = 13,67

$$d = \frac{Lt}{M \times T_p} = \frac{127 \text{ mm}}{1000 \times 13,67} = 0,0093 \text{ mm}$$

d = 0,0093 mm x 1000 = 9,3 μm

- ❖ Ukuran butir daerah HAZ pada arus 80 A atau 0,648 MJ/m

Lt = 127 mm

M = 1000 x

Tp = 9

$$d = \frac{Lt}{M \times T_p} = \frac{127 \text{ mm}}{1000 \times 9} = 0,0141 \text{ mm}$$

d = 0,0141 mm x 1000 = 14,1 μm

- ❖ Ukuran butir daerah las (*Fusion Zone*)

Lt = 127 mm

M = 1000 x

Tp = 57,67

$$d = \frac{Lt}{M \times T_p} = \frac{127 \text{ mm}}{1000 \times 57,67} = 0,002202 \text{ mm}$$

d = 0,002202 mm x 1000 = 2,202 μm

Untuk keseluruhan hasil tersebut dapat juga dilihat melalui tabel 4.2 berikut ini :

Tabel-4.2 Pengukuran Ukuran Butir Struktur Mikro

No	Arus (A)	Daerah	Pembesaran	Jumlah Titik Potong				d (μm)
				Tp ₁	Tp ₂	Tp ₃	Tp	
1	-	Logam Induk	1000 x	12	18	11	13,67	9,3
2	80A	HAZ	1000 x	8	9	10	9	14,1
3	80A	Logam Las	1000 x	55	63	55	57,67	2,2
4	85A	HAZ	1000 x	8	9	8	8,667	14,65
5	85A	Logam Las	1000 x	48	45	47	46,67	2,72
6	90A	HAZ	1000 x	8	7	9	8,00	15,87
7	90A	Logam Las	1000 x	48	45	47	46,67	2,72

1.3 Pembahasan Hasil Pengujian Metalografi

Dengan melakukan pengujian metalografi dapat diamati terjadi pertumbuhan butir yang terjadi pada material uji dimana ukuran butir yang terjadi membesar dari ukuran butir *base metal* atau logam induk atau dikenal dengan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*). Sedangkan butir yang dihasilkan dari logam last atau *fusion zone* memiliki ukuran yang relatif kecil. Sehingga dapat membandingkan pertumbuhan butir pada daerah HAZ sebagai berikut:

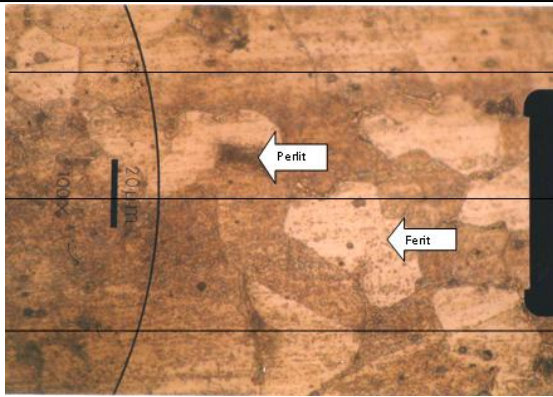
d base metal = 9,3 μm

d HAZ 80 Ampere = 14,1 μm

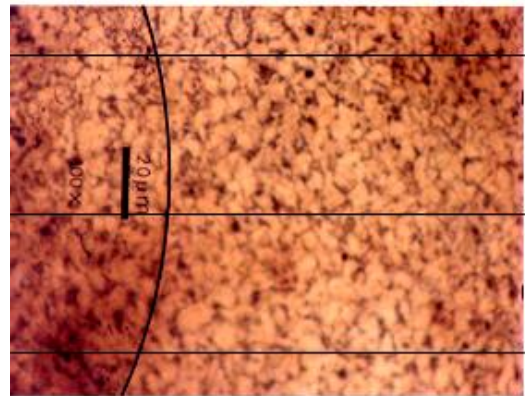
Persentase pertumbuhan butir

$$= \frac{d_{HAZ} - d_{BM}}{d_{BM}} \times 100\% = \frac{14,1 \mu m - 9,3 \mu m}{9,3 \mu m} \times 100\% = 51,8\%$$

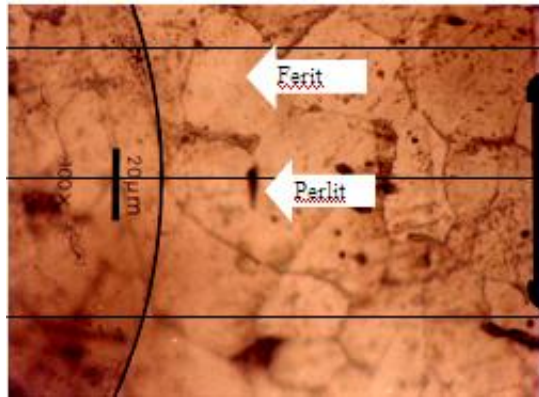
Jadi pertumbuhan butir pada daerah HAZ mencapai 51,8% pada arus 80 Ampere atau 0,648 MJ/m, berdasarkan perhitungan diatas, pada arus 85 Ampere (0,688 MJ/m) mengalami pertumbuhan sebesar 57,6% dan pada arus 90 Ampere (0,729 MJ/m) mengalami pertumbuhan sebesar 70,83%. Dari besar pertumbuhan ini maka dapat dibuktikan bahwa semakin besar *Heat Input* yang masuk maka pertumbuhan butir akan semakin tinggi pada daerah HAZ. Berikut ini merupakan hasil pemotretan dari beberapa foto hasil pengujian metalografi dengan memprediksi fasa yang ada.



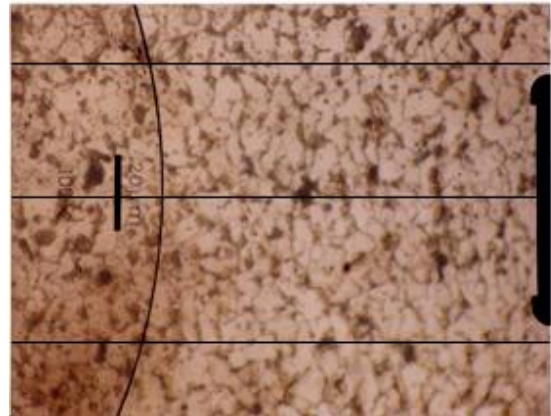
Gambar- 4 Struktur Base Metal, nital 2%, 1000x



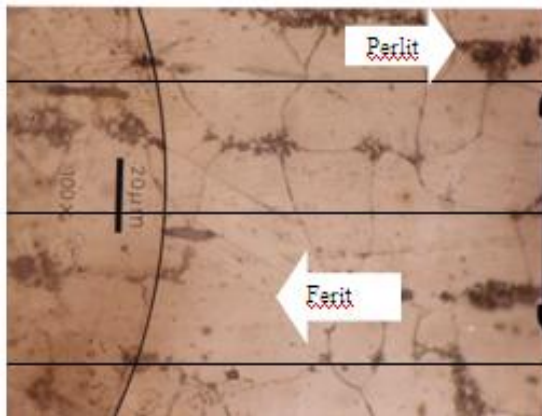
Gambar -8 Struktur Fusion Zone 0,648 MJ/m (80A) MJ/m, nital 2%, 1000x



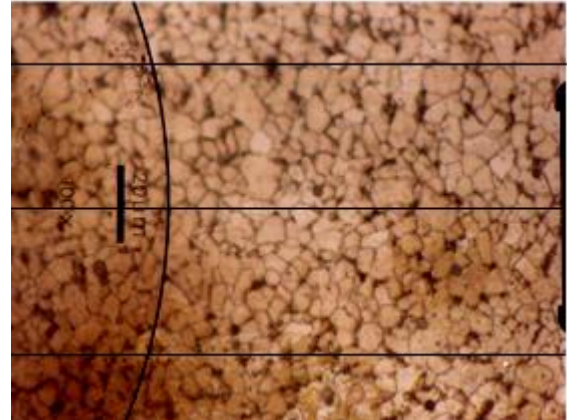
Gambar -5 Struktur HAZ 0,648 MJ/m (80 A), nital 2%, 1000x



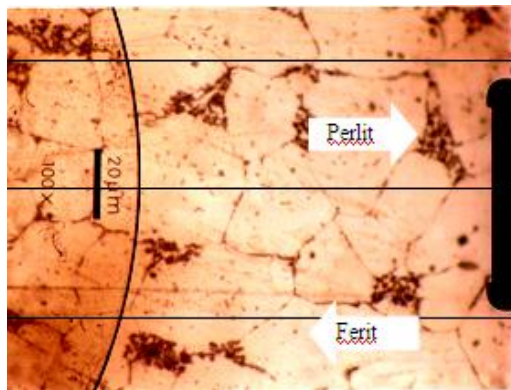
Gambar- 9 Struktur Fusion Zone 0,688 MJ/m (85A), nital 2%, 1000x



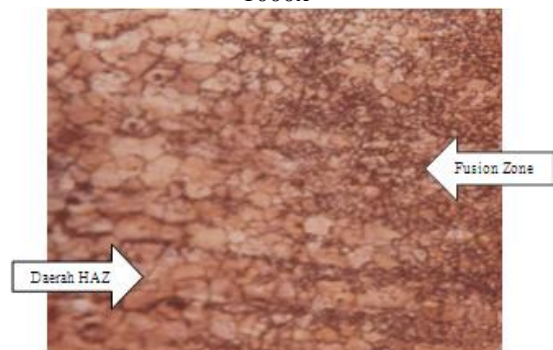
Gambar-6 Struktur HAZ 0,688 (85 A) MJ/m, nital 2%, 1000x



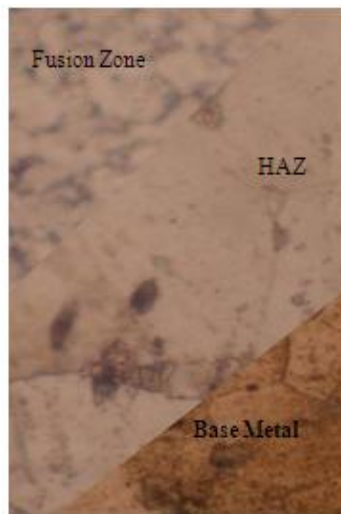
Gambar-10 Struktur Fusion Zone 0,729 MJ/m(90A), nital 2%, 1000x



Gambar- 7 Struktur HAZ 0,729 MJ/m (90 A), nital 2%, 1000x



Gambar-11 Salah Satu Struktur Mikro Daerah Pengelasan Pada 80 Ampere pada pembesaran 20x



(a)



(b)



(c)

Gambar-4.10 Perbandingan Butir (a) HI = 0,648 MJ/m (b) HI = 0,688 MJ/m (c) HI = 0,729 MJ/m

Hubungan Masukan Panas Pengelasan dengan Besar Butir

Berdasarkan pertumbuhan butir pada daerah HAZ yang menyebabkan terjadi pemuaihan pada butir *base metal* karena pencairan logam las mencair diatas 1539°C berdasarkan diagram Fe-Fe₃C. Hal ini mempengaruhi struktur *base metal* yang mencapai temperatur pada daerah austenit (logam induk mengalami austenisasi) sehingga struktur ferrit berubah menjadi menjadi besar, perubahan ukuran butir daerah base metal ini disebut daerah butir pengaruh panas pengelasan atau HAZ (*Heat Affected Zone*). Semakin tinggi heat input yang dihasilkan maka struktur ferrit pada daerah HAZ akan mengalami perubahan menjadi ukurannya menjadi besar. Pada pengujian pengelasan yang berlapis kampuh V, panas yang menyebar pada tiap lapis mengakibatkan energi untuk melepaskan atau membebaskan semakin kecil dan pengaruh bebasnya energi ini ke udara juga semakin kecil, sehingga ukuran butir yang berbentuk ferrit mengalami pemuaihan dan besarnya pemuaihan dapat ditahan karena pembebasan energi yang semakin kecil. Hal ini dapat diambil pendekatan pada diagram TTT dan CCT, bahwa struktur yang terjadi pada pendinginan lambat atau pembebasan energi yang rendah lebih cenderung dan dominan terbentuknya Ferrit dan Perlit pada daerah HAZ.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Terjadinya perubahan struktur mikro di daerah *Fusion Zone* dan *Heat Affected Zone (HAZ)*,
2. Ukuran butir rata-rata daerah *Fusion Zone*, HAZ, dan Base Metal adalah $2,58\ \mu\text{m}$, $14,87\ \mu\text{m}$, dan $9,29\ \mu\text{m}$. Hal ini menunjukkan bahwa di daerah *Fusion Zone* diduga lebih keras dari daerah HAZ dan *Base Metal*.
3. Pertumbuhan butir pada daerah HAZ mengalami peningkatan jika Heat Input bertambah besar sehingga fasa yang terbentuk adalah ferrit dan perlit karena pendinginan yang dilakukan dengan lambat atau mengurangi energi bebas yang menyebar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Design Data, Faculty of Mechanical Engineering PSG College of Technology.1991. Coimbatore
2. Kenyon, W, "Dasar-dasar Pengelasan", terjemahan Dines Ginting, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1987.
3. Metalurgi Las, 2001. Dikat Pendidikan dan Pelatihan Las untuk Tingkat Manager Bandung
4. Metalography and Microstructures, American Society for Metal. Vol.9

5. Probo, Antonius, BE. "Inspeksi dan Pengujian Hasil Las (I/P)" Diktat Pelatihan Pelatihan Pemesinan dan Pengelasan. Bandung
6. Tarmizi, Ir, MT.Met. 2004. "Metalurgi Las (METL)" Diktat Pelatihan Pelatihan Pemesinan dan Pengelasan. Bandung
7. The Procedur Handbook of Arc Welding, 1973. The Lincoln Electric Campany,. Ohio.
8. Voort, Vander. "Metalography Priciples and Practices". Material Science and Engineering Series.
9. Wiryosumarto, Harsono, Prof, Dr. Ir., Okumura, Toshie, Teknologi Pengelasan Logam, Pradya Paramita, 2004, Jakarta
10. Yudia Bakti, Ayi. Ir.. "Pengetahuan Bahan dan Bahan Tambah". Diktat Pelatihan Pelatihan Pemesinan dan Pengelasan. 2004. Bandung.

BIODATA

Asfarizal Saad adalah staf pengajar di jurusan teknik mesin Institut Teknologi Padang sejak tahun 1987, bidang yang ditekuni adalah material dan korosi. Pendidikan S1 diselesaikan di UPI Bandung tahun 1983 dan ITP tahun 1993. Pendidikan S2 diselesaikan di ITB tahun 1998. Sekarang aktif mengasuh mata kuliah material teknik, korosi dan metalurgi fisik.

e-mail: asfarizalsaad@yahoo.com