

Jatmoko Awali

Dosen
Institut Teknologi Kalimantan
Program Studi Teknik Material dan
Metalurgi
jatmoko.awali@lecturer.itk.ac.id

Fahmi Rudiyanto

Institut Teknologi Kalimantan
Program Studi Teknik Material dan
Metalurgi
06161023@student.itk.ac.id

Somalinggi Thesalonicha

Institut Teknologi Kalimantan
Program Studi Teknik Material dan
Metalurgi
06161072@student.itk.ac.id

Muthia Putri Darsini Lubis

Dosen
Institut Teknologi Kalimantan
Program Studi Teknik Material dan
Metalurgi
muthia_lubis@lecturer.itk.ac.id

Rifqi Aulia Tanjung

Dosen
Institut Teknologi Kalimantan
Program Studi Teknik Material dan
Metalurgi
rifqi.aulia@lecturer.itk.ac.id

Yunita Triana

Dosen
Institut Teknologi Kalimantan
Program Studi Teknik Material dan
Metalurgi
nita@lecturer.itk.ac.id

ANALISIS VARIASI ARUS PENGELASAN KOMBINASI SMAW- FCAW DENGAN KAMPUH *DOUBLE* V-GROOVE TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO *DISSIMILAR MATERIAL* JIS G3101-SS400 DAN ASTM A36

This study aims to determine the effect of variations of the current with combining two welding techniques SMAW and FCAW in double v-groove against the hardness and microstructure of the dissimilar material of JIS G3101-SS400 and ASTM A36. JIS G3101 SS400 and ASTM A36 each with a thickness of 10 mm were used as the materials. The combination of SMAW welding with E7018 electrodes and FCAW with E71T-1 were used as the welding techniques. The current used in SMAW welding were 60 A, 75 A, and 90 A. While in FCAW welding the current used were 190 A, 205 A, and 220 A. Hardness and microstructure tests were carried out on each sample. The results of the study showed that the current in welding process affect the hardness value and microstructure of material. The higher the welding current, the value of hardness of the material going to decrease and vice versa. The highest hardness values in SMAW and FCAW welding are at currents of 60 A and 190 A. Then the current in the welding process also affect the microstructure produced in the weld and HAZ. The formed microstructure containing pearlite and ferrite. The higher welding current, the percentage of pearlite produced increase and the percentage of ferrite decrease.

Keywords : Current, FCAW, Hardness, Microstructure, Welding, SMAW

1. PENDAHULUAN

Pengelasan pada industri maritim tentunya tidak dapat dipisahkan, dikarenakan pada sektor tersebut banyak menggunakan teknik penyambungan dengan proses pengelasan untuk memperoleh suatu produk. Dalam industri maritim seperti industri perkapalan, menggunakan lebih dari 90% bahan baku pelat baja, dengan konstruksi penyambungannya menggunakan proses pengelasan [1]. Pada industri tersebut bagian yang membutuhkan teknik penyambungan dengan proses pengelasan yaitu pada lambung kapal.

Pada industri konstruksi perkapalan, khususnya pada bagian lambung kapal harus dilakukan desain dan pemilihan material yang sesuai dalam penggunaannya. Baja JIS G3101-SS400 dan ASTM A36 merupakan jenis baja karbon rendah dengan persentase karbon di bawah 0,3%. Baja karbon rendah merupakan bahan utama dalam konstruksi perkapalan, khususnya pada bagian lambung kapal [2]. Umumnya sering terjadi permasalahan yang ditemukan pada sambungan las di bagian lambung kapal, hal tersebut mengakibatkan terjadinya retakan atau pecahan pada sambungan las. Oleh sebab itu dibutuhkan pemilihan material dan metode penyambungan pengelasan pada konstruksi perkapalan yang memiliki ketangguhan dan kekerasan yang baik.

Pengelasan merupakan penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Menurut definisi *Deutsche Industrie Normen* (DIN), pengelasan merupakan penyambungan

logam dengan ikatan metalurgi dan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair [3]. Penggunaan penyambungan dengan pengelasan banyak digunakan karena pelaksanaan yang relatif lebih cepat, *portable*, biaya lebih rendah dan bentuk konstruksi lebih variatif [4]. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan pengelasan, diantaranya kuat arus, kecepatan pengelasan, bentuk kampuh, polaritas, diameter elektroda, komposisi gas pelindung dan laju aliran gas [5]. Kuat arus dapat divariasikan dengan memberikan parameter pada kuat arus dalam proses pengelasan, yang mana akan mempengaruhi hasil dari logam las, meliputi strukturmikro dan juga sifat mekanik [6]. Jenis-jenis metode pengelasan yang umum digunakan dalam berbagai industri, salah satunya industri perkapalan antara lain metode pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW), dan *Flux Core Arc Welding* (FCAW).

Pengelasan metode FCAW merupakan pengelasan dengan kualitas yang baik dari sifat mekanik yang dihasilkan, namun pengelasan ini tergolong pengelasan dengan kebutuhan biaya yang tinggi. Pengelasan metode SMAW merupakan pengelasan dengan kebutuhan biaya yang lebih rendah dan kualitas yang dihasilkan lebih rendah dibanding metode pengelasan lain [7]. Penyambungan dengan penggabungan dua jenis metode pengelasan saat ini mulai dilakukan di beberapa tipe sambungan las, bertujuan untuk menutupi kekurangan dari masing-masing metode pengelasan dan juga dilakukan pengelasan dengan kombinasi logam (*dissimilar material*) sebagai cara alternatif terhadap keterbatasan material dalam produksi di beberapa industri namun dapat digunakan atau diperoleh bentuk sambungan dengan sifat mekanik yang sama sehingga dapat meningkatkan produktifitas dan juga efisiensi produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus pada pengelasan kombinasi SMAW - FCAW dengan kampuh *double v groove* terhadap kekerasan dan struktur mikro pada *dissimilar material* JIS G3101-SS400 dan ASTM A36. Sehingga dengan dibandingkan 2 metode pengelasan pada 2 jenis material yang berbeda diharapkan sebagai bahan pengembangan dan referensi terbaru untuk meningkatkan produktifitas dan juga efisiensi dalam proses penyambungan dengan teknik pengelasan.

2. METODE DAN BAHAN

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon rendah JIS G3101-SS400 dan ASTM A36, masing masing berukuran 125 x 100 x 10 mm , sebanyak 3 pelat. Kemudian elektroda yang digunakan pada pengelasan SMAW adalah E7018 diameter 2,6 mm dan untuk pengelasan FCAW elektroda yang digunakan adalah E71T-1 dengan diameter 1,2 mm. Gas pelindung yang digunakan yaitu CO₂. Larutan etsa yang digunakan adalah nital 2% (HNO₃ + Alkohol 95%) dengan metode *immerse*.

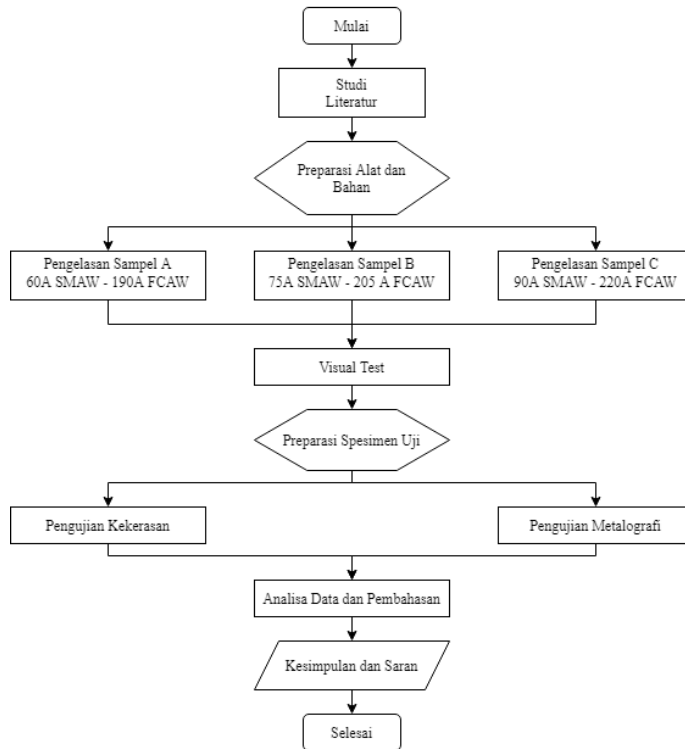
Tabel 1: Parameter pengelasan.

MATERIAL	METODE	ARUS SMAW	ARUS FCAW	POLARITAS
JIS G3101-SS400 dan ASTM A36	SMAW - FCAW	60 A	190 A	DCEP
	SMAW - FCAW	75 A	205 A	DCEP
	SMAW - FCAW	90 A	220 A	DCEP

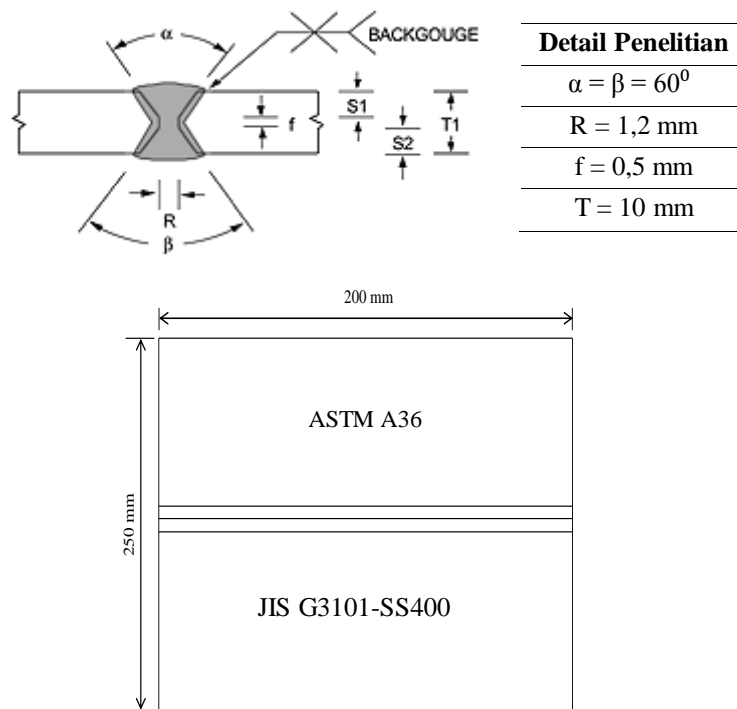
Metode pada penelitian ini yaitu melakukan preparasi yang meliputi pemotongan pelat sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan seperti tercantum dalam diagram alir penelitian pada Gambar 1. Adapun dimensi yang digunakan yaitu 200 mm x 250 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kemudian membuat kampuh dengan bentuk *double V* seperti pada Gambar 2, masing-masing kedalaman sebesar 5 mm untuk pengelasan SMAW dan FCAW, serta sudut kampuh masing-masing 60⁰ . Sampel dibuat sebanyak 3 pelat dengan variasi arus pengelasan SMAW yaitu 60 A, 75 A, dan 90 A. Sedangkan pada pengelasan FCAW variasi arus yang digunakan yaitu 190 A, 205 A, dan 220 A. Proses pengelasan yang pertama dilakukan yaitu dengan metode pengelasan SMAW secara menyeluruh dan didinginkan hingga temperatur ruang, kemudian dilakukan pengelasan dengan metode FCAW. Banyak nya layer yang digunakan pada masing-masing pengelasan yaitu 2 layer seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Adapun parameter pengelasan yang digunakan seperti tercantum pada Tabel 1.

Masing-masing sampel diuji sifat mekanik (kekerasan) dan struktur mikronya. Uji kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Rockwell D*, masing-masing daerah dilakukan pengulangan sebanyak 4 kali. Sampel uji kekerasan dan uji metalografi dibuat masing-masing berukuran 60 x 20 x 10 mm. Kemudian pada proses uji metalografi, sampel uji mikro dilakukan dengan prosedur yang terdiri dari *grinding*, *polishing*, dan *etching*. Proses *etching* menggunakan etsa Nital 2% dengan metode *immerse* selama 6 detik. Pengamatan struktur mikro pada masing-masing daerah lasan (*Base metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal*)

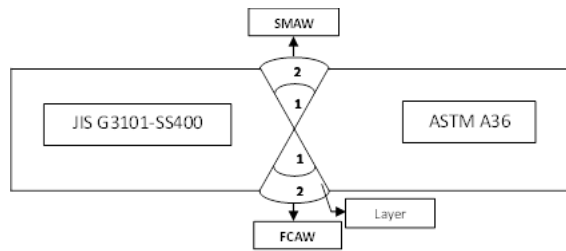
dilakukan dengan mikroskop optik perbesaran 100x, merk Carl-Zeiss di Laboratorium Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Kalimantan. Setelah pengamatan struktur mikro selanjutnya dilakukan perhitungan persentase fasa yang terbentuk dengan menggunakan aplikasi ImageJ.



Gambar 1: Diagram alir penelitian.



Gambar 2: Desain penelitian [7]



Gambar 3: Bentuk layer pengelasan.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Hasil Uji Kekerasan

Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui pengaruh variasi arus pengelasan terhadap distribusi kekerasan pada daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*. Hasil rata-rata tersebut kemudian diplot pada tabel dan grafik batang untuk melihat kecenderungan hasil dari kekerasan, seperti pada Tabel 2 dan Gambar 5-8.



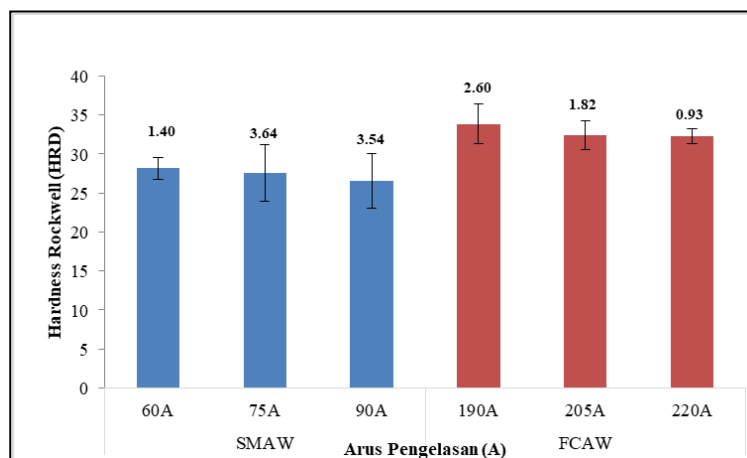
Gambar 4: Spesimen uji kekerasan.

Dari hasil data uji kekerasan yang di peroleh pada Tabel 2, menunjukkan bahwa daerah *weld metal* di dapatkan kekerasan paling tinggi diantara daerah pengelasan lain yaitu daerah HAZ dan *base metal*. Meningkatnya nilai kekerasan di *weld metal* disebabkan terjadinya proses pendinginan yang cepat karena panas yang di peroleh di *weld metal* langsung diserap di daerah pengelasan HAZ. Sehingga menyebabkan nilai kekerasan yang di dapatkan pada daerah *weld metal* lebih tinggi. Kemudian pada saat proses pengelasan berlangsung, busur listrik yang berada diantara ujung elektroda dan logam induk menimbulkan lompatan elektron yang menghasilkan panas dan akan mencairkan ujung elektroda dan sebagian dari logam induk[8]. Sehingga terjadi penambahan paduan yang berasal dari elektroda dan logam induk. Pada pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) elektroda E7018 mengandung Mn 1,02% dan Si 0,31%, kemudian pengelasan FCAW (*Flux Core Arc Welding*) elektroda E71T1-C1A2-CS1-H5 mengandung unsur Mn 1,27% dan Si 0,52% sehingga menimbulkan penambahan komposisi paduan dengan logam induk sehingga mempengaruhi perbedaan kekuatan dari masing masing logam las yang dilakukan pengelasan. *Weld metal* memiliki nilai kekerasan tertinggi, hal ini dikarenakan pada *weld metal* merupakan daerah yang memperoleh tambahan elemen paduan dari logam pengisi [9]. Seperti pada hasil data yang ditampilkan pada grafik hasil uji kekerasan pada daerah *weld metal* di masing-masing pengelasan SMAW dan FCAW, terdapat

ketidakteragaman nilai standar deviasi yang dihasilkan pada arus 75 A dan 90 A pengelasan SMAW yaitu sebesar 3,64 dan 3,54. Ketidakteragaman nilai yang dihasilkan disebabkan ketika dilakukan uji kekerasan dengan pengulangan sebanyak 4 kali terdapat hasil data yang signifikan sehingga mempengaruhi rata-rata dan nilai standar deviasi.

Table 2: Hasil uji kekerasan.

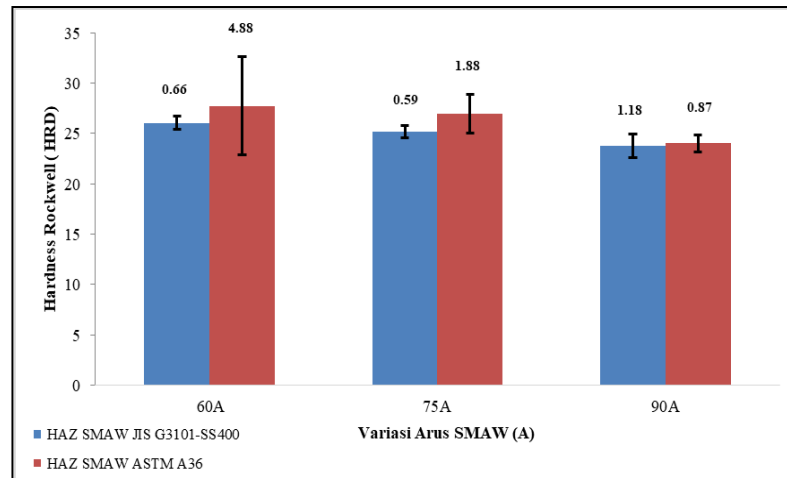
AREA PENGELASAN	ARUS (A)	KEKERASAN (HRD)
<i>Weld Metal</i> SMAW	60 A	28,17
	75 A	27,57
	90 A	26,57
<i>Weld Metal</i> FCAW	190 A	33,87
	205 A	32,40
	220 A	32,30
HAZ SMAW ASTM A36	60 A	27,75
	75 A	26,97
	90 A	24,02
HAZ SMAW JIS G3101-SS400	60 A	26,07
	75 A	25,17
	90 A	23,75
HAZ FCAW ASTM A36	190 A	26,77
	205 A	25,05
	220 A	23,92
HAZ FCAW JIS G3101-SS400	190 A	26,15
	205 A	24,10
	220 A	23,70
<i>Base Metal</i> ASTM A36	60 A / 190 A	16,02
	75 A / 205 A	16,35
	90 A / 220 A	15,57
<i>Base Metal</i> JIS G3101-SS400	60 A / 190 A	16,22
	75 A / 205 A	16,70
	90 A / 220 A	16,50



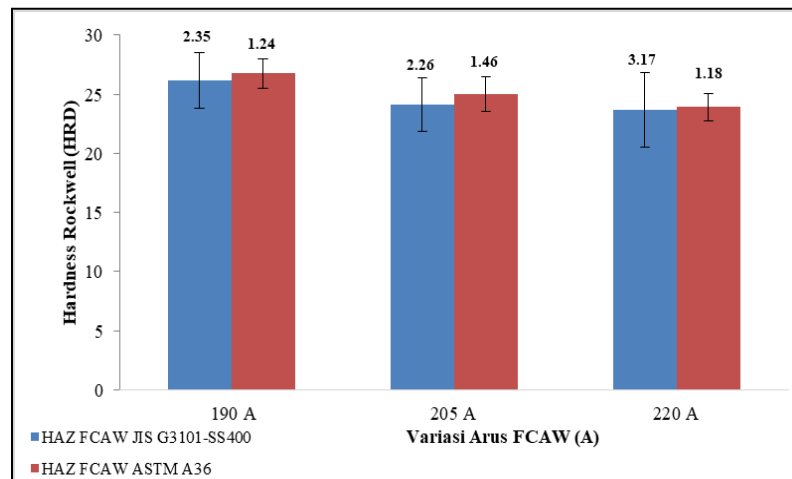
Gambar 5: Grafik hasil uji kekerasan *Weld Metal*.

Pada daerah HAZ SMAW pada masing-masing material ASTM A36 dan JIS G3101-SS400 kekerasan

pada daerah pengelasan HAZ SMAW cenderung mengalami peningkatan dibandingkan pada daerah pengelasan HAZ FCAW di masing-masing material.



Gambar 6: Grafik hasil uji kekerasan daerah HAZ SMAW.



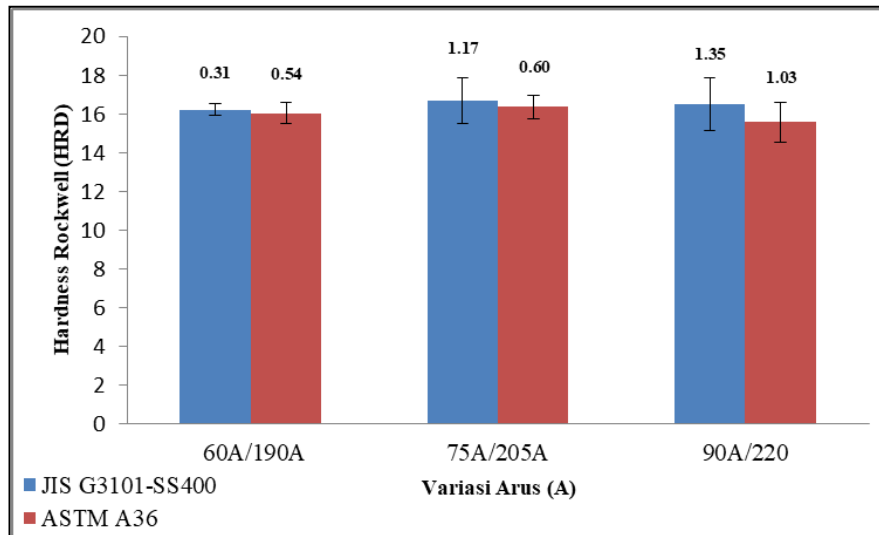
Gambar 7: Grafik hasil uji kekerasan daerah HAZ FCAW.

Peningkatan kekerasan tersebut di sebabkan karena pada spesimen uji proses pengelasan yang terlebih dahulu dilakukan yaitu proses pengelasan SMAW setelah itu dilakukan proses pengelasan FCAW. Dari proses tersebut menyebabkan terjadi peningkatan temperature kembali atau distribusi panas pada daerah las SMAW yang menyebabkan nilai kekerasan pada daerah HAZ SMAW mengalami peningkatan kekerasan. Seperti pada hasil data yang ditampilkan pada grafik hasil uji kekerasan pada daerah HAZ di masing-masing material JIS G3101-SS400 dan ASTM A36. Diperoleh besar standar deviasi pada HAZ SMAW JIS G3101-SS400, pada arus 60 A sebesar 0,66 , arus 75 A sebesar 0,59 , dan pada arus 90 A sebesar 1,18. Sedangkan pada HAZ SMAW ASTM A36, pada arus 60 A sebesar 4,88 , arus 75 A sebesar 1,88 , dan pada arus 90 A sebesar 0,87. Ketidakseragaman hasil data standar deviasi yang diperoleh seperti pada arus 60 A dan 75 A HAZ SMAW ASTM A36 disebabkan karena ketika dilakukan uji kekerasan dengan pengulangan sebanyak 4 kali terdapat hasil data yang signifikan sehingga mempengaruhi rata-rata dan nilai standar deviasi.

Pada daerah *base metal* masing-masing metode pengelasan dan jenis material yang digunakan tidak mempengaruhi dari sifat kekerasan pada *base metal*. Seperti pada hasil data yang ditampilkan pada grafik hasil uji kekerasan, diperoleh besar standar deviasi pada Base Metal JIS G3101-SS400, pada arus 60 A / 190 A sebesar 0,31 , arus 75 A / 205 A sebesar 1,17 , dan pada arus 90 A / 220 A sebesar 1,35. Sedangkan pada Base Metal ASTM A36, pada arus 60 A / 190 A sebesar 0,54 , arus 75 A / 205 A sebesar 0,60 , dan pada arus 90 A / 220 A sebesar 1,03. Pada daerah *base metal* tidak terjadi perubahan yang berarti karena perlakuan yang di dapatkan tidak sampai merubah sifat kekerasannya secara signifikan [10].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan [11], dimana meneliti pengaruh arus pengelasan SMAW

terhadap material ASTM A36 dengan arus 70 A – 120 A, di dapatkan nilai kekerasan pada arus 90 A sebesar 95 BHN. Setelah dikorelasikan dengan penelitian yang telah dilakukan pada arus SMAW 90 A di peroleh nilai kekerasan 26,57 HRD (133 BHN). Dari hasil tersebut membuktikan bahwa pada penelitian ini pengelasan SMAW yang dilakukan terdapat peningkatan nilai kekerasan. Hal tersebut disebabkan karena pengaruh dilakukannya pengelasan kombinasi dengan metode pengelasan FCAW yang berpengaruh terhadap siklus termal. Selain itu, dengan adanya variabel arus yang semakin meningkat menyebabkan temperatur yang di dapatkan juga semakin meningkat yang berpengaruh terhadap nilai kekerasan.



Gambar 8: Grafik Hasil Uji Kekerasan Daerah *Base Metal*.

3.2 Analisis Hasil Uji Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan pada masing-masing jenis pengelasan dan jenis material yang digunakan. Pengamatan struktur mikro pada material pengelasan ini dibagi menjadi tiga daerah yaitu *weld metal*, *Heat Affected Zone (HAZ)*, dan *base metal*. Hasil pengamatan dan perhitungan persentase tersebut kemudian diplot seperti pada Tabel 3-6 dan Gambar 9-12 untuk mengetahui pengaruh persentase fasa pada masing-masing daerah terhadap kekerasan.

Dari data perhitungan yang diperoleh persentase fasa perlit pada daerah *weld metal* lebih tinggi di bandingkan daerah HAZ dan *base metal*.

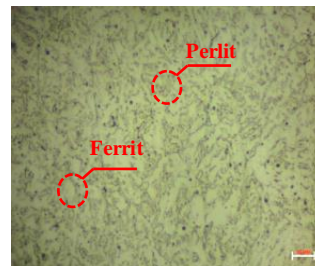
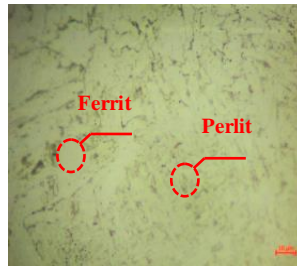
Tabel 3: Persentase fasa *Weld Metal*.

AREA PENGELASAN	ARUS (A)	PERSENTASE FASA (%)	
		FERRIT	PERLIT
<i>Weld Metal</i> SMAW	60 A	71,28	28,72
	75 A	70,86	29,14
	90 A	70,07	29,93
<i>Weld Metal</i> FCAW	190 A	69,10	30,90
	205 A	68,57	31,43
	220 A	68,20	31,80

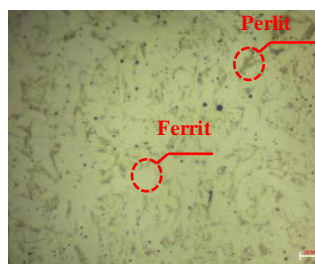
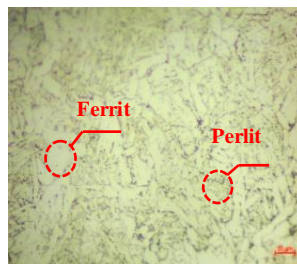
SMAW

FCAW

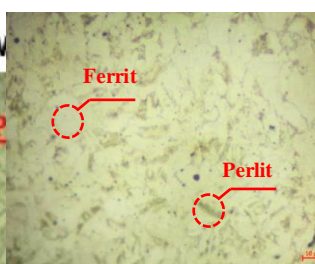
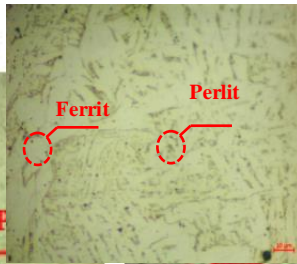
SMAW 60
A & FCAW
190 A



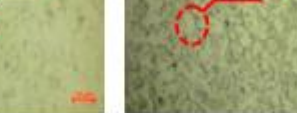
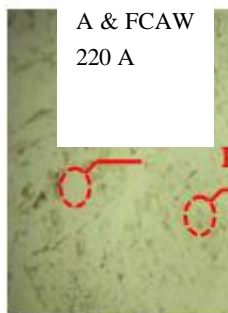
SMAW 75
A & FCAW
205 A



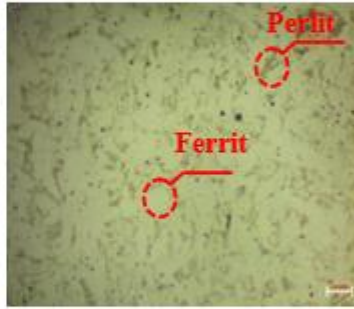
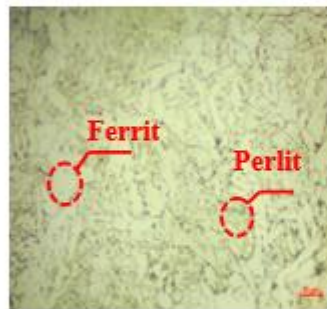
SMAW 90
A & FCAW
220 A



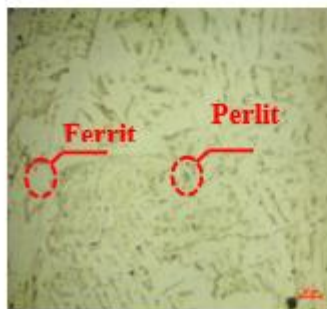
SMAW
60 A &
FCAW
190 A



SMAW
75 A &
FCAW
205 A

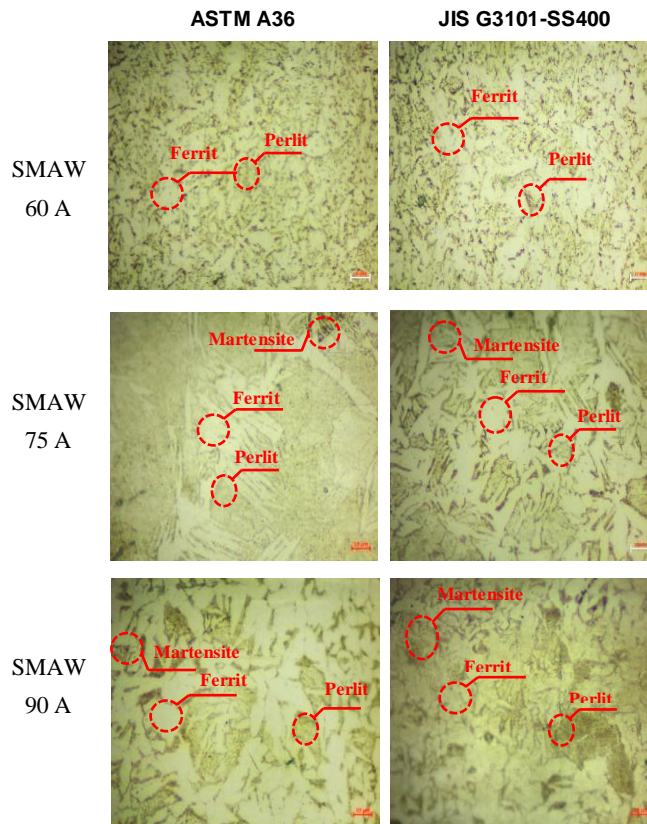


SMAW
90 A &
FCAW
220 A



tersebut mengalami proses
pengerasan yang cepat oleh
naka akan terbentuk fasa

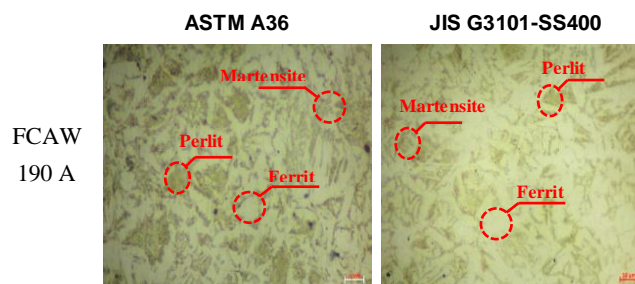
Ferrit (%)
PERLIT
26,47
25,05
27,60
25,11
26,34
25,73

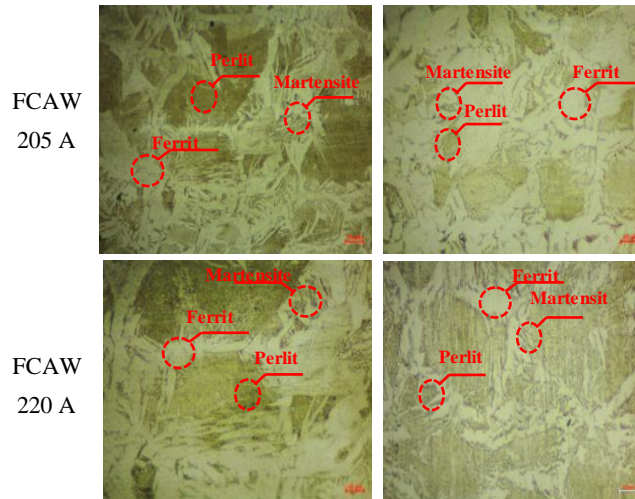


Gambar 10: Struktur mikro HAZ SMAW.

Tabel 5: Persentase fasa HAZ FCAW.

AREA PENGELASAN	ARUS (A)	PERSENTASE FASA (%)	
		FERRIT	PERLIT
HAZ FCAW ASTM A36	190 A	74,03	25,97
	205 A	73,36	26,64
	220 A	73,01	26,99
HAZ FCAW JIS G3101-SS400	190 A	75,19	24,81
	205 A	74,50	25,50
	220 A	74,02	25,98





Gambar 11: Struktur mikro HAZ FCAW.

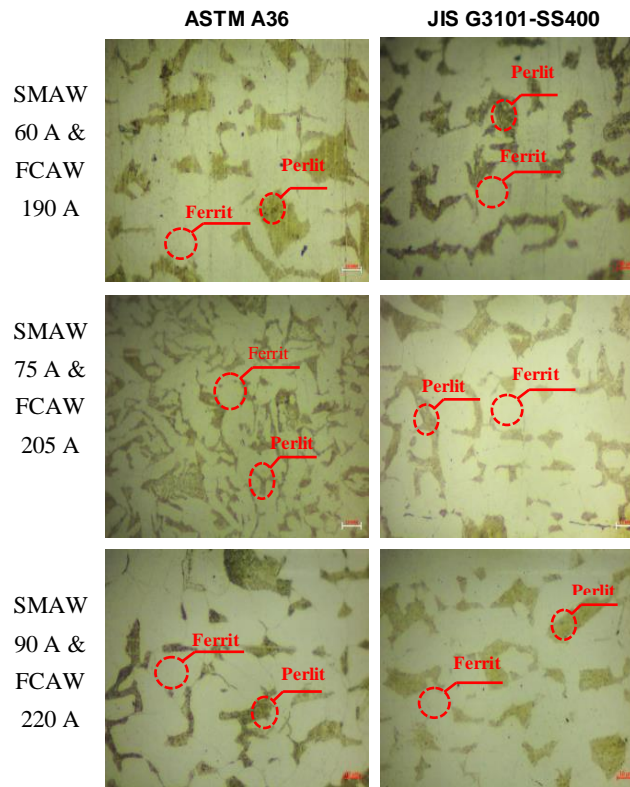
Bentuk ferrit dan perlit pada daerah HAZ ini memiliki bentuk berbeda jika dibandingkan bentuk fasa pada daerah *base metal*. Hal tersebut disebabkan karena pada daerah pengelasan HAZ mengalami siklus termal saat proses pengelasan. Semakin besar masukan panas yang terdistribusi terhadap material, hal tersebut menyebabkan luasan area *heat affected zone* akan meningkat dan juga akan merubah struktur mikro pada material menjadi butir kasar [12]. Sehingga distribusi panas yang diterima oleh HAZ akan diserap langsung oleh logam induk, mengakibatkan terjadi proses pendinginan cepat. Karena pendinginan tersebut, terjadi reaksi eutektoid, dimana austenit tidak ada yang bertransformasi allotropik menjadi ferrit terlebih dahulu, namun langsung berubah menjadi perlit [10]. Kemudian akibat pendinginan cepat ini, pada daerah HAZ SMAW dengan arus 75 A dan 90 A, serta HAZ FCAW disetiap variasi arus terdapat indikasi terbentuk fasa martensit. Pada daerah hasil proses pengelasan, fasa martensit terbentuk karena terjadi proses pendinginan cepat yang terjadi [13].

Gambar 11 merupakan struktur mikro daerah *base metal* yang di dominasi oleh fasa ferrit berwarna putih, sedangkan fasa perlit berwarna hitam atau gelap [14]. Pada daerah logam induk, bentuk dan ukuran dari fasa ferrit cenderung lebih besar [15].

Dari hasil penelitian diperoleh bahwa pada bagian logam induk merupakan bagian yang tidak berpengaruh terhadap panas selama proses pengelasan, sehingga tidak terjadi perubahan struktur serta sifat pada daerah ini. Hal ini membuktikan bahwa meningkatnya arus pengelasan yang digunakan pada masing-masing metode pengelasan dan jenis material yang digunakan tidak mempengaruhi dari struktur mikro yang terbentuk pada daerah *base metal*. Fasa yang terbentuk berupa fasa ferrit dan perlit cenderung tidak terjadi perubahan yang signifikan, disebabkan distribusi panas yang masuk pada daerah logam induk tidak berpengaruh terhadap struktur mikro [10].

Tabel 6: Persentase fasa *base metal*.

AREA PENGELASAN	ARUS (A)	PERSENTASE FASA (%)	
		FERRIT	PERLIT
<i>Base Metal</i> ASTM A36	60 A / 190 A	77,74	22,26
	75 A / 205 A	76,49	23,51
	90 A / 220 A	77,96	22,04
<i>Base Metal</i> JIS G3101-SS400	60 A / 190 A	78,24	21,76
	75 A / 205 A	77,28	22,72
	90 A / 220 A	77,32	22,68



Gambar 12: Struktur mikro *Base Metal*.

Dari data penelitian yang telah di dapatkan, terdapat korelasi antara hasil pengujian struktur mikro dengan hasil uji kekerasan. Semakin besar arus pengelasan yang digunakan menyebabkan persentase struktur mikro fasa perlit meningkat, namun nilai kekerasan yang didapatkan menurun. Hal tersebut disebabkan karena fasa yang terbentuk berupa perlit kasar. Semakin besar arus yang digunakan menyebabkan tingginya masukan panas yang di dapatkan, menyebabkan terjadi lamanya pendinginan yang berdampak pada bentuk fasa yang dihasilkan. Bentuk butir fasa yang terbentuk pada daerah *heat affected zone* dan logam las mengalami pengasaran dikarenakan pengaruh distribusi panas yang berlangsung ketika dilakukan proses pengelasan. Pada proses pengelasan semakin besar arus yang digunakan menyebabkan semakin kasar fasa yang dihasilkan sehingga nilai kekerasannya akan menurun. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian [11], bahwa semakin tinggi arus yang digunakan saat proses pengelasan maka nilai kekerasan akan menurun.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah :

1. Dari metode pengelasan yang digunakan yaitu kombinasi SMAW dan FCAW terdapat pengaruh terhadap nilai kekerasan yang dihasilkan. Adanya variabel arus yang semakin meningkat menyebabkan temperatur atau distribusi panas yang di dapatkan juga semakin meningkat yang berpengaruh terhadap nilai kekerasan. Semakin tinggi arus pengelasan maka nilai kekerasannya akan menurun. Nilai kekerasan yang didapatkan yaitu sebagai berikut :
 - a. Nilai kekerasan tertinggi pada *weld metal* SMAW yaitu pada arus 60 A sebesar 28,17 HRD. Pada *weld metal* FCAW terbesar pada arus 190 A sebesar 33,87 HRD.
 - b. Pada HAZ SMAW ASTM A36 tertinggi pada arus 60 A sebesar 27,75 HRD. Sedangkan pada HAZ SMAW JIS G3101-SS400 tertinggi pada arus 60 A sebesar 26,07 HRD.
 - c. Pada HAZ FCAW ASTM A36 nilai kekerasan tertinggi pada arus 190 A yaitu sebesar 26,77 HRD. Pada HAZ FCAW JIS G3101-SS400 tertinggi pada arus 190 A sebesar 26,15 HRD.
2. Arus berpengaruh terhadap struktur mikro yang dihasilkan pada daerah pengelasan *weld metal* dan HAZ. Struktur mikro yang terbentuk yaitu perlit, ferit dan terdapat indikasi martensit. Semakin besar arus pengelasan yang digunakan menyebabkan persentase struktur mikro fasa perlit meningkat, namun nilai kekerasan yang didapatkan menurun. Hal tersebut disebabkan karena fasa yang terbentuk berupa

perlit kasar. Persentase fasa tertinggi diperoleh pada arus pengelasan kombinasi SMAW 90 A dan FCAW 220 A.

5. PERNYATAAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi baik dalam bentuk fasilitas, dana hingga peralatan bagi keberhasilan dan kelancaran pada penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] HADI, EKO SASMITO., “Analisa Pengelasan *Mild Steel* (ST.42) Dengan Proses SMAW, FCAW, dan SAW Ditinjau Dari Segi Kekuatan dan Nilai Ekonomis”, *Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, v. 6, n. 2, pp. 107-117, Mar. 2012.
- [2] JULIAN, NANDA., *et al.*, “Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Pada Sambungan Las Baja SS400 Pengelasan MAG Dengan Variasi Arus Pengelasan dan Media Pendingin Sebagai Material Lambung Kapal”, *Jurnal Teknik Perkapalan*, v.7, n.4, pp. 277-285, Okt. 2019.
- [3] HERMANTO, DEDDY; ARY SUBAGIA, I D.G, BUDIARSA, I NYOMAN., “Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Sambungan Las Baja ST 37 Dengan Menggunakan Variasi Elektroda”, *Teknik Desain Mekanika*, [S.l.], v. 6, n. 1, pp. 47-52, Sep. 2017.
- [4] WIRYOSUMARTO, H., DAN OKUMURA, T., *Teknologi Pengelasan Logam*, Jakarta, Pradnya Paramita, 2000.
- [5] SONAWAN, H., SURATMAN R., *Pengantar untuk Memahami Proses Pengelasan Logam*, 2 ed., Bandung, CV Alfabeta, 2006.
- [6] BINTARTO, REDI., *et al.*, “Analisa Struktur Mikro dan Kekuatan Bending Sambungan Las TIG dengan Perbedaan Kuat Arus Listrik pada Logam Tak Sejenis Aluminium Paduan 5052-Baja Galvanis dengan Filler Al-Si 4043”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, [S.l.], v. 11, n. 1, pp. 125-131, May 2020.
- [7] AWS., *Welding Handbook*, 9 ed, v. 2., Miami: American Welding Society, 2020.
- [8] SYAHRANI, A., NAHARUDDIN., MUHAMMAD, N., “Analisis Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pada Pengelasan SMAW *Stainless Steel* 312 Dengan Variasi Arus Listrik”, *Jurnal Mekanikal*, v. 9, n.1, pp. 814-822, Jan. 2018.
- [9] KHIYAARUL., NABIELAH, A., *et al.*, “Analisis Pengaruh Variasi *Flow Rate* Gas Pelindung Pada Pengelasan FCAW-G Terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanik Sambungan Material Grade A”, *Jurnal Teknik ITS*, v. 7, n. 2, pp. 186-191, 2018.
- [10] RIDWAY,B., KADIR,A., DEDI, S., “Analisis Pengaruh Arus Pengelasan Pada Sudut Elektroda 70⁰ Terhadap Sifat Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah Menggunakan JIG Welding”, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, v.2, n.2, pp.50-55, Nov. 2016.
- [11] ASIBELUO,I.S., EMIFONIYE,E., “Effect of Arc Welding Current on the Mechanical Properties of A36 Carbon Steel Weld Joints”, *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, v.2, n.9, pp. 32-4, Sep. 2015.
- [12] WIBOWO, H., ILMAN, M., ISWANTO, T., PRIYO., “Analisa Heat Input Pengelasan terhadap Distorsi, Struktur Mikro dan Kekuatan Mekanis Baja A36”, *Rekayasa Mesin*, [S.l.], v. 7, n. 1, p. pp. 5-12, May 2016.
- [13] ABSON, D.J., PARGETER, R.J., “Factors Including Strength Microstructure And Toughness Of As Deposited Manual Metal Arc Welds Suitable For C-Mn Steel Fabrications”, *International Metal Reviews*, v.31, n.4, pp. 141-196, 1986.
- [14] ASKAR, S., *et al.*, “Pengaruh Preheat dan Tempering Terhadap Kekerasan dan Sturuktur Mikro Hasil Pengelasan Baja JIS SS 400”, *Dinamika Teknik Mesin*, v. 3, n.1, pp.16-25, Jan. 2013.
- [15] HERMAWAN, M., *et al.*, “Pengaruh Arus Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Produk Las Tembaga dan Baja Karbon Dengan Metode Tungsten Intert Gas (TIG)”, *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, pp. 1-14, Jan. 2016.