

Analisis Variasi Pengelasan GTAW dan SMAW dengan Parameter Kuat Arus Listrik Pada Fabrikasi Pipa *Flowline* 4 Inch SCH 80

Surya Satria Budi¹, Djoko W Karmiadji¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: suryasatbudi@gmail.com, djoko@unipancasila.ac.id

ABSTRAK

Material A 106 Gr. B termasuk dalam material *seamless carbon steel pipe*, dan sering digunakan untuk *high-temperature service*. Penelitian ini pemodelan menggunakan material pipa A 106 Gr. B, 4 inch, sch 80 dengan panjang 150 mm. Proses pengelasan yang digunakan adalah GTAW dan SMAW. Untuk menemukan proses las dan parameter yang paling efektif pada setiap *layer* pengelasan *flowline*, membandingkan variasi pengelasan dengan parameter kuat arus listrik terhadap hasil uji sifat mekanik yang meliputi uji tarik, *bending*, kekerasan, *microstructure* dan *macrostructure*. Hasil pengujian sifat mekanik proses las GTAW dan SMAW, menghasilkan kekuatan tarik di atas persyaratan yang ditentukan oleh ASME II A yaitu 415 N/mm², hasil analisis *photo macrostructure* dan *microstructure* semakin tinggi kuat arus listrik maka semakin besar pelebaran daerah HAZ. Cacat terbesar 35.5 mm terjadi pada spesimen SMAW *root bend* 2 dengan 130 *ampere*, hasil analisis uji kekerasan, bahwasannnya pada spesimen SMAW memiliki nilai kekerasan rata-rata lebih tinggi pada daerah *weld metal* dan HAZ. Analisis yang paling efektif setiap *weld layer* pengelasan pada fabrikasi pipa *flowline* 4 Inch sch 80 yaitu *weld layer root* dengan proses las GTAW kuat arus 110 *ampere*, *weld layer filler* dengan proses las GTAW kuat arus 110 *ampere* dan *weld layer capping* dengan proses las SMAW kuat arus 90 *ampere*.

Kata kunci: *flowline*, GTAW, SMAW, kuat arus listrik, sifat mekanik

ABSTRACT

Material A 106 Gr. B belongs to the *seamless carbon steel pipe* material, and is often used for *high-temperature service*. This research is a modeling using pipe material A 106 Gr. B, 4 inch, sch 80 with a length of 150 mm. The welding process used is GTAW and SMAW. To find the most effective welding process and parameters for each *flowline* welding layer, a comparison of welding variations with electric current strength parameters was carried out on the results of mechanical properties tests which included tensile, bending, hardness, *microstructure* and *macrostructure* tests. The testing results of the mechanical properties of the GTAW and SMAW welding processes, produced a tensile strength above the requirements specified by ASME II A, namely 415 N/mm². The results of *macrostructure* and *microstructure* photo analysis showed that the higher the electric current, the greater the widening of the HAZ area. The largest defect was recorded at 35.5 mm, occurring in the SMAW *root bend* 2 specimen with 130 amperes. The results of the analysis of the hardness test showed that the SMAW specimen had a higher average hardness value in the *weld metal* and HAZ areas. The most effective analysis for each *weld layer* on *flowline* pipe fabrication 4 Inch sch 80 is the *root weld layer* with the GTAW welding process with a current of 110 amperes, the *weld layer filler* with GTAW welding process with a current of 110 amperes and the *weld layer capping* with SMAW welding process with a current of 90 amperes.

Keywords: *flowline*, GTAW, SMAW, electric current, mechanical properties

PENDAHULUAN

Flowline adalah pipa penyalur minyak dan gas bumi yang mengalirkan *fluida* dari suatu sumur menuju ke fasilitas produksi. *Flowline* biasanya memiliki diameter 2 - 4 inch (tergantung dari kapasitas sumur) [1]. Salah satu bagian terpenting pada saat fabrikasi pipa *flowline* adalah saat proses

pengelasan. Dalam pengelasan, ada beberapa aspek yang harus diperhatikan mulai dari *safety*, kawat las, mesin las, parameter pengelasan yang sudah diatur dalam WPS (*Welding Procedure Specification*), dan material yang akan dilas dimana spesifikasi material yang digunakan adalah ASTM A 106 Gr. B. Hal-hal tersebut tentunya akan berpengaruh pada kualitas produk yang

dihasilkan, dimana *quality* akan selalu berbanding lurus dengan *safety*. Penerapan pengelasan berulang berkolerasi dengan perbaikan pengelasan. Perbaikan mempunyai batasan maksimum yang dapat dilakukan pada lokasi yang sama, melakukan perbaikan pengelasan dapat diperoleh dari kode dan standar industri, yaitu DNV-OS-F101[2]. Dengan mencoba berbagai macam variasi proses pengelasan, yaitu proses las GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*), SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), dan kombinasi antara GTAW & SMAW, Penelitian dilakukan dengan membandingkan variasi *heat input* terhadap hasil uji sifat mekanik dari nilai *mechanical test* dan struktur micro. Pengelasan dilakukan oleh SMAW pada pelat 316L dari lasan asli, 1 kali perbaikan sampai 4 kali perbaikan berturut-turut dan evaluasi struktur mikro, kekerasan, impak, tarik dan sifat korosi. Kesimpulan akhir adalah bahwa 4 kali perbaikan berturut-turut tidak memperburuk sifat mekanik tetapi pada lingkungan klorida perbaikan disarankan tidak lebih dari 2 kali [3,4].

Spesifikasi Material A 106 Gr. B, SCH 80 termasuk dalam material *seamless carbon steel pipe*, dan sering digunakan untuk *high temperature service*. Oleh karena itu A 106 Gr. B sering digunakan dalam fabrikasi pipa *flowline* [5,6].

Material A 106 Gr. B, SCH 80 termasuk dalam P No. 1 dan memiliki *tensile strength* dan *elongation* yang cukup baik [1], selain itu material ini juga tahan terhadap *high temperature service*. *Mechanical properties* pada A 106 Gr. B, SCH 80 dapat dilihat pada Tabel 1.

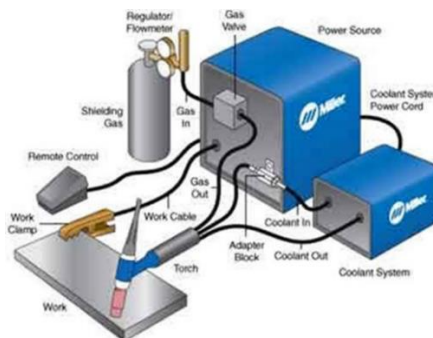
Tabel 1. *Mechanical properties* A 106 Gr.B, SCH 80

No.	<i>Mechanical Properties</i>	Nilai
1	<i>Tensile Strength (N/mm²)</i>	415
2	<i>Yield Strength (N/mm²)</i>	240
3	<i>Elongation in 50 mm, min (%)</i>	30

METODE PENELITIAN

a. Proses las GTAW

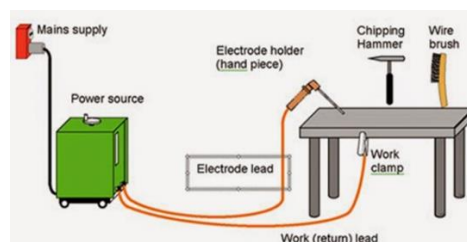
GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*). Pada proses pengelasan GTAW ini, elektroda atau *tungsten* hanya berfungsi sebagai penghasil busur listrik saat bersentuhan dengan benda kerja, sedangkan untuk logam pengisi adalah *filler rod*. Rangkaian peralatan las GTAW ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian peralatan las GTAW

b. Pengelasan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

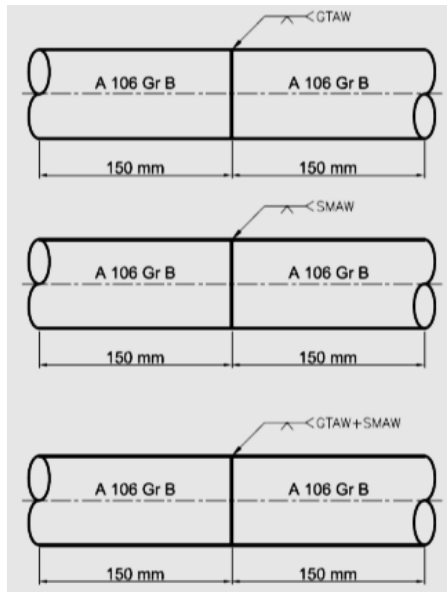
Proses pengelasan SMAW yang umumnya disebut las listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar dan elektroda (bahan pengisi). Panas tersebut dihasilkan oleh lompatan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan benda kerja yang akan dilas). Gambar 2. menunjukkan rangkaian dari peralatan las SMAW [7-9].



Gambar 2. Rangkaian peralatan las SMAW

Penelitian dimulai dengan persiapan benda kerja yaitu:

1. Memotong material A 106 Gr. B. yang dimensi dan jumlahnya disesuaikan untuk kepentingan pembuatan spesimen dengan penyambungan dari ke dua proses pengelasan GTAW juga SMAW
2. Melakukan penyambungan benda kerja. *Design* sambungan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Design benda kerja pipa 4 inch, Sch 80, A 106 Gr. B

Agar penelitian yang dilaksanakan bisa terarah dan tidak meluas, maka perlu adanya batasan masalah antara lain.

1. Material yang digunakan adalah pipa 4 inch A 106 Gr. B, SCH 80 dengan variasi proses las GTAW dan SMAW juga variasi kuat arus listrik dengan *filler metal* atau kawat las yang digunakan adalah ER70S-6 & E7018.
2. Pengujian yang dilakukan meliputi *tensile test*, *bending test*, *hardness test*, struktur mikro dan struktur makro.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengelasan ini menggunakan variasi kekuatan arus listrik dengan parameter dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Parameter kuat arus listrik

Weld (layers)	Process	Filler Metal	Diameter	Ampere			
				1	2	3	4
Root	GTAW	ER70S-6	2.4 mm	90	110	130	150
Hot Pass	GTAW	ER70S-6	2.4 mm	90	110	130	150
Filler	GTAW	ER70S-6	2.4 mm	90	110	130	150
Capping	GTAW	ER70S-6	2.4 mm	90	110	130	150
Root	SMAW	E7018	2.6 mm	90	110	130	150
Hot Pass	SMAW	E7018	2.6 mm	90	110	130	150
Filler	SMAW	E7018	2.6 mm	90	110	130	150
Capping	SMAW	E7018	2.6 mm	90	110	130	150

Proses dan hasil *fit up* dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar ini menunjukkan bahwasanya benda kerja dipotong menjadi 2 Bagian dengan satu sisi 150 mm dan sisi lain 150 mm dengan sudut sambung 35 derajat sehingga membentuk alur V.



Gambar 4. Proses dan hasil *fit up*

Selanjutnya dilakukan proses pengelasan dengan *welding travo* 200 ampere terhadap delapan benda kerja. Proses pengelasan dapat dilihat pada Gambar 5. Proses ini menggambarkan bahwasannya saat memulai pengelasan dilakukan pengambilan data parameter pengelasan, dengan menggunakan alat *temperature gun*, *stopwatch* dan *tang ampere*.

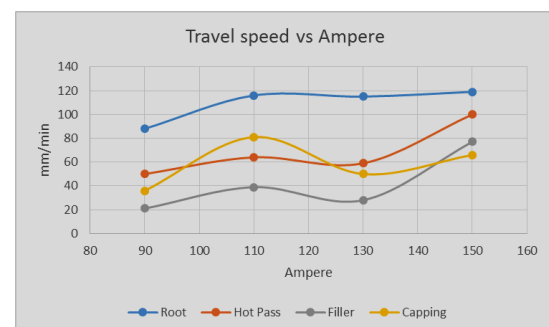


Gambar 5. Proses pengelasan

Data-data proses pengelasan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

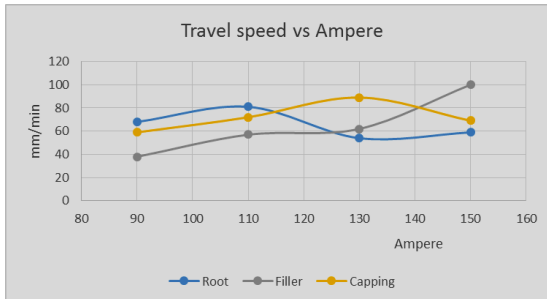
Material : A 106 Gr. B
 Bentuk : Pipa, NPS 4 Inch, Sch 80 (OD 114,3 mm, tebal 8,56 mm)
 Desain sambungan : Butt joint
 Proses las : GTAW & SMAW
 Logam pengisi : ER70S-6 diameter 2,4 mm & E7018 diameter 2.6 mm
 Shielding gas : Argon
 Bentuk kampuh las : Single V
 Posisi : 1G

Data dari proses pengelasan dilakukan analisis dengan membuat grafik *travel speed versus* parameter kuat arus listrik (*ampere*) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Travel speed versus ampere* parameter proses pengelasan GTAW

Data dari proses pengelasan SMAW dilakukan analisis dengan membuat grafik Kuat arus listrik (*ampere*) parameter *versus travel speed* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. *Travel speed versus ampere* parameter proses pengelasan SMAW

Parameter proses pengelasan SMAW. Benda kerja yang telah dilakukan proses pengelasan seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa pengelasan telah dilakukan terhadap 8 benda kerja yang masing masing terdiri dari 4 benda kerja dari proses pengelasan GTAW dan 4 badan kerja dari proses pengelasan SMAW.



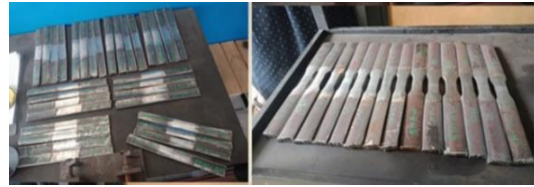
Gambar 8. Benda kerja yang telah dilakukan proses pengelasan

Pembentukan Spesimen Uji

Masing-masing benda kerja dilakukan proses *cutting* (pemotongan) dan *machining* untuk membentuk spesimen uji. Dari proses tersebut akan didapat spesimen untuk dilakukan pengujian tarik, *bending*, *hardness*, *microstructure* dan *macrostructure*. Proses *cutting* dan *machining* seperti ditunjukkan Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Proses *cutting* dan *machining*



Gambar 10. Spesimen uji

Analisis Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik dari proses pengelasan GTAW dan SMAW dapat dilihat seperti ditunjukkan Gambar 11 yang menunjukkan spesimen uji tarik yang telah diuji dan mengalami putus pada *base metal*



Gambar 11. Specimen beda uji tarik yang telah putus

Data hasil uji tarik dari proses pengelasan GTAW dan SMAW. untuk nilai TS1 dan TS1 GTAW 90 *ampere* dengan hasil nilai *tensile strength* 592 N/mm^2 dan 570 N/mm^2 , nilai nilai kakulasi dari parameter yang lain diperoleh dengan cara yang sama tersebut. Spesimen uji TS 1 dan TS 2 90 *ampere*

TS-1

- Tebal material : 8,06 mm
- Lebar material : 18,91 mm
- Panjang material awal : 300 mm
- Panjang material setelah putus : 315 mm

TS-2

- Tebal material : 8,29 mm
- Lebar material : 18,95 mm
- Panjang material awal : 300 mm
- Panjang material setelah putus: 315 mm

- Menghitung luas area pada proses GTAW

TS-1

$$A_0 = \text{Thickness} \times \text{Width} \\ = 8,06 \text{ mm} \times 18,91 \text{ mm} \\ = 152,4146 \text{ mm}^2$$

TS-2

$$A_0 = \text{Thickness} \times \text{Width} \\ = 8,29 \text{ mm} \times 18,95 \text{ mm} \\ = 157,0955 \text{ mm}^2$$

- Menghitung regangan pada proses GTAW

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \\ &= \frac{315-300}{300} \times 100\% \\ &= 0,05 \%\end{aligned}$$

- Menghitung kekuatan tarik pada proses GTAW

TS-1

$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{F}{A_0} \\ &= \frac{90.159}{152,4146} \\ &= 591,5 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

TS-2

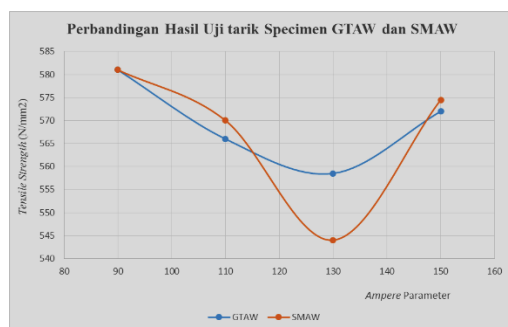
$$\begin{aligned}\sigma_t &= \frac{F}{A_0} \\ &= \frac{89.588}{157,0955} \\ &= 570,2 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\text{Nilai rata-rata } \sigma_t = \frac{591,5 + 570,2}{2} = 581 \text{ N/mm}^2$$

Hasil nilai rata – rata spesimen uji tarik dari proses pengelasan GTAW dan SMAW dengan variasi parameter kuat arus listrik dapat dilihat pada Tabel 3 yang terdiri dari 3 kolom. Dimana kolom 1 untuk kuat arus listrik menggunakan satuan ampere , kolom 2 proses pengelasan GTAW dengan hasil nilai rata – rata uji tarik dan kolom 3 proses pengelasan SMAW dengan hasil nilai rata – rata uji tarik.

Tabel 3. Nilai kuat tarik rata – rata

Ampere	GTAW	SMAW
	Tensile Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)
90	581	581
110	566	570
150	558,5	544
150	572	574,5



Gambar 12. Grafik perbandingan hasil uji tarik

Perbandingan hasil uji tarik spesimen GTAW dan SMAW pada kuat arus listrik parameter dapat dilihat pada Gambar 12 yang menjelaskan bahwa proses pengelasan GTAW dan SMAW dengan variasi parameter kuat arus listrik, dimana analisis yang didapat sama-sama menghasilkan kekuatan tarik di atas Persyaratan yang ditentukan oleh ASME II A, analisis didapat juga data spesimen uji proses pengelasan SMAW dan proses pengelasan

GTAW dengan kuat arus listrik 90 *ampere* di *weld layer root* mempunyai nilai kekuatan yang sama dan tertinggi dibandingkan dengan nilai parameter yang lain yaitu 581 N/mm² dan terjadi perbedaan yang signifikan pada kuat arus listrik 130 *ampere* dimana nilai kekuatan untuk proses pengelasan SMAW lebih besar dari proses pengelasan GTAW. Hal ini diperlukan proses penelitian lanjutan untuk mengetahui secara details, proses yang menyebabkan perbedaan ini. Yang nantinya akan diketahui penyebab dari perbedaan tersebut, sehingga pada penelitian lanjutan dapat dianalisis lebih lanjut.

Analisis Hasil Pengujian Bending

Proses pengelasan GTAW dan SMAW diambil untuk diuji *bending* (*root bend* 2 spesimen, *face bend* 2 spesimen), untuk hasil pengujian *bending* ditemukan *defect* yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian *bending*

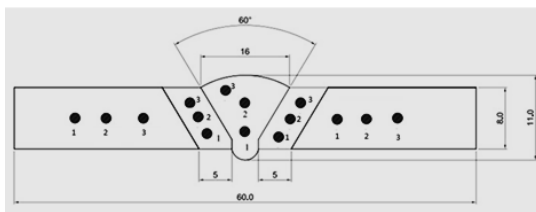
Angle of bend: 180°				
No.	Specimen Stamp	W (mm)	Thk (mm)	Result
				Size of defect (mm)
GTAW (90 A)	Face Bend 1	38	8.56	2.94
SMAW (90 A)	Root Bend 1	38	8.56	4.32
	Face Bend 1	38	8.56	2.21
SMAW (110 A)	Root Bend 1	38	8.56	8.13
	Root Bend 2	38	8.56	4.7
SMAW (130 A)	Root Bend 1	38	8.56	19.31
	Root Bend 2	38	8.56	35.5
SMAW (150 A)	Root Bend 1	38	8.56	6.93
	Root Bend 2	38	8.56	11.24

Dalam tabel menggambarkan kerusakan material pada spesimen GTAW 90 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 2.92 mm pada spesimen *face bend* 1. Spesimen SMAW 90 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 4,32 mm pada spesimen *stamp root bend* 1 dan *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 2,21 mm pada spesimen *stamp face bend* 1. SMAW 110 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 8,13 mm pada spesimen *stamp root bend* 1 dan *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 4,7 mm pada spesimen *stamp root bend* 2. SMAW 130 *ampere* ditemukan dua

defect cacat terbuka pada permukaan sebesar 9,31 mm, 6,93 mm pada spesimen *stamp root bend* 1 dan defect cacat terbuka pada permukaan sebesar 35,5 mm pada spesimen *stamp root bend* 2. SMAW 150 ampere, defect cacat terbuka pada permukaan sebesar 11,24 mm pada spesimen *stamp root bend* 2.

Analisis Hasil Pengujian Hardness

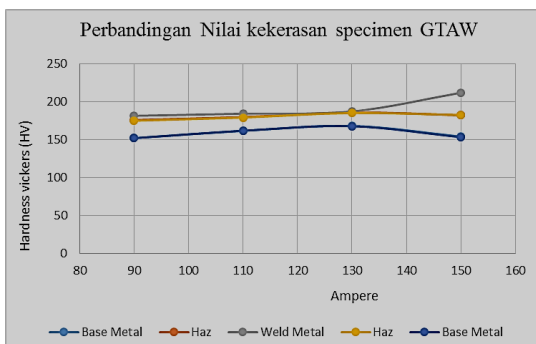
Pengujian *hardness* (kekerasan) dilakukan pada daerah *base metal* dan *weld metal* dengan pengambilan titik sebanyak 3 titik pada masing-masing daerah tersebut. Lokasi indentasi dapat dilihat pada Gambar 13, sedangkan kekerasan rata-rata proses pengelasan seperti ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 13. Lokasi indentasi uji kekerasan

Tabel 5 Nilai kekerasan rata-rata pada proses pengelasan GTAW

No.	Lokasi Identasi	Hardness Vicker (HV), Test Load Applied, 10 kgf			
		GTAW			
		90 A	110 A	130 A	150 A
1	BASE METAL	152	161,3	168	154
2	HAZ	175,7	179,7	185,7	182
3	WELD METAL	181,3	184	187	211,7
4	HAZ	174,8	179	185	182,3
5	BASE METAL	151,7	161,7	167,5	153



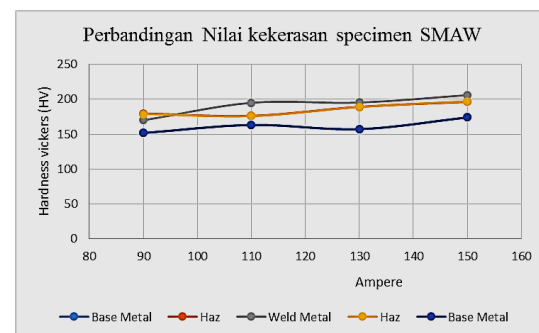
Gambar 14. Perbandingan nilai kekerasan spesimen GTAW

Nilai kekerasan rata-rata pada proses pengelasan GTAW ditunjukkan di Tabel 5. dari

data hasil uji kekerasan, dapat disimpulkan bahwa pada spesimen proses pengelasan GTAW memiliki nilai kekerasan rata-rata sedikit lebih tinggi pada daerah *weld metal* dan HAZ. Hal ini disebabkan karena *heat input* yang dihasilkan dari proses pengelasan SMAW sedikit lebih besar, seperti yang terlihat pada Tabel 6 nilai keratan rata – rata *hardnes vickers*.

Tabel 6. Nilai kekerasan rata-rata pada proses pengelasan SMAW

No.	Lokasi Identasi	Hardness Vicker (HV), Test Load Applied, 10 kgf			
		SMAW			
		90 A	110 A	130 A	150 A
1	BASE METAL	151,7	163,3	157,3	174,3
2	HAZ	179,7	176,3	189,3	196,3
3	WELD METAL	170	195	195,3	206
4	HAZ	179	176	189	197
5	BASE METAL	151,8	163,3	157,3	174

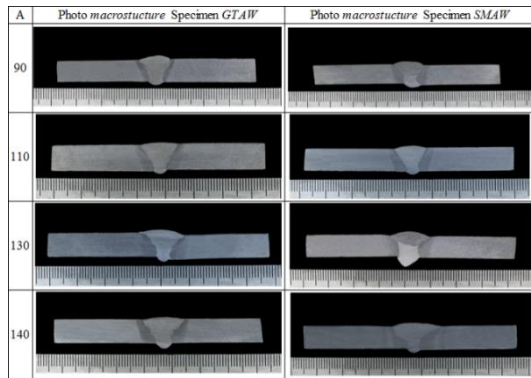


Gambar 15. Perbandingan nilai kekerasan specimen SMAW

Nilai kekerasan rata-rata pada proses pengelasan SMAW pada tabel 6 dan dari data hasil uji kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar 15 dapat disimpulkan bahwa pada spesimen SMAW memiliki nilai kekerasan rata-rata sedikit lebih tinggi pada daerah *weld metal* dan HAZ. Hal ini disebabkan karena *heat input* yang dihasilkan dari proses pengelasan SMAW sedikit lebih besar, sedangkan pada daerah HAZ untuk masing-masing parameter kuat arus listrik, nilai kekerasannya akan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah *base metal*. Perbandingan nilai kekerasan pada masing-masing parameter kuat arus listrik spesimen SMAW dapat dilihat pada Gambar 15 dari pengamatan angka tertinggi tertinggi 206 HV pada *weld metal* di kuat arus listrik 150 ampere dan untuk *base metal* adalah yang terendah 151,7 HV dengan kuat arus listrik 90 ampere.

Analisis Hasil Macrostructure dan Microstructure

Hasil photo *macrostructure* pada spesimen GTAW dan SMAW dapat dilihat pada Gambar 16. Gambar memberikan informasi visualisasi dan dimensi pada bagian *base metal*, HAZ, *weld metal*, HAZ dan *base metal*.

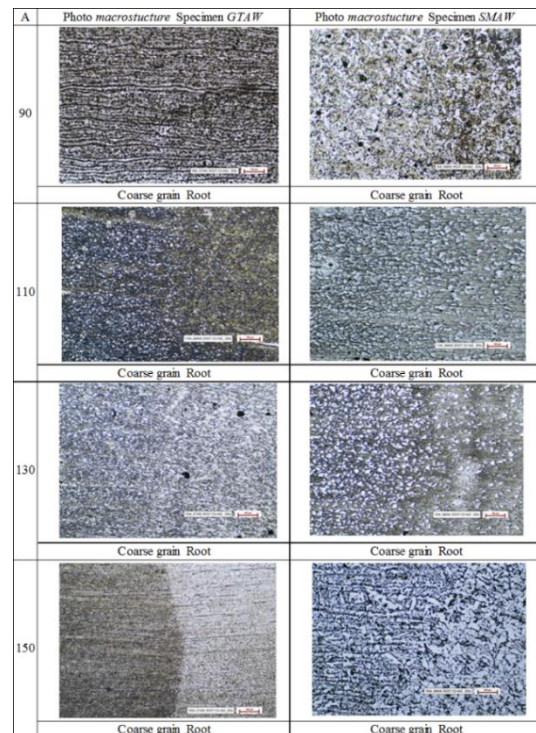


Gambar 16. Photo *macrostructure* specimen GTAW dan SMAW

Visualisasi, dimensional pada Gambar 16, didapat analisis.

1. Lebar HAZ pada specimen GTAW 90 *ampere* adalah 2 mm dan specimen SMAW 90 *ampere* adalah 3,5 mm sesuai Gambar 16 dan maksimum tegangan 581 N/mm² dari hasil bending untuk GTAW 90 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 2.92 mm pada specimen *face bend 1* dan specimen SMAW 90 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 4,32 mm pada specimen *stamp root bend 1*
2. Lebar HAZ pada specimen GTAW 110 A adalah 3 mm dengan maksimum tegangan 566 N/mm² dan specimen SMAW 110 A adalah 5,5 mm dengan maksimum tegangan 570 N/mm², dari hasil pengujian bending test SMAW 110 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 8,13 mm pada specimen *stamp root bend 1* dan *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 4,7 mm pada specimen *stamp root bend 2*.
3. Lebar HAZ pada specimen GTAW 130 *ampere* adalah 4 mm dengan maksimum tegangan 558,5 N/mm² dan specimen SMAW 130 *ampere* adalah 6,5 mm dengan maksimum tegangan 544 N/mm². Dari hasil pengujian bending test SMAW 130 *ampere* dua *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 9,31 mm, 6,93 mm pada specimen *stamp root bend 1* dan *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 35,5 mm pada specimen *stamp root bend 2*.

4. Lebar HAZ pada specimen GTAW 150 *ampere* adalah 5 mm dengan maksimum tegangan 572 N/mm² dan specimen SMAW 150 *ampere* adalah 7,5 mm dengan maksimum tegangan 574,5 N/mm². Dari sisi pengujian bending test SMAW 150 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 11,24 mm pada specimen *stamp root bend 2*.
5. Hasil analisis dari Gambar 16 dapat dilihat semakin tinggi kuat arus listrik maka semakin besar pelebaran daerah HAZ dan cacat terbesar 35.5 mm terjadi pada specimen *root bend 2* dengan kuat arus listrik 130 *ampere*.



Gambar 17. Photo *microstructure* specimen GTAW dan SMAW

Hasil photo *microstructure* pada specimen GTAW dan SMAW dapat dilihat pada Gambar 17 yang menjelaskan *coarse grain* pada *weld layer root* dengan proses pengelasan GTAW dan SMAW dengan variasi parameter kuat arus listrik. *Coarse grain* menyebabkan lower hardness, pada pada specimen GTAW dan specimen SMAW dapat dilihat makin tinggi kuat arus listrik maka makin kecil butiran *coarse grain* yang terlihat. Maka semakin kecil *coarse grain* semakin keras materialnya. Ada kemungkinan fenomena *faster cooling* terjadi ketika kuat arus listrik nya makin naik. *Lower hardness* berkorelasi dgn *lower tensile strength*. *Coarse grain* pada kuat arus listrik 90 *ampere* s.d 150 *ampere* terus mengecil butirannya maksimum tegangan 581 N/mm² dari hasil bending untuk GTAW 90 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 2.92 mm pada specimen *face*

bend 1 dan spesimen SMAW 90 *ampere*, *defect* cacat terbuka pada permukaan sebesar 4,32 mm pada spesimen *stamp root bend 1*.

Dari analisis dan pembahasan terhadap variasi proses pengelasan pada fabrikasi pipa *flowline 4 inch sch 80*.

1. Data pengelasan, proses pengelasan GTAW dan SMAW menggunakan variasi kekuatan arus pengelasan dengan parameter kuat arus listrik 90 *ampere*, 110 *ampere*, 130 *ampere* dan 150 *ampere*. Dengan benda kerja berupa material A 106 Gr B bentuk Pipa, NPS 4 Inch, Sch 80 (OD 114,3 mm, tebal 8,56 mm) dipotong menjadi 2 bagian dengan satu sisi 150 mm dan sisi lain 150 mm dengan sudut sambung 35 derajat sehingga membentuk alur V *groove*. Dengan total panjang benda kerja 300 mm, dengan jumlah benda kerja yang berhasil di las sebanyak 8 benda kerja (4 benda kerja proses pengelasan GTAW dan 4 Benda kerja proses pengelasan SMAW). Dari data pengelasan didapatkan nilai *travel speed versus ampere* pada Gambar 6 dan Gambar 7.
2. Pembentukan spesimen uji , proses *cutting* (pemotongan) dan *machining* untuk membentuk spesimen uji. Dari proses tersebut akan didapat spesimen untuk dilakukan pengujian tarik, *bending*, *hardness*, *microstructure* dan *macrostructure*. Benda kerja dilakukan pemotong dan *machining* dengan dimensi sesuai spesimen uji berdasarkan standar uji ASME IX.
3. Proses pengujian , proses pengujian yang dilakukan meliputi *tensile test*, *bending test*, *hardness test*, *microsture* dan *macrostructure*. Setelah spesimen dipotong dan dibentuk beberapa spesimen uji, kemudian dilakukan pengujian *tensile* dan *bending*. Jenis *bending test* yang dilakukan adalah *root bend & face bend*. Kemudian untuk *microstructure*, *macrostructure* dan *hardness test* setelah terbentuk beberapa spesimen uji, dilakukan *surface grinding* untuk meratakan permukaannya. Hal ini bertujuan agar saat dilakukan pengujian *hardness*, permukaan spesimen tidak miring yang dapat menyebabkan spesimen uji goyah saat ditekan, sehingga data yang dihasilkan tidak akurat. Selain itu *surface grinding* juga akan memudahkan pada saat proses *etching* (etsa). Proses *etching* (etsa) di sini menggunakan cairan nital 2% (2% HNO_3 + 98% Alkohol dengan kemurnian 96%).
4. Analisis hasil pengujian tarik , Hasil pengujian tarik dari proses pengelasan GTAW dan SMAW dapat dilihat seperti ditunjukkan Gambar 11. Gambar menunjukan spesimen uji tarik yang telah diuji dan mengalami putus

pada *base metal* dengan hasil keuletan, yaitu besar deformasi plastis sampai terjadi patah. Perbandingan hasil uji tarik specimen GTAW dan SMAW pada parameter kuat arus listrik dapat dilihat pada Gambar 12 yang menjelaskan bahwa proses pengelasan GTAW dan SMAW dengan variasi parameter kuat arus listrik , sama-sama menghasilkan kekuatan tarik di atas persyaratan yang ditentukan oleh ASME II A, didapat juga data spesimen uji proses pengelasan SMAW dan GTAW dengan kuat arus listrik 90 *ampere* di *weld layer root* mempunyai nilai kekuatan yang sama dan tertinggi dibandingkan dengan nilai parameter yang lain yaitu 581 N/mm² dan terjadi perbedaan yang signifikan pada kuat arus listrik 130 *ampere* dimana nilai kekuatan untuk proses pengelasan SMAW lebih besar dari proses pengelasan GTAW. Hal ini diperlukan proses penelitian lanjutan untuk mengetahui secara *details*, proses yang menyebabkan perbedaan ini.

5. Analisis hasil pengujian *bending*, proses pengelasan GTAW dan SMAW diambil untuk diuji *bending* (*root bend 2* spesimen, *face bend 2* spesimen), untuk hasil pengujian *bending* ditemukan *defect* yang dapat dilihat pada Tabel 4 yang menjelaskan pengujian tekuk adalah untuk mengetahui ketahanan bengkok suatu bahan, atau untuk mengetahui derajat kelengkungan yang mampu diterima suatu bahan. Benda uji ditumpu pada kedua ujungnya, kemudian pada tengah benda uji tersebut diberi beban dengan tekanan alat penekan hidrolik, pengujian dilaksanakan sampai benda uji bengkok mencapai sudut 180° atau sampai benda uji berbentuk U.
6. Analisis hasil pengujian *hardness*, pengujian *hardness* (kekerasan) dilakukan pada daerah *base metal* A 106 Gr. B, HAZ A 106 Gr. B, dan *weld metal* dengan pengambilan titik sebanyak 3 titik pada masing-masing daerah tersebut. Lokasi identasi dapat dilihat pada Gambar 13 spesimen untuk pengujian ini berjumlah 8 spesimen dengan rincian 4 spesimen untuk proses las GTAW dan 4 spesimen untuk proses las SMAW.
7. Analisis hasil *macrostructure* dan *microstructure*. *Macrostructure* pada spesimen GTAW dan SMAW dapat dilihat pada Gambar 16 yang memberikan informasi visualisasi dan dimensi pada bagian *base metal*, HAZ , *weld metal* , HAZ dan *base metal*. *Microstructure* pada spesimen GTAW dan SMAW dapat dilihat pada Gambar 17 yang menjelaskan *coarse grain* pada *weld layer root* dengan proses pengelasan GTAW dan SMAW dengan variasi parameter kuat arus listrik.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan diatas, maka ada beberapa hal yang dapat disimpulkan yaitu:

1. Hasil analisis dari Gambar 16 dapat dilihat semakin tinggi *ampere* maka semakin besar pelebaran daerah HAZ dan cacat terbesar 35.5 mm terjadi pada spesimen *root bend 2* dengan kuat arus listrik 130 *ampere*.
2. Berdasarkan perumusan masalah bagaimana pengaruh nilai *mechanical test* pada penelitian ini, GTAW dan SMAW dengan variasi parameter kuat arus listrik, sama-sama menghasilkan kekuatan tarik di atas persyaratan yang ditentukan oleh ASME II A, dimana tidak mempunyai pengaruh signifikan terhadap *material properties*.
3. Proses pengelasan GTAW dan SMAW diambil untuk diuji *bending (root bend 2 spesimen, face bend 2 spesimen)*, untuk hasil pengujian *bending* ditemukan *defect* dengan demikian parameter ini tidak bisa digunakan untuk pengelasan yang efektif dan efisien.
4. Nilai kekerasan rata-rata pada proses pengelasan SMAW dari data hasil uji kekerasan, dapat disimpulkan bahwa pada spesimen SMAW memiliki nilai kekerasan rata-rata sedikit lebih tinggi pada daerah *weld metal* dan HAZ. Hal ini disebabkan karena *heat input* yang dihasilkan dari proses pengelasan SMAW sedikit lebih besar sedangkan pada daerah HAZ untuk masing-masing parameter kuat arus listrik, nilai kekerasannya akan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah *base metal*.
5. Nilai kekerasan rata-rata pada proses pengelasan GTAW dan dari data hasil uji kekerasan, dapat disimpulkan bahwa pada spesimen GTAW memiliki nilai kekerasan rata-rata sedikit lebih tinggi pada daerah *weld metal* dan HAZ
5. Proses las dan parameter yang paling efektif pada setiap *weld layer* pengelasan pada fabrikasi pipa *flowline 4 Inch sch 80* pada *weld layer root* dengan proses las GTAW dengan kuat arus listrik 110 *ampere*, pada *weld layer filler* dengan proses las GTAW dengan kuat arus listrik 110 *ampere*, pada *weld layer capping* dengan proses las SMAW dengan kuat arus listrik 90 *ampere*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASME *Boiler and Pressure Vessel Code Section IX, Welding, Brazing, and Fusing Qualifications*, New York, 2021.
- [2] Submarine Pipeline System. 2013. DNV-OS-F101. pp. 254-287.
- [3] Chun-Ming Lin, Hsien-Lung Tsai, Chun-Der Cheng and Cheng Yang. 2012. Effect of repeated weldrepairs on microstructure, texture, impact properties and corrosion properties of AISI 304L stainless steel. *Engineering Failure Analysis* 21: 9–20.
- [4] Danny Satya Mauliddin and Turnad Lenggo Ginta *Mechanical Engineering*, Universiti Teknologi Petronas, Bandar Seri Iskandar-Perak, Malaysia. The effect of repeated welding cycles on the microstructure and ferrite content of 25 Cr Super duplex stainless steel weled metal by automatic orbital tig welding
- [5] (Callister Jr., W.D., *Materials Science and Engineering*, 7th ed, John Wiley & Sons, Inc. New York, 2007
- [6] R.S.Kurmi, JK.Gupta, Edision 1999 “A text book of Machine Design”
- [7] Sri Widarto, “*Welding Inspection*” Jakarta, Penerbit Mitra Wacana Media, 2013
- [8] Suherman, Wahid, *Pengetahuan Bahan*, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, Surabaya.
- [9] Sunaryo, Heri, *Teknik Pengelasan Kapal*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan: Jakarta, 2008