



Analisis komparasi kekerasan dan struktur mikro lasan *dissimilar material* pada berbagai posisi pengelasan di industri fabrikasi

Ilham Nurcholis, Wiwik Dwi Pratiwi, Mochammad Karim Al Amin*, Dika Anggara, Eriek Wahyu R W

Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jln. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

*Corresponding author: karim@ppns.ac.id

Abstrak

Material *stainless steel* 304 sering dipergunakan di industri karena memiliki keunggulan daya hantar panas yang sangat baik. Material *carbon steel* SS 400 merupakan logam yang digunakan diberbagai bidang teknik terutama untuk keperluan industri dan fabrikasi. Seperti *aplikasi* pada penstock di Tegal menggunakan lebih dari satu jenis logam yang berbeda yaitu SUS 304 dan SS 400 dan posisi pengelasannya bervariasi (1G, 2G dan 3G). Pada aplikasinya yaitu penstock akan dialiri air sungai untuk kebutuhan masyarakat sekitar seperti irigasi, dan air baku sehingga terdapat beberapa material yang ketebalannya berkurang. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pengelasan material *dissimilar* SUS 304 - SS 400 dengan proses las SMAW pada posisi pengelasan (1G), (2G) dan (3G). Setelah proses pengelasan dilakukan pengujian visual, kekerasan dan struktur mikro untuk mengetahui kualitas lasan dan nilai kekerasan pada akar dan permukaan lasan. Hasil penelitian menunjukkan pada saat uji visual tidak terdapat cacat las, pada uji kekerasan menunjukkan nilai tertinggi di *weld metal* terdapat pada posisi pengelasan 3G sebesar 207,17 HVN tepatnya pada spesimen 3B dan posisi 2G memiliki nilai kekerasan terendah sebesar 195,13 HVN tepatnya pada spesimen 2A. Pada *weld metal* struktur mikro yang terbentuk dari semua variasi posisi pengelasan yaitu butiran *austenite* berwarna putih dan *delta-ferrite* berwarna hitam. Bentuk dari *delta-ferrite* adalah *vermicular ferrite*.

Kata Kunci : *Stainless Steel* 304, Baja Karbon, Posisi Pengelasan, Uji Kekerasan, Mikrostruktur

Comparative analysis of hardness and microstructure of dissimilar welded materials at various welding positions in the fabrication industry

Abstract

304 stainless steel is commonly used in industry due to the advantages of great conductivity, while SS 400 carbon steel is largely used in the various engineering field on purpose of industrial and fabrication. One of examples is penstock application in Tegal, Central Java, has been using more than one kind of dissimilar steel, SUS 304 and SS 400, and the various of welding position (1G, 2G, and 3G). Penstock was flowed water from the river for irrigation and raw water so that could be affected to decrease of the thickness of materials. This research was conducted on the dissimilar welding of SUS 304 and SS 400 by SMAW with the welding process of (1G), (2G), and (3). After the welding process, visual examination, hardness test, and microstructure were conducted to examine the quality of welded and hardness of the root and surface of weld. The visual test was shown that no defect, the highest of hardness was at the weld metal with 3G of welding position at 207.17 HVN (specimen 2B) while the lowest of hardness was 195.13 HVN with 2G position (specimen 2A). The microstructure of weld metal was austenite of white and delta-ferrite of black, delta-ferrite was vermicular.

Keywords: *Stainless Steel* 304, *Carbon Steel*, *Welding Positions*, *Hardness*, *Micro Structure*

1. Pendahuluan

Perkembangan dunia industri terhitung sangat pesat begitupun juga dunia pengelasan yang semakin berkembang. Dunia pengelasan saat ini sedang mengalami perkembangan khususnya di Negara Indonesia. Pada era industri modern saat ini sangat membutuhkan inovasi terbaru terkait pengelasan terutama material. Hal yang biasanya dilakukan yaitu penyambungan material yang berbeda jenis [1]. Sambungan dari logam berbeda jenis (*dissimilar material*) telah ditemukan penggunaannya secara luas dalam konstruksi sipil, alat penukar panas, industri dan fabrikasi. Kombinasi penyambungan

logam yang berbeda digunakan untuk beberapa aplikasi yang memerlukan sifat sambungan khusus sebaik mungkin dan dapat menghemat biaya pada material yang mahal dan jarang digunakan. Sambungan dari baja tahan karat ke baja karbon dapat menggabungkan antara kelebihan dari kedua logam tersebut dan sangat menjanjikan dalam banyak bidang [2].

Aplikasi *penstock* di PT. Barata Indonesia Cabang Tegal menggunakan lebih dari satu jenis logam yang berbeda yaitu *stainless steel* 304 dan *carbon steel* SS 400. Pemilihan material *stainless steel* 304 dipergunakan di lapangan karena selain

daya tahan korosinya yang baik dan memiliki kekuatan mekanik, juga memiliki keunggulan daya hantar panas yang sangat baik dan mudah untuk dilakukan proses pengelasan [3]. Sedangkan material *carbon steel* SS 400 merupakan salah satu jenis logam yang digunakan di berbagai bidang teknik terutama untuk keperluan industri dan fabrikasi seperti konstruksi bangunan, pembuatan alat-alat perkakas dan lainnya [4].

Adapun proses penyambungan logam yaitu dengan dilakukan proses pengelasan. Pengelasan yaitu proses penggabungan antara dua buah logam atau lebih agar menjadi satu dengan menggunakan proses energi panas [5]. Proses pengelasan yang sering digunakan ialah *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). *Flux* yang terdapat pada elektroda dalam pengelasan SMAW memiliki tujuan untuk menghasilkan gas pelindung dan memiliki unsur-unsur perbaikan untuk melindungi logam las pada elektroda. Prinsip dasarnya yaitu penyambungan dua logam dengan proses pencairan di area sambungan dengan sumber panas dari busur api listrik yang terbentuk antara ujung elektroda dan logam induk [6].

Dalam beberapa kondisi lingkungan kerja atau fabrikasi saat ini, dalam proses penyambungan logam sering kali dilakukan dengan posisi tertentu sesuai dengan perencanaan dan perancangan produk yang akan di las [7]. Sebagian besar pada posisi pengelasan menunjukkan interaksi antara gravitasi dan arah pengelasan sehingga menjadi peran utama dalam aliran cairan kolam las [8]. Perbedaan posisi pada saat proses pengelasan akan berpengaruh terhadap *heat input* akibat kecepatan pengelasan yang berbeda [9]. Beberapa peneliti lain menyatakan hasil dari penelitiannya dari tiap posisi pengelasan memiliki tingkat kesulitan tertentu dikarenakan pengaruh gravitasi pada kolam cairan las maupun saat transfer material pengisi las [10]. Pemilihan posisi pengelasan yang sesuai akan memperoleh hasil kualitas sambungan las yang baik [11]. Dengan adanya perbedaan posisi pengelasan, maka dapat memberikan hasil yang berbeda terhadap kekerasan dan struktur mikro dari hasil lasan [12].

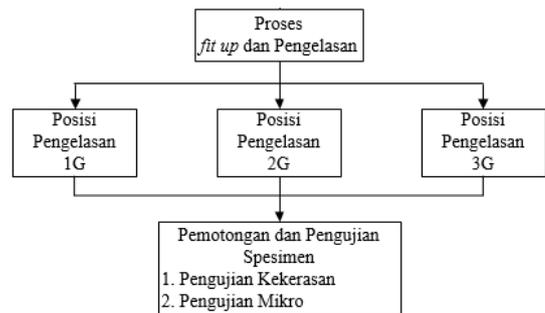
Untuk mempresentasikan pada aplikasi sebenarnya, maka dalam penelitian ini akan mengilustrasikan *penstock* tersebut pada pelat yang akan di las sebagai bahan penelitian dan dipelajari lebih lanjut bagaimana hasil analisis perbandingan nilai kekerasan dan struktur mikro pada berbagai posisi pengelasan yaitu posisi (1G), (2G) dan (3G) pada sambungan las *dissimilar material stainless steel* 304 dan *carbon steel* SS 400.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rui mengenai pengaruh posisi pengelasan terhadap hasil uji mekanik menunjukkan jika posisi pengelasan yang nilai kekuatan tariknya tertinggi adalah posisi pengelasan 1G jika dibandingkan dengan posisi 3G dan 4G [16]. Namun pada penelitian tersebut belum dilakukan pengujian

kekerasan, sehingga pada penelitian ini dilakukan uji kekerasan dengan proses las SMAW pada posisi 1G, 2G, dan 3G.

2. Metode

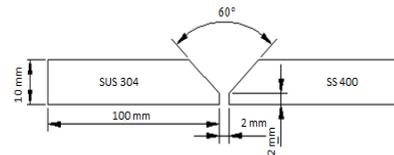
Tahapan penelitian ini digambarkan secara skematis dalam bentuk diagram alir seperti pada Gambar 1, yaitu diawali dengan proses *fit up*, kemudian dilakukan pengelasan sesuai posisi pengelasan dan dilakukan pengujian *hardness* dan pengujian mikro.



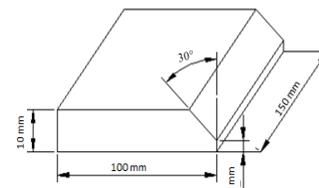
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Desain Sambungan dan Dimensi Material

Desain sambungan pengelasan kedua material SUS 304 dan SS 400 dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3. Untuk properties material dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Desain Sambungan



Gambar 3. Desain Sambungan

Tabel 1 Properties Material

Material	Komposisi Kimia							Minimum Specified Tensile, ksi (ASME Sec IX)
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	
SS 400	0,2	0,53	0,1	0,04	0,09	0,03	0,03	58
SUS 304	0,08	2,0	0,045	0,03	1,00	18 - 20	8 - 11	75

2.2 Alat dan Bahan

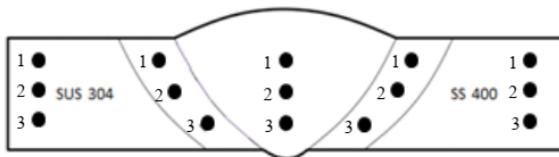
Penelitian ini membutuhkan beberapa peralatan dan bahan dalam proses pembentukan dan pengelasan pada spesimen benda uji sebagai berikut :

- 1) Peralatan mesin las SMAW
- 2) Gerinda tangan

- 3) Mesin potong
- 4) Sikat baja
- 5) Tang amper
- 6) *Stopwatch*
- 7) Peralatan *safety*
- 8) Material logam *stainless steel* 304 dan *carbon steel* SS 400
- 9) Elektroda E309-16 diameter 3,2 mm dan 4,0 mm

2.3 Titik Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan pada daerah base metal, haz, dan weld metal menggunakan metode hardness vickers portable. Posisi penandaan titik indentasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Posisi Penandaan Titik Indentasi

2.4 Proses pengelasan

Proses menggunakan SMAW dengan polaritas (*Direct Current Electrode Positive*) DCEP, untuk setiap sambungan terdapat 4 layer yaitu *root*, *fill*, *capping* dan *backweld*, sedangkan *interpass temperature* tidak ada. Parameter pengelasan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Parameter Pengelasan

Posisi	Pass	Elektroda		Current		Volts	Travel Speed (mm/min)
		Class	Dia. (mm)	Type & Polarity	Amps		
1G	Root	E 309-16	3.2	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Fill	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Cap	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Back Weld	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200
2G	Root	E 309-16	3.2	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Fill	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Cap	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Back Weld	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200
3G	Root	E 309-16	3.2	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Fill	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Cap	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200
	Back Weld	E 309-16	4.0	DCEP	70-150	20-35	50-200

Dari hasil pengelasan ini dilakukan uji visual terlebih dahulu sebelum dilakukan uji merusak. Hasil uji visual menunjukkan tidak terdapat cacat pengelasan. Hasil pengelasan yang dilakukan uji visual dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 berikut.



(a)



(b)

Gambar 5 Hasil Visual Test Spesimen Uji Posisi 1G (a) Weld Cap (b) Back Weld

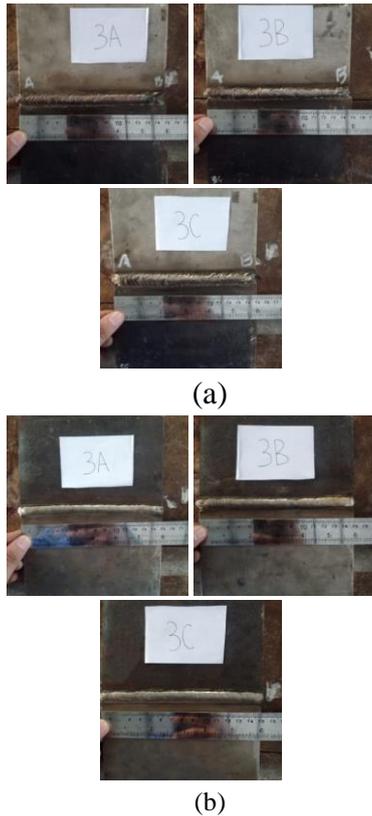


(a)



(b)

Gambar 6 Hasil Visual Test Spesimen Uji Posisi 2G (a) Weld Cap (b) Back Weld



Gambar 7 Hasil Visual Test Spesimen Uji Posisi 3G (a) Weld Cap (b) Back Weld

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan proses pengelasan dan proses pengujian pada material, maka hasil data dapat di analisis yang meliputi pengujian kekerasan dan pengujian mikro.

a. Hasil dan Analisis Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan bertujuan mengetahui nilai kekerasan pada masing-masing bagian di setiap proses. Pengujian kekerasan menggunakan metode *micro vickers* dengan pembebanan sebesar 10 kgf dengan waktu indentasi 15 detik. Lokasi pengujian kekerasan dilakukan di daerah *base metal*, *heat affected zone* dan *weld metal*. Hasil uji kekerasan pada variasi posisi pengelasan dapat dilihat pada Tabel 3.

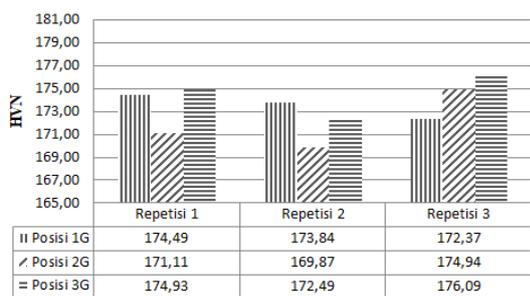
Tabel 3. Hasil Pengujian Kekerasan

Lokasi Pengujian	Kekerasan (HVN)			
	Indentas i 1	Indentas i 2	Indentas i 3	Rata-rata
Spesimen Material 1A dengan Posisi Pengelasan 1G				
BM SUS 304	175,58	168,73	179,15	174,49
HAZ SUS 304	198,78	200,50	200,88	200,05
WM	192,90	196,60	203,56	197,69
HAZ SS 400	148,49	159,96	157,77	155,41
BM SS 400	124,19	119,02	130,62	124,61

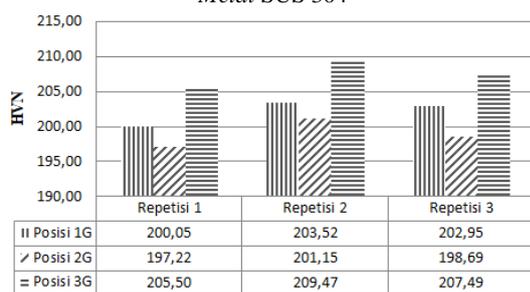
Spesimen Material 1B dengan Posisi Pengelasan 1G				
BM SUS 304	177,28	170,00	174,23	173,84
HAZ SUS 304	205,82	210,08	194,65	203,52
WM	208,63	202,34	198,01	202,99
HAZ SS 400	162,10	158,28	160,06	160,15
BM SS 400	130,02	119,24	125,56	124,94
Spesimen Material 1C dengan Posisi Pengelasan 1G				
BM SUS 304	170,02	168,05	179,04	172,37
HAZ SUS 304	203,44	206,85	198,57	202,95
WM	198,67	197,94	200,78	199,13
HAZ SS 400	158,51	156,04	158,97	157,84
BM SS 400	119,09	123,50	128,73	123,77
Spesimen Material 2A dengan Posisi Pengelasan 2G				
BM SUS 304	169,22	165,35	178,76	171,11
HAZ SUS 304	189,30	198,85	203,50	197,22
WM	189,24	198,66	197,48	195,13
HAZ SS 400	151,95	152,04	155,81	153,27
BM SS 400	122,99	125,99	120,83	123,27
Spesimen Material 2B dengan Posisi Pengelasan 2G				
BM SUS 304	168,16	169,42	172,04	169,87
HAZ SUS 304	205,56	190,56	207,32	201,15
WM	225,16	185,08	182,65	197,63
HAZ SS 400	156,59	154,25	159,01	156,62
BM SS 400	120,54	121,98	124,56	122,36
Spesimen Material 2C dengan Posisi Pengelasan 2G				
BM SUS 304	168,88	179,98	175,96	174,94
HAZ SUS 304	200,65	201,56	193,86	198,69
WM	202,48	197,50	189,40	196,46
HAZ SS 400	147,45	151,39	157,36	152,07
BM SS 400	123,71	122,71	120,99	122,47
Spesimen Material 3A dengan Posisi Pengelasan 3G				
BM SUS 304	169,54	176,29	178,95	174,93
HAZ SUS 304	205,93	204,36	206,21	205,50
WM	197,60	201,54	210,32	203,15
HAZ SS 400	155,99	158,39	166,19	160,19
BM SS	129,34	130,00	122,17	127,11

400				7
Spesimen Material 3B dengan Posisi Pengelasan 3G				
BM SUS 304	178,12	169,34	170,02	172,49
HAZ SUS 304	206,23	213,14	209,04	209,47
WM	216,63	197,29	207,60	207,17
HAZ SS 400	167,19	154,46	166,94	162,86
BM SS 400	126,78	125,34	119,76	123,96
Spesimen Material 3C dengan Posisi Pengelasan 3G				
BM SUS 304	178,40	172,90	176,97	176,09
HAZ SUS 304	206,86	200,98	214,62	207,49
WM	191,44	218,26	208,10	205,93
HAZ SS 400	163,35	158,51	161,23	161,03
BM SS 400	126,98	122,38	125,43	124,93

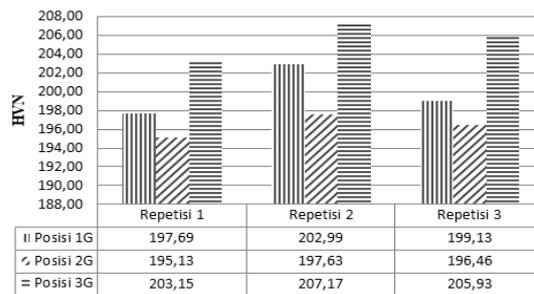
Berdasarkan hasil rata-rata dari nilai kekerasan pada Tabel 3, maka hasil dapat disajikan dalam grafik pada Gambar 5 hingga Gambar 9.



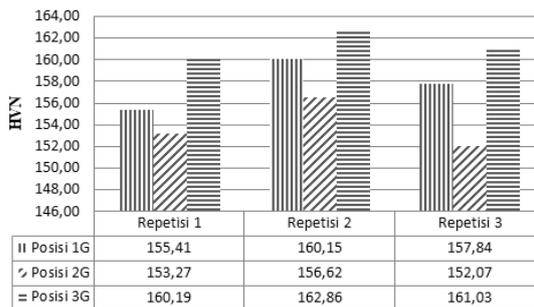
Gambar 5 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen pada Base Metal SUS 304



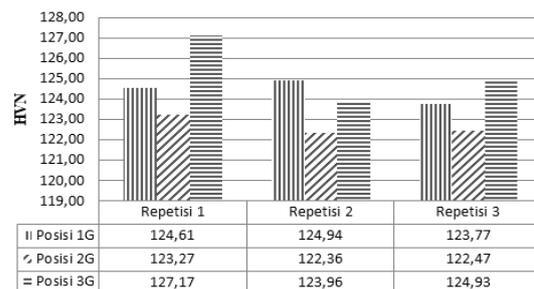
Gambar 6 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen pada HAZ SUS 304



Gambar 7 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen pada Weld Metal



Gambar 8 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen pada HAZ SS 400



Gambar 9 Grafik Nilai Kekerasan Spesimen pada Base Metal SS 400

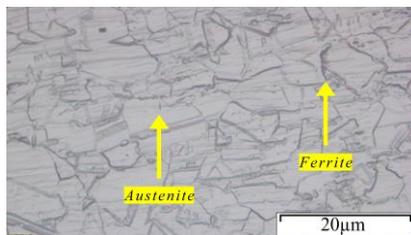
Berdasarkan data dan hasil pengujian kekerasan yang didapatkan pada daerah *base metal* SUS 304 dan SS 400 dari hasil rata-rata nilai pengujian kekerasan dari semua variasi menunjukkan bahwa tidak terdapat kenaikan nilai kekerasan yang signifikan, dikarenakan pada bagian tersebut material tidak terkena dampak panas ketika proses pengelasan sehingga tidak merubah fasa maupun struktur mikro. Pada daerah HAZ SUS 304 dan SS 400 bahwa dari hasil rata-rata nilai kekerasan yaitu lebih tinggi dibandingkan dengan kekerasan *base metal* dari kedua jenis logam tersebut. Hal ini disebabkan karena posisi pengelasan mempengaruhi siklus termal, laju pendinginan dan *heat input* selama pengelasan sehingga akan mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik. Pada daerah *weld metal* bahwa dari hasil rata-rata nilai kekerasan pada posisi pengelasan 2G mengalami penurunan, sedangkan tingkat kekerasan pada posisi pengelasan 1G dan 3G mengalami kenaikan. Perbedaan tersebut memiliki pengaruh pada kecepatan las, apabila

semakin kecil kecepatan las maka *heat input* akan semakin besar sehingga laju pendinginan semakin lambat dan membuat tingkat kekerasan logam semakin tinggi.

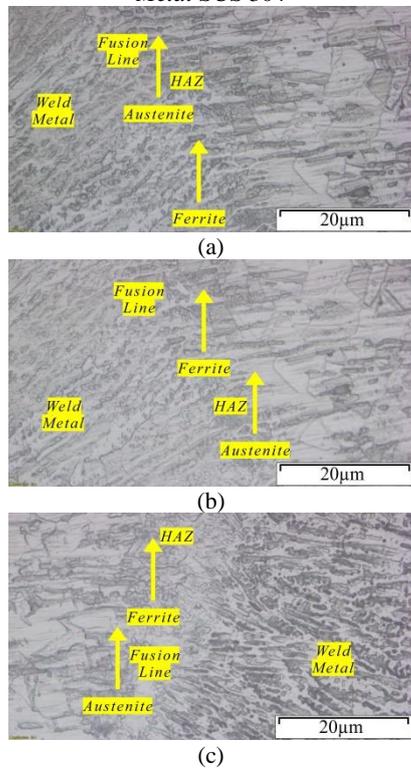
Beberapa hal yang mempengaruhi nilai kekerasan adalah suhu ruang, media pendingin, waktu pendinginan dan kelembapan udara dikarenakan lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan.

b. Hasil dan Analisis Pengujian Struktur Mikro

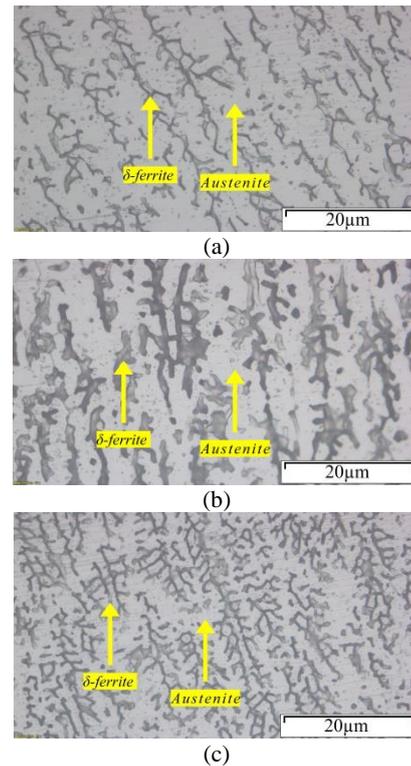
Pengujian mikro bertujuan mengamati struktur pada material menggunakan mikroskop optik yang terbentuk setelah proses pengelasan. Struktur mikro yang diamati yaitu daerah *base metal*, *heat affected zone* dan *weld metal* dengan perbesaran 500X. Hasil pengamatan struktur mikro dapat dilihat pada Gambar 10 hingga Gambar 14.



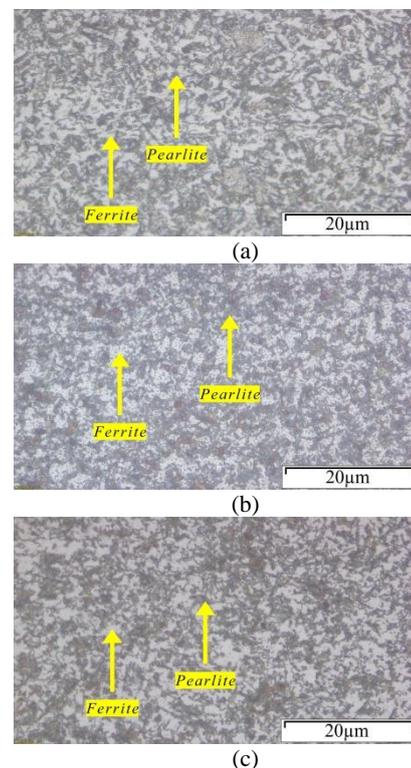
Gambar 10. Hasil Pengujian Struktur Mikro Daerah Base Metal SUS 304



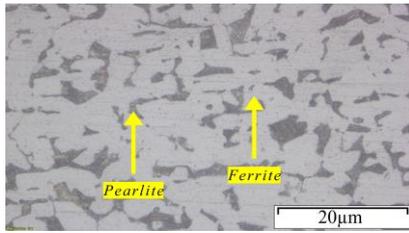
Gambar 11. Hasil Pengujian Struktur Mikro Daerah HAZ SUS 304 dengan Variasi Posisi Pengelasan (a) 1G (b) 2G (c) 3G



Gambar 12. Hasil Pengujian Struktur Mikro Daerah Weld Metal dengan Variasi Posisi Pengelasan (a) 1G (b) 2G (c) 3G



Gambar 13. Hasil Pengujian Struktur Mikro Daerah HAZ SS 400 dengan Variasi Posisi Pengelasan (a) 1G (b) 2G (c) 3G



Gambar 14. Hasil Pengujian Struktur Mikro Daerah *Base Metal* SS 400

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro di yang ditunjukkan pada Gambar 10 hingga Gambar 14 di atas, didapatkan bahwa pada daerah *base metal* SUS 304 terdiri dari fasa *austenite* yang berwarna terang dan *ferrite* yang berwarna gelap dimana kandungan *ferrite* kurang dari 2% dari kandungan fasa yang ada [13]. Pada hasil struktur mikro daerah *base metal* SS 400 terdiri dari fasa *ferrite* dan *pearlite* dimana fasa *ferrite* bentuk butirnya pipih berwarna terang dan memiliki keuletan yang baik, sedangkan fasa *pearlite* bentuk butirnya berwarna gelap dan memiliki sifat yang cukup keras tetapi getas. Pada hasil struktur mikro daerah HAZ SUS 304 fasa yang terjadi adalah fasa *austenite* yang ditunjukkan dengan warna terang sedangkan untuk fasa *ferrite* ditunjukkan dengan warna gelap. Struktur mikro yang terjadi pada daerah HAZ *stainless steel* lebih besar dibandingkan dengan *base metal stainless steel* sendiri [14].

Posisi pengelasan 3G pada HAZ SUS 304 memiliki struktur *ferrite* yang lebih rapat dibandingkan posisi pengelasan 1G dan 2G. Pada hasil struktur mikro daerah HAZ SS 400 fasa yang terjadi adalah fasa *ferrite* yang ditunjukkan dengan warna terang dan fasa *pearlite* yang ditunjukkan dengan warna gelap. Posisi pengelasan 3G pada HAZ SS 400 memiliki struktur *pearlite* yang lebih rapat dibandingkan posisi pengelasan 1G dan 2G. *Grain growth* pada HAZ dapat dipengaruhi oleh siklus termal dimana besar dan kecil dari nilai *heat input* dapat memberikan pengaruh bentuk dari struktur mikro pada daerah HAZ. Dalam hal ini dapat diartikan bahwa parameter pengelasan dapat mempengaruhi pertumbuhan struktur mikro pada HAZ [15]. Pada hasil struktur mikro daerah *weld metal* fasa yang terjadi adalah fasa *austenite* yang ditunjukkan dengan warna terang dan δ -*ferrite* dengan warna gelap. Bentuk dari δ -*ferrite* adalah *vermicular ferrite*. Struktur mikro yang terjadi pada *weld metal* posisi pengelasan 3G memiliki struktur δ -*ferrite* yang lebih rapat dibandingkan posisi pengelasan 1G dan 2G.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian kekerasan didapatkan bahwa *weld metal* posisi pengelasan 3G memiliki nilai kekerasan tertinggi sebesar 207,17 HVN tepatnya pada spesimen 3B dan posisi 2G memiliki nilai kekerasan terendah sebesar 195,13 HVN tepatnya

pada spesimen 2A. Hasil dari pengujian struktur mikro pada *weld metal* menunjukkan semua variasi posisi pengelasan struktur yang terbentuk yaitu butiran *austenite* berwarna putih dan *delta-ferrite* berwarna hitam. Bentuk dari *delta-ferrite* adalah *vermicular ferrite*.

Adapun saran yang perlu diperhatikan dalam mencapai hasil yang maksimal yaitu untuk memastikan ketiadaan cacat secara menyeluruh lebih baik jika dilakukan pengujian radiografi dan diperlukan pengujian *ferrite content* agar mengetahui kandungan *ferrite* pada daerah *base metal*, *heat affected zone* dan *weld metal*.

Referensi:

- [1] M.W. Ilham, "Analisis kombinasi Elektroda pada Pengelasan Material Baja dengan Stainless Steel Ditinjau dari Sifat Mekanik," *Tugas Akhir*, 2017.
- [2] Winarto, M. Anis, R. Riastuti, and I. N. Suarjana, "Study the Effect of Welding Positions and Plate Thickness to the Mechanical and Microstructural Properties of the TIG Dissimilar Metal Welded between Carbon Steel ASTM A36 and Stainless Steel 304 Plates," *Materials Science Forum*, vol. 1000, pp. 364–372, Feb. 2020, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1000.364.
- [3] A. F. Rachmadhani, "Influence of Gas Tungsten Arc Welding Heat Input to the Corrosion Rate of 316 Stainless Steel in Sodium Hypochlorite with Various Concentration," *Final Project*, 2019.
- [4] H.C. Chen, F. L. Ng, and Z. Du, "Hybrid laser-TIG welding of dissimilar ferrous steels: 10 mm thick low carbon steel to 304 austenitic stainless steel," *Journal of Manufacturing Processes*, Oct. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.10.013>.
- [5] B. Bagaskara, S. M. B. Respati, and M. Dzulfikar, "Pengaruh Posisi Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik, Foto Makro dan Mikro pada Baja ST 37 dengan Pengelasan SMAW untuk Rangka Billboard," Oct. 2019, pp. 132–136.
- [6] Azwinur and Muhazir, "Pengaruh Jenis Elektroda Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik Material SS400" *Journal Polimesin*, vol. 17, Feb. 2019 pp. 19–25.
- [7] I. N. I. Sihombing, U. Budiarno, A. F. Zakki, "Pengaruh Posisi Pengelasan dan Bentuk Kampuh Terhadap Kekuatan Tarik dan Mikrogafi Sambungan Las Metal Inert Gas (MIG) pada Aluminium 6061 Sebagai Bahan Material Kapal," *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 7, Oct. 2019, pp. 303–312.
- [8] P. Wen, D. Yelkenci, J. Chen, B. Chang, D. Du, and J. Shan, "Numerical Analysis of the Effect of Welding Positions on Formation Quality During Laser Welding of TC4 Titanium Alloy Parts in Aerospace Industry" *Journal of Laser Applications*, Mar. 2019 pp. 19–25, doi: <https://doi.org/10.2351/1.5096095>.
- [9] I. Hamdi, Taufiqullah and H. Oktadinata, "Pengaruh Variasi Posisi Pengelasan Terhadap Distorsi dan Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Baja SS400 Menggunakan Metode GMAW," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 8, Feb. 2020, pp. 1–10.
- [10] A. Nirmolo, "Analisa Ketahanan Korosi dari Daerah Sensitisasi pada Sambungan Lasan Logam Berbeda Jenis Antara Baja Tahan Karat SS304 dan Baja

- Karbon A36 dengan Parameter Ketebalan dan Posisi Pengelasan,” *Skripsi*, 2012.
- [11] M. R. Sugestian “Analisa Kekuatan Sambungan Las SMAW Vertical Horizontal Down Hand pada Plate Baja JIS 3131SPHC dan Stainless Steel 201 dengan Aplikasi Piles Transfer di Mesin Thermoforming (Stacking Unit),” *Jurnal Skripsi*, 2019.
- [12] A. Duniawan, “Pengaruh Gerak Elektroda dan Posisi Pengelasan Terhadap Uji Kekerasan dari Hasil Las Baja SSC 41” *Research Gate*, Mar. 2017, pp. 128–134.
- [13] AWS Ninth Edition Vol. 4, *Materials and Applications, Part 1*, Miami, FL 33126.
- [14] J. Wiley and Sons, *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*, Canada, 2005.
- [15] S. Kou, *Metallurgy Second Edition Welding Metallurgy*, Canada, 2003.
- [16] Morais Junior, Rui & Guterres, Marcelo & Galio, Alexandre & Costa, Henara. (2020). EFFECT OF WELDING POSITION ON THE MECHANICAL PERFORMANCE OF MANUAL METAL ARC WELDED JOINTS VIA ANALYSIS OF VARIANCE. *Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão* (ISSN: 2525-4782). 4. 10.21575/25254782rmetg2019vol4n6717.