

Pengaruh variasi temperatur PWHT dan tanpa PWHT terhadap sifat kekerasan baja ASTM A106 grade B pada proses pengelasan SMAW

Muhammad Femi Imanudin Purba¹, Al Fathier², Fakhriza²

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jl. Banda Aceh-Medan Km.280 Buketrata

Email : muhammadfemi2@gmail.com

ABSTRAK

Kekuatan sambungan material merupakan salah satu tujuan dari proses pengelasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai keseragaman kekerasan pada bagian-bagian yang terpengaruhi panas setelah dilakukan proses pengelasan dengan cara perlakuan panas atau *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) yaitu pada daerah *Base Metal*, *Heat Affected Zone* (HAZ) dan *Weldmetal*. Penelitian ini menggunakan bahan baja ASTM A 106 Grade B, baja ini termasuk bahan karbon rendah. Menggunakan pengelasan SMAW dengan elektroda yang digunakan LB-52-18 Ø3,2. Pengujian kekerasan menggunakan mesin *Hardness Test*, ASTM A 106 Grade B ini merupakan baja karbon rendah dengan sedikit kandungan silikon beberapa hasil penelitian menemukan bahwa kandungan silikonnya adalah 0,03. Posisi pengelasan dengan menggunakan posisi pengelasan 1G atau ketika mengelas pipa berputar pada sumbu horizontal, jenis kampuh yang digunakan adalah kampuh V dengan sudut 70°. Nilai kekerasan rata-rata spesimen yang tanpa perlakuan panas ini adalah *Base Metal-1* (63,2) *HAZ-1* (59,2) *Weldmetal* (60,67) *HAZ-2* (62) dan *Base Metal-2* (66,67). Dan adapun nilai kekerasan yang hampir mendekati dengan nilai kekerasan pada spesimen yang tanpa perlakuan panas adalah spesimen yang mendapat perlakuan panas dengan temperatur 400 derajat celsius dengan waktu pencapaian 30 menit dan ditahan dengan waktu 20 menit dengan nilai kekerasan rata-rata *Base Metal-1* (72,17) *HAZ-1* (59) *Weldmetal* (59,27) *HAZ-2* (59,83) dan *Base Metal-2* (72,5).

Kata kunci :Pengelasan, Post Weld Heat Treatment (PWHT), Nilai Keseragaman Kekerasan

ABSTRACT

The strength of the material connection is one of the objectives of the welding process. This study aims to determine the uniformity of hardness in the parts affected by heat after the welding process by means of heat treatment or Post Weld Heat Treatment (PWHT), namely in the Base Metal, Heat Affected Zone (HAZ) and Weldmetal. This study uses ASTM A 106 Grade B steel, this steel is a low carbon material. Using SMAW welding with electrodes used LB-52-18 Ø3,2. Hardness testing using the Hardness Test machine, ASTM A 106 Grade B Grade B is a low carbon steel with little silicon content some research results found that the silicon content is 0.03. Welding position using 1G welding position or when welding the pipe rotates on the horizontal axis, the type of seam used is seam V with an angle of 70 o. The average hardness value of specimens without heat treatment is Base Metal-1 (63.2) HAZ-1 (59.2) Weldmetal (60.67) HAZ-2 (62) and Base Metal-2 (66.67). And the hardness value which is almost close to the hardness value in specimens without heat treatment are specimens that are heat treated with a temperature of 400 degrees Celsius with an achievement time of 30 minutes and held for 20 minutes with an average hardness value of Base Metal-1 (72 , 17) HAZ-1 (59) Weldmetal (59.27) HAZ-2 (59.83) and Base Metal-2 (72.5).

Keywords: Welding, Post Weld Heat Treatment (PWHT), Hardness Uniformity Value

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah suatu pekerjaan yang paling sering digunakan dalam dunia konstruksi dan industri sekarang ini. Pengelasan sering digunakan untuk perbaikan dan pemeliharaan dari semua alat-alat yang terbuat dari logam, baik sebagai proses

penambalan retak-retak, penyambungan sementara, maupun pemotongan bagian-bagian logam.

Pada penyambungan pipa selalu dilakukan proses pengelasan. Untuk mendapatkan sifat mekanik yang sesuai dengan penggunaan di lapangan, maka perlu diperhatikan prosedur

pengelasan yang sesuai standar yang digunakan seperti *American Welding Standard* (AWS)[1].

Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur yang tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan sisa dan kekerasan yang tinggi pada daerah pengaruh panas atau *Heat Affected Zone* (HAZ). Tegangan sisa bersifat menetap, dan terjadi akibat siklus termal yang tidak merata dengan diikuti oleh siklus pendinginan yang tidak merata pula.

Terdapat dua cara untuk membebaskan tegangan sisa, yaitu cara mekanik dan cara termal. Dari kedua cara ini yang paling banyak dilakukan adalah cara termal dengan proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). Pada proses PWHT, waktu penahanan (*holding time*), suhu pemanasan, dan laju pendinginan merupakan faktor yang sangat penting. PWHT memiliki banyak fungsi selain menurunkan tegangan sisa, juga meningkatkan ketangguhan di daerah HAZ dan memperbaiki butir-butir kristal suatu material. Besar butir-butir kristal sangat mempengaruhi energi patah dan perambatan retak, makin halus butir-butir kristal maka makin rendah kegetasannya. Tindakan memperhalus butir adalah tindakan yang sangat tepat dalam memperbaiki keuletan dan ketangguhan baja. Penerapan prosedur PWHT pada dunia industri dan konstruksi sangat dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas suatu produk, terutama pada pipa-pipa gas dan tangki gas. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi perambatan retak pada hasil pengelasan dan meningkatkan ketangguhan suatu material. Pemilihan suhu dan waktu tahan harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang maksimal[2].

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh PWHT dalam mengurangi kegetasan, tegangan sisa dan sebagai langkah untuk mengembalikan kondisi struktur material dan juga untuk mengetahui pengaruh *post weld heat treatment* dengan variasi *holding* 20 menit pada temperature 400°C, 600°C, dan 800°C terhadap nilai kekerasan pada daerah *weld metal*, *base metal*, dan HAZ.

1.1 Post Weld Heat Treatment

Post Weld Heat Treatment (PWHT) adalah proses perlakuan panas yang dilakukan setelah proses pengelasan. PWHT bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, misalnya kekuatan, kelunakkan, kekerasan, ketangguhan dan memperhalus ukuran butir.

1.2 Jenis-Jenis Post Weld Heat Treatment

1.2.1 Hardening

Hardening adalah suatu proses perlakuan panas yang dilakukan untuk menghasilkan suatu benda kerja yang keras, proses ini dilakukan pada

temperatur tinggi yaitu pada temperatur austenisasi yang digunakan untuk melarutkan sementit dalam austenit yang kemudian di quench. Temperatur pemanasan awal yang dilakukan adalah 500°-600°C.[3]

1.2.2 Tempering

Tempering adalah benda kerja dipanaskan sampai ke temperatur pengerasan dengan cara yang biasa (antara 370°C sampai 540°C), medium yang digunakan adalah cairan garam. Temperatur cairan garam tersebut dijaga konstan di atas temperatur Ms dari baja yang bersangkutan.

1.2.3 Carburizing

Carburizing adalah memanaskan pada temperatur yang cukup tinggi (antara 850, 900, dan 950°C) yaitu pada temperatur austenit dalam lingkungan yang mengandung atom karbon aktif, sehingga atom karbon aktif tersebut akan berdifusi masuk ke dalam permukaan baja dan mencapai kedalaman tertentu.

1.2.4 Nitriding

Nitriding adalah proses pengerasan permukaan dengan jalan mendifusikan unsur nitrogen ke permukaan larutan pada logam/baja dan besi cor feritik, yaitu dengan cara memanaskan dan menahan logam/baja dan besi cor tersebut pada temperatur dibawah temperatur kritis bawah (antara 500-590°C) selama periode waktu tertentu dalam kontak dengan gas atau cairan yang mengandung unsur nitrogen.

PWHT mempunyai tiga dasar yaitu :

1. *Heating* merupakan pemanasan sampai diatas atau dibawah temperatur kritis suatu material.
2. *Holding* adalah menahan material pada temperatur pemanasan untuk memberikan kesempatan perubahan struktur mikro.
3. *Cooling* adalah mendinginkan dengan kecepatan yang diinginkan.

1.3 Tujuan Post Weld Heat Treatment

1. Pelepasan tegangan sisa.
2. Meminimalkan kerentanan terhadap formasi retak terutama pada kondisi yang mana kemungkinan untuk ketangguhan takik tinggi.
3. Untuk meningkatkan stabilitas dimensi.
4. Untuk mengurangi kekerasan yang terkena dampak panas (HAZ) dengan dekomposisi *martensite* dan struktur jenuh lainnya.
5. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

1.4 Spesifikasi Material A 106 GRADE B

Material A 106 Grade B merupakan spesifikasi pipa baja (*seamless* dan *welded pipe*) yang memiliki kekuatan tinggi untuk keperluan konstruksi *pipelines*

dimana diperlukan tingginya kekuatan dan ketahanan terhadap tekanan. *Fully killed* adalah jenis baja yang telah diproses dengan menambahkan unsur deoksidasi (*deoksider*) seperti aluminium (Al) dan silikon (Si) dalam kadar tertentu. Prosesnya biasanya dilakukan di suatu cetakan dimana setelah pembekuan baja tersebut terlihat adanya penyusutan dibagian atasnya (*top of the ingot*). Hal tersebut diakibatkan oleh adanya gas yang berevolusi atau keluar seluruhnya pada proses pembekuan baja tersebut. Baja tersebut umumnya diaplikasikan untuk proses perubahan bentuk dingin (*cold forming process*) seperti *cold expanding* (Migas, 2007). Material dan spesifikasi pipa A 106 Grade B terlihat seperti pada Tabel 1 di bawah ini menunjukkan beberapa komposisi kimia dari material tersebut[4].

Tabel 1. Material dan spesifikasi pipa api 5L[6].

Elemen	C	MN	P	S	Si	Cr	Cu	Mo	Ni	V
	Maks	0.29-1.06	Maks	Maks	Min	Maks	Maks	Maks	Maks	Maks
A 106 Grade B	0.30	0.29-1.06	0.035	0.035	0.10	0.40	0.40	0.15	0.40	0.08

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan utama besi dan karbon dengan komposisi karbon < 0.3 %. Baja karbon menengah memiliki kandungan karbon 0.3 s.d 0.8 %. Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon sebesar 0.8 s.d 2 %. Material A 106 Grade B tergolong jenis baja karbon rendah karena memiliki kadar karbon sebesar 0.30 %.

1.5 Pengujian Kekerasan

Proses pengujian logam kekerasan logam dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Harga kekerasan bahan tersebut dapat dianalisis dari besarnya pembebanan yang diberikan terhadap luasan bidang yang menerima pembebanan. Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical Properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami pergesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis[5].

1.6 Pengujian Tarik

Material yang digunakan adalah material API 5L Grade B. Untuk memastikan material tersebut benar, maka dilakukan pengujian tarik terhadap satu spesimen uji dan selanjutnya membandingkan data pengujian tersebut dengan data spesifikasi material A 106 Grade B sesuai dengan standar. Data hasil pengujian adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Tarik

NO	JENIS BAHAN UJI	Fy (Kgf)	σ_y (Kgf/mm ²)	Fu (Kgf)	σ_u (Kgf/mm ²)	ε (%)
1	PIPA A 106 GRADE B	5169.97	23.80	7402.8	33.05	69.71

2 Metode Penelitian

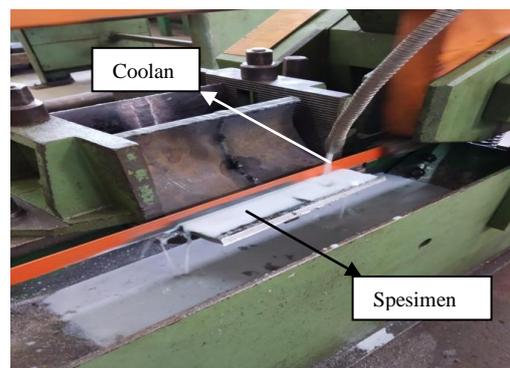
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dan analisa yang digunakan untuk mengetahui pengaruh *post weld heat treatment* terhadap sifat mekanik pada sambungan las material A 106 Grade B. Eksperimental adalah melakukan pengamatan dibawah kondisi buatan yang sengaja diatur dan dibuat oleh peneliti. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ASTM A 106 Grade B

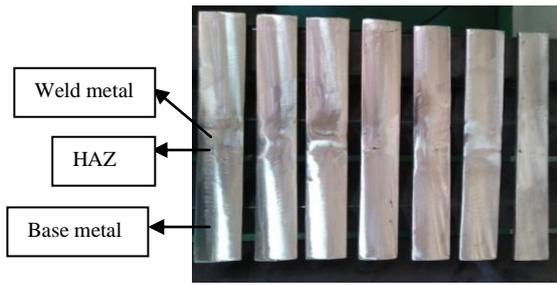
Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengelasan adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan mesin las SMAW sesuai dengan polaritas DCEP (*Direct Current Electrode Positive*).
2. Mempersiapkan elektroda E7018 dengan diameter elektroda ϕ 3.2 mm dan E6010 dengan diameter elektroda ϕ 2.6 mm.
3. Mempersiapkan 2 buah pipa baja A 106 Grade B dengan ukuran diameter ϕ 10 inch, panjang 200 mm, dan tebal 7,11 mm yang kedua sisi pipa telah dibevel 35°.
4. Hidupkan mesin las, kemudian elektroda dijepitkan pada *holder* elektroda dan massa pada mesin las dijepitkan pada meja las.
5. Atur *root gap* antara 2 pipa yang akan di las dengan ukuran 3 mm.
6. Posisi pengelasan yang dilakukan adalah posisi 1 G pipa.
7. Ampere meter diatur pada angka 80 Ampere.

2.1 Proses Pemotongan Spesimen Uji PWHT

Pipa yang sudah dilakukan pengelasan, selanjutnya dipotong menjadi 7 bagian guna untuk dilakukan pengujian PWHT dan uji kekerasan. Proses pemotongan seperti pada gambar 1 dibawah ini.





Gambar 1. Spesimen untuk PWHT

3. Hasil dan Pembahasan

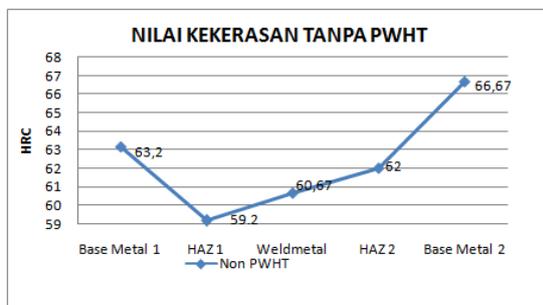
3.1 Hasil Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan menghasilkan data dari nilai kekerasan spesimen yang tidak dilakukan PWHT dan spesimen yang dilakukan variasi PWHT dengan waktu penahanan (*holding time*) 15,30, dan 45 menit. Nilai kekerasan dari setiap spesimen dimasukkan kedalam Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Nilai hasil kekerasan HRC

Temperatur PWHT	Waktu Tahan	Pengulangan	Nilai Kekerasan HRC				
			Base Metal-1 (a)	HAZ-1 (b)	Weld metal (c)	HAZ-2 (d)	Base Metal-2 (e)
Tanpa PWHT	Tanpa PWHT	1	62.50	55	59	62.50	70
		2	63.50	63	56	58	68.50
		3	63.50	59.50	67	65.50	61.50
		Rata-rata	63.17	59.17	60.67	62	66.67
Temperatur PWHT 400°C	20 Menit	1	70.50	63	62	62.50	72.50
		2	74	53.50	57.50	61	72
		3	72	60.50	58	56	73
		Rata-rata	72.17	59	59.17	59.83	72.50
Temperatur PWHT 600°C	20 Menit	1	71	51	16	22.50	68
		2	69.50	43	33.50	15.50	66
		3	67	31.50	42.50	24.50	68.50
		Rata-rata	69.17	43.83	30.67	20.83	67.50
Temperatur PWHT 800°C	20 Menit	1	61	56	67.50	60.50	65
		2	62.50	50.50	53.50	61.50	63.50
		3	62.50	53.50	59	64.50	67.50
		Rata-rata	62	53.33	60	61.83	65.33

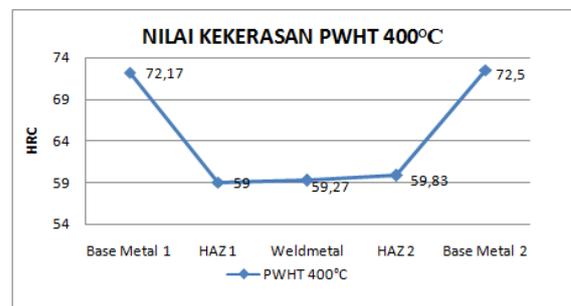
Adapun gambar grafik dari masing-masing nilai kekerasan seperti dibawah ini.



Gambar 2. Nilai kekerasan non PWHT

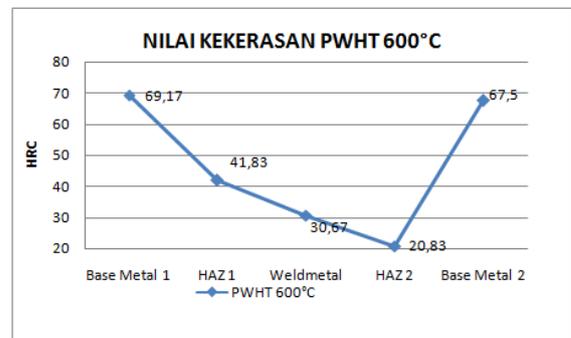
Tujuan dilakukan tanpa PWHT adalah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh dari nilai

kekerasan setelah dilakukan PWHT pada hasil lasan. Gambar 2 diatas menunjukkan nilai kekerasan base metal 1 sebesar 63.2 HRC dan nilai kekerasan base metal 2 sebesar 66.67 HRC, ini terlihat terjadi kenaikan nilai kekerasan sebesar 3.47 HRC pada daerah base metal 2. Nilai kekerasan HAZ 1 sebesar 59.2 HRC dan nilai kekerasan HAZ 2 sebesar 62 HRC, terlihat terjadi kenaikan antara kekerasan HAZ 1 dan HAZ 2 sebesar 2.8 HRC. Nilai kekerasan weldmetal dengan nilai kekerasan sebesar 60.7 HRC. Nilai kekerasan antara base metal 1 dan daerah HAZ 1 mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 4 HRC, sebaliknya yang terjadi pada daerah kekerasan HAZ 2 dan daerah base metal 2 terjadi kenaikan nilai kekerasan yang signifikan yaitu sebesar 4.67 HRC.



Gambar 3. Nilai kekerasan PWHT 400°C

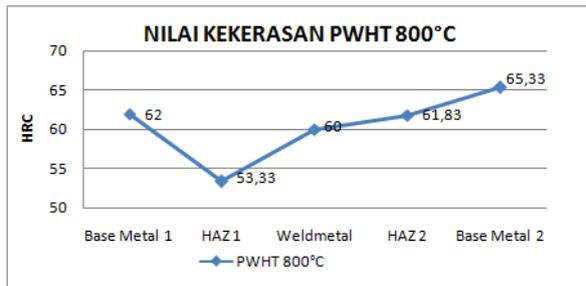
Gambar 3 diatas menunjukkan nilai kekerasan base metal 1 sebesar 72.17 HRC dan nilai kekerasan base metal 2 sebesar 72.5 HRC, ini terlihat terjadi kenaikan nilai kekerasan sebesar 0.33 HRC pada daerah base metal 2. Nilai kekerasan HAZ 1 sebesar 59 HRC dan nilai kekerasan HAZ 2 sebesar 59.8 HRC, terlihat terjadi kenaikan nilai kekerasan antara kekerasan HAZ 1 dan HAZ 2 sebesar 0.8 HRC. Nilai kekerasan daerah weld metal sebesar 59.27 HRC. Nilai kekerasan terendah terjadi pada daerah HAZ 1 yakni sebesar 59 HRC dan diikuti dengan daerah weld metal sebesar 59.2 HRC.



Gambar 4. Nilai kekerasan PWHT 600°C

Gambar 4 diatas menunjukkan nilai kekerasan base metal 1 sebesar 69.17 HRC dan nilai

kekerasan base metal 2 sebesar 67.5 HRC, ini terlihat terjadi penurunan nilai kekerasan sebesar 1.67 HRC pada daerah base metal 2. Nilai kekerasan HAZ 1 sebesar 41.83HRC dan nilai kekerasan HAZ 2 sebesar 20.83 HRC, terlihat terjadi penurunan yang signifikan antara kekerasan HAZ 1 dan HAZ 2 sebesar 21 HRC. Nilai kekerasan daerah weld metal sebesar 30.67 HRC. Nilai kekerasan terendah terjadi pada daerah HAZ 2 sebesar 20.83HRC, weld metal sebesar 30.67 HRC, dan HAZ 1 sebesar 41.83 HRC. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada daerah base metal dengan nilai kekerasan sebesar 69.17 HRC.

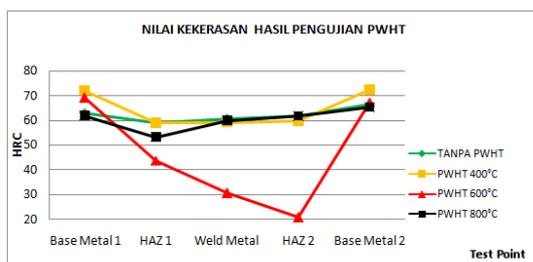


Gambar 5. Nilai kekerasan PWHT 800°C

Gambar 5 diatas menunjukkan nilai kekerasan pada daerah base metal 1 sebesar 62 HRC dan daerah base metal 2 sebesar 65.33 HRC, terlihat terjadi peningkatan kekerasan pada daerah base metal 2 sebesar 3.33 HRC. Nilai kekerasan pada daerah HAZ 1 sebesar 53.33 HRC dan pada daerah HAZ 2 sebesar 61.83 HRC, ini menunjukkan terjadinya kenaikan nilai kekerasan sebesar 8.5 HRC pada daerah HAZ 2. Selanjutnya nilai kekerasan pada daerah weld metal sebesar 60 HRC. Grafik PWHT 800°Cmenit menunjukkan terjadinya penurunan dari nilai hasil kekerasan base metal 1 dan daerah HAZ 1 sebesar 8.67 HRC, dan kenaikan dari daerah HAZ 1 dan daerah weld metal sebesar 6.67 HRC, dan kenaikan dari daerah weld metal ke daerah HAZ 2 sebesar 1.83 HRC.

3.2 Pembahasan

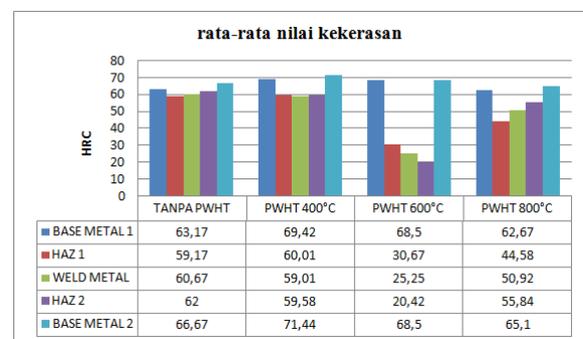
Gabungan nilai kekerasan non PWHT, PWHT Temperatur 400°C 600°C 800°C terlihat seperti gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Gambar nilai kekerasan non PWHT, PWHT Temperatur 400°C 600°C 800°C.

Gambar 6 diatas merupakan gabungan nilai kekerasan hasil tanpa PWHT, PWHT 400°C, 600°C, dan 800°C . Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen yang dilakukan PWHT pada temperatur 400°C yakni sebesar 72.5 HRC yang berada pada daerah base metal 2. Nilai kekerasan terendah terjadi pada spesimen yang dilakukan PWHT pada temperatur 600°C sebesar 20.83 HRC berada pada daerah HAZ 2. Lain halnya pada daerah base metal 1, nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen yang dilakukan PWHT 400°C sebesar 72.17 HRC, diikuti dengan PWHT pada temperatur 600°C sebesar 69.17 HRC pada daerah base metal.

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa PWHT sangat berpengaruh terhadap nilai kekerasan pada suatu material hasil lasan. Nilai kekerasan PWHT pada temperatur 600°C adalah nilai kekerasan terendah dibandingkan dengan PWHT 400°C dan 800°C.



Gambar 7. Gambar rata-rata nilai kekerasan tanpa PWHT, PWHT Temperatur 400°C 600°C 800°C.

Gambar 7 diatas menunjukkan nilai rata-rata dari kekerasan non PWHT, PWHT Temperatur 400°C 600°C 800°C. Dari diagram tersebut terlihat bahwa nilai kekerasan tertinggi di daerah Base Metal terjadi pada spesimen yang PWHT pada temperatur 400°C dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 70.43 HRC. Nilai kekerasan terendah di daerah Base Metal terjadi pada spesimen yang dilakukan PWHT pada temperatur 800°C dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 63.89 HRC. Dan nilai kekerasan tertinggi di daerah HAZ terjadi pada spesimen yang tidak dilakukan PWHT dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 60.59 HRC, Nilai kekerasan terendah di daerah HAZ terjadi pada spesimen yang dilakukan PWHT pada temperatur 600°C dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 25.55 HRC. Pola penurunan nilai kekerasan pada sambungan las ini disebabkan karena pada temperatur 600°C kandungan Fe₃C sudah semakin menghilang. Dan nilai kekerasan tertinggi di daerah Weld Metal terjadi pada spesimen yang tidak dilakukan PWHT dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 60.67 HRC, Nilai kekerasan terendah di daerah Weld Metal terjadi pada spesimen yang

dilakukan PWHT pada temperatur 600°C dengan nilai kekerasan rata-rata sebesar 25.25 HRC.

Nilai kekerasan PWHT 400°C rata-rata sebesar 61.39 HRC. Selanjutnya nilai kekerasan pada spesimen yang dilakukan PWHT 800°C rata-rata sebesar 60.48 HRC. Hasil uji nilai kekerasan yang terbaik terdapat pada PWHT di temperatur 400°C begitu pula dengan PWHT 600°C Pola penurunan nilai kekerasan pada sambungan las.

4. Kesimpulan

Proses PWHT akan meningkatkan nilai kekerasan pada material atau hasil lasan karena disebabkan oleh bentuk struktur mikro material didominasi oleh ferit yang lebih banyak dan butirannya semakin mengecil sehingga akan meningkatkan nilai kekerasan suatu material. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada proses PWHT 400°C terjadi pada spesimen yang dilakukan waktu tahan selama 20 menit dengan nilai kekerasan sebesar 61.39 HRC. Hasil nilai kekerasan terendah pada proses PWHT 600°C terjadi pada spesimen yang dilakukan waktu tahan selama 20 menit dengan nilai kekerasan sebesar 46 HRC, Hasil nilai kekerasan tertinggi terjadi pada spesimen yang tidak dilakukan PWHT dengan nilai kekerasan sebesar 62.36 HRC.

Referensi

- [1] Arif Marwanto, S. P. (2007). *Shield Metal Arc Welding*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- [2] Mizhar, S., & Pandiangan, I. H. (2014). Pengaruh Masukan Panas Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Ketangguhan pada Pengelasan Shield Metal Arc Welding (SMAW) Dari Pipa Baja Diameter 2,5 Inchi, 2(14), 16–22.
- [3] Santoso, J. (2006). *Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik dan Ketangguhan Las SMAW Dengan Elektroda E7018*. Universitas Negeri Semarang.
- [4] Saputra, E. (2012). *Pengaruh Arus Pengelasan SMAW Terhadap Sifat Mekanik pada Material ST 37*. Politeknik Negeri Lhokseumawe.
- [5] Sembiring, O. S. (2015). *Laporan Praktikum Material Percobaan Uji Kekerasan*. Universitas Lampung.
- [6] American Petroleum Institute. 1997. *Specification for Line Pipe*. 41 Editions
- [7] K. Ariesta, G. D. Haryadi, and Y. Umardani, "Pengaruh Post Weld Heat Treatment (Pwht)–Tempering Pada Sambungan Medium Carbon Steel Np-42 Dengan Las Thermit Terhadap Nilai Kekerasan Dan Struktur Mikro," *J. Tek. MESIN*, vol. 2, no. 2, pp. 138–145, 2014.
- [8] A. Sawaldi and A. Ibrahim, "Pengaruh PWHT terhadap struktur mikro pada lasan pipa baja ASTM A106 grade B," *J. Weld. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 31–35, 2020.
- [9] I. Arif Rahman Hakim, "Analisa pengaruh variasi kampuh terhadap hasil pengelasan SMAW pada stainless steel 304 menggunakan pengujian ultrasonic dan kekuatan tarik.," *J. POLIMESIN*, vol. 18, no. 1, pp. 30–38, 2020.
- [10] Y. Purwaningrum, "KARAKTERISASI SIFAT FISIS DAN MEKANIS SAMBUNGAN LAS SMAW BAJA A-287 SEBELUM DAN SESUDAH PWHT," vol. 11, no. 3, pp. 233–242, 2006.