

PENGARUH SUHU PWHT ANNEALING TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN KEKERASAN PIPA ASTM 106 GRADE B PADA PENGELASAN SMAW

Ade Amelia Sapriana

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: ade.17050754048@mhs.unesa.ac.id

Yunus

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: yunus@unesa.ac.id

Abstrak

Penyambungan pipa di industri minyak dan gas umumnya menggunakan metode pengelasan. Pada proses pengelasan, menghasilkan berbagai siklus termal di dekat area pengelasan. Perlakuan panas setelah proses pengelasan bertujuan untuk menghilangkan tegangan sisa yang diakibatkan oleh pemanasan yang tidak merata. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh suhu pada proses PWHT annealing terhadap kekuatan bending dan kekerasan pipa ASTM A106 Grade B dengan pengelasan SMAW. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Dalam penelitian ini, pipa dilas menggunakan pengelasan SMAW, dengan elektroda E7016, arus las sebesar 80A, posisi pengelasan 1G, kemudian dilakukan pembentukan spesimen. Selanjutnya, spesimen diberi perlakuan annealing dengan variasi suhu 350°C, 550°C dan 750°C dengan waktu tahan selama 60 menit. Kemudian dilakukan uji kekerasan dan uji kekuatan bending. Setelah data hasil uji didapatkan kemudian data tersebut dianalisis statistika menggunakan metode one way ANOVA dan juga uji-t. Dari hasil penelitian yang dilakukan diketahui bahwa ada pengaruh yang signifikan terhadap suhu PWHT Annealing terhadap nilai bending dan kekerasan Pipa ASTM A106 Grade B. Adapun nilai bending tertinggi yaitu 11603,30 MPa pada variasi suhu 750°C dan terendah 8670,69 MPa pada suhu 350°C. Serta nilai kekerasan tertinggi yakni 53,64 HRC pada suhu 350°C dan terendah 52,24 HRC pada suhu 750°C.

Kata kunci: Pipa ASTM A106 Grade B, SMAW, PWHT Annealing, Uji Kekerasan, Uji Bending

Abstract

Pipe connection in the oil and gas industry generally uses the welding method. In the welding process, it creates various thermal cycles near the welding area. Heat treatment after the welding process aims to eliminate the residual stress caused by uneven heating. The purpose of this study was to determine whether there is an effect of temperature on the PWHT annealing process on the bending strength and hardness of ASTM A106 Grade B Pipe by SMAW welding. This research is using an experimental research. In this recent study, the pipe was welded using SMAW welding, with E7016 electrode, welding current of 80A, welding position of 1G, then specimen formation was created. Furthermore, the specimens were treated with annealing treatment with temperature variations of 350°C, 550°C, and 750°C, therefore the duration of this treatment was 60 minutes. After that, the process continued by the hardness test and bending strength test. After the test results were obtained, the data were statistically analyzed using the one way ANOVA method and the t-test. From the results of the research, it is known that there is a significant effect on the PWHT annealing temperature on the bending value and hardness of the ASTM 106 Grade B Pipe. The highest bending strength value is 11603.30 MPa at a temperature variation of 750°C and the lowest is 8670.69 MPa at 350°C. And the highest hardness value is 53.64 HRC at 350 °C and the lowest 52.24 HRC at 750 °C.

Keywords: ASTM A106 Grade B Pipe, SMAW, PWHT Annealing, Bending Test, Hardness Test

PENDAHULUAN

Penyambungan material dengan pengelasan banyak digunakan dalam bidang industri dan manufaktur. Penerapan teknik pengelasan dalam kehidupan sehari-hari banyak dijumpai pada rangka baja bangunan, perkapalan, konstruksi jembatan, pipa saluran, dan lain-lain. Pengelasan merupakan sambungan setempat dari beberapa logam dengan menggunakan energi panas (Okumura dan Wiryosumarto, 1996). DIN (Deutch Industrie Normen)

mendefinisikan las sebagai ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Jika sambungan tersebut dapat menahan beban atau gaya yang bekerja padanya, maka kualitas pengelasannya dapat dikatakan baik.

Pada industri minyak dan gas, penyambungan material menggunakan pengelasan merupakan hal yang lazim digunakan. Material ASTM A106 Grade B merupakan jenis pipa yang umum digunakan sebagai pipa penyaluran gas dan minyak bumi di berbagai industri minyak dan gas.

Pipa ini terbuat dari baja karbon dengan kandungan karbon maksimum 0,30% C dan kekuatan tarik minimum sebesar 415 MPa. Selama proses pengelasan, sumber panas berjalan terus dan temperatur area yang dilas akan terus berubah, dan menghasilkan perbedaan distribusi temperatur logam yang berbeda. Oleh karena itu, terjadi pemuaihan dan penyusutan yang tidak merata antara bagian logam yang dilas dan tidak dilas. Hasilnya adalah peregangan di area pengelasan, yang dapat menyebabkan perubahan bentuk secara permanen atau distorsi. Regangan ini menyebabkan tegangan yang bersifat permanen, yang disebut tegangan sisa. Tegangan sisa akan menimbulkan efek lain yaitu distorsi.

Permasalahan yang paling berpengaruh pada hasil pengelasan adalah kekuatan hasil pengelasan yang dipengaruhi antara lain, kecepatan pengelasan, jarak elektroda, penentuan arus yang digunakan, jenis elektroda, metode pendinginan setelah pengelasan, serta proses heat treatment baik sebelum maupun setelah pengelasan. Heat Treatment (perlakuan panas) adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan spesimen pada elektrik furnace (tungku) pada temperatur yang ditentukan selama periode waktu tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Perlakuan panas adalah proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu (Avner,1987).

Proses annealing merupakan proses perlakuan panas terhadap logam atau paduan dengan memanaskan logam tersebut pada temperatur tertentu, ditahan pada temperatur tersebut beberapa saat dan kemudian logam didinginkan dengan laju pendinginan yang sangat lambat. Proses perlakuan panas yang diberikan bertujuan untuk memperbaiki sifat mekanik logam atau paduan. Annealing merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan perlit yang kasar (coarse perlite) tetapi lunak dengan pemanasan sampai austenisasi dan didinginkan secara perlahan-lahan dalam tungku pemanas (furnace), yang bertujuan untuk memperbaiki ukuran butir serta dalam beberapa hal juga memperbaiki machinability. Disamping itu juga pelunakan dilakukan untuk tujuan meningkatkan keuletan dan mengurangi tegangan dalam yang menyebabkan material berperilaku getas (Dieter, 1996).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh suhu pada proses PWHT *annealing* terhadap kekuatan bending dan kekerasan pipa ASTM A106 Grade B dengan pengelasan SMAW

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu prosedur penelitian yang dilakukan untuk mengungkapkan hubungan sebab akibat antara variabel bebas dan variabel terikat. Penelitian eksperimental menggunakan metode kuantitatif yang mana data hasil penelitian yang didapatkan dianalisa secara statistik.

Pada eksperimen ini peneliti ingin mengetahui pengaruh variasi suhu proses PWHT *annealing* yaitu dengan suhu 350°C, 550°C dan 750°C dengan waktu tahan selama 60 menit terhadap nilai kekerasan yang didapat dari pengujian kekerasan Rockwell dan kekuatan bending pipa ASTM A106 Grade B.

Tempat dan Waktu Penelitian

• Tempat Penelitian

Pengelasan dan pembuatan spesimen dilakukan di PPSDM MIGAS Cepu, PWHT *Annealing* dilakukan di Lab *Furnace* UNESA, uji bending di Politeknik Negeri Malang, uji kekerasan *Rockwell* di Lab Pengujian Bahan Universitas Negeri Surabaya.

• Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan dalam rentang waktu tiga bulan setelah pengajuan penelitian disetujui.

Variabel Penelitian

• Variabel Bebas

Variasi suhu pada proses PWHT *annealing* yaitu 350°C, 550°C dan 750°C.

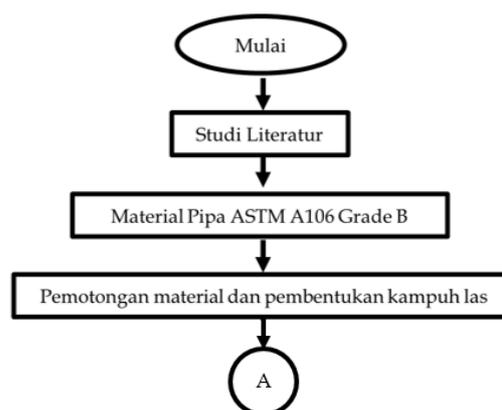
• Variabel Terikat

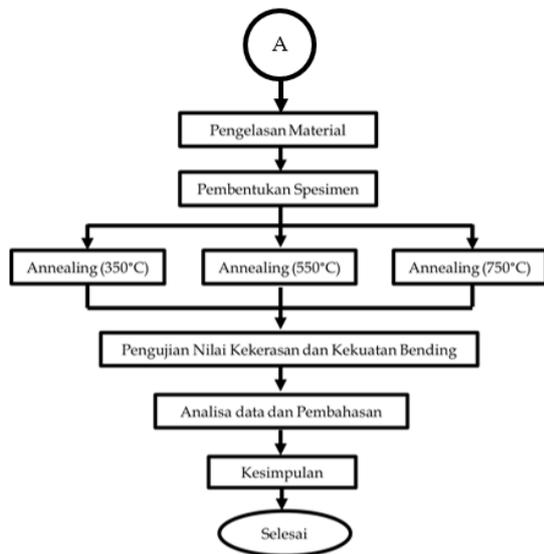
Nilai kekerasan dan kekuatan bending pada pipa ASTM A106 Grade B

• Variabel Kontrol

Material Pipa ASTM A106 *Grade B*, jenis las SMAW dengan arus 80 A, elektroda E7016, posisi pengelasan 1G dengan kampuh las V dan PWHT *Annealing* dengan waktu tahan 60 menit.

Rancangan Penelitian





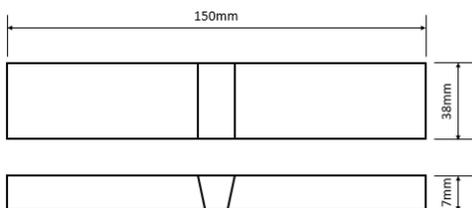
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Proses Pengelasan

- Mempersiapkan material yaitu Pipa ASTM A106 Grade B dan elektroda las
- Material dipotong sesuai dengan dimensi yang diinginkan kemudian dirapikan menggunakan gerinda
- Membuat bevel las dengan sudut 70°
- Mengatur ampere pengelasan sesuai yang diinginkan
- Melakukan tack weld atau las ikat pada pipa
- Lakukan pengelasan dengan posisi 1G
- Melakukan pengelasan sebanyak tiga lapis yaitu root, filler dan capping weld
- Pendinginan dilakukan di udara terbuka
- Setelah pengelasan selesai, terak dibersihkan.

Pembuatan Spesimen Uji

Spesimen uji bending sebanyak 27 spesimen, yaitu sebanyak 9 spesimen pada tiap variasi suhu.



Gambar 2. Ukuran Spesimen Uji

Teknik Analisis Data

Setelah dilakukan perhitungan pada data hasil pengujian, selanjutnya dilakukan analisis data. Untuk mengetahui signifikansi hasil pengujian, dilakukan analisis statistika menggunakan metode ANOVA. Kemudian untuk

mengetahui perbedaan signifikansi antar dua variabel dilakukan uji-t.

HASIL DAN PEMBAHASAN

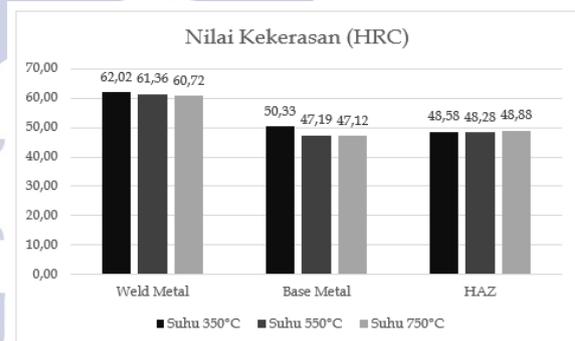
Data Hasil Pengujian

- Pengujian Kekerasan

Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan

Variasi	Spesimen	Nilai Titik Uji (HRC)			HRC
		Weld Metal	Base Metal	HAZ	
350°C	1	58,60	51,30	50,95	53,62
	2	61,65	51,10	50,10	54,28
	3	60,85	50,65	47,75	53,08
	4	62,50	50,20	46,00	52,90
	5	63,60	50,90	47,80	54,10
	6	61,55	50,40	46,90	52,95
	7	63,20	51,70	50,75	55,22
	8	64,85	47,10	50,15	54,03
	9	61,40	49,60	46,85	52,62
Rata-rata		62,02	50,33	48,58	53,64
550°C	1	61,38	47,10	47,20	51,89
	2	61,73	45,20	50,55	52,49
	3	61,43	46,60	47,85	51,96
	4	61,83	46,70	47,35	51,96
	5	61,90	47,40	45,65	51,65
	6	61,73	48,10	49,80	53,21
	7	61,78	48,30	48,65	52,91
	8	60,78	47,80	47,80	52,13
	9	59,70	47,50	49,65	52,28
Rata-rata		61,36	47,19	48,28	52,28
750°C	1	61,50	47,21	47,85	52,19
	2	61,75	47,59	48,50	52,61
	3	61,50	46,81	47,20	51,84
	4	62,75	47,11	48,90	52,92
	5	56,50	47,71	50,65	51,62
	6	59,25	47,5	50,05	52,27
	7	61,75	47,19	48,90	52,61
	8	60,95	45,89	48,35	51,73
	9	60,55	47,1	49,55	52,40
Rata-rata		60,72	47,12	48,88	52,24

Dari nilai kekerasan yang didapatkan, maka dibuatlah grafik perbandingan nilai kekerasan HRC rata-rata dari tiga variasi suhu PWHT di tiga titik uji adalah sebagai berikut.



Gambar 3. Grafik Nilai Rata-Rata Kekerasan HRC

Pada daerah weld metal nilai kekerasan tertinggi yaitu pada suhu 350°C dengan nilai 62,02 HRC dan nilai kekerasan terendah yaitu pada suhu 750°C dengan nilai 60,72 HRC. Pada daerah base metal nilai kekerasan tertinggi yaitu pada suhu 350°C dengan nilai 50,33 HRC dan nilai kekerasan terendah yaitu pada suhu 750°C dengan nilai 47,12 HRC. Pada daerah HAZ nilai tertinggi yaitu pada suhu 750°C dengan nilai 48,88 HRC dan nilai kekerasan terendah yaitu pada suhu 550°C dengan nilai 48,28 HRC.

Tabel 2. Hasil Uji-T Nilai Kekerasan

No	Variasi	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	Sig. (2-tailed)	Ket
1	Suhu 350°C	53,6444	0,84021	0,28007	4,178	0,001	Ho ditolak Ha diterima
	Suhu 550°C	52,2756	0,51015	0,17005	4,178		
2	Suhu 350°C	53,6444	0,84021	0,28007	4,425	0,001	Ho ditolak Ha diterima
	Suhu 750°C	52,2433	0,44294	0,14765	4,425		
3	Suhu 550°C	52,2756	0,51015	0,17005	0,143	0,888	Ho diterima Ha ditolak
	Suhu 750°C	52,2433	0,44294	0,14765	0,143		

Berdasarkan hasil uji-t didapatkan nilai t hitung sebesar 4,178 dengan nilai sig sebesar 0,001, maka Ho ditolak dan Ha diterima. Sehingga dinyatakan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara suhu PWHT 350°C dan 550°C pada nilai kekerasan Pipa ASTM A106 Grade B, dimana nilai kekerasan variasi suhu 350°C lebih besar dibandingkan dengan variasi suhu 550 °C.

Berdasarkan uji-t didapatkan nilai t hitung sebesar 4,425 dengan nilai sig sebesar 0,001, maka Ho ditolak dan Ha diterima. Sehingga dinyatakan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara suhu PWHT 350°C dan 750°C pada nilai kekerasan Pipa ASTM A106 Grade B, dimana nilai kekerasan variasi suhu 350°C lebih besar dibandingkan dengan variasi suhu 750°C.

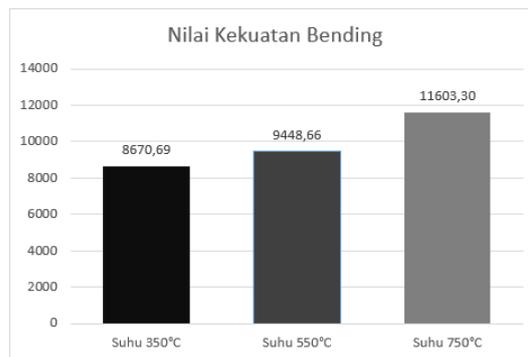
Berdasarkan uji-t didapatkan nilai t hitung sebesar 0,143 dengan nilai sig sebesar 0,888, maka Ho diterima dan Ha ditolak. Sehingga dinyatakan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara suhu PWHT 550°C dan 750°C pada nilai kekerasan Pipa ASTM A106 Grade B.

- Pengujian Bending

Tabel 3. Data Hasil Uji Bending

Variasi Suhu	No	Dimensi		Beban (N)	σ (Mpa)
		Lebar (mm)	Tebal (mm)		
350	1	20	7	8618,08	10157,03
	2	20	7	7811,98	9206,97
	3	20	7	6870,54	8097,42
	4	20	7	6929,38	8166,77
	5	20	7	6739,13	7942,55
	6	20	7	7170,62	8451,09
	7	20	7	7455,02	8786,27
	8	20	7	7653,11	9019,74
	9	20	7	6964,68	8208,38
Rata-Rata				7356,95	8670,69
550	1	20	7	7586,42	8941,14
	2	20	7	8318,00	9803,36
	3	20	7	8784,80	10353,51
	4	20	7	7755,10	9139,94
	5	20	7	8663,19	10210,19
	6	20	7	7258,88	8555,11
	7	20	7	7674,68	9045,16
	8	20	7	8312,12	9796,42
	9	20	7	7800,21	9193,10
Rata-Rata				8017,05	9448,66
750	1	20	7	10995,22	12958,65
	2	20	7	9218,25	10864,37
	3	20	7	9028,00	10640,15
	4	20	7	9969,44	11749,70
	5	20	7	9463,42	11153,31
	6	20	7	9281,01	10938,34
	7	20	7	10087,12	11888,39
	8	20	7	10869,69	12810,71
	9	20	7	9694,85	11426,08
Rata-Rata				9845,22	11603,30

Dari nilai tegangan bending yang didapatkan, maka dibuatlah grafik perbandingan nilai rata-rata tegangan bending dari tiga variasi suhu PWHT.



Gambar 4. Grafik Nilai Rata-Rata Kekuatan Bending

Rata-rata beban bending maksimal pada spesimen dengan variasi suhu 350°C adalah 7356,95 N, kemudian didapatkan nilai tegangan bending rata-rata pada spesimen variasi suhu 350°C yaitu sebesar 8670,69 MPa. Rata-rata beban bending maksimal pada spesimen dengan variasi suhu 550°C adalah 8017,05 N, kemudian didapatkan nilai tegangan bending rata-rata pada spesimen variasi suhu 550°C yaitu sebesar 9448,66 MPa. Rata-rata beban bending maksimal pada spesimen dengan variasi suhu 750°C adalah 9845 N, kemudian didapatkan nilai tegangan bending rata-rata pada spesimen variasi suhu 750°C yaitu sebesar 11603,30 MPa.

Berdasarkan perbandingan rata-rata tegangan bending pada Gambar 4, diketahui bahwa nilai rata-rata tegangan bending tertinggi yaitu pada variasi suhu 750°C dengan nilai 11603,30 MPa sedangkan nilai rata-rata tegangan bending terendah yaitu pada variasi suhu 350°C dengan nilai 8670,69 MPa.

Tabel 4. Hasil Uji-T Nilai Bending

No	Variasi	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	t	Sig. (2-tailed)	Ket
1	Suhu 350°C	8726,2467	661,51294	220,50431	2,356	0,032	Terdapat perbedaan yang signifikan
	Suhu 550°C	9430,6256	605,74346	201,91449	2,356		
2	Suhu 350°C	8726,2467	661,51294	220,50431	-8,116	0,0001	Terdapat perbedaan yang signifikan
	Suhu 750°C	11603,2278	832,57923	277,52641	-8,116		
3	Suhu 550°C	9430,6256	605,74346	201,91449	-6,330	0,0001	Terdapat perbedaan yang signifikan
	Suhu 750°C	11603,2278	832,57923	277,52641	-6,330		

Bila dilihat dari tabel diatas, uji-t didapatkan nilai t hitung sebesar 2,356 dengan nilai sig sebesar 0,032, maka Ho ditolak dan Ha diterima. Sehingga dinyatakan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara suhu PWHT 350°C dan 550°C pada nilai kekuatan bending Pipa ASTM A106 Grade B, dimana nilai bending variasi suhu 550°C lebih besar dibandingkan dengan variasi suhu 350°C.

Kemudian didapatkan nilai t hitung sebesar -8,116 dengan nilai sig sebesar 0,0001, maka Ho ditolak dan Ha diterima. Sehingga dinyatakan bahwa terdapat pengaruh

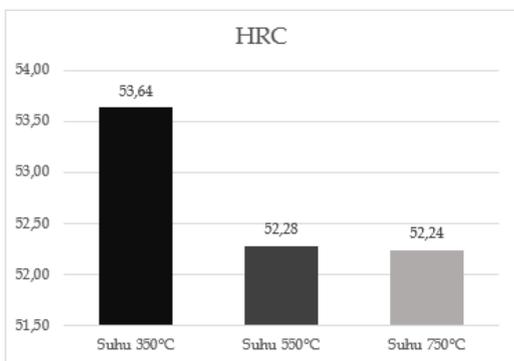
yang signifikan antara suhu PWHT 350°C dan 750°C pada nilai kekuatan bending Pipa ASTM A106 Grade B, dimana nilai kekerasan variasi suhu 750°C lebih besar dibandingkan dengan variasi suhu 350°C.

Diidapatkan nilai t hitung sebesar -6,330 dengan nilai sig sebesar 0,0001, maka H_0 ditolak dan H_a diterima. Sehingga dinyatakan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara suhu PWHT 350°C dan 550°C pada nilai kekuatan bending Pipa ASTM A106 Grade B, dimana nilai kekuatan bending suhu 750°C lebih besar dibandingkan dengan variasi suhu 550 °C.

Hasil Analisa

- Pengujian Kekerasan

Dari pengujian kekerasan didapatkan bahwa variasi suhu PWHT 350°C memiliki nilai kekerasan rata-rata 53,64 HRC, sedangkan variasi suhu PWHT 550°C memiliki nilai kekerasan rata-rata 52,28 HRC dan variasi suhu PWHT 750°C memiliki nilai kekerasan rata-rata 52,24 HRC



Gambar 5. Perbandingan Rata-Rata Nilai Kekerasan

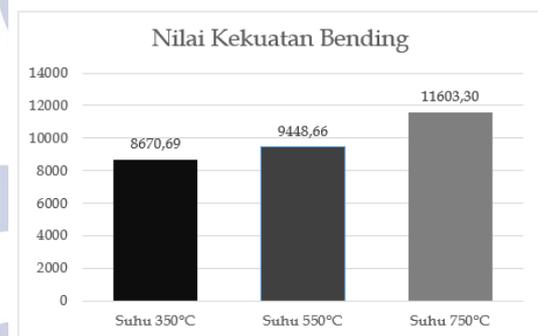


Gambar 6. Spesimen Hasil Pengujian Kekerasan

Berdasarkan hasil kekerasan yang diperoleh, semakin tinggi suhu pada saat proses annealing, semakin rendah nilai kekerasan sambungan las yang didapatkan. Hal ini dikarenakan, semakin lama proses annealing berlangsung tegangan sisa dari proses pengelasan semakin berkurang sehingga menyebabkan kekerasannya menurun. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa peningkatan variabel suhu mempengaruhi hasil kekerasan spesimen. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Prihanto Trihutomo (2014) bahwa nilai kekerasan mengalami penurunan seiring dengan semakin tingginya temperatur annealing.

- Pengujian Kekuatan Bending

Berdasarkan hasil uji bending yang dilakukan, tidak ada spesimen yang patah dan pada permukaan yang ditekuk tidak terdapat keretakan. Dari pengujian bending didapatkan bahwa variasi suhu PWHT 350°C memiliki nilai kekuatan bending 8670,69 MPa, sedangkan variasi suhu PWHT 550°C memiliki nilai kekuatan bending 9448,66 MPa dan variasi suhu PWHT 750°C memiliki kekuatan bending 11603,30 MPa.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Rata – Rata Nilai Bending



Gambar 8. Spesimen Hasil Pengujian Bending

Semakin tinggi suhu pada saat proses PWHT annealing, maka semakin tinggi nilai kekuatan bending

sambungan las yang didapatkan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa peningkatan variabel suhu mempengaruhi nilai kekuatan bending spesimen. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Hanif Aulia (2017) bahwa semakin tinggi temperatur PWHT maka semakin tinggi nilai kekuatan bendingnya.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pengaruh variasi suhu PWHT terhadap kekuatan bending dan kekerasan pada pipa ASTM A106 Grade B, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- Hasil pengujian bending pada pipa ASTM A106 Grade B hasil pengelasan SMAW dengan variasi suhu PWHT 350°C memiliki nilai kekuatan bending 8670,69 MPa, sedangkan variasi suhu PWHT 550°C memiliki nilai kekuatan bending 9448,66 MPa dan variasi suhu PWHT 750°C memiliki kekuatan bending 11603,30 MPa. Suhu PWHT annealing 750°C memiliki nilai kekuatan bending tertinggi diantara variasi suhu lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan PWHT memberikan pengaruh yang signifikan pada kekuatan bending. Semakin tinggi suhu PWHT annealing maka semakin tinggi nilai kekuatan bendingnya
- Hasil pengujian kekerasan pada pipa ASTM A106 Grade B hasil pengelasan SMAW dengan variasi suhu PWHT 350°C memiliki nilai kekerasan rata-rata 53,64 HRC, sedangkan variasi suhu PWHT 550°C memiliki nilai kekerasan rata-rata 52,28 HRC dan variasi suhu PWHT 750°C memiliki nilai kekerasan rata-rata 52,24 HRC. Suhu PWHT annealing 350°C memiliki nilai kekerasan tertinggi diantara suhu lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan PWHT memberikan pengaruh yang signifikan pada kekerasan material. Semakin tinggi suhu PWHT annealing maka semakin rendah nilai kekerasannya.

Saran

- Proses pengelasan perlu memperhatikan faktor lain yang dapat mempengaruhi hasil las seperti kecepatan pengelasan dan lain-lain.
- Pada saat pengujian kekerasan pastikan permukaan yang akan diuji telah rata agar memudahkan saat proses pengujian
- Variabel bebas dalam penelitian ini adalah pada variasi suhu PWHT annealing yaitu suhu 350°C, 550°C dan 750°C parameter-parameter seperti variasi waktu tahanan dan pengujian lain perlu ditambahkan pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Farid Wahyu Wibowo. (2013). Pengaruh Holding Time Annealing Pada Sambungan Smaw Terhadap Ketangguhan Las Baja K945 Ems45.
- FAUZI, N. I. (2020). ANALISA PENGARUH HEAT TREATMENT DAN KROM TERHADAP LAJU KOROSI PADA LEHER KNALPOT SEPEDA MOTOR (Doctoral dissertation, Universitas Pancasakti Tegal).
- Machmud, M. N. (2013). Pengaruh Waktu Tahatr pada Perlakuan Panas Pasca Pengelasan terhadap Kekerasan dan Kuat Tarik Baja Karbon ASTM A10,6 Grade B. *Teknik Mesin*, 1(3), 8.
- Nugroho, Lanal Septiawan. 2017. 'PENGARUH PROSES ANNEALING TERHADAP PERUBAHAN KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PIPA SA 179 YANG TELAH MENGALAMI PEMBENGKOKAN'. 1(10-11):92
- Okumura, T., & Wiryosumarto, H. (1996). *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradya Paramita. Jakarta.
- Rinaldi, R., Usman, R., & Fathier, A. (2019). Studi eksperimental kekuatan tarik dan kekerasan pada sambungan pipa ASTM A 106 Grade B dengan pengelasan SMAW. *Welding Technology*, 1(2), 36-42.
- Rohman, H. F., Umardani, Y., Hardjuno, A. T., Jurusan, M., Mesin, T., Teknik, F., Diponegoro, U., Jurusan, D., Mesin, T., Teknik, F., & Diponegoro, U. (2014). Pengaruh Proses Heat Treatment Annealing Terhadap Struktur Mikro Dan Nilai Kekerasan Pada Sambungan Las Thermite Baja Np-42. *Jurnal Teknik Mesin Undip*, 2(3), 195-203.
- Sam, Alimuddin, Candra Nugraha, and Nahrudin. 2015. 'KEKUATAN TARIK DAN BENDING SAMBUNGAN LAS PADA MATERIAL BAJA SM 490 DENGAN METODE PENGELASAN SMAW DAN SAW'. 3(3):6.
- Sawaldi, Andripta, Al Fathier, and Akhyar Ibrahim. 2019. 'Pengaruh PWHT terhadap struktur mikro pada lasan pipa baja ASTM A106 grade B'. 1(2):5.
- Trihutomo, P. (2014). Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon
- Rendah. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Negeri Malang*, 22(1), 81-88. Widayat, W., & Saputro, D. D. (n.d.). Treatment Annealing Terhadap Sifat Mekanis Material Baja Ems-45 Dengan Metode Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (Smaw). 83-89.
- Yustiasih Purwaningrum, S. T. (2021). Pengaruh Temperatur Post Weld Heat Treatment (PWHT) Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Sambungan Las Mig Baja Aisi 1000 SS