

## **PENGARUH *POST WELD HEAT TREATMENT* (PWHT) DENGAN VARIASI MEDIA PENDINGINAN HASIL PENGELASAN SMAW PADA PIPA KILANG ASTM A 106 GRADE B TERHADAP KEKUATAN BENDING DAN STRUKTUR MIKRO**

**Genio Yudha Pratama**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email : genio.17050754027@mhs.unesa.ac.id

**Yunus**

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

### **Abstrak**

Pengelasan pipa di kilang merupakan proses yang sangat penting karena pipa memiliki fungsi sebagai pendispersi minyak dan gas, dan diperlukan daya tahan yang tinggi. Proses pengelasan dapat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik baja karbon, sehingga perlu dilakukan proses perlakuan panas untuk mengurangi tegangan sisa pada baja yang dilas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *post weld heat treatment* terhadap kekuatan bending dan struktur mikro dengan memvariasikan media pendingin pada pengelasan SMAW pipa ASTM A 106 grade B. Penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen dengan menggunakan metode kuantitatif. Data eksperimen dianalisis menggunakan metode *one way ANOVA* dan uji-t. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan PWHT dan variasi media pendingin berpengaruh signifikan terhadap kekuatan bending pada hasil pengelasan SMAW. kekuatan bending rata-rata tertinggi dengan media pendingin udara sebesar 1273,26 MPa dan kekuatan bending terendah dengan media pendingin air sebesar 1196,34 MPa. Hasil pengujian struktur mikro di daerah *weld metal* menunjukkan adanya campuran batas butir ferrit, bainit dan martensit.

**Kata Kunci** : PWHT, *Quenching*, Kekuatan Bending, Struktur Mikro

### **Abstract**

*Welding on refinery pipes is a very important process because the pipe has a function to distribute oil and gas so it requires high durability. The welding process can affect the physical and mechanical properties of carbon steel so it is necessary to carry out a heat treatment process to reduce the residual stress on the welded steel. The purpose of this study was to determine the effect of post weld heat treatment on bending strength and microstructure by varying the cooling medium in SMAW welding ASTM A 106 grade B pipes. The research used is an experimental type of research with quantitative methods. The experimental data were analyzed using the one way ANOVA method and the t-test. The results of this study are that there is a significant effect on the results of SMAW welding with heat treatment and variations in cooling media on bending strength. The average value of the highest bending strength using air cooling media is 1273.26 Mpa, and the lowest bending strength using water is 1196.34 Mpa. In testing the microstructure of SMAW welding results with heat treatment and variations of cooling media in the weld metal area, it produces a blend of ferrite, martensite and bainite grain boundaries.*

**Keywords** : PWHT, *Quenching*, Bending Test, Microstructure

### **PENDAHULUAN**

Dalam bidang konstruksi yang semakin canggih, perkembangan teknologi modern dan ilmu pengetahuan saat ini berperan penting dalam metalurgi dan reparasi logam sehingga tidak dapat dipisahkan dari proses pengelasan. Pengelasan banyak digunakan dalam proses penyambungan logam. Hal ini dikarenakan sambungan las relatif cepat dan kuat, terutama pada bidang konstruksi. Sambungan las merupakan salah satu sambungan yang membutuhkan keahlian juru las yang tinggi untuk mendapatkan sambungan yang berkualitas. Teknologi pengelasan memiliki berbagai aplikasi dalam konstruksi, termasuk kapal, jembatan, struktur baja, bejana tekan, pipa, pipa saluran dan kereta api (Wiriyosumarto, 2000).

Pengelasan (*Welding*) merupakan salah satu metode penyambungan logam dengan metode mencairkan sebagian logam induk serta logam pengisi dengan tekanan atau tanpa tekanan. Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutch Industrie Normen*) las merupakan suatu hubungan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilakukan dalam kondisi lumer ataupun cair. Dapat dijelaskan lebih lanjut bahwa las merupakan sambungan setempat dari sekian banyak batang logam dengan memanfaatkan energi panas (Wiriyosumarto & Okumura 2000).

Di era industri saat ini, teknologi pengelasan banyak digunakan dalam penyambungan konstruksi baja dan konstruksi mesin. Meluasnya penggunaan teknologi ini disebabkan oleh fakta bahwa bangunan dan juga mesin

yang dibuat dengan teknologi penyambungan menjadi ringan dan proses pembuatannya yang sederhana. Dalam industri minyak dan gas, instalasi atau konstruksi pipa sering digunakan sebagai alat transportasi untuk mengalirkan fluida berupa gas atau cairan dari satu tempat ke tempat lain. Pipa di industri minyak dan gas harus mampu menahan tekanan dan temperatur tinggi serta harus dioperasikan dengan aman untuk menghindari kecelakaan yang berakibat fatal (Timothy Hill, et al, 2000). Menurut (Norfi dan Fardiansyah, 2018) dalam pembuatan konstruksi pipa pemilihan material harus sesuai dengan standart. Bahan yang umum digunakan untuk konstruksi pipa produksi minyak dan gas adalah baja karbon, karena sifatnya yang (*workability*), mudah diperoleh, dan harganya relatif lebih murah. Pipa ASTM A 106 *grade B* adalah jenis material pipa *seamless* yang banyak digunakan dalam proses distribusi fluida di industri minyak dan gas.

Selain pemilihan bahan, metode dan jenis sambungan konstruksi pipa, terutama pipa kilang, juga harus dipertimbangkan untuk menghindari deformasi dan cacat pengelasan, untuk memastikan penggunaan sistem perpipaan dan masa pakai pipa. Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) banyak digunakan untuk menyambung konstruksi pipa di industri minyak dan gas karena lebih praktis, lebih murah dan dapat dioperasikan dari posisi manapun. SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) atau las busur adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk melelehkan material dasar dan elektroda. Panas dihasilkan oleh percikan ion listrik antara katoda dan anoda di ujung elektroda dan antara permukaan pelat yang dilas.

Proses pengelasan harus mempertimbangkan beberapa faktor seperti keahlian dalam mengelas, pemilihan material yang akan dilas, proses pengelasan dan pendinginan. Saat mengelas pipa ASTM A 106 *grade B*, biasanya digunakan tipe las tiga *layer*. *Layer* pertama adalah *root weld* atau las akar dan *Layer* kedua adalah *filler weld* atau pengisian sambungan las hingga hampir memenuhi kampuh. *Layer* ketiga disebut juga *capping weld* atau las penutup adalah langkah terakhir dalam pengelasan pipa. Sambungan pipa las menciptakan efek pemanasan lokal suhu tinggi, menyebabkan ekspansi termal maupun penyusutan saat pipa mendingin. Hal ini menyebabkan tegangan sisa, perubahan struktur mikro dan kekerasan tinggi di daerah yang terkena panas (HAZ). Tegangan sisa pengelasan dapat menyebabkan retak pada lapisan las, dan membahayakan konstruksi yang dilas bila menerima pembebanan. Metode yang sering digunakan untuk menghilangkan tegangan sisa adalah cara termal melalui proses *Post Weld Heat Treatment* (PWHT). (Harsono Wiryosmarto dan Toshie Okumura 2008)

*Post Weld Heat Treatment* adalah proses perlakuan panas yang diterapkan pada material setelah proses pengelasan untuk meningkatkan sifat mekanik dan struktur mikro pada daerah yang terkena panas dan daerah logam las. Tujuan *heat treatment* adalah untuk meningkatkan keuletan, kekerasan, menghilangkan tegangan internal, menghaluskan butir kristal, meningkatkan kekuatan tarik logam, dll. Waktu penahanan, suhu pemanasan dan laju pendinginan merupakan faktor penting dalam proses PWHT. Proses PWHT sangat diperlukan untuk meningkatkan kualitas material pada pipa kilang. Hal ini untuk memastikan bahwa hasil las bebas dari perambatan retak dan meningkatkan ketangguhan material. Selain proses *heat treatment*, ada juga proses *quenching* untuk memperbaiki sifat-sifat material. *Quenching* adalah proses memanaskan baja ke suhu tertentu, menahannya untuk waktu tertentu, dan kemudian dengan cepat mendinginkannya dalam media tertentu. Media pendingin berperan penting dalam menentukan nilai kekerasan dan keuletan material yang diperoleh. Nilai kekerasan dan keuletan dipengaruhi oleh struktur mikro pada material.

Kualitas hasil las harus dipastikan terutama untuk instalasi pipa di industri perminyakan, karena dapat mempengaruhi kekuatan sambungan las dan instalasi yang digunakan. Salah satu metode untuk menentukan kekuatan bahan yang dilas adalah dengan menggunakan uji bending. Uji bending (*bending test*) adalah jenis uji untuk menilai kualitas material secara visual. Uji bending bertujuan untuk mengetahui kualitas lasan dengan kemampuannya menahan retak setelah dilakukan uji lengkung sesuai dengan kriteria pengujian. Selain itu, pengujian bending digunakan untuk mengukur kekuatan material di bawah beban dan elastisitas sambungan las baik di daerah logam las ataupun daerah HAZ (Kholis, 2013).

Selain pengujian bending, pengujian struktur mikro juga digunakan untuk memastikan perubahan struktur yang terjadi setelah perlakuan tertentu untuk menentukan apakah material terpengaruh setelah proses perlakuan tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian yang berjudul “Pengaruh *Post Weld Heat Treatment* (PWHT) Dengan Variasi Media Pendinginan Hasil Pengelasan SMAW Pada Pipa Kilang ASTM A 106 *Grade B* Terhadap Kekuatan Bending dan Struktur Mikro”. Harapan dari hasil penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *heat treatment* dengan variasi pendingin yang sesuai untuk meningkatkan kekuatan material pada hasil pengelasan SMAW dan memberikan informasi dan masukan yang bermanfaat di industri.

## METODE

Pada penelitian ini dilakukan dengan jenis penelitian eksperimen untuk mengetahui pengaruh PWHT dan media pendingin (udara, air dan oli SAE 40) terhadap kekuatan bending dan struktur mikro hasil pengelasan SMAW pipa ASTM A 106 grade B.

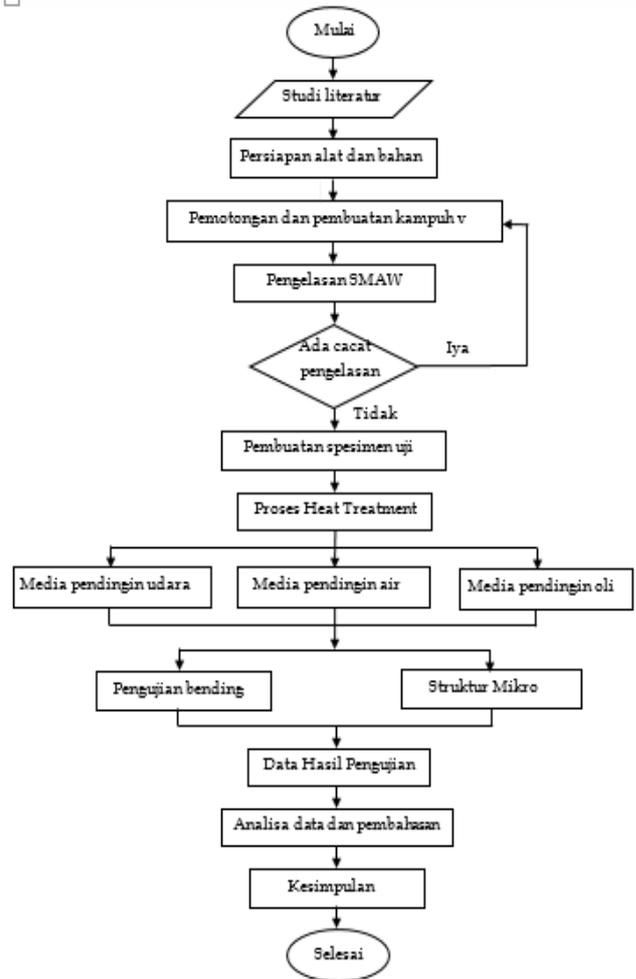
### Tempat dan Waktu Penelitian

- **Tempat Penelitian**
  - Pengelasan material dilaksanakan di PPSDM MIGAS Cepu
  - Proses perlakuan *heat treatment* dan *quenching* dilakukan dilab pelapisan logam Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya
  - Proses uji bending dan struktur mikro dilaksanakan di lab bahan dan pengolahan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang
- **Waktu Penelitian**  
Penelitian dilaksanakan bulan Mei – September 2022

### Variabel Penelitian

- **Variabel Bebas**
  - Udara
  - Air
  - Oli SAE 40
- **Variabel Terikat**
  - Nilai kekuatan bending
  - Hasil struktur mikro
- **Variabel Kontrol**
  - Pipa ASTM A 106 grade B diameter 6 inch, tebal 7 mm
  - Proses pengelasan SMAW
  - Posisi pengelasan 1G
  - Elektroda E7016 Ø3,2 mm
  - Kuat arus pengelasan 75 A
  - Kampuh las V jenis V groove sudut 70°
  - Suhu *heat treatment* 500° C dan *holding time* 20 menit

## Rancangan Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

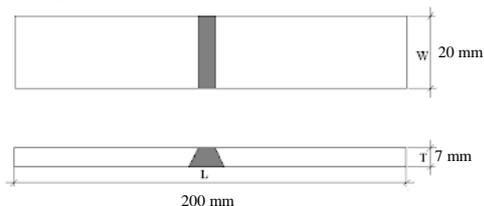
### Proses Pengelasan

- Menyiapkan material pipa ASTM A 106 grade B dan peralatan yang akan digunakan
- Membuat kampuh V dengan sudut 70° pada pipa
- Mempersiapkan elektroda E7016 Ø3,2 mm dan mesin pengelasan SMAW
- Mengatur arus listrik pengelasan sesuai prosedur yang ditetapkan
- Mengatur pipa sesuai posisi pengelasan 1G
- Proses pengelasan dilakukan 3 layer (*root weld, filler weld dan capping weld*)
- Hasil pengelasan pada tiap *layer*, kemudian didinginkan pada media udara
- Bersihkan terak sisa pengelasan dan periksa apakah ada cacat pada hasil pengelasan

### Pembuatan Spesimen Uji

Pembuatan standart spesimen uji bending menggunakan JIS-Z2248 dengan jumlah sebanyak 27 spesimen, dengan jumlah 9 spesimen per variasi media pendingin. Sedangkan untuk uji struktur mikro berjumlah

3 spesimen, dengan masing-masing 1 spesimen per variasi media pendingin.



Gambar 2. Ukuran spesimen uji bending

**Proses PWHT dan Quenching**

Pada proses PWHT menggunakan cara pemanasan dalam tungku furnace dengan suhu yang dipakai sebesar 500°C dan di *holding time* selama 20 menit agar panas dapat mengalir secara merata pada material. Setelah proses *holding time* selesai maka dilakukan proses *quenching* dengan media yang digunakan sebagai berikut :

- a. Udara
- b. Air
- c. Oli SAE 40

**Teknik Analisis Data**

Setelah memperoleh dan menghitung data pengujian, kemudian menganalisis data tersebut. Untuk mengetahui perbedaan signifikansi hasil pengujian dilakukan analisis statistik menggunakan metode ANOVA dengan *software* IBM SPSS versi 24 *for windows*. Untuk menguji hipotesis pada penelitian menggunakan metode uji *T-test*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Data Hasil Pengujian**

- **Pengujian Bending**

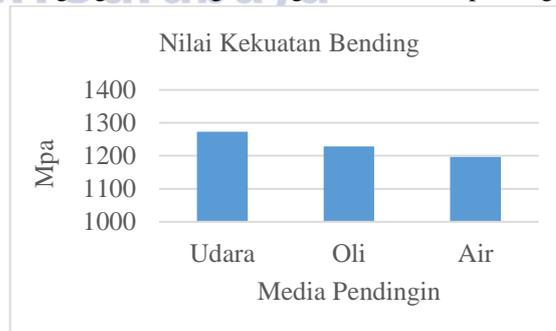


Gambar 3. Spesimen hasil pengujian bending

**Tabel 1.** Data hasil pengujian bending

Media Pendingin	No	Dimensi		Beban (N)	$\sigma$ (Mpa)
		Lebar (mm)	Tebal (mm)		
UDARA	1	20	7	4120,75	1261,46
	2	20	7	4156,06	1272,26
	3	20	7	4201,17	1286,07
	4	20	7	4028,57	1233,24
	5	20	7	4216,86	1290,88
	6	20	7	4185,48	1281,27
	7	20	7	3999,15	1224,23
	8	20	7	4246,28	1299,88
	9	20	7	4279,62	1310,09
Rata-Rata				4159,33	1273,26
AIR	1	20	7	3871,67	1185,20
	2	20	7	3977,58	1217,63
	3	20	7	3897,16	1193,01
	4	20	7	3959,93	1212,22
	5	20	7	3875,59	1186,40
	6	20	7	3855,97	1180,40
	7	20	7	4001,11	1224,83
	8	20	7	3846,17	1177,40
	9	20	7	3887,36	1190,01
Rata-Rata				3908,06	1196,34
OLI	1	20	7	4052,11	1240,44
	2	20	7	4022,69	1231,44
	3	20	7	3940,31	1206,22
	4	20	7	4107,03	1257,25
	5	20	7	4034,46	1235,04
	6	20	7	3989,35	1221,23
	7	20	7	3973,65	1216,42
	8	20	7	4083,49	1250,05
	9	20	7	3906,97	1196,01
Rata-Rata				4012,23	1228,23

Berdasarkan hasil uji bending pada tabel diatas, Selanjutnya dibuatlah grafik perbandingan nilai rata-rata tegangan bending dari tiga variasi media pendingin



Gambar 4. Grafik Uji Bending

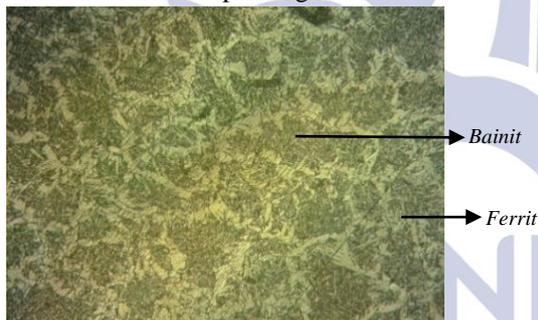
Dari analisa perhitungan data hasil pengujian bending diperoleh, Rata-rata beban bending maksimal pada spesimen variasi media pendingin udara adalah 4159,33 N, kemudian didapatkan nilai rata-rata tegangan bending pada spesimen variasi media pendingin udara yaitu sebesar 1273,26 Mpa. Rata-rata beban bending maksimal pada spesimen variasi media pendingin oli SAE 40 adalah 4012,23 N, kemudian didapatkan nilai rata-rata tegangan bending pada spesimen variasi media pendingin oli yaitu sebesar 1228,23 Mpa. Rata-rata beban bending maksimal pada spesimen variasi media pendingin air adalah 3908,06 N, kemudian didapatkan nilai rata-rata tegangan bending pada spesimen variasi media pendingin air yaitu sebesar 1196,34 Mpa.

Dari data hasil pengujian pada tabel 1 dapat diketahui bahwa laju pendinginan dari variasi media pendingin yang digunakan setelah perlakuan *heat treatment* dapat mempengaruhi nilai kekuatan bending yang di hasilkan pada sambungan las baja ASTM A 106 grade B.

#### Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro pada penelitian ini dilakukan di daerah *weld metal*, hasil pengamatan menggunakan mikroskop dengan pembesaran 365x pada masing-masing variasi. Sehingga batas butir pada spesimen bisa terlihat. Hasil pengujian foto struktur mikro ditampilkan pada gambar dibawah ini :

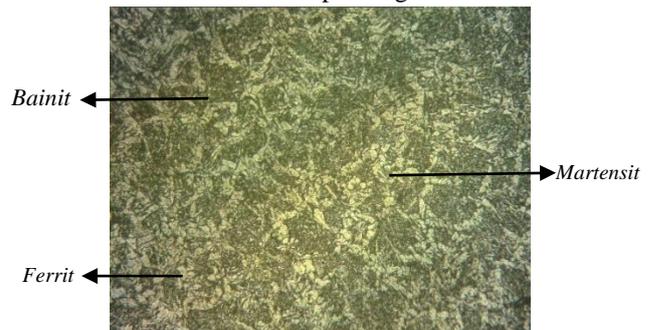
- Hasil foto mikro media pendingin udara



Gambar 5. Struktur mikro pendingin udara

Gambar di atas menunjukkan struktur ferrit dan bainit yang terbentuk, namun batas butir fasa ferrit lebih dominan dan ukurannya lebih besar dibandingkan struktur bainit. Dari foto struktur mikro di atas, terlihat bahwa bagian *weld metal* bersifat lunak. Hal ini disebabkan oleh proses laju pendinginan secara lambat pada daerah *weld metal*.

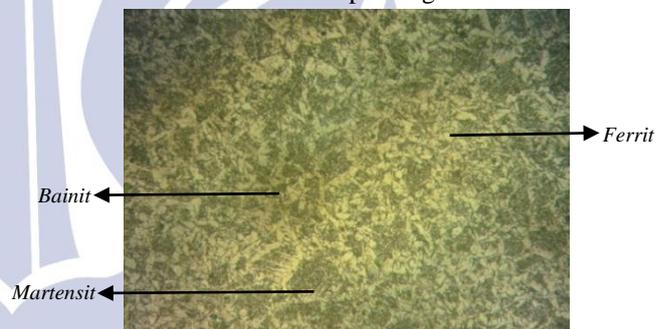
- Hasil foto mikro media pendingin air



Gambar 6. Struktur mikro pendingin air

Foto di atas menunjukkan adanya struktur ferrit, martensit dan bainit. Fase martensit dan bainit terlihat lebih dominan dari fase ferrit, memiliki ukuran struktur yang lebih kecil, dan memiliki penyebaran secara merata. Foto struktur mikro di atas menunjukkan bahwa material bersifat keras di daerah *weld metal*. Hal ini terjadi karena proses laju pendinginan media air terjadi secara cepat di daerah *weld metal*.

- Hasil foto mikro media pendingin oli



Gambar 7. Struktur mikro pendingin oli

Foto di atas menunjukkan adanya struktur ferrit, martensit dan bainit. Fasa martensit dan bainit lebih sedikit dibandingkan fasa ferrit, dan batas butir fasa ferrit dapat memuai dengan baik. Dari foto struktur mikro di atas, menunjukkan bahwa di daerah *weld metal* bersifat lunak tetapi lebih keras dibandingkan dengan media pendingin udara. Hal ini terjadi karena proses laju pendinginan oli lebih cepat dari pada udara pada daerah *weld metal*.

#### Hasil Analisa

##### • Pengujian Bending

Dari hasil pengujian bending didapatkan bahwa, tidak ditemukan keretakan pada hasil pengelasan setelah proses pwht dan variasi media pendingin, baik pada media pendingin udara, air dan oli SAE 40. Karena dilihat dari fungsinya yaitu untuk mendistribusikan fluida maupun gas dengan tekanan tinggi maka kekuatan pada sambungan las sangat perlu untuk diperhatikan.

Hasil pengujian bending pada Gambar 4 didapatkan bahwa media pendingin udara memiliki nilai kekuatan bending rata-rata 1273,26 Mpa, kemudian media pendingin oli memiliki nilai kekuatan bending rata-rata 1228,23 Mpa dan media pendingin air memiliki nilai kekuatan bending rata-rata 1196,34 Mpa. Berdasarkan dari nilai uji bending yang diperoleh, hasil pengelasan pada pipa kilang yang di PWHT dan didinginkan menggunakan media pendingin udara memiliki nilai kekuatan bending tertinggi, kemudian diikuti media pendingin oli, dan media pendingin air memiliki nilai kekuatan bending terendah pada daerah sambungan las. Hasil pengujian bending pada penelitian ini berhubungan dengan hasil pengamatan struktur mikro, dimana daerah *weld metal* dengan media pendingin udara didominasi oleh fasa ferrit yang bersifat lunak dan ulet, pada media pendingin oli didominasi oleh fasa ferrit dan batas butirnya dapat memuai dengan baik yang menunjukkan material bersifat lunak, sedangkan pada media air didominasi oleh fasa bainit dan martensit yang bersifat keras. Hal ini membuat perbedaan nilai kekuatan bending, karena semakin lambat laju pendinginan yang digunakan menghasilkan nilai kekuatan bending yang lebih tinggi dan mempengaruhi kandungan struktur mikro yang dihasilkan.

Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh lazuardi (2021) bahwa nilai kekuatan tekuk yang tertinggi dihasilkan pada media pendingin udara dan terendah pada media pendingin air, dimana jika nilai kekerasan material semakin tinggi maka sifat elastisitas atau kelenturannya juga semakin rendah. Di sisi lain struktur penyebaran butir media pendingin air lebih halus dan merata yang membuat material lebih keras dan mempengaruhi nilai kekuatan tekuk. Perbedaan media pendingin yang digunakan setelah proses pwht dapat mempengaruhi nilai kekuatan bendungnya, karena pada masing-masing media pendingin memiliki laju pendinginan yang berbeda. Selain itu, media pendingin udara dan oli pelepasan panasnya lambat karena panas yang ditahan lebih lama daripada air sehingga material menjadi lebih lunak, dan menyebabkan nilai kekuatan tekuknya bertambah.

- **Pengujian Struktur Mikro**

Pada penelitian ini, spesimen hasil pengelasan yang sudah dibentuk lalu dipanaskan dalam tungku pembakaran (*furnace*) menggunakan suhu 500°C dan di *holding time* selama 20 menit. Spesimen hasil perlakuan panas kemudian didinginkan menggunakan media pendingin udara, air dan oli SAE 40. Hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa fasa yang terbentuk adalah ferrit, bainit dan martensit.

Berdasarkan pengamatan struktur mikro, diperoleh perubahan bentuk butir dan fasa di setiap daerah logam las yang diberi perlakuan *heat treatment* dan variasi media pendingin. Perlakuan *heat treatment* hasil las dapat mengubah struktur mikro pada material dan mempengaruhi sifat mekanik material. Penambahan berbagai media pendingin setelah perlakuan panas bertujuan untuk mempercepat atau memperlambat proses transformasi fasa pada daerah logam las. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa factor dari media pendingin yang digunakan seperti temperatur, densitas dan viskositas.

Pada material yang diberi perlakuan *heat treatment* dengan variasi media pendingin yang digunakan menghasilkan perbedaan struktur di daerah *weld metal*. Hal ini disebabkan karena media pendingin udara mempunyai sifat laju pendinginan lambat diantara media pendingin yang lain, sehingga menghasilkan kekuatan bending tertinggi karena struktur mikronya didominasi fasa ferrit yang menunjukkan material bersifat lunak dan ulet. Pada media pendingin oli nilai viskositasnya lebih tinggi dibandingkan media pendingin air yang mengakibatkan laju pendinginan oli lambat, maka strukturnya juga didominasi fasa ferrit dan batas butirnya dapat memuai dengan baik, menghasilkan nilai kekuatan bending yang lebih tinggi dari media pendingin air. Sedangkan, pada media pendingin air memiliki sifat mendinginkan secara cepat, mengakibatkan perubahan fasa yang terbentuk didominasi oleh bainit dan martensit sehingga mempunyai sifat material yang keras dan bisa menyebabkan nilai kekuatan bending menurun. Berdasarkan hasil penelitian serupa sebelumnya yang dilakukan Sawaldi (2019) yang menggunakan variasi temperatur pwht dan didinginkan dengan media pendinginan udara diperoleh, pada suhu 500° C di daerah *weld metal* menghasilkan ukuran kristal ferrit yang lebih besar dan dominan.

## **PENUTUP**

### **Simpulan**

Berdasarkan pada hasil penelitian dan pembahasan pengaruh PWHT dan variasi media pendingin hasil pengelasan SMAW pipa ASTM A 106 *grade B* terhadap kekuatan bending dan struktur mikro, dapat disimpulkan bahwa :

- Hasil pengujian kekuatan bending pada spesimen pipa ASTM 106 *grade B* hasil pengelasan SMAW dan *heat treatment* dengan media pendingin udara mempunyai nilai kekuatan bending tertinggi dari media pendingin lainnya, dengan jumlah rata-rata 1273,26 Mpa, yang didominasi oleh fasa ferrit.

Selanjutnya media pendingin oli SAE 40 memiliki nilai kekuatan bending 1228,23 Mpa, dan didominasi oleh fasa ferrit. Pada media pendingin air memiliki nilai kekuatan bending terendah dengan nilai 1196,34 Mpa yang didominasi oleh fasa bainit dan martensit. Dari hasil yang diperoleh untuk setiap variasi terlihat jelas bahwa jenis media pendingin yang digunakan mempengaruhi nilai kekuatan bending material dan kandungan struktur mikro yang dihasilkan.

- Perlakuan *heat treatment* dan variasi media pendingin yang digunakan pasca pengelasan SMAW berpengaruh terhadap struktur mikro baja ASTM A 106 grade B. Hasil pengujian struktur mikro pada daerah *weld metal* terlihat fasa yang terbentuk ferrit, bainit dan martensit. Pada media pendingin udara struktur mikronya didominasi oleh fasa ferrit. Pada media pendingin oli strukturnya juga didominasi oleh fasa ferrit dan batas butirnya dapat memuai dengan baik. Sedangkan pada media pendingin air perubahan fasa yang terbentuk didominasi oleh bainit dan martensit. Hal ini dikarenakan semakin lambat laju pendingin yang digunakan maka struktur yang terbentuk didominasi oleh ferrit yang menunjukkan material tersebut bersifat lunak dan ulet yang dapat meningkatkan nilai kekuatan bending. Sedangkan semakin cepat laju pendingin yang digunakan maka didominasi oleh fasa bainit dan martensit sehingga mempunyai sifat material yang keras dan dapat menurunkan nilai kekuatan bending.

#### Saran

Setelah dilakukan proses pengujian bending dan pengamatan struktur mikro pada hasil penelitian maka penulis dalam hal ini menyarankan :

- Pengujian kekuatan bending dan struktur mikro pada baja karbon ASTM A 106 grade B dapat dilanjutkan dengan memvariasikan suhu pemanasan maupun waktu *holding time*.
- Penambahan pengujian yang berbeda dapat diterapkan pada hasil pengelasan dan pwht dengan variasi media pendingin baja karbon ASTM A 106 grade B untuk mengetahui sifat mekanik lain yang dimiliki material.

#### DAFTAR PUSTAKA

Arifin, S., 1997. *Las Listrik dan Otogen*, Jakarta : Ghalia Indonesia.

AWS A5.1, 1991. *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*. Miami: American Welding Society Inc.

- Azwinur, Saifuddin A. Jalil & Asmaul Husna, 2017. "Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Pada Proses Pengelasan SMAW". *Jurnal Polimesin Lhokseumawe*. Vol. 15 (2) 1693-5462.
- Bahtiar, Muh. Iqbal dan Supramono., 2014. "Pengaruh Media Pendingin Minyak Pelumas Sae 40 Pada Proses Quenching dan Tempering Terhadap Ketangguhan Baja Karbon Rendah". *Jurnal Mekanikal* Vol. 5 No. 1: Januari 2014, pp: 455-463.
- Dailani, Hamdani & Jufriadi, 2016. "Kajian Pengaruh Pengelasan Terhadap Sifat Kekerasan Dan Ketangguhan Baja ASSAB VANADIS HQ 705". *Jurnal Ilmiah "MEKANIK" Teknik Mesin ITM*, Vol. 2 (1).
- Daryanto. 2013. *Teknik Pengelasan Logam*. Bandung: Sarana Tutorial Nurani Sejahtera.
- Davis, H.E., Troxell, G.E., Wiskocil, C.T., 1955. *The Testing and Inspection of Engineering Materias*. New York, USA: McGrawHill Book Company.
- Djafrie, S. 1983, Terjemahan dari *Manufacturing Processes*, Jakarta, Erlangga : *Teknologi Mekanik Jilid I*
- Hamdani, H dkk "Pengaruh Pengelasan dan Media *Quenching* Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Material ASTM A 36". *Jurnal Teknologi* 21.2 (2021): 65-69.
- Hanif, Aulia Rachman (2017) "Pengaruh Waktu Tahan dan Temperatur Pada Proses Normalizing Terhadap Kekerasan dan Keuletan Bahan EMS 45 Setelah Pengelasan". Universitas Negeri Semarang
- Handoyo, Yopi. 2015. "Pengaruh Quenching Dan Tempering Pada Baja Jis Grade S45C Terhadap Sifat Mekanis". *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 3, No.2 Universitas Islam 45 Bekasi.
- Jordi, Muhammad. 2017. "Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW". Semarang: Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro.
- 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". *Jurnal Dinamis Vol.II, No.14*, 16-22.
- Purba, M. F. I., & Fakhriza, F. (2020). "Pengaruh Variasi Temperatur PWHT Dan Tanpa PWHT Terhadap Sifat Kekerasan Baja ASTM A 106 Grade B Pada Proses Pengelasan SMAW". *Journal of Welding Technology*, 2(1), 13-18.

- Sam, A., & Nugraha, C. (2015). "Kekuatan tarik dan bending sambungan las pada material baja sm 490 dengan metode pengelasan SMAW dan SAW". *Jurnal Mekanikal*, 6(1), 550-555.
- Saridayat, Akhrrudin Akbar (2021) *Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekuatan Tarik, Bending, dan Kekerasan Pengelasan SMAW Baja ST 41*. Universitas Pancasakti Tegal.
- Sawaldi, A., & Ibrahim, A. (2019). "Pengaruh PWHT terhadap struktur mikro pada lasan pipa baja ASTM A106 grade B". *Journal of Welding Technology*, 1(2), 31-35.
- Sugiyono. 2018. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Wirjosumarto, Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta, PT. Pradya Paramita.

